В начало

Элтех. Экзамен.

ВНИМАНИЕ! Некоторые вопросы расписаны на две страницы! АТЕНШН!

Модуль 1:

1. Законы Ома и Кирхгофа для электрической цепи.
2. Активные и пассивные элементы цепи.
3. Согласованный режим работы источника электрической энергии.
4. Анализ цепи с помощью метода контурных токов (узловых потенциалов).
5. Суть метода суперпозиции при анализе электрической цепи и есть ли ограничения на его использование?
6. Матричное представление методов контурных токов и узловых потенциалов.
7. Суть методов взаимности и компенсации и их использование при анализе электрических цепей.
8. Зависимые источники тока и напряжений.
9. Методы эквивалентных преобразований электрических цепей.

Модуль 2:

1. Закон Ома для реактивных компонентов цепи.
2. Анализ электрической цепи методом комплексных амплитуд.
3. Мощность в электрической цепи синусоидального тока. Баланс мощностей.
4. Комплексная передаточная функция электрической цепи. Какую информацию из нее можно получить?
5. Связь между током и напряжением в последовательно резонансном контуре. Влияние сопротивления потерь на его свойства.
6. Связь между током и напряжением в параллельно резонансном контуре. Влияние сопротивления потерь на его свойства.
7. Фильтры верхних частот. Связь между полосой пропускания и параметрами деталей фильтра.
8. Фильтры низких частот. Связь между полосой пропускания и параметрами деталей фильтра.
9. Четырехполюсники. Способы формирования описания поведения четырехполюсника. Система параметров.

Модуль 3:

1. Классический метод анализа переходных процессов в электрических цепях.
2. Характеристическое уравнение электрической цепи и метод его получения.
3. Операторная схема замещения электрических цепей при нулевых и ненулевых начальных условиях.
4. Этапы анализа цепи электрической цепи операторным методом.
5. Связь между операторной передаточной функцией цепи и её переходной характеристикой.
6. Прямое и обратное преобразование Лапласа и их применения для анализа электрических цепей.
7. Анализ переходных процессов в нелинейных электрических цепях.
8. Длинные линии.
9. Анализ электрических цепей на основе метода переменных состояний.

Если нет вашего вопроса!

Возможные билеты!

В начало

В начало

1. Законы Ома и Кирхгофа для электрической цепи.

Закон Ома - закон, устанавливающий связь между падениями напряжения U на любом неразветвлённом участке электрической цепи и величиной тока I, протекающим по этому участку.

$I = \dfrac{U}{R}$ или $I = gU$, где R - сопротивление [Om], а g - проводимость [Om^{-1}]

Закон Ома в комплексной форме: $\dot{I} = \dfrac{\dot{U}}{\dot{Z}}$

$$\begin{cases} \dot{I} = Ie^{i\varphi} \\ \dot{U} = Ue^{i\varphi} \end{cases} \Rightarrow \dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U}{I}e^{i(\varphi_u - \varphi_i)} = ze^{\pm j\varphi} = z\cos\varphi \pm iz\sin\varphi = r + iX$$

$\varphi = \arctan\dfrac{X}{r}$ - сдвиг по фазе между током и напряжением, где $X = \omega L - \dfrac{1}{\omega C}$

Первый закон Кирхгофа:
В любом узле электрической цепи алгебраическая сумма токов равна нулю == Сумма входящих в узел токов равна сумме выходящих токов.

$\sum\limits_{k=1}^{m} I_k = 0$, где m - число ветвей подключенных к узлу.

Второй закон Кирхгофа:
В любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма падений напряжений на всех его участка равна сумме ЭДС.

$\sum\limits_{k=1}^{n} E_k = \sum\limits_{k=1}^{m} R_k I_k$, где n - число ЭДС, m - число элементов с сопротивлением R_k

В начало

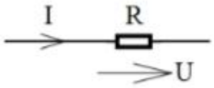
В начало

В начало

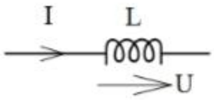
2. Активные и пассивные элементы цепи.

Активные элементы электрической цепи - такие элементы, которые генерируют энергию (преобразует различные виды энергии (тепловую, механическую) в электрическую):
Источники тока и ЭДС.
Пассивные компоненты электрической цепи - такие элементы, которые потребляют энергию (преобразуют электрическую энергию в другие виды энергии (механическую, тепловую, магнитного поля, электрического поля)):
Резисторы, кондесаторы, катушки индуктивности, иногда даже источники тока и ЭДС, если стоят

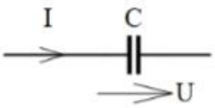
- **Резистивное сопротивление** — элемент цепи, обладающий свойствами необратимого рассеивания энергии.



- **Индуктивный элемент** — элемент цепи, обладающий свойством накопления им энергии магнитного поля.

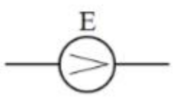


- **Ёмкостной элемент** — элемент цепи, обладающий свойством накапливания энергии электрического поля.

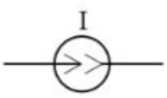


Активные:

- **Источник напряжения** — элемент цепи, напряжение на зажимах которого не зависит от протекающего через него тока.



- **Источник тока** — элемент цепи, ток которого не зависит от напряжения на его зажимах.



против течения тока.

В начало

В начало

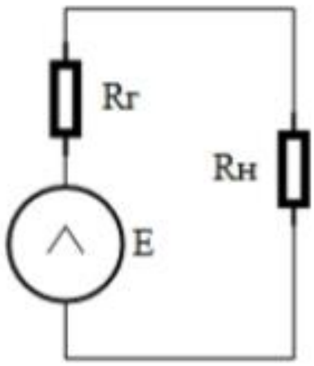
3. Согласованный режим работы источника электрической энергии.

Режим работы источника, при котором на сопротивление нагрузки развивается максимальная мощность.

Достигается при Rгенератра = Rнагрузки ($R_г = R_H$)

При том, что мощность $P = I^2R$ докажем это:

Доказательство:



$$I = \frac{E}{R_г + R_н};$$

$$P_н = I^2 R_н = \frac{E^2 R_н}{(R_г + R_н)^2};$$

$$\frac{\mathrm{d}P_н}{\mathrm{d}R_н} = 0;$$

$$\frac{\mathrm{d}P_н}{\mathrm{d}R_н} = E^2\left(\frac{(R_г + R_н)^2 - R_г \cdot 2(R_н + R_г)}{(R_н + R_г)^2}\right) = 0;$$

$$R_г^2 + 2R_гR_н + R_н^2 - 2R_н(R_г + R_н) = 0;$$

$$R_г^2 + 2R_гR_н + R_н^2 - 2R_гR_н - 2R_н^2 = 0;$$

$$R_г^2 = R_н^2 \Rightarrow R_г = R_н;$$

В начало

В начало

4. Анализ цепи с помощью метода контурных токов (узловых потенциалов).

Метод контурных токов:

1) Выбираем направление действующих токов в ветвях.
2) Выбираем независимые замкнутые контуры в цепи и направления токов в них (по часовой / против часовой). В каждом контуре будет циркулировать собственный ток, а ток в каждой ветви будет равен алгебраической сумме токов в контурах, в которые она входит (с учётом направлений).
3) Для каждого контура составим уравнение по 2-ому закону Кирхгоффа. Получится ($b - y + 1 - b$ист) уравнений, где b - количество ветвей в цепи, y - количество узлов, bист - количество ветвей с источниками тока.
4) Из полученной системы найдём токи для каждого контура.
5) Ток в каждой ветви выразим как алгебраическую сумму токов контуров, в которые она входит (с учётом направлений).
6) Из полученной системы найдём все токи.

Метод узловых потенциалов:

1) Пронумеруем узлы в цепи. Потенциал одного из них примем равным нулю.
2) По 1-ому закону Кирхгоффа составим ($y - u - 1$) уравнений, где y - количество узлов, u - количество источников напряжения, замыкающих узлы.
3) Решим полученную систему.
4) Зная потенциалы всех узлов, по закону Ома выразим токи в ветвях и найдём их.

В начало

В начало

5. Суть метода суперпозиции при анализе электрической цепи и есть ли ограничения на его использование?

Метод суперпозиции:

1) Выделим из исходной схемы n частных схем (n - к-во источников энер- гии), каждая из которых получается из исходной путём исключения (поочерёдно) всех источников, кроме одного.
2) Для каждой частной схемы находим токи в ветвях.
3) Вернёмся к исходной цепи и для каждой ветви найдём алгебраическую сумму всех протекающих по ней частных токов (с учётом направления). Эта сумма и будет результирующим током, протекающим в ветви.

Метод суперпозиции применим только к линейным цепям.
Линейной называется цепь, параметры элементов которой не зависят от действующих на них токов или напряжений (параметры RLC не являются f(u,i)).

В начало

6. Матричное представление методов контурных токов и узловых потенциалов.

Метод контурных токов:

$KZK^T I_K = K(E - ZJ)$, где:

· K — матрица контуров размером $n \times p$ (n - количество независимых контуров, p - количество ветвей), причём:

– $K(i,j) = 0$, если ветвь j не входит в контур j,

– $K(i,j) = 1$, если направление тока в j совпадает с направлением обхода в контуре i,

– $K(i,j) = -1$, если противоположно;

· Z — матрица сопротивлений (диагональная) размером $p \times p$, на главной
диагонали которой расположены сопротивления всех ветвей;

· I_K — столбец контурных токов размером $n \times 1$;

· E — столбец ЭДС в ветвях размером $p \times 1$;
Элементы столбца равны по значению ЭДС в контуре с учётом направления или нулю, если в ветви нет источников ЭДС;

· J — столбец источников тока в ветвях размером $p \times 1$. Аналогично столбцу E.

Метод узловых потенциалов:

$AGA^T \varphi = -A(GE - J)$, где:

· A — матрица соединений размером $(q - 1) \times p$ (q - количество узлов, p - количество ветвей), причём:

– $A(i,j) = 0$, если ветвь j не присоединяется к узлу i,

– $A(i,j) = 1$, если ветвь j присоединяется к узлу i и ток в ней направлен от узла,

– $A(i,j) = -1$, если ветвь j присоединяется к узлу i и ток в ней направлен в узел;

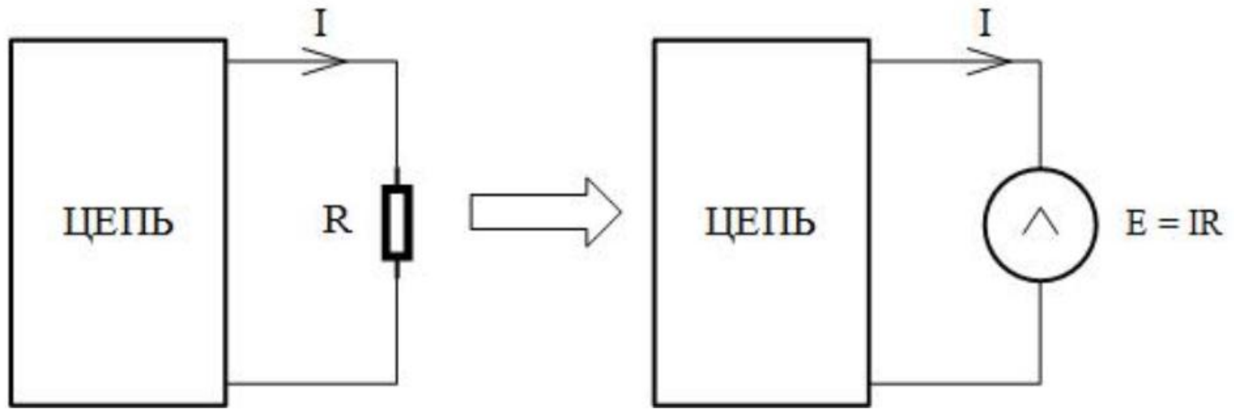
· G — диагональная матрица проводимостей размером $p \times p$;

· φ — столбец потенциалов относительно нулевого размером $(q - 1) \times 1$;

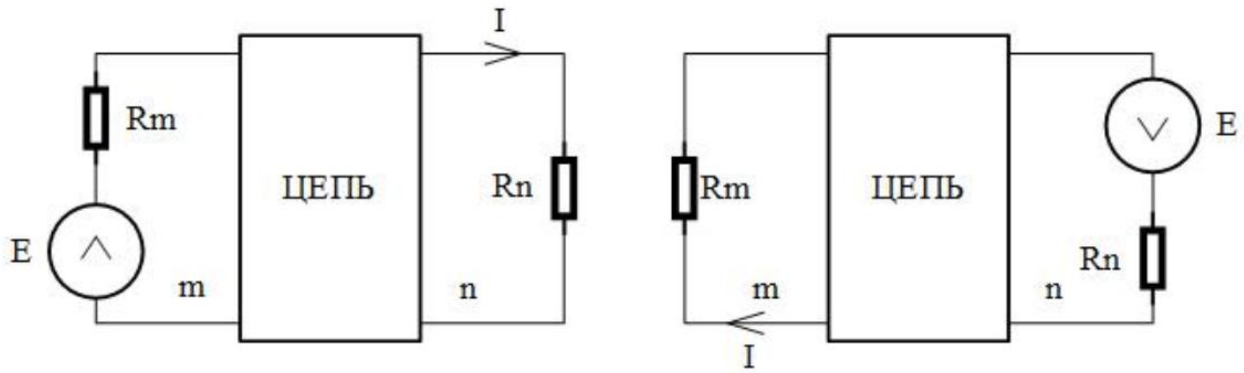
В начало

В начало

7. Суть методов взаимности и компенсации и их использование при анализе электрических цепей.



Теорема о взаимности:
Выделим из сложной схемы две произвольные ветви m и n, в одну из которых включён источник ЭДС. Если источник ЭДС, включённый в ветви m, вызывает в ветви n частичный ток I, то такой же источник, включенный в ветвь n, вызывает в ветви m такой же частичный ток I. Данный принцип применяется при анализе цепей методом суперпозиции при необходимости найти ток в одной из ветвей.



Теорема о компенсации:
Любое сопротивление в цепи можно заменить источником с ЭДС, численно равной падению напряжения на данном сопротивлении и направленной против тока в данном сопротивлении.

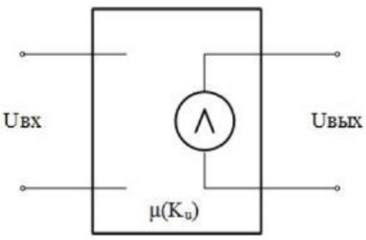
В начало

В начало

8. Зависимые источники тока и напряжений.

Источник напряжения/тока называется зависимым (управляемым), если величина его напряжения/тока зависит от напряжения/тока на другом участке цепи.

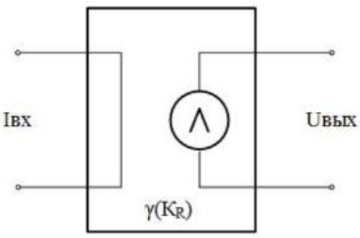
Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН):



μ (или K_U) — коэффициент усиления напряжения.

$U_{\text{вх}} \xrightarrow{\mu} U_{\text{вых}}$

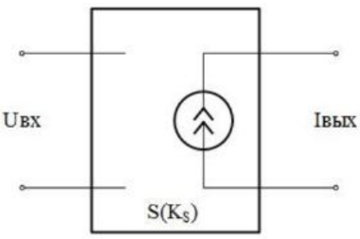
Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ):



γ (или K_R) — передаточное сопротивление.

$I_{\text{вх}} \xrightarrow{\gamma} U_{\text{вых}}$

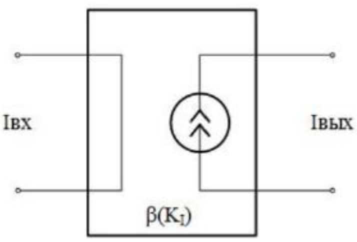
Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН):



S (или K_S) — передаточная проводимость.

$U_{\text{вх}} \xrightarrow{S} I_{\text{вых}}$

Источник тока, управляемый током (ИТУТ):



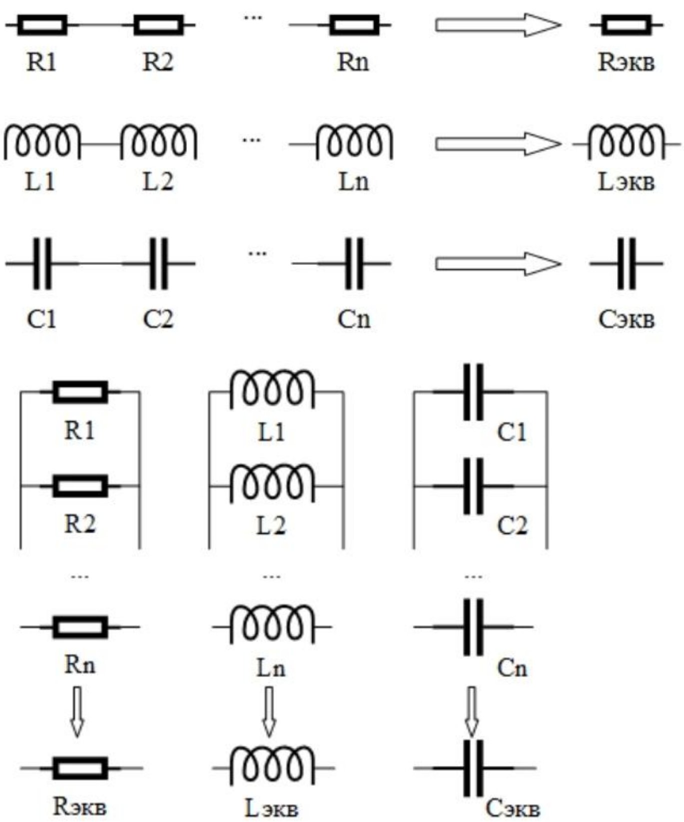
β (или K_I) — коэффициент усиления тока.

$I_{\text{вх}} \xrightarrow{\beta} I_{\text{вых}}$

В начало

9. Методы эквивалентных преобразований электрических цепей.

Принцип эквивалентного преобразования состоит в сведении сложной це- пи к более простой путём замены нескольких элементов одним с сопротивлением (индуктивностью, ёмкостью), определяемым правилами соединений этих элементов.



$$R_{экв} = \sum_{i=1}^{n} R_i;$$

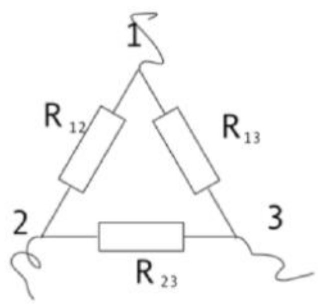
$$L_{экв} = \sum_{i=1}^{n} L_i;$$

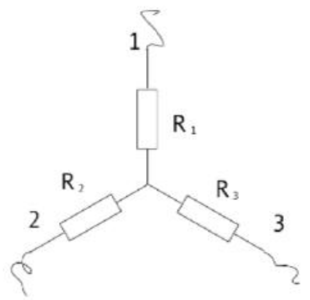
$$\frac{1}{C_{экв}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i};$$

$$\frac{1}{R_{экв}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i};$$

$$\frac{1}{L_{экв}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{L_i};$$

$$C_{экв} = \sum_{i=1}^{n} C_i;$$





Прямое преобразование:

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{23} + R_{13}};$$

$$R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{13}};$$

$$R_3 = \frac{R_{23} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{23} + R_{13}};$$

Обратное преобразование:

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3};$$

$$R_{13} = R_1 + R_3 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2};$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1};$$

В начало

1. Закон Ома для реактивных компонентов цепи.

Реактивный элемент - электрический элемент, способный накопить энергию электрического или магнитного поля, подведённую к нему в виде напряжения или тока от генератора, и затем отдать её в нагрузку.

Если ток является синусоидальным с циклической частотой ω, а цепь содержит не только активные компоненты, но и реактивные (ёмкости, индуктивности), то **закон Ома** обобщается.

Величины, входящие в него, становятся комплексными:

$\dot{U} = \dot{I}\dot{Z}$, где

$\dot{U} = U_0 e^{j\varphi}$— напряжение на участке цепи,

$\dot{I} = I_0 e^{j\varphi}$ - ток ветви, причем:

U_0, I_0 - амплитудные значения напряжения и тока,

$\varphi = \omega t + \varphi_0$ - фаза, φ_0 - начальная фаза,

$$\dot{Z} = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

Закон Ома в дифференциальной форме:

$\vec{j} = \sigma \vec{E}$,

· $\vec{j}$ — вектор плотности тока,

· σ — удельная проводимость,

· $\vec{E}$ — вектор напряжённости электрического поля.

В начало

В начало

2. Анализ электрической цепи методом комплексных амплитуд.

Метод комплексных амплитуд:

1. Заменяем все реактивные элементы их импедансами (полными сопротивлениями), а все токи и напряженния рассматриваем в виде комплексных амплитуд:

$$\dot{Z}_R = R; \quad \dot{Z}_L = j\omega L; \quad \dot{Z}_C = -\frac{j}{\omega C};$$

$$\dot{U} = U_0 e^{j\varphi}; \quad \dot{I} = I_o e^{j\varphi};$$

2. Импедансы трактуем как обычные сопротивления, а комплексные амплитуды как обычные токи и напряжения, чем сводим задачу к расчёту цепи при постоянном напряжении.

3. Составив систему уравнений для комплексных амплитуд в соответствии с любым методом анализа резистивных цепей, решаем её и находим комплексные величины искомых токов и напряжений.

В начало

В начало

3. Мощность в электрической цепи синусоидального тока. Баланс мощностей.

Мгновенная и активная мощность:

Мгновенная мощность — значение мощности в момент времени t:

$$p(t) = i(t) \cdot u(t),$$

где $i(t)$ и $u(t)$ - мгновенные значения тока и напряжения в момент времени t.

Активная мощность — среднее за период T значение мгновенной мощности:

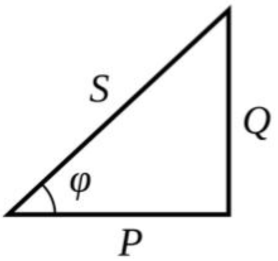
$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\mathrm{d}t = \frac{1}{T}\int_0^T U_0 \sin{(\omega t)} \cdot I_0 \sin{(\omega t - \varphi)}\mathrm{d}t =$$

Продолжение на некст стр.

$$= \frac{U_0 I_0}{2T} \int_0^T \Big(\cos\varphi - \cos(2\omega t - \varphi)\Big)\mathrm{d}t = \frac{U_0 I_0}{2}\cos\varphi = UI\cos\varphi,$$

где

- $U = \dfrac{U_0}{\sqrt{2}}$ и $I = \dfrac{I_0}{\sqrt{2}}$ — действующие значения напряжения и тока,
- $\cos\varphi$ — коэффициент мощности.



$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI;$$

$[S]$ = вольт-ампер (ва).

Баланс мощностей:

Баланс мощностей является следствием закона сохранения энергии: суммарная мощность, вырабатываемая источниками электрической энергии равна сумме мощностей, потребляемой в цепи.

В начало

Действующее значение:

Действующим значением переменного тока/напряжения называют такой постоянный ток/напряжение, который за время равное периоду (T) выделяет в сопротивление R, такую же энергию, что и переменный ток.

$$\int_0^T i^2(t)R\mathrm{d}t = I^2RT \Rightarrow I = \frac{I_0}{\sqrt{2}};$$

Реактивная мощность:

Реактивной называется мощность, которая потребляется и затем возвращается нагрузкой из-за её реактивных свойств:

$$Q = UI\sin\varphi;$$

Единица измерения реактивной мощности – вольт-ампер реактивный: $[Q]$ = вар.

Полная мощность:

Значение полной мощности S определяется с помощью треугольника мощностей:

4. Комплексная передаточная функция электрической цепи. Какую информацию из нее можно получить?

Комплексная передаточная функция (коэффициент передачи) определяет реакцию цепи на внешнее воздействие и равна отношению выходной величины (напряжение, ток) к входной (напряжение, ток), выраженной в комплексной форме.

Различают 4 вида передаточных функций:

- по напряжению: $\dot{K}_U = \dfrac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}}$;
- по току: $\dot{K}_I = \dfrac{\dot{I}_{\text{вых}}}{\dot{I}_{\text{вх}}}$;
- передаточное сопротивление: $\dot{K}_R = \dfrac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{I}_{\text{вх}}}$;

$$\left|\dot{K}(j\omega)\right| = \sqrt{\mathrm{Re}^2[\dot{K}(j\omega)] + \mathrm{Im}^2[\dot{K}(j\omega)]};$$

- ФЧХ (фазо-частотная характеристика) — зависимость разности фаз

Из передаточной функции можно получить:

- АЧХ (амплитудно-частотную характеристику) — зависимость модуля передаточной функции $\dot{K}(\omega)$ от частоты:

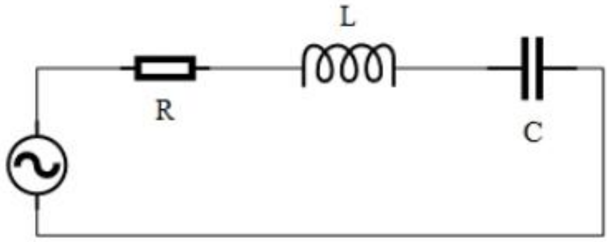
$$\varphi(\omega) = \mathrm{arctg}\left(\frac{}{\mathrm{Re}[\dot{K}(j\omega)]}\right);$$

В начало

В начало

В начало

5. Связь между током и напряжением в последовательно резонансном контуре. Влияние сопротивления потерь на его свойства.



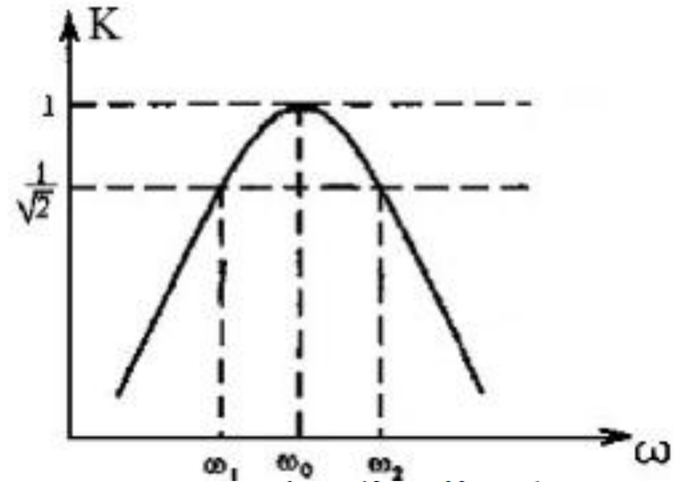
Резонанс напряжений в последовательном колебательном контуре:

1. Полное сопротивление электрической цепи переменного тока принимает минимальное значение и оказывается равным её активному сопротивлению:

$$X_L = X_C \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R;$$

$X_L = X_C \Rightarrow \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ - резонансная частота.

$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ·



2. При неизм … ıst) при резонансе напряжен … ıия:

3. Коэффицие …

т.е. принимает наибольшее значение, которому соответствует угол $\varphi = 0$. Это означает, что вектор тока $\dot{I}$ и вектор напряжения $\dot{U}$ при этом совпадают по направлению.

4. Активная мощность при резонансе $P = RI^2$ имеет наибольшее значение, равное полной мощности S, а реактивная мощность Q цепи равна нулю.

5. Напряжения на ёмкости и индуктивности оказываются равными:

$$U_C = U_L = X_C I = X_L I;$$

Напряжение на активном сопротивлении оказывается равным напряжению питающей сети:

$$U_R = U;$$

В начало

В начало

Добротность:

Добротность — параметр колебательной системы, определяющий ширину резонанса и характеризующий, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за время изменения фазы на 1 радиан.

Добротность последовательного колебательного контура:

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R};$$

Добротность регулирует ширину полосы пропускания колебательного контура.

Полоса пропускания — диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) колебательного контура достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.

Ширина полосы пропускания:

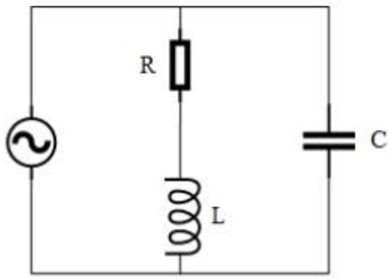
$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q};$$

В начало

В начало

В начало

6. Связь между током и напряжением в параллельно резонансном контуре. Влияние сопротивления потерь на его свойства.



Резонанс токов в параллельном колебательном контуре:

1. При резонансе токов полная проводимость всей электрической цепи приобретает минимальное значение и становится равной её активной составляющей:

$$B_L = B_C \Rightarrow Y = \sqrt{G^2 + (B_L^2 - B_C^2)} = G;$$

$B_L = B_C \Rightarrow \dfrac{1}{\omega_0 L} = \omega_0 C \Rightarrow \omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ - резонансная частота.

$\rho = \sqrt{\dfrac{L}{C}}$ - волновое сопротивление.

2. Минимальное занчение проводимости обуславливает минимальное значение тока цепи:

$$I = YU = GU;$$

3. Ёмкостной ток I_C и индуктивная составляющая тока I_L катушки оказываются при этом равными по величине, а активная составляющая тока катушки $I_а$ становится равной току I, потребляемому из сети:

$$I_L = B_L U = B_C U = I_C;$$
$$I_а = GU = YU = I;$$

4. Реактивная составляющая полной мощности цепи при $B_L = B_C$ оказывается равно нулю:

$$Q = B_L U^2 - B_C U^2 = Q_L - Q_C = 0;$$

5. Полная мощность цепи при резонансе равна её активной составляющей:

$$S = YU^2 = GU^2 = P;$$

6. Коэффициент мощности всей цепи при резонансе:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{GU^2}{YU^2} = 1;$$

Напряжение и ток электрической цепи при резонансе совпадают по фазе.

Добротность:

Добротность — параметр колебательной системы, определяющий ширину резонанса и характеризующий, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за время изменения фазы на 1 радиан.

Добротность параллельного колебательного контура:

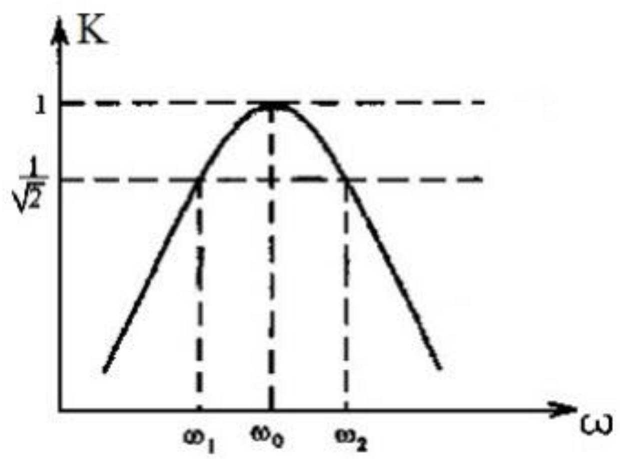
$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 CR;$$

Добротность регулирует ширину полосы пропускания колебательного контура.

Полоса пропускания — диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) колебательного контура достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.

Ширина полосы пропускания:

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q};$$



7. Фильтры верхних частот. Связь между полосой пропускания и параметрами деталей фильтра.

Фильтры представляю собой четырехполюсники, устанавливаемые между источником питания и нагрузкой, назначение которых заключается в том, что они пропускают без затухания или с малым затуханием токи одних частот, и не пропускают, или пропускают с большим затуханием токи других частот.

Диапазон частот, пропускаемых без затухания, называется полосой пропускания.

Фильтр верхних частот пропускает только высокие частоты и задерживает низкие.

Простейший электронный фильтр верхних частот состоит из последовательно соединённых конденсатора и резистора.

Фильтр может быть реализован, например, из последовательно соединенных катушки и резистора, где напряжение снимается с катушки.

Определим частоту среза.

$$\dot{K} = \frac{i\omega L}{R + i\omega L} \tag{54}$$

$$|K| = \sqrt{\frac{\omega^2 L^2 R^2}{(R^2 + \omega^2 L^2)^2} + \frac{\omega^4 L^4}{(R^2 + \omega^2 L^2)^2}} \tag{55}$$

$$|K| = \frac{|\omega|\ |L|}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} = \sqrt(2) \tag{56}$$

$$\omega = \frac{R}{L} \tag{57}$$

В начало

8. Фильтры низких частот. Связь между полосой пропускания и параметрами деталей фильтра.

Пропускает низкие чистоты, не пропускает верхние.

Фильтр может быть реализован, например, из последовательно соединенных конденсатора и резистора, где напряжение снимается с конденсатора.

Определим частоту среза.

$$\dot{K} = -\frac{i}{\omega\, C\, \left(R - \frac{i}{\omega\, C}\right)} \tag{58}$$

$$|K| = \sqrt{\frac{R^2}{\omega^2\, C^2\, \left(R^2 + \frac{1}{\omega^2\, C^2}\right)^2} + \frac{1}{\omega^4\, C^4\, \left(R^2 + \frac{1}{\omega^2\, C^2}\right)^2}} \tag{59}$$

$$|K| = \frac{1}{\sqrt{\omega^2\, C^2\, R^2 + 1}} = \sqrt(2) \tag{60}$$

$$\omega = \frac{1}{CR} \tag{61}$$

В начало

В начало

9. Четырехполюсники. Способы формирования описания поведения четырехполюсника. Система параметров.

Четырехполюсником называется часть электрической цепи или схемы, содержащая два входных вывода (полюса) для подключения источника энергии и два выходных вывода для подключения нагрузки. К четырехполюсникам можно отнести различные по назначению технические устройства: двухпроводную линию, двухобмоточный трансформатор, фильтры частот, усилители сигналов и др.
Теория четырехполюсников устанавливает связь между режимными параметрами на входе (U1, I1) и режимными параметрами на его выходе (U2, I2), при этом процессы, происходящие внутри четырехполюсника, не рассматриваются. Таким образом, единая теория четырехполюсника позволяет анализировать различные по структуре и назначению электрические цепи, которые могут быть отнесены к классу четырехполюсников.
Если четырехполюсник не содержит внутри себя источников энергии, то он **называется пассивным** (обозначается буквой П), если внутри четырехполюсника имеются источники, то он называется **активным** (обозначается буквой А).

Установим связь между параметрами режима входа ($\underline{U}1$, $\underline{I}1$) и выхода ($\underline{U}2$, $\underline{I}2$). Для этой цели согласно теореме о компенсации заменим нагрузку Z2 источником ЭДС E2 = U2 = I_2Z_2 и найдем токи по методу наложения от каждого ис¬=точника в отдельности (рис. 75.2 а, б):

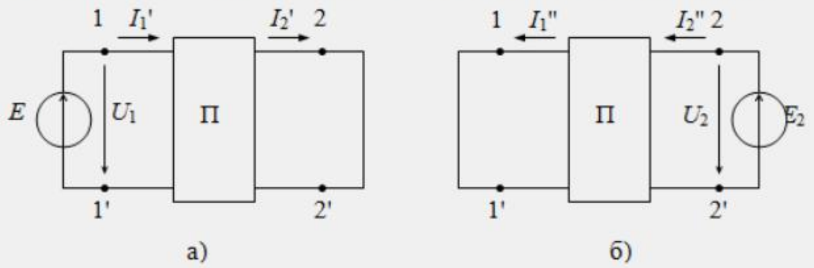


Рис. 75.2

$$\begin{cases} \underline{I}_1 = \underline{I}_1' - \underline{I}_1'' = \underline{U}_1\underline{Y}_{11} - \underline{U}_2\underline{Y}_{21} \\ \underline{I}_2 = \underline{I}_2' - \underline{I}_2'' = \underline{U}_1\underline{Y}_{12} - \underline{U}_2\underline{Y}_{22}, \end{cases}$$

где $\underline{Y}_{11}$, $\underline{Y}_{22}$ – входные проводимости входа и выхода, $\underline{Y}_{12} = \underline{Y}_{21}$ – взаимная проводимость между входом и выходом.

Установим связь между параметрами режима входа ($\underline{U}1$, $\underline{I}1$) и выхода ($\underline{U}2$, $\underline{I}2$). Для этой цели согласно теореме о компенсации заменим нагрузку Z2 источником ЭДС E2 = U2 = I_2Z_2 и найдем токи по методу наложения от каждого ис¬=точника в отдельности (рис. 75.2 а, б):

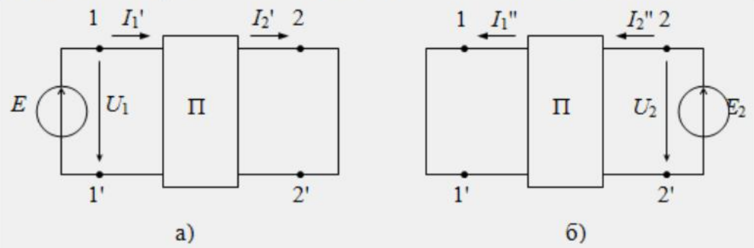


Рис. 75.2

$$\begin{cases} \underline{I}_1 = \underline{I}_1' - \underline{I}_1'' = \underline{U}_1\underline{Y}_{11} - \underline{U}_2\underline{Y}_{21} \\ \underline{I}_2 = \underline{I}_2' - \underline{I}_2'' = \underline{U}_1\underline{Y}_{12} - \underline{U}_2\underline{Y}_{22}, \end{cases}$$

где $\underline{Y}_{11}$, $\underline{Y}_{22}$ – входные проводимости входа и выхода, $\underline{Y}_{12} = \underline{Y}_{21}$ – взаимная проводимость между входом и выходом.

В начало

В начало

Выразим из полученных уравнений режимные параметры на входе:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \frac{\underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{12}} + \underline{I}_2 \frac{1}{\underline{Y}_{12}} = \underline{A} \cdot \underline{U}_2 + \underline{B} \cdot \underline{I}_2$$

$$\underline{I}_1 = \underline{U}_2 \left(\frac{\underline{Y}_{11} \underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{12}} - \underline{Y}_{21} \right) + \underline{I}_2 \frac{\underline{Y}_{11}}{\underline{Y}_{12}} = \underline{C} \cdot \underline{U}_2 + \underline{D} \cdot \underline{I}_2,$$

где $\underline{A} = \frac{\underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{21}} [-]$; $\underline{B} = \frac{1}{\underline{Y}_{12}} [\text{Ом}]$; $C = \frac{\underline{Y}_{11} \cdot \underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{12}} - Y_{21} [\text{См}]$; $\underline{D} = \frac{\underline{Y}_{11}}{\underline{Y}_{12}} [-]$

– комплексные коэффициенты четырехполюсника.

С учетом принятых обозначений система основных уравнений четырехполюсника получит вид:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{A} \cdot \underline{U}_2 + \underline{B} \cdot \underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 &= \underline{C} \cdot \underline{U}_2 + \underline{D} \cdot \underline{I}_2 \end{aligned}$$

–система основных уравнений четырехполюсника формы A.

Уравнения четырехполюсника часто записывают в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} \text{ или } \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_1 \end{bmatrix} = [A] \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix},$$

где $[A] = \begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A}_{11} & \underline{A}_{12} \\ \underline{A}_{21} & \underline{A}_{22} \end{bmatrix}$ – матрица коэффициентов формы A.

Выразим соотношение между коэффициентами четырехполюсника:

$$\underline{A} \cdot \underline{D} - \underline{B} \cdot \underline{C} = \frac{\underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{21}} \cdot \frac{\underline{Y}_{11}}{\underline{Y}_{12}} - \frac{1}{\underline{Y}_{12}} \cdot \left(\frac{\underline{Y}_{11} \underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{12}} - \underline{Y}_{21} \right) = 1$$

$\underline{A} \cdot \underline{D} - \underline{B} \cdot \underline{C} = 1$ – уравнение связи между коэффициентами. Уравнение связи показывает, что независимыми являются только три из четырех коэффициентов четырехполюсника.

Четырехполюсник называется симметричным, если перемена местами входных и выходных выводов не влияет на режим остальной цепи, частью ко¬торой является четырёхполюсник. Для симметричного четырёхполюсника выполняются следующие условия:

$\dot{A} = \dot{D}$ $\dot{A}^2 - \dot{B}\dot{C} = 1$

В начало

В начало

В начало

1. Классический метод анализа переходных процессов в электрических цепях.

Классический метод заключается в интегрировании дифференциальных уравнений, описывающих электромагнитное состояние цепи. Решение дифференциального уравнения представляет собой сумму принужденной и свободной составляющих. В общем случае методика расчета переходных процессов классическим методом включает следующие этапы:

1. Запись выражения для искомой переменной в виде:

(1) $$x(t) = x_{ПР} + x_{СВ}$$

2. Нахождение принужденной составляющей общего решения на основании расчета установившегося режима послекоммутационной цепи.

3. Составление характеристического уравнения и определение его корней. Запись выражения свободной составляющей в форме, определяемой типом найденных корней.

$$x_{CB} = \sum_{k=1}^{n} A_k e^{p_K t}$$

4. Подстановка полученных выражений принужденной и свободной составляющих в соотношение (1).

5. Определение начальных условий и на их основе – постоянных интегрирования.

В начало

В начало

В начало

2. Характеристическое уравнение электрической цепи и метод его получения.

Дифференциальное уравнение:

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + ... + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = 0$$

Характеристическое уравнение:

$$a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + ... + a_1 p + a_0 = 0$$

Методы получения характеристического уравнения:
1. Непосредственно на основе д.у.;
2. Приравнивание нулю главного определителя системы уравнений Кирхгофа для свободных составляющих переменных;
3. Приравнивание нулю входного операторного сопротивления схемы относительно любой ее ветви.

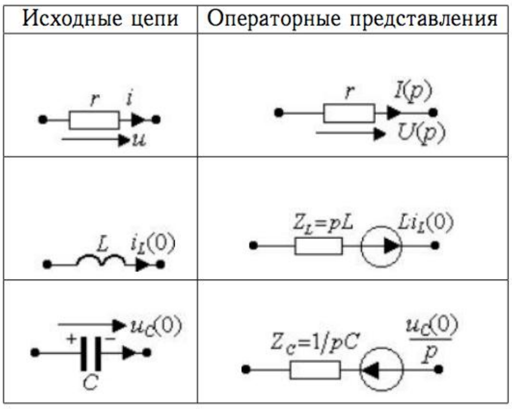
Корни характеристического уравнения характеризуют свободный переходной процесс в схеме без источников энергии. Такой процесс протекает с потерями энергии и поэтому затухает во времени. Из этого следует, что корни характеристического уравнения должны быть отрицательными или иметь отрицательную действительную часть.

В начало

В начало

3. Операторная схема замещения электрических цепей при нулевых и ненулевых начальных условиях.

Начальными условиями называют значения действующих токов в индуктивностях и напряжений на емкостях, т.е. те величины, которые в момент коммутации (t=0) не изменяются скачком.



Если начальные условия нулевые, операторные схемы замещения ёмкостного и индуктивного элементов упрощаются: из них исключаются источники ЭДС.

В начало

В начало

4. Этапы анализа цепи электрической цепи операторным методом.

1) Исходную цепь заменить на её операторное представление с учётом начальных условий;
2) Выразить в операторном виде необходимую величину;
3) Перейти от операторного выражения к оригиналу при помощи обратного преобразования Лапласа:

   Операторное выражение:

$$F(p)=\frac{M(p)}{N(p)}$$

   Оригинал:

$$f(t)=\sum_{k=1}^{n}\frac{M(p_k)}{N'(p_k)}e^{p_K t}$$

   где pk — k-ый корень уравнения N(p) = 0

В начало

В начало

5. Связь между операторной передаточной функцией цепи и её переходной характеристикой.

Операторная передаточная функция — характеристика переходного процесса в цепи при данных начальных условиях:

$$K(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)};$$

Переходная характеристика — характеристика переходного процесса, равная отношению реакции цепи на ступенчатое воздействие к величине этого воздействия при нулевых начальных условиях

$$h(t) = \frac{U_{\text{вых}}(t)}{U}$$

$$K(p) = \frac{L[U_{\text{вых}}(t)]}{L[U]} = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{\frac{U}{p}} = p\,\frac{U_{\text{вых}}(p)}{U} = p\,h(p) \Rightarrow h(p) = \frac{K(p)}{p};$$

В начало

В начало

В начало

6. Прямое и обратное преобразование Лапласа и их применения для анализа электрических цепей.

Оригинал — функция $f(t)$ от вещественной переменной времени t.

Изображение — функция $F(p)$ от комплексной переменной p.

Переход от $f(t)$ к $F(p)$ (прямое преобразование):

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

Переход от $F(t)$ к $f(p)$ (обратное преобразование):

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma - j\infty}^{\sigma + j\infty} F(p) e^{pt}\, dp$$

Таблица прямого и обратного преобразвания:

$f(t)$	A	$e^{\pm \alpha t}$	$\sin(\omega t)$	$\cos(\omega t)$	$\ldots$
$F(p)$	$\frac{A}{p}$	$\frac{1}{p \mp \alpha}$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$	$\ldots$

В начало

В начало

7. Анализ переходных процессов в нелинейных электрических цепях.

Переходные процессы в нелинейных электрических цепях описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, общих методов интегрирования которых не существует. На нелинейные цепи не распространяется принцип суперпозиции, поэтому основанные на нем методы, в частности классический, для расчета данных цепей не применимы.

Переходный процесс в нелинейной цепи может характеризоваться переменной скоростью его протекания в различные интервалы времени. Поэтому понятие постоянной времени в общем случае не применимо для оценки интенсивности протекания динамического режима.

Отсутствие общности подхода к интегрированию нелинейных дифференциальных уравнений обусловило наличие в математике большого числа разнообразных методов их решения, нацеленных на различные типы уравнений. Применительно к задачам электротехники все методы расчета по своей сущности могут быть разделены на три группы:

– аналитические методы – графические методы

– численные методы, основанные на замене дифференциальных уравнений алгебраическими для приращений переменных за соответствующие интервалы времени.

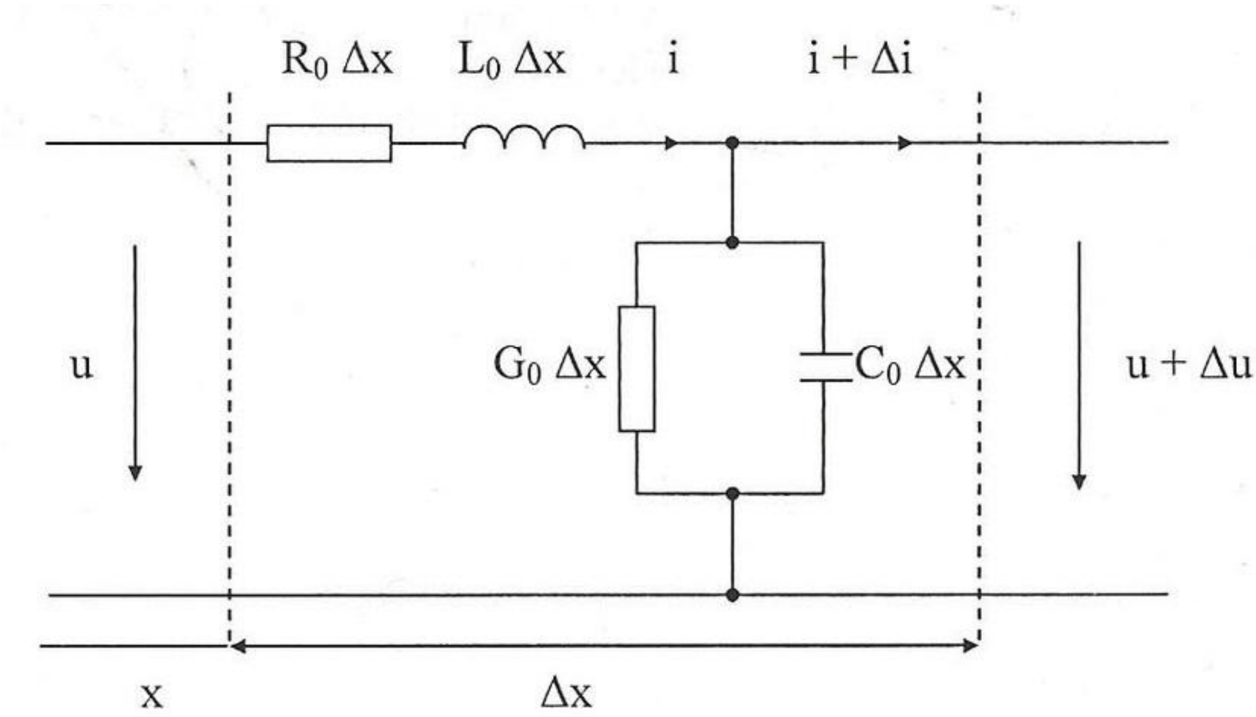
В начало

В начало

8. Длинные линии.

Линия передачи — устройство, ограничивающее область распространения электромагнитных колебаний и направляющее поток электромагнитной энергии в заданном направлении.
Длинная линия — модель линии передачи, продольный размер (длина) которой превышает длину волны, распространяющейся в ней (либо сравнима с длиной волны), а поперечные размеры значительно меньше длины волны.

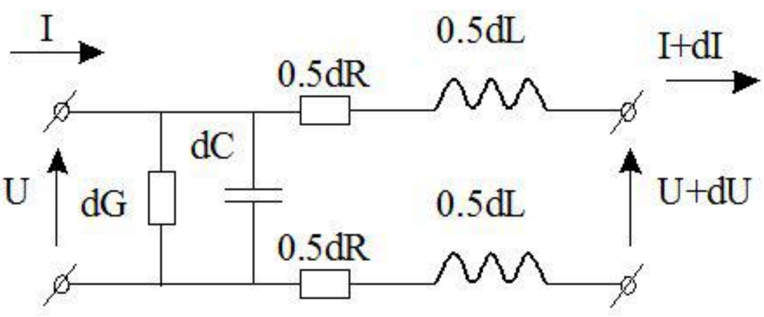
Элементарный участок длинной линии:



Свойства:
Длинная линия относится к четырехполюсникам. Характерной особенностью длинной линии является проявление интерференции двух волн, распространяющихся навстречу друг другу. Одна из этих волн создается подключенным ко входу линии генератором электромагнитных колебаний и называется падающей. Другая волна называется отражённой и возникает из-за частичного отражения падающей волны от нагрузки, подключенной к выходу линии.

Первичные параметры длинной линии:
Сопротивление единицы длины линии $R0$ [Ом/м];
Индуктивность единицы длины линии $L0$ [Гн/м];
Емкость единицы длины линии $C0$ [Ф/м];

$$\begin{cases} dR = R_0 dz \\ dG = G_0 dz \\ dL = L_0 dz \\ dC = C_0 dz \end{cases}$$



В начало

В начало

Проводимость единицы длины линии G0 [1/Ом*м].

Стрелками обозначены направления отсчета напряжения *U* и тока *I* в линии; *dU* и *dI* — приращения напряжения и тока в линии на элементе длины *dz.*

Это вторичные параметры длинной линии.

Коэффициент распространения, то есть характеристическая мера передачи длинной линии:

$$\gamma = \sqrt{Z_0 Y_0} = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} = \alpha + j\beta$$

α — коэффициент затухания волны

β — коэффициент фазы

Волновое сопротивление, то есть характеристическое сопротивление однородной длинной линии:

$$W = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}}$$

Коэффициент отражения определяет отношение отраженной волны к падающей в конце длинной линии:

$\boldsymbol{N = U_{отр}/U_{пад} = I_{отр}/I_{пад} = (Z_H - Z_B) / (Z_H + Z_B)}$

где Z_H – сопротивление нагрузки длинной линии; Z_B – волновое сопротивление.

В начало

9. Анализ электрических цепей на основе метода переменных состояний.

Метод переменных состояния

Уравнения элекромагнитного состояния – это система уравнений, определяющих режим работы (состояние) электрической цепи.

Метод переменных состояния основывается на упорядоченном составлении и решении системы дифференциальных уравнений первого порядка, которые разрешены относительно производных, т.е. записаны в виде, наиболее удобном для применения численных методов интегрирования, реализуемых средствами вычислительной техники.

Количество переменных состояния, а следовательно, число уравнений состояния равно числу независимых накопителей энергии.

К уравнениям состояния выдвигаются два основных требования:

-независимость уравнений;

-возможность восстановления на основе переменных состояния (переменных, относительно которых записаны уравнения состояния) любых других переменных.

Последовательность расчета переходного процесса методом переменных состояния выглядит так:

1. Производится расчет схемы в установившемся режиме до коммутации и определяются независимые начальные условия $i_L(0)$ и $u_C(0)$.
2. Составляется система дифференциальных уравнений по законам Кирхгофа для схемы после коммутации.
3. Методом исключения ''лишних'' переменных система уравнений Кирхгофа преобразуется в систему уравнений Коши, составляются матрицы коэффициентов.
4. Выбирается расчетное время (продолжительность переходного процесса) и число шагов интегрирования N.
5. Решение задачи выполняется на ЭВМ по стандартной программе. Выходную функцию получают в виде графической диаграммы x=f(t)или в виде таблицы координат функций для заданных моментов времени.

В начало

В начало

Еще возможные вопросы:

1. Преобразование передаточной операторной функции в оригинал при различных видах корней характеристического уравнения.
2. Трансформаторы. Основные характеристики и уравнения. Свойства.
3. Интегральные и диф. RC цепи. При каких условиях измерения этих цепей будет минимальная погрешность?
4. Интегрирующие и дифференцирующие RL-цепи. При каком условии изменение сигнала будет с минимальными погрешностями?
5. По характеру графика в последовательных RL,RC-цепях с ненулевыми начальными условиями определить постоянную времени.
6. Теорема об эквивалентном генераторе. От чего зависят характеристики эквивалентного генератора?
7. Набегающие и отраженные волны в длинной линии. Коэффициенты отражения по току и напряжению.
8. Чем определяется порядок и характер переходных процессов?
9. Свободная и принужденная составляющая переходных процессов. С какой скоростью протекают? Как определить эту скорость?
10. Доказать с физической точки зрения присутствие в RLC-цепи переходных процессов.
11. Какова частота и вид возбужденных в последовательной RLC-цепи колебаний? В течение какого времени они происходят?
12. Нелинейные цепи
13. Преобразования Фурье

В начало

В начало

В начало

1. Преобразование передаточной операторной функции в оригинал при различных видах корней характеристического уравнения.

Также здесь

Операторное выражение:

$$F(p) = \frac{M(p)}{N(p)}$$

Передаточная операция:

$$f(t) = \sum_{k=1}^{n} \frac{M(p_k)}{N'(p_k)} e^{-p_k t}$$

Корни p нужно находить из уравнения $N(p) = 0$

1. Два действительных неравных отрицательных корня:

$$y_{\text{св}}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t},$$

где

- A_1 и A_2 - постоянные интегрирования;
- p_1 и p_2 - корни характеристического уравнения.

2. Два действительных равных отрицательных корня:

$$p_1 = p_2 = p < 0;$$

$$y_{\text{св}}(t) = (A_1 + A_2 t)e^{pt};$$

Характер переходного процесса при равных корнях характеристического уравнения получил название **критического**. Критический характер переходного процесса является граничным между затухающим и колебательным и по форме ничем не отличается от затухающего.

3. Два комплексно-сопряжённых корня:

$$p_1 = -\delta + j\omega_0; \quad p_2 = -\delta - j\omega_0; \quad \delta > 0;$$

$$y_{\text{св}}(t) = Ae^{-\delta t} \sin(\omega_0 t);$$

В результате будут наблюдаться синусоидальные колебания с апмлитудой, уменьшающейся по экспоненциальному закону, то есть процесс будет **затухающим**.

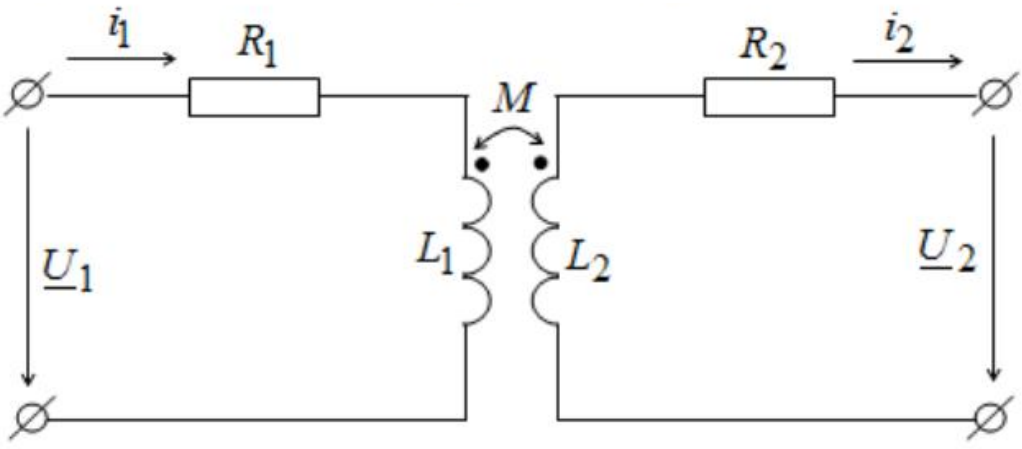
В начало

В начало

2. Трансформаторы. Основные характеристики и уравнения. Свойства.

Трансформатор представляет собой аппарат, передающий энергию из одной цепи в другую посредством электромагнитной индукции. Он применяется для различных целей, но чаще всего предназначается для преобразования величин переменных напряжений и токов. Трансформатор состоит из двух или нескольких индуктивно связанных обмоток, насаженных на общий сердечник.

На рисунке активные сопротивления обмоток условно вынесены и изображены отдельно. Обмотка трансформатора, присоединяемая к источнику питания, называется первичной, а обмотка, к которой подключается нагрузка – вторичной.



Уравнения:

$$\begin{cases} u_1 = R_1 i_1 + L\dfrac{di_1}{dt} - M\dfrac{di_2}{dt} \\ -u_2 = R_2 i_2 + L\dfrac{di_2}{dt} - M\dfrac{di_1}{dt} \end{cases}$$

В комплексной форме:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = (R_1 + j\omega L_1)\dot{I}_1 - j\omega M\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = (R_2 + j\omega L_2)\dot{I}_2 - j\omega M\dot{I}_1 \end{cases}$$

Важным свойством трансформатора, используемым в устройствах автоматики и радиоэлектроники, является сопротивление нагрузки. Если к источнику переменного тока подключить нагрузку с сопротивлением R трансформации n, то для цепи источника

$$R = \frac{P_1}{I_1^2} \approx \frac{P_2}{I_1^2} \approx \frac{I_2^2 R}{I_1^2} \approx n^2 R$$

где: P1 – мощность, потребляемая трансформатором от источника переменного тока, Вт;

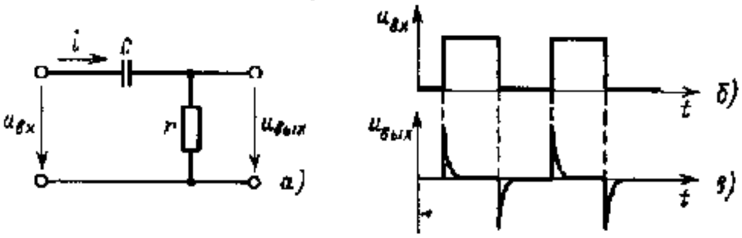
Отношение ЭДС Eвн обмотки высшего напряжения к ЭДС Eнн обмотки низшего напряжения (или отношени коэффициентом трансформации

$$n = \frac{E_{vn}}{E_{nn}} = \frac{W_{vn}}{W_{nn}}$$

В начало

В начало

3. Интегральные и диф. RC цепи. При каких условиях измерения этих цепей будет минимальная погрешность?



Дифференцирующей цепью называют линейный четырехполюсник, у которого выходное напряжение пропорционально производной входного напряжения. Принципиальная схема дифференцирующей *rC*-цепи*.* Выходное напряжение $u_{\text{ВЫХ}}$ снимается с резистора *r*. По второму закону Кирхгофа:

Заметим, что дифференцирование будет тем точнее, чем меньше τ, но при уменьшении *r* снижается выходное напряжение $u_{\text{ВЫХ}}$.

$$u_{вх} = u_r + u_C = ri + \frac{1}{C}\int i\,dt. \qquad (5.2)$$

Так как $u_{вых} = r_i$, то $u_{вх} = u_{вых} + \frac{1}{rC}\int u_{вых}\,dt$, или

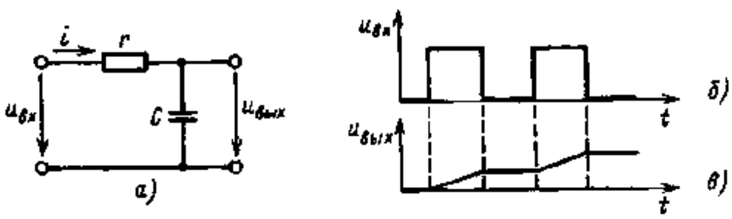
$$\frac{du_{вх}}{dt} = \frac{du_{вых}}{dt} + \frac{1}{rC}u_{вых}.$$

Параметры *rC*-цепи выбираются так, чтобы ее постоянная времени τ = *Cr* была достаточно мала. В этом случае

$$\frac{du_{вых}}{dt} << \frac{1}{rC}u_{вых}, . \quad \frac{du_{вх}}{dt} \approx \frac{1}{rC}u_{вых},$$

а следовательно,

$$u_{вых} = rC\frac{du_{вх}}{dt}.$$



Интегрирующей цепью называют линейный четырехполюсник, выходное напряжение которого пропорционально интегралу входного напряжения.
Выходное напряжение снимается с конденсатора *С.* Исходным остается уравнение (5.2).

уравнение (5.2). Однако в этом случае $u_{вых} = \frac{1}{C}\int i\,dt$, а так как $i = C du_{вых}/dt$, то

$$u_{вх} = rC\frac{du_{вых}}{dt} + u_{вых}.$$

Параметры *rC*-цепи подобраны так, что $rC\,du_{вых}/dt >> u_{вых}$, а следовательно,

$$u_{вх} \approx rC\,du_{вых}/dt,$$

или

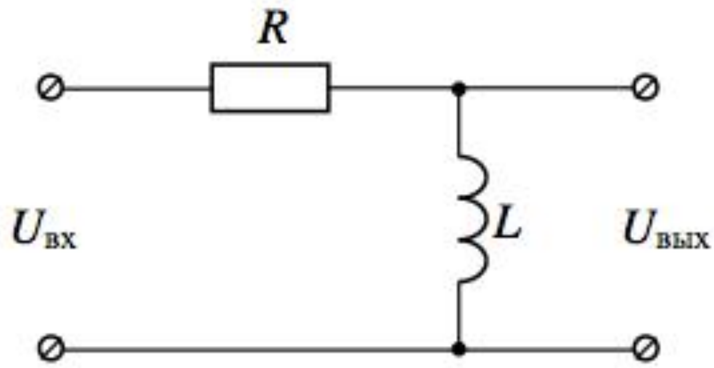
$$u_{вых} = \frac{1}{rC}\int u_{вх}\,dt.$$

Заметим, как и при дифференцировании, что чем точнее проводится интегрирование, тем меньше выходное напряжение $u_{\text{ВЫХ}}$.

В начало

В начало

4. Интегрирующие и дифференцирующие RL-цепи. При каком условии изменение сигнала будет с минимальными погрешностями?



Дифференцирующей цепью называют линейный четырехполюсник, у которого выходное напряжение пропорционально интегралу входного напряжения. Принципиальная схема дифференцирующей *RL*-цепи приведена на рис. Выходное напряжение $u_{вых}$ снимается с катушки *L*. По второму закону Кирхгофа

$$u_{вых} = L\frac{dI}{dt} \Rightarrow I = \frac{1}{L}\int\frac{u_{вых}}{dt}$$

$$u_{вх} = \frac{R}{L}\int\frac{u_{вых}}{dt} + u_{вых}.$$

Параметр $\frac{R}{L}$ - цепи подобраны так, что $\frac{R}{L}\int\frac{u_{вых}}{dt} \gg u_{вых} \Rightarrow$

$$\Rightarrow u_{вх} \approx \frac{R}{L}\int\frac{u_{вых}}{dt}$$

или $$u_{вых} = \frac{L}{R}\cdot\frac{d\,u_{вх}}{dt}$$

Дифф-ая RL цепь.

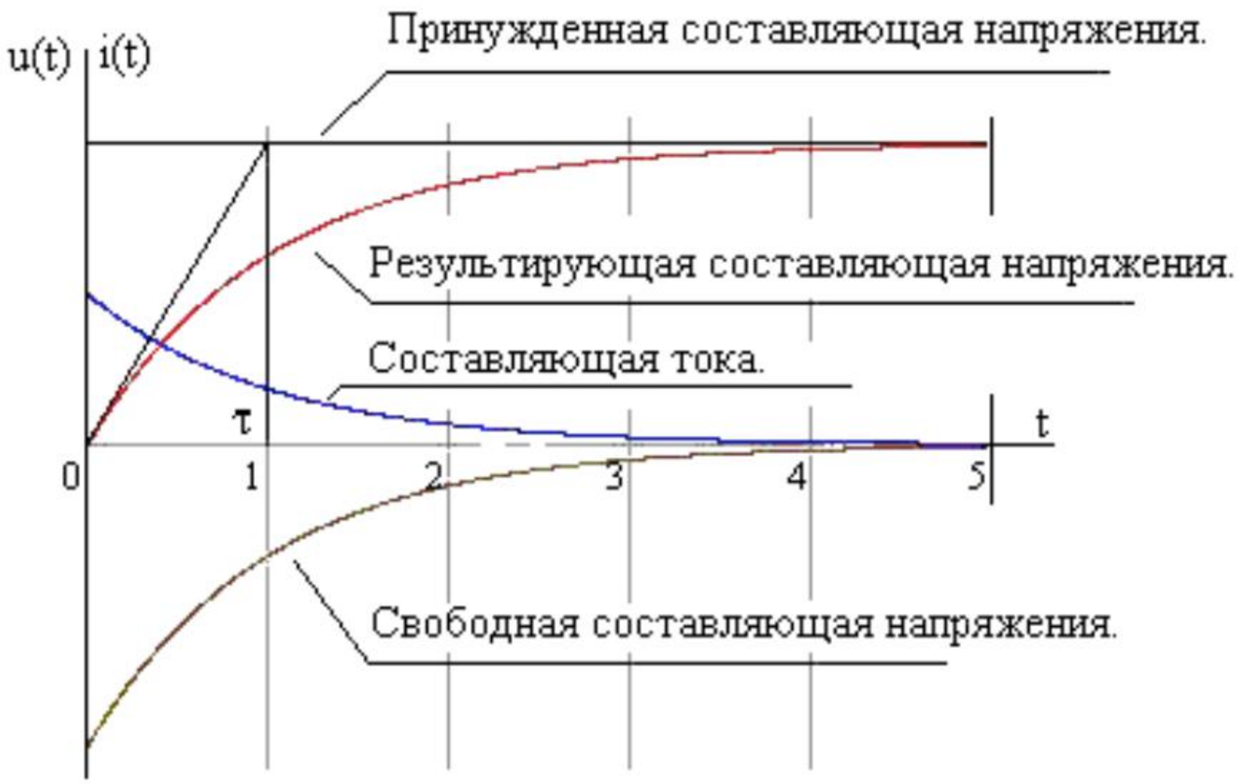
Заметим, что дифференцирование будет тем точнее, чем меньше τ, но при уменьшении *R* снижается выходное напряжение $u_{вых}$.

В начало

В начало

5. По характеру графика в последовательных RL,RC-цепях с не нулевыми начальными условиями определить постоянную времени.

Постянную τ можно определить графически. Для этого проведем касательную к началу функции $U(t)$ до её пересечения и принужденной составляющей. Проекция точки пересечения на ось времени дает численное значение τ



В начало

В начало

6. Теорема об эквивалентном генераторе. От чего зависят характеристики эквивалентного генератора?

Метод эквивалентного генератора, основанный на теореме об активном двухполюснике (называемой также теоремой Гельмгольца-Тевенена), позволяет достаточно просто определить ток в одной (представляющей интерес при анализе) ветви сложной линейной схемы, не находя токи в остальных ветвях. Применение данного метода особенно эффективно, когда требуется определить значения тока в некоторой ветви для различных значений сопротивления в этой ветви в то время, как в остальной схеме сопротивления, а также ЭДС и токи источников постоянны.

Теорема об активном двухполюснике формулируется следующим образом: если активную цепь, к которой присоединена некоторая ветвь, заменить источником с ЭДС, равной напряжению на зажимах разомкнутой ветви, и сопротивлением, равным входному сопротивлению активной цепи, то ток в этой ветви не изменится.

Таким образом, в соответствии с данной теоремой схему на рис. 2,а, где относительно ветви, ток в которой требуется определить, выделен активный двухполюсник А со структурой любой степени сложности, можно трансформировать в схему на рис. 2,б.

Отсюда ток $\dot{I}$ находится так:

$\dot{I} = \dfrac{\dot{E}_{ekv}}{\dot{Z}_{ekv} + \dot{Z}} = \dfrac{\dot{U}_{xxab}}{\dot{Z}_{ekv} + \dot{Z}}$, где $\dot{U}_{xxab}$ - напряжение на разомкнутых зажимах a-b.

На основании замеров:

$$R_{ekv} = \frac{U_{xxab}}{I_{kz}}$$

При теоретическом определении параметров эквивалентного генератора их расчет осуществляется в два этапа:

1. Любым из известных методов расчета линейных электрических цепей определяют напряжение на зажимах a-b активного двухполюсника при разомкнутой исследуемой ветви.

2. При разомкнутой исследуемой ветви определяется входное сопротивление активного двухполюсника, **заменяемого при этом пассивным**. Данная замена осуществляется путем устранения из структуры активного двухполюсника всех источников энергии, но при сохранении на их месте их собственных (внутренних) сопротивлений. В случае идеальных источников это соответствует закорачиванию всех источников ЭДС и размыканию всех ветвей с источниками тока.

В начало

В начало

7. Набегающие и отраженные волны в длинной линии. Коэффициенты отражения по току и напряжению.

Падающей электромагнитной волной (рис. 5.4) называют процесс перемещения электромагнитного состояния (электромагнитной волны) от источника энергии к приемнику, т.е. в нашем случае в направлении уве-личения координаты x. Электромагнитное состояние определяется совокупностью электрического и магнитного полей. Падающая волна, распространяясь от источника энергии к приемнику, несет энергию, заключенную в ее электрическом и магнитном полях.

Отраженной электромагнитной волной (рис. 5.5) называют процесс перемещения электромагнитного состояния (электромагнитной волны) от приемника к источнику энергии, т.е. в нашем случае в сторону уменьшения координаты x. Каждая компонента падающей волны (волна напряжения или волна то-ка) представляет собой синусоидальное колебание, амплитуда которого уменьшается по мере роста x (множитель $e^{-\ ax}$), а аргумент является функцией времени и координаты x.

Каждая компонента отраженной электромагнитной волны затухает по мере продвижения волны от конца линии к началу (множитель e^{ax}).

Физически эффект уменьшения амплитуд падающей и отраженной волн по мере их продвижения по

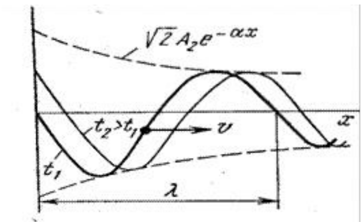


Рис. 5.4

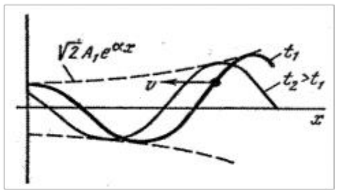


Рис. 5.5

линии объясняется наличием потерь в линии.

На рис. 5.4 изображены графики распределения падающей волны напряжения вдоль линии (в функции x) для двух смежных моментов времени: t_1 и $t_2 > t_1$. Падающая волна распространяется слева направо. При построении принято $wt_1 + y_п = 0$.

На рис. 5.5 представлены графики распределения отраженной волны напряжения для двух смежных моментов времени: t_1 и $t_2 > t_1$

Отраженная волна распространяется справа налево.

Коэффициенты отражения волн. Определим условия, которые характеризуют отражение волны тока и напряжения на конце линии. Для этого введем понятие коэффициентов отражения волн напряжения и тока:

Продолжение на некст стр.

В начало

$$\underline{K}_{отр(u)} = \frac{\underline{U}_{отр}}{\underline{U}_{пр}}; \qquad (7.21)$$

$$\underline{K}_{отр(i)} = \frac{\underline{I}_{отр}}{\underline{I}_{пр}}. \qquad (7.22)$$

Ранее имели, что в общем случае в линии имеется прямая Uпр и отраженная Uотр волны. Если линия с волновым сопротивлением ρ нагружена на сопротивление Zн, то напряжение на нагрузке равно сумме прямой и отраженной волн:

$$\underline{U}_{н} = \underline{U}_{пр} + \underline{U}_{отр}. \qquad (7.23)$$

По аналогии будем иметь для тока:

$$\underline{I}_{н} = \underline{I}_{пр} + \underline{I}_{отр}. \qquad (7.24)$$

Так как $\underline{I}_{пр} = \frac{\underline{U}_{пр}}{Z_0}; \quad \underline{I}_{отр} = -\frac{\underline{U}_{отр}}{Z_0}; \quad \underline{I}_{н} = \frac{\underline{U}_{н}}{Z_{н}}$,

то $\underline{U}_{пр} + \underline{U}_{отр} = \underline{I}_{н} Z_{н}; \quad \underline{U}_{пр} - \underline{U}_{отр} = \underline{I}_{н} Z_0$,

$$\underline{U}_{пр} = \frac{\underline{I}_{н}}{2(Z_{н} + Z_0)};$$

$$\underline{U}_{отр} = \frac{\underline{I}_{н}}{2(Z_{н} - Z_0)}.$$

откуда (7.25)

После подстановки выражения (7.25) в (7.21) получим:

$$\underline{K}_{отр(u)} = \frac{\underline{U}_{отр}}{\underline{U}_{пр}} = \frac{Z_{н} - Z_0}{Z_{н} + Z_0}. \qquad (7.26)$$

Рассуждая аналогичным образом и учитывая выражения (7.22) и (7.24), получим:

$$\underline{K}_{отр(i)} = \frac{\underline{I}_{отр}}{\underline{I}_{пр}} = \frac{Z_0 - Z_{н}}{Z_0 + Z_{н}}. \qquad (7.27)$$

В общем случае коэффициенты отражения напряжения и тока являются комплексными величинами и, как видно из (7.26) и (7.27), они зависят от характера нагрузки (Zн).

В начало

8. Чем определяется порядок и характер переходных процессов.

Определяется корнями характеристического уравнения:

См здесь
См здесь
См здесь

В начало

В начало

9. Свободная и принужденная составляющая переходных процессов. С какой скоростью протекают? Как определить эту скорость?

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \ldots\ldots + a_1 \frac{d\ \ x}{dt} + a_0 x = f(t)$$

где X - напряжение на емкостном элементе или ток в индуктивном элементе.
Решение диф. уравнения может быть представлено в виде суммы принужденной $X_{пр}$ и свободной $X_{св}$ составляющей переходного процесса, т.е.

$X(t)= X_{пр} +X_{св}$.

Принужденная составляющая представляет собой частное решение уравнения (1) и определяет значение интересующей нас переменной в новом установившемся режиме. Этот режим называют принужденными, поскольку установившиеся токи и напряжения в этом режиме изменяются с той же частотой, что и действующие в цепи принуждающие ЭДС или токи. Так если в цепи имеются только источники постоянного напряжения или тока, то $X_{пр}$=Const. Если напряжения или токи источников меняются по синусоидальному закону ($f(t)=A_m$Sinw t), то принужденная составляющая представляет собой синусоидальную функцию времени той же частоты

$X_{пр} =B_m$ Sin(wt+y).

Свободная составляющая процесса $X_{св}$ определяется общим решением диф. уравнения (1). Физически эта составляющая определяет закон рассеяния энергии, первоначально запасенной в накопителях энергии (индуктивных и (или) ёмкостных) в цепи свободной от источников энергии . Именно эта составляющая определяет характер и время переходного процесса.

$$\vartheta = \ln \Delta = \frac{\pi\delta}{\varpi} = \frac{2\pi\delta}{\sqrt{4-\delta^2}}$$

Как и следовало ожидать, скорость изменения свободных составляющих в колебательном переходном процессе зависит только от затухания электрической цепи.

$\tau = -\frac{1}{p} = RC$ - постоянная времени, характеризующая скорость затухания свободной составляющей, а следовательно - скорость отекания переходного процесса.

В начало

В начало

10. Доказать с физической точки зрения присутствие в RLC-цепи переходных процессов.
Процессы, возникающие в ЭЦ при переходе от одного установившегося режима к другому называются переходными процессами (или режимами). В переходных режимах (в отличии от установившихся) токи и напряжения ветвей меняются непериодически.

Переход от одного установившегося режима к другому происходит мгновенно лишь в цепях, не содержащих накопителей энергии. Этот переход в цепях, содержащих индуктивные и емкостные элементы происходит за конечное время в связи с тем, что энергия электрического или магнитного поля, запасенная в соответствующем элементе при коммутации не может измениться скачком.

Возникновение П.П. объясняется тем что в индуктивностях и емкостях энергия не может меняться мгновенно, то мощность необходимая для этого равно $P=dW/dt=\infty$ а в природе источников с такой мощностью не существует. Цепи, где отсутствуют реактивные элементы, не содержат переходных процессов.

В начало

11. Какова частота и вид возбужденных в последовательной RLC-цепи колебаний? В течение какого времени они происходят?

Рассчитаем силу тока в RLC-контуре, подключенном к источнику ЭДС, изменяющейся по закону (1), и включающем дополнительно к индуктивности L и емкости C еще и сопротивление R (рис. 3).

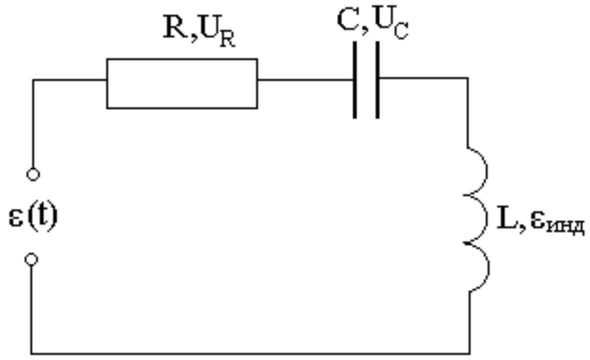


Рис. 3. Контур RLC

Воспользуемся вторым законом Кирхгофа: сумма всех ЭДС в контуре равна сумме падений напряжений в нем $\varepsilon(t)+\varepsilon_{инд}=U_R+U_C$ (7)

Где $U_C=\dfrac{q(t)}{C}$

$$U_R=I(t)R=R\frac{dq(t)}{dt} \quad (8)$$

$\varepsilon_{инд}=-L\dfrac{dI}{dt}=-L\dfrac{d^2q}{dt^2}$ Подставляя (8) в (7), имеем после деления на L

$$\frac{d^2q(t)}{dt^2}+\frac{R}{L}\frac{dq(t)}{dt}+\frac{1}{LC}q(t)=\frac{\varepsilon_{вн}(t)}{L} \quad (9)$$

Свободные электромагнитные колебания совершаются при отсутствии в контуре источника ЭДС, т.е. при условии $\varepsilon(t)=0$ Тогда

$$\frac{d^2q(t)}{dt^2}+2\delta\frac{dq(t)}{dt}+\omega_0{}^2q(t)=0 \quad (10)$$

Продолжение на некст стр.

Здесь $\delta = \dfrac{R}{2L}$ – коэффициент затухания колебаний. Общее решение однородного линейного дифференциального уравнения второй степени (10) различно для двух разных случаев.

В случае $\omega_0^{\ 2} > \delta^2$ имеем решение, описывающее затухающие колебания заряда:

$$q(t) = q_0 e^{-\delta t}\cos\omega_c t = q_0(t,\delta)\cos\omega_c t$$

Соответственно для напряжения на обкладках конденсатора имеем представленные графически на рис. 4 затухающие колебания

$$U_C(t) = \frac{q(t)}{C} = U_0 e^{-\delta t}\cos\omega_c t = U_0(t,\delta)\cos\omega_c t$$

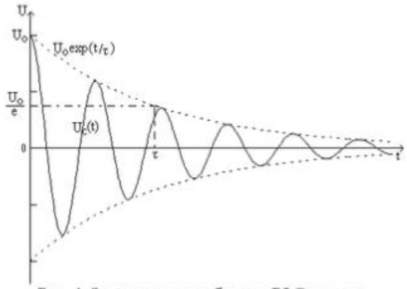


Рис. 4. Затухающие колебания в RLC-контуре

$$\omega_{своб} = \sqrt{\omega_0^{\ 2} - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$ -Таким образом, в RLC-контуре наблюдаются свободные затухающие колебания с частотой.

При $E(t) = E_0/L\cos(wt)$ в RLC цепи наблюдаются вынужденные колебания.
В установившемся режиме (через t=5тау) зараяд конденсатора будет $q(t)=q_m\cos(wt+фи)$
Фи-начальная фаза вын. колебаний.
Сила тока в цепи при установившихся вын. колебаниях: $I(t)=I_m\cos(wt+фи)$.
Напряжение на конденсаторе в цепи колеб. контура: $U_c(t)=UCm\cos(wt+фи)$.

В начало

В начало

12. Нелинейные цепи

Если цепь содержит элементы, ВАХ которых отлична от линейной функции, то такая цепь называется нелинейной.

С линейной частью нелинейной цепи можно осуществлять любые, справедливые для обычных линейных цепей, преобразования.

Статическая характеристика есть

$$R_{stat} = U/I \tag{23}$$

при неизменных U,I;

Дифференциальная характеристика есть

$$R_{dif} = \frac{dU}{dI} \tag{24}$$

Дифференциальная характеристика в общем случае не равна статической.

Для расчета цепей могут применяться методы двух узлов и эквивалентного генератора. Законы Кирхгофа так же справедливы.

В начало

В начало

13. Преобразование Фурье

Любую периодическую функцию $f(x)$ с периодом 2π , удовлетворяющую условиям Дирихле, можно разложить в ряд Фурье. Переменная величина x связана со временем t соотношением

$$x = \omega t = 2\pi t/T$$

, где T - период ф-ции во времени. Для такой функции ряд Фурье записывают так:

$$f(x) = A_0 + A'_1 \sin(x) + A'_2 \sin(2x) + ... + A''_1 \cos(x) + A''_2 \cos(2x) + ...$$

Здесь

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x)dx$$

$$A'_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin(kx)dx$$

$$A''_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos(kx)dx$$

пользуясь формулой сложения, получаем

$$f(x) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(kx + \psi_k) \tag{38}$$

Обозначим период функции T, основную частоту $\omega_0 = 2\pi/T$. Тогда ряд Фурье можно записать двумя способами:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(k\omega_0 t + \psi_k)$$

или

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A'_k \sin(k\omega_0 t) + A''_k \cos(k\omega_0 t)$$

Здесь $A'_k = A_k \cos(\psi_k); A''_k = A_k \sin(\psi_k)$

Выражения для нахождения коэффициентов:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t)dt$$

$$A_k \cos(\psi_k) = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(k\omega_0 t)dt$$

$$A_k \sin(\psi_k) = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(k\omega_0 t)dt$$

Представив sin в комплексной форме по Эйлеру, получаем:

$$f(t) = A_0 + \frac{1}{2j} \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} \dot{A}_k e^{jk\omega_0 t} \tag{39}$$

Продолжение на некст стр.

,где

$$\dot{A}_k = A_k e^{j\psi k} = A_k \cos(\psi_k) + jA_k \sin(\psi_k) = A'_k + jA''_k \tag{40}$$

Тогда

$$\dot{A}_k = \frac{2j}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jk\omega_o t} dt \tag{41}$$

С учетом последней формулы,

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} e^{jk\omega_o t} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jk\omega_o t} dt \tag{42}$$

Под **интегралом Фурье** понимают тригонометрический ряд, представляющий непериодическую функцию суммой бесконечно большого числа синусоид, амплитуды которых бесконечно малы, а аргументы соседних синусоид отличаются на бесконечно малые значения.

Формулу для интеграла Фурье получают из формулы для ряда Фурье(см. предыдущую формулу) предельным переходом, а именно $T \to \infty$ При этом на функцию накладывается обязательное условие сходимости $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)dt$

Нетрудно заметить,что $A_0 \to 0$

Выполним преобразование интеграла, стоящего под знаком суммы:

$$\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jk\omega_0 t} dt$$

С этой целью положим $\omega = k\omega_0$ (ω есть текущая, изменяющаяся частота) В ряде Фурье разность двух смежных частот $\Delta\omega = \omega_0 = 2\pi/T => 1/T = \Delta\omega/(2\pi)$ Т.к. Т велико, можно заменить $\Delta\omega$ на $d\omega$, получаем:

$$\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jk\omega_o t} dt = \frac{d\omega}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \tag{43}$$

Функция

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \tag{44}$$

есть спектр амплитуд при непрерывном преобразовании фурье. Называется также **Прямым преобразованием Фурье**

Т.к. функция $S(j\omega)$ комплексная, то выделяют отдельно амплитудный спектр $|S(j\omega)|$ и фазовый спектр $\phi(j\omega) = arg(S(j\omega))$

Тогда обратное преобразование Фурье будет представлять из себя интеграл по спектру.

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega) e^{jk\omega_o t} d\omega \tag{45}$$

Последняя формула представляет собой запись **интеграла Фурье**.

Возможные варианты:

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14 нет

15

16 нет

17 нет

18 нет

19 нет

20 нет

21

22 нет

23

24

В начало

В начало

1

1) Законы Ома и Кирхгофа в электрической цепи.

2) Преобразование передаточной операторной функции в оригинал при различных видах корней характеристического уравнения.

В начало

В начало

2

1) Активные и пассивные элементы цепи.
2) Трансформаторы. Основные характеристики и уравнения. Свойства.

В начало

В начало

3

1) Согласованный режим в цепях переменного и постоянного тока (Просит вывести законы)

2) Собственная и принужденная составляющая переходного процесса. С какой скоростью протекают? Как её определить?(Посмотрел только вывод свободной составляющей)

В начало

В начало

4

1) Алгоритм анализа цепи с помощью метода контурных токов + пример

2) RC и RL фильтры низких частот. АЧХ и переходные процессы в них. Какие выводы можно сделать по переходным процессам в них?

В начало

В начало

5

1) Метод узловых потенциалов на примере
2) Интегральные и диф. RC цепи. При каких условиях измерения этих цепей будет минимальная погрешность?

В начало

В начало

6

1) Суть принципа суперпозиции при анализе электрической цепи и есть ли ограничения?(Спрашивал про ограничения и про ВАХ линейных цепей)
2) Какова частота и вид возбужденных в последовательной RLC-цепи колебаний? В течение какого времени они происходят?(Спрашивал когда возникают колебания в цепи и всё

В начало

В начало

7

1) Суть методов взаимности и компенсации и их использование при анализе электрических цепей.
2) Фильтры верхних частот. Связь между полосой пропускания и параметрами деталей фильтра.

В начало

В начало

8

1) Зависимые источники тока и напряжения.
2) Мощность в цепях синусоидального тока. Баланс мощностей.

В начало

В начало

9

1) Закон Ома для реактивностей в алгебраической и дифференциальной формах.
2) Интегрирующие и дифференцирующие RL-цепи. При каком условии изменение сигнала будет с минимальными погрешностями?

В начало

В начало

10

1) Анализ цепи методом комплексных амплитуд.

2) По характеру графика в последовательных RL,RC-цепях с ненулевыми начальными условиями определить постоянную времени.

В начало

В начало

11

1) Комплексные передаточные функции. Какую пользу можно из них извлечь?
2) Четырехполюсники. Способы формирования описания поведения четырехполюсника. Система параметров.

В начало

В начало

12

1) Теорема об эквивалентном генераторе. От чего зависят характеристики эквивалентного генератора?

2) Операторная схема замещения элементов электрической цепи для нулевых и ненулевых начальных условий.

В начало

В начало

13

1) Характеристическое уравнение для электронной цепи. Методы его составления.

2) Набегающие и отраженные волны в длинной линии. Коэффициенты отражения по току и напряжению.

В начало

В начало

15

1) Преобразования Лапласа. Их смысл и применение при анализе электрических цепей.
2) Чем определяется порядок и характер переходных процессов?

В начало

В начало

21

1) Свободная и принужденная составляющая переходных процессов. С какой скоростью протекают? Как определить эту скорость?
2) Дифференцирующая и интегрирующая RL-цепь.

В начало

В начало

23

1) Алгоритм анализа цепи с помощью метода узловых потенциалов +пример.
2) Чем определяется порядок и характер переходных процессов?

В начало

В начало

24

1) Методы эквивалентных преобразований электрических цепей.
2) Доказать с физической точки зрения присутствие в RLC-цепи переходных процессов.

В начало