

Радиофизика.

Вятчанин.

<http://hbar.phys.msu.ru>

Радиофизика – наука об возбуждении, образовании, излучении и регистрации электромагнитных сигналов.

§0. Введение. Немного истории.

1831 год.	Открытие Фарадеем закона ЭМИ.
1873	Уравнения Максвелла.
1887	Опыт Герца. Доказательство движения волн.
1895	Попов. Собрал радиопередатчик.
1897	Маркони. Повторил опыт попова и получил патент на радио.
1905	Испытания радиосвязи в русско-японской войне. У японцев получилось лучше.
1996	Изобретение вакуумного лиода.
1907	Изобретение вакуумного триода.
1930	Андронов. Теория автоколебательных систем.
1935	Кобзырев. Основы радиолокации.

...

Линейные системы.

Сосредоточенные системы и условия квазистационарности

Условия квазистационарности: размеры рассматриваемых объектов достаточно малы:

$d_{хар} \ll \lambda$. Только тогда система откликается «мгновенно».

К примеру, на частоте 50 Гц всю Москву можно считать точечной – волны летят по ней мгновенно. На частоте 100 МГц запаздывание важно.

Идеальные сосредоточенные элементы: индуктивность, ёмкость, сопротивление.

Любой элемент на самом деле суть все три компонента одновременно.

Все линейные связи в ЭЛТ цепях работают только на малых токах. т.е. ВАХ линейна только в начале.

Сопротивление Можно представлять природу сопротивления как вязкое трение.

Ёмкость. Геометрическая характеристика проводников. Зависит только от геометрии и диэлектрика. Меряется в микрофарадах. Не проводит постоянный ток, но проводит

переменный. $I_c = C \frac{dU_c}{dt}$. Энергия конденсатора - $\frac{CU^2}{2}$

Индуктивность. Связывает ток катушки и магнитный поток через нее. $U = L \frac{dI}{dT}$. Ток же

через катушку равен $\int_0^t U \frac{l(t)}{l} dt + i L_0$.

Источника сигнала.

Любой генератор напряжения суть идеальный генератор напряжения + идеальный генератор тока + идеальное внутреннее сопротивление. Все вместе образует черный ящик с проводами. Этой моделью можно пользоваться, если внутреннее сопротивление достаточно мало.

Любой генератор можно описать только генератором напряжения, либо только генератором тока. С внутренним сопротивлением, конечно.

Теорема об эквивалентном генераторе. Генератор можно всегда сопоставить либо

генератору напряжения, либо генератору тока. Напряжение холостого хода – напряжение батарейки, ток КЗ – ток генератора тока, сопротивление будет одно и то же, оно равно

$$r_{\text{внутр}} = \frac{U_{\text{батарейки}}}{I_{\text{генератора}}}$$

Принцип суперпозиции. Система откликается на сумму сигналов как математическая сумма откликов на каждый сигнал.

Анализ линейных систем.

Все токи связаны либо производными, либо интегралами. Поэтому параметры цепи суть решение интегро-дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами. Их составляют, пользуясь правилами кирхгоффа и принципом суперпозиции.

Очень удобно пользоваться методом комплексных амплитуд.

Правило Уиллера. Прежде, чем решать физическую задачу, необходимо знать её ответ.

Характеристики линейных цепей.

Пусть есть ящик, и он линеен. У него есть вход и выход. Характеристикой ящика называется разложение в ряд Фурье выхода, если на входе – гармоническое.

Дается понятие коэффициента передачи $k_{\text{передачи}} = \frac{U_{\text{вых}}(t)}{U_{\text{вх}}(t)}$. Величину $|k(t)|$ называют АЧХ, а $\arg(k)$ – ФЧХ. Надо-ли говорить, что k комплексно.

Кроме Фурье-преобразования, есть разложение по ступенчатым функциям. Введем функцию

$$t > 0 \quad f(x) = 1$$

Хевисайда $t < 0 \quad f(x) = 0$. По такой функции тоже можно разлагать. Если взять

$$t = 0 \quad f(x) = 1/2$$

производную такой функции, получим дельта функцию.

К слову о дельта-функции.

Для обычной функции $D = \sqrt{\left(\frac{\alpha^2}{2\pi}\right)} \exp(-\alpha^2 x^2 / 2 + i\omega x)$ есть Фурье преобразование. Как посчитать Фурье-образ δ -функции? Очень просто. Считаем образ функции по параметру α , а потом устремляем её к 0. Высота Фурье-образа фиксирована, а вот её ширина все растёт.

К слову о Функции Хевисайда.

Эта функция не интегрируема, поэтому Фурье-образа у неё нет. Но заменим её пределом

$$t > 0 \quad f(x) = e^{-\epsilon t}$$

$t < 0 \quad f(x) = 0$. Для этой функции делаем Фурье-преобразование. Получим: $\frac{1}{i\omega + \epsilon}$.

$$t = 0 \quad f(x) = 1/2$$

Введем импульсную характеристику. $g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-i}^i K(\omega) e^{i\omega t} d\omega$.

Введем переходную характеристику: $h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-i}^i \frac{e^{-i\omega t}}{i\omega + \epsilon} K(\omega) d\omega$

$$g(t) = \frac{d}{dt} h(t). \text{ Видно, что } K(\omega) = \int g(t) e^{i\omega t} dt.$$

Дифференцирующая цепочка.

Сигнал на выходе суть производная сигнала на входе. Напряжение должно изменяться достаточно медленно - $t_{\text{сигн}} \ll RC$. Цепочка выглядит стандартно. Вход, конденсатор, выход с резистора. Умеет дифференцировать синусоиду (почему посчитай сам), а значит, любой

спектр.

Разобран пример с дифференцированием ступеньки. На выходе – две положенные дельта функции, только не бесконечной высоты.

Интегрирующая цепочка.

То же, что и интегрируемая, только выход берется с конденсатора. $t_{\text{сигн}} \gg RC$. Можно посмотреть, как это счастье интегрирует ступеньку.

Последовательный колебательный контур.

В начале известно: $U_C + U_L + U_R = 0$. Можно получить уравнение контура, но я его не списал. Для него есть всякие колебательные параметры, оно затухает, есть добротность и т.п., и т.д. Следует отметить важный параметр – время затухания. Это время также суть инерционность осциллятора. К примеру, если врубить в цепь ЭДС, то колебания начнутся (сразу) и затухнут ровно через это время.

Вынужденные колебания. Рассмотрим установившийся режим вынужденных колебаний.

Записав правила Кирхгоффа, посчитаем импеданс цепи. $\rho = \sqrt{\left(\frac{L}{C}\right)}$ - характеристическое

сопротивление контура. $Q = \frac{R}{\rho}$, $\xi = \frac{w}{w_0} - \frac{w_0}{w}$ - расстройка. Тогда можно записать через новые параметры кучу всяких законов.

Задача Лектора. ЭЛЕКТРОН. Есть LC контур, где в кондере есть электрон. Найти, какова будет собственная частота контура. Учесть наличие электрона. Электрон при колебаниях не прилипает к пластинам. Второй вариант: То же самое, но только электрон находится на пружинке.

Указание. Записать функцию Лагранжа. (см теоретическая механика)

Задача Лектора. РЕЗОНАНС. Есть контур. Нужна резонансная кривая. Подруляем генератор, медленно равномерно меняем частоту. Ясно, что эта кривая зависит от скорости изменения частоты. Вопрос. Написать ограничение для скорости изменения частоты, чтобы кривая была «правильной» с заданной точностью.

Задача Лектора. КОНТУР. Дан колебательный контур, частота, затухание, включен генератор напряжения. Напряжение изменяется синусоидально, потом выключается через некоторое время. Время (2 случая) сначала очень мало, а затем достаточно велико (несколько периодов). Найти напряжение на конденсаторе от времени.