

Вопрос по выбору на устный экзамен  
по общей физике(3 семестр).  
Тема: Распространение тока и напряжения в  
колеблющейся длинной линии.

Рябов Олег  
Группа Б04-302  
3 июня 2025 г.



//home/oleg/РЧРЧР«РҫСГРөРҫРхР,,РҫCS/МИПТ.png

# Содержание

# 1 Формулировка проблемы

В своем вопросе по выбору я рассматриваю систему, которая колеблется с постоянной частотой и амплитудой (бегущая волна, например при колебании проводов под влиянием ветра.). Модель: ...

## 2 Необходимая теория

Длинная линия, электрическая линия, образованная двумя параллельными проводниками тока, длина которых превышает длину волны передаваемых электромагнитных колебаний, а расстояние между проводниками значительно меньше длины волны. Д. л. является системой с распределёнными постоянными (параметрами), т.к. каждый элемент её длины обладает одновременно некоторыми значениями индуктивности  $L$  и активного сопротивления  $R$  проводов, ёмкости и проводимости тока  $G$  между проводами. Через эти параметры определяют основные характеристики Д. л. — волновое сопротивление  $W$  и скорость распространения  $v$  электромагнитных волн вдоль неё. Мгновенные значения силы переменного тока и напряжения в любой точке Д. л. математически связаны между собой так называемыми телеграфными уравнениями. Д. л. называется однородной, если значения её параметров неизменны на всём протяжении; при отсутствии в ней электрических потерь, т. е.  $R = G = 0$  (обычно на радиочастотах),

Входное сопротивление Д. л. имеет в общем случае комплексный характер (содержит активную и реактивную составляющие) и зависит от длины линии и характера электрической нагрузки на её конце (выходе). Входное сопротивление Д. л. бесконечной длины равно  $W$ . Для максимальной передачи энергии от источника линии её входное сопротивление должно быть активным и равным внутреннему сопротивлению источника, т. е. согласованным с ним. Различают 3 режима работы Д. л.: режим бегущей волны, когда передаваемая энергия полностью поглощается нагрузкой (сопротивление нагрузки активное и равное  $W$ ); режим стоячей волны, когда передаваемая энергия полностью отражается от конца линии к источнику (короткозамкнутая или разомкнутая на конце Д. л.), и промежуточный режим (сопротивление нагрузки комплексное и не равное  $W$ ). Д. л. применяют для передачи информации в дальней телеграфно-телефонной связи, телевидении, радиолокации, а также для передачи энергии по проводам на далёкие расстояния. Телеграфные уравнение для линии с потерями:

$$\begin{aligned}\frac{\partial U(x, t)}{\partial x} &= -L \frac{\partial I(x, t)}{\partial t} - RI(x, t) \\ \frac{\partial I(x, t)}{\partial x} &= -C \frac{\partial U(x, t)}{\partial t} - GU(x, t)\end{aligned}$$

где  $L, C, G, R$  - соответственно удельные индуктивность, емкость, проводимость и сопротивление В случае  $R$  и  $G$  равны 0:

$$\begin{aligned}\frac{\partial U(x, t)}{\partial x} &= -L \frac{\partial I(x, t)}{\partial t} \\ \frac{\partial I(x, t)}{\partial x} &= -C \frac{\partial U(x, t)}{\partial t}\end{aligned}$$

А в системе СГС:

$$\frac{\partial U(x, t)}{\partial x} = -\frac{L}{c^2} \frac{\partial I(x, t)}{\partial t}$$

$$\frac{\partial I(x, t)}{\partial x} = -C \frac{\partial U(x, t)}{\partial t}$$

### 3 Длинная линия с колебаниями

При классическом рассмотрении длинной линии  $L$  и  $C$  считаются постоянными на всем промежутке рассмотрения. Я же рассматриваю случай, когда  $L, C$  зависят от времени по гармоническому закону в каждой точке пространства (предположим, что линия закреплена на столбах каждые ... метров, тогда можно рассмотреть стоячую волну), колебания возбуждаются не электрическими силами (например ветром при ослаблении одного из проводов). Предположим, что амплитуда колебаний провода много меньше  $K$ , и  $k \ll K$ , где  $k$  - пространственная частота эл. маг. волны. Тогда

$$L = 4\mu \ln d/a$$

$$C = \frac{\varepsilon}{4 \ln d/a}$$

$$d(x, t) = d_0 \sin Kx \cos \Omega t$$

Выведем волновое уравнение. Ищем смешанные производные

$$\frac{\partial^2 U(x, t)}{\partial x \partial t} = -\frac{1}{c^2} \left( L'_t \frac{\partial I(x, t)}{\partial t} + L \frac{\partial^2 I(x, t)}{\partial t^2} \right)$$

$$\frac{\partial^2 I(x, t)}{\partial x^2} = - \left( C'_x \frac{\partial U(x, t)}{\partial t} + C \frac{\partial^2 U(x, t)}{\partial t \partial x} \right)$$

## 4 Анализ и физический смысл