МЭИ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 21 Кафедра ВМСС	Утверждаю: Зав.кафедрой
	Дисциплина МСПИ II часть	09.01.22 г.
	Институт ИВТ	

1. Расчет первичных параметров двусвязной длинной линии (двухпроводной и коаксиальной).

2. Анализ физических процессов передачи энергии в плоскопараллельных системах.

1. Расчет первичных параметров двусвязной длинной линии (двухпроводной и коаксиальной).

Двухпроводные линии:

Первичные параметры длинной линии r_0, L_0, g_0, C_0 для двусвязных линий передачи рассчитываются в приближении квазистатических электрических и квазистационарных магнитных плоскопараллельных полей.

Формула, связывающая погонную ёмкость и поперечную проводимость:

$$g_0 = \frac{I_y}{U} = C_0 \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}.$$

Погонная ёмкость равна: τ=C_0U , где C_0 - линейный заряд на проводах (или проводниках) линии передачи, U - разность потенциалов между ними.

Погонная индуктивность с помощью индуктивности линии, как контура (одного витка, т.е.W=1), которая определяется по формуле: $L_0 = \frac{\Psi}{lI} = \frac{W\Phi}{lI} = \frac{\Phi}{lI}$, где W − число витков, а l − длина линии.

Погонное продольное сопротивление двухпроводной линии с двумя проводниками круглого поперечного сечения на постоянном токе (или на низких частотах) равно:

$$R_0 = 2\frac{1}{\sigma S} = \frac{2}{\varrho \pi r_0^2}$$

Погонная поперечная ёмкость:
$C_0 = \frac{\tau}{U} = \frac{\tau}{\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\ln\frac{2a}{r_0}} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{\ln\frac{2a}{r_0}}$, где $U = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r} dr = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{r_2}{r_1}$. (1)

Погонная поперечная проводимость $g_0 = C_0\frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon_r} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{\ln\frac{2a}{r_0}} * \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon_r} = \frac{2\pi\sigma}{\ln\frac{2a}{r_0}}$

Подставляя выражение суммарной напряженности поля:
$H_y = H_\alpha = 2\left(-\frac{1}{2\pi r}\right) = -\frac{1}{2\pi x}$, где r = x в формулу погонной продольной индуктивности: $L_0 = \frac{\Phi}{lI} = \int_0^l \int_{r_0}^{(2a-r_0)} \mu_0 H_y dx dl$ получим:

$L_0 = -\frac{\mu_0}{\pi}\ln\frac{2a-r_0}{r_0}$ («-»характеризует направление потока индукции и не влияет на величину L_0).

Пусть сечение провода – круг и равномерная плотностью тока $\frac{1}{\pi a^2}$, где a – радиус проводника.

Поток внутри провода находится подстановкой в формулу
$\Phi_i = \frac{1}{I}\int \Phi_k di = \frac{1}{I}\int L_k I_k di = \frac{1}{I}\int I_k d\Phi_k$ формулы
$d\Phi_r = B_a dS = \frac{\mu_0 I l r^2}{2\pi r a^2} dr = \frac{\mu_0 I l r}{2\pi a^2} dr$ и равен: $\Phi_i = \frac{\mu_0 I l}{2\pi a^2 a^2}\int_0^a r^3 = \frac{\mu_0 I l}{8\pi}$

Полная погонная индуктивность двухпроводной линии выводится из формул внешней ($L_{0e} = \frac{\mu_0}{\pi}\ln\frac{2a-r_0}{r_0}$) и внутренней ($L_{0i} = \frac{\mu_0 l}{8\pi}$) погонной индуктивности для одиночного провода:

$$L_0 = L_{0e} + 2L_{0i} = \frac{\mu_0}{\pi}\ln\frac{2a-r_0}{r_0} + 2\frac{\mu_0 l}{8\pi} = \frac{\mu_0}{\pi}\left[\ln\frac{2a-r_0}{r_0} + \frac{1}{4}\right] \approx \frac{\mu_0}{\pi}\left[\ln\frac{2a}{r_0} + \frac{1}{4}\right]$$

<u>Коаксиальные линии:</u>

Погонное продольное сопротивление коаксиальной линии с проводниками круглого поперечного сечения на постоянном токе или на низких частотах состоит из суммы погонных сопротивлений жилы: $R_{0\,ж} = \frac{1}{\sigma S} = \frac{1}{\varrho\pi r_1^2}$ и оболочки:

$R_{0\,об} = \frac{1}{\sigma S_{об}} = \frac{1}{\varrho\pi\left(r_2^2 - r_3^2\right)}$.

Погонная поперечная ёмкость: $C_0 = \frac{\tau}{U} = \frac{\tau}{\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\ln\frac{r_2}{r_1}} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{\ln\frac{r_2}{r_1}}$, где U=формуле(1).

Погонная поперечная проводимость: $g_0 = C_0 \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{\ln\frac{r_2}{r_1}} * \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon_r} = \frac{2\pi\sigma}{\ln\frac{r_2}{r_1}}.$

Внешняя погонная продольная индуктивность коаксиальной линии определяется из формулы индуктивности петли единичной продольной длины, образованной центральным проводником и оболочкой линии: $L_{0e} = \frac{\Phi}{lI} = \int_0^l \int_{r_1}^{r_2} \mu_0 H_\alpha dr dl$ подстановкой в неё $H_\alpha = \frac{1}{2\pi r}$ и равна: $L_{0e} = \frac{1}{lI} l \int_{r_1}^{r_2} \mu_0 \frac{I}{2\pi r} dr = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\frac{r_2}{r_1}.$

Внутренняя индуктивность для жилы равна $L_i = \frac{\mu_0 l}{8\pi}$. А для оболочки (при r2 ≤ r ≤ r3) с учетом радиального изменения тока в оболочке и, значит, выражением суммарного тока I_Σ в поперечном сечении линии по формуле

Суммарный ток в поперечном сечении линии равен:

$$I_\Sigma = I - I\frac{\pi\left(r^2 - r_3^2\right)}{\pi(r_3^2 - r_2^2)} = I\frac{\left(r_3^2 - r^2\right)}{(r_3^2 - r_2^2)} .$$

Зависимость напряженности магнитного поля в оболочке: $H_\alpha = \frac{1}{2\pi r}\frac{\left(r_3^2 - r^2\right)}{\left(r_3^2 - r_2^2\right)}.$

Поток внутри оболочки находится подстановкой в формулу $\Phi_i = \frac{1}{I}\int I_\Sigma \, d\Phi_r$ формулы:

$d\Phi_r = B_a dS = \frac{\mu_0 I\left(r_3^2 - r^2\right) l}{2\pi r\left(r_3^2 - r_2^2\right)} dr$ и формулы суммарного тока в поперечном сечении линии (при dS = ldr).

Внутренняя индуктивность коаксиального кабеля:

$$L_{i\,об} = \frac{\mu_0}{2\pi\left(r_3^2 - r_2^2\right)^2}\left\{ r_3^4 \ln\frac{r_3}{r_2} - 2r_3^2\frac{\left(r_3^2 - r_2^2\right)}{2} + \frac{\left(r_3^4 - r_2^4\right)}{4} \right\}.$$

Сравнив внешнюю и внутреннюю индуктивности коаксиального провода, соотношение между которыми составляет: $\frac{\mu_0}{2\pi}\ln\frac{r_2}{r_1} * \frac{8\pi}{\mu_0} = 4\ln\frac{r_2}{r_1}$, можно считать, что погонная индуктивность коаксиального кабеля определяется формулой: $L_0 = \frac{\mu_0}{\pi}\left[\ln\frac{2a}{r_0} + \frac{1}{4}\right].$

Формулы L_0 двухпроводной и коаксиальной линии идентичны.

2. Анализ физических процессов передачи энергии в плоскопараллельных системах.

Плоскопараллельные системы – системы, которые формируют плоскопараллельное поле. Главное внимание уделяется двухсвязным линиям передачи.

Расчет передачи мощности в двухсвязных линиях основан на допущении о характере поля в системе, соответствующей, зоне индукции (или ближней зоне d << λ), где:

d- поперечные размеры системы проводников

λ- длиной волны

В реальных системах это соотношение выполняется до очень высоких частот.

Электрическое поле представляет собой квазистатическое поле, а магнитное поле – квазистационарное магнитное поле. При расчете мощности (вектора Пойнтинга) в двусвязных системах применяем выражения для электростатического и для стационарного магнитного полей, предполагая, что это не независимые поля, а переменные, удовлетворяющие полной системе уравнений Максвелла (т.е. системе, учитывающей связь между составляющими электромагнитного поля).

Далее рассмотрим передачу энергии по длинной двухпроводной линии. Запишем поток вектора Пойнтинга через дуговые четырехугольники, образованные в плоскости поперечного сечения в результате пересечения силовых линий электрического и магнитного полей.

Углы при вершинах этих дуговых четырехугольников прямые, так как это углы между силовыми линиями электрического поля и эквипотенциальными линиями. Площадь элементарного четырехугольника ds=da·db, поэтому поток плотности вектора Пойнтинга через него равен: $\Pi ds = [E, H]ds = z^0(E*H)z^0\left(da*db\right) = (E*da)(H*db) = \Pi_z ds.$

где учтено, что вектора напряженностей электрического и магнитного полей лежат в плоскости поперечного сечения, ортогональной продольной оси z линии и сами взаимно ортогональны. Причем из рисунка видно, что в каждом четырехугольнике направление da совпадает с направлением вектора E, а направление db с направлением H. Суммируя все элементарные потоки по элементарным площадкам ds поперечного сечения, получим следующее: $P = \int_S \Pi_z ds = \int_l \oint_l EH\,db\,da = \int_l E\,da \oint_l H\,db = UI,$

так как интеграл $\int_l Eda$, взятый от одного провода линии до другого её провода равен напряжению между проводами, а интеграл $\oint_l Hdb$, согласно закону полного тока равен току в проводе.

Приходим к тому, что поток энергии, проходящей в единицу времени через поперечное сечение линии равен передаваемой по этой линии мощности. Этот поток сосредоточен в пространстве между проводами линии, которые выполняют роль волноведущей структуры. Часть потока, ответвляющаяся внутрь каждого провода, равная RI^2, определяет потерю мощности, а полезная мощность в двухпроводных линиях передается в пространстве между проводами.