МЭИ	**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14** Кафедра ВМСС	Утверждаю: Зав.кафедрой
	Дисциплина МСПИ II часть	09.01.22 г.
	Институт ИВТ	

1. Понятие о переходных процессах в длинной линии.

2. Первичные и вторичные параметры линий передачи с учетом поверхностного эффекта.

1. Понятие о переходных процессах в длинной линии.

Понятие «длинная линия» применяется для идентификации электрических цепей, продольные размеры которых соизмеримы с длиной волны λ (как правило, от 0,1λ и больше), в результате чего проявляется эффект запаздывания при передаче сигнала вдоль линии передачи.

Переходные процессы в длинных линиях - результат изменения конфигурации цепи, т.е. коммутации каких-то элементов цепи, или изменении вида воздействующей функции.

Вид переходных процессов в цепях с распределенными параметрами проявляется в результате решения дифференциальных уравнений длинной линии.

Система дифференциальных уравнений для однородной линии имеет вид:

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial u}{\partial x} = r_0 i + L_0 \dfrac{\partial i}{\partial t}; \\ -\dfrac{\partial i}{\partial x} = g_0 u + C_0 \dfrac{\partial u}{\partial t}; \end{cases}$$

Общий вид решений этих уравнений для однородной линии (при L_0, C_0, не зависящих от x) записывается так:

$$u = f_1(x - \nu t) + f_2(x + \nu t) = u_{пр} + u_{обр};$$

$$i = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}[f_1(x - \nu t) - f_2(x + \nu t)] = i_{пр} + i_{обр};$$

где $\nu = \dfrac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$ – скорость волны (волновая скорость), численно равная фазовой скорости.

Функции $f_1(x)$ и $f_2(x)$ – распределения вдоль линии соответственно прямой и обратной волн напряжения $u_{пр}$ и $u_{обр}$ в момент времени t = 0.

Составляющая напряжения $u_{пр}$(t) выражает напряжение волны, движущейся в направлении возрастания координаты x, т.е. прямой волны, и равна:

$$u_{пр}(t) = f_1(x - \nu t) = \varphi_1\left(t - \frac{x}{\nu}\right). \quad (1)$$

Составляющая напряжения $u_{обр}$(t) представляет собой напряжение волны, движущейся в сторону убывания координаты x, т.е. обратной волны, и равна:

$$u_{обр}(t) = f_2(x + \nu t) = \varphi_2\left(t + \frac{x}{\nu}\right). \quad (2)$$

Если известны зависимости $u_{пр}$(t) и $u_{обр}$(t) в какой-либо точке линии и волновая скорость v, то можно построить кривые $u_{пр}$(t) и $u_{обр}$(t) в любой момент времени.

Если известны функции $u_{пр}$(t) и $u_{обр}$(t) в точках x_1 и x_2, то переход к общему выражению каждой из волн выполняется согласно формулам (1) и (2):

$$\begin{cases} u_{пр}(\mathrm{x,t}) = u_{пр}\left(\mathrm{t} - \dfrac{x - x_1}{\nu}\right); \\ u_{обр}(\mathrm{x,t}) = u_{обр}\left(\mathrm{t} + \dfrac{x + x_1}{\nu}\right). \end{cases}$$

В любой момент времени напряжение и ток в любом сечении линии можно рассматривать как сумму двух волн, прямой и обратной. Причем, источник образования обратной волны – неоднородность в линии.

<u>2. Первичные и вторичные параметры линий передачи с учетом поверхностного эффекта.</u>

Первичные и вторичные параметры линии передачи с учетом поверхностного эффекта для двухсвязной линии передач обладают следующими свойствами:

1) вследствие поверхностного эффекта с ростом частоты, растет погонное омическое сопротивление линий, пропорционально корню от частоты;

2) погонная индуктивность линии практически не меняется и определяется внешней индуктивностью;

3) отношение погонных индуктивного сопротивления к омическому растет с ростом частоты пропорционально корню от частоты.

Для доказательства данных выводов приведем краткое решение задачи:
Пусть коаксиальная линия имеет медную жилу диаметром $2r_1$ = 5 мм. Внутренний диаметр медной оболочки $2r_2$ =10 мм , а внешний её диаметр $2r_3$ =12 мм. Определить сопротивление токопровода на одном метре его длины при частоте 1 МГц

Решение:
Сопротивление коаксиального кабеля на единицу длины определяется выражением:

$$\underline{Z}_{пог} = \underline{Z}_{ж} + \underline{Z}_{об} + j\omega L_0$$

где $\underline{Z}_{ж}$, $\underline{Z}_{об}$ – погонные комплексные сопротивления соответственно жилы и оболочки;
L_0 – погонная воздушная индуктивность, обусловленная магнитным потоком, замыкающимся между жилой и оболочкой.

Частоте 1 МГц соответствует условная глубина проникновения электромагнитной волны в медь z_0 =1/b = 0,067 мм. В условиях данной задачи (так как радиус жилы (r_1/z_0 =75) и толщина оболочки ($(r_3 - r_2)/z_0$ =15) во много раз больше z_0) можно считать поверхностный эффект сильно выраженным, а волну – плоской. При этом комплексное сопротивление на единицу длины цилиндрического проводника, приближенно описывается соотношением.

Сильно выраженный поверхностный эффект – тот эффект, при котором можно считать что глубина проникновения такая маленькая, что каждый из проводников можно считать бесконечным и что если кривизна поверхностей много больше глубины проникновения, то можно считать такую среду плоской.

$$\underline{Z} = \frac{1+j}{u}\sqrt{\frac{\omega\mu_a}{2\sigma}} = \frac{1+j}{u z_0 \sigma},$$

где u- периметр поперечного сечения проводника.

Далее при расчете учитываем вектор Пойнтинга через площадь поверхности проводника и находим тем самым $\underline{Z}_{ж}$, $\underline{Z}_{об}$ (подробный вывод есть в лекции).

Для расчета L_0 полагаем, что по жиле идет ток I. Далее через поток индукции выражаем:

$$\Phi = \int_{r_1}^{r_2} \mu_0 H_a dr = \int_{r_1}^{r_2} \mu_0 \frac{1}{2\pi r} dr = \mu_0 \frac{1}{2\pi} \ln\frac{r_2}{r_1}$$

$$L_0 = \frac{\Phi}{I} = \mu_0 \frac{1}{2\pi} \ln\frac{r_2}{r_1}$$

Подставляем все полученные значения в первую формулу и получаем числовое значение:

$$\underline{Z}_{пог} = \frac{(1+j)}{2\pi r_1 z_0} + \frac{(1+j)}{2\pi r_2 z_0} + j\omega\mu_0 \frac{1}{2\pi}\ln\frac{r_2}{r_1}$$

$$\underline{Z}_{пог} = 0.017\left(1+j\right) + 0.0085\left(1+j\right) + j1.61 = 0.0255 + j1.64 \quad \frac{Ом}{м}$$

Числовое соотношения показывает, что в жиле сопротивление больше, чем в оболочке, но оно все равно дает небольшую добавку. Также величина сопротивления характеризуется в основном погонным сопротивлением жилы (0.0255) и внешней индуктивностью кабеля (1.64).

Из полученных данных видно, что при высокой частоте внутренняя индуктивность проводников незначительна по сравнению с их внешней («воздушной») индуктивностью.

Также благодаря вычислениям можно сравнить сопротивление (активное и реактивное) по переменному и постоянному току.

Сопротивление по постоянному току на 1м длины токопровода:

$$R_0 = \frac{1}{S_{ж}\sigma} + \frac{1}{S_{об}\sigma} = \frac{1}{\pi r_1^2 \sigma} + \frac{1}{\pi (r_3 - r_2)^2 \sigma}$$

Подставим σ = 5.6·10^7 См/м, r_1= 0.0025 м, r_2= 0.005 м, r_3 = 0.006 м

Величина сопротивления R_0= 0.00143 Ом.

Активное сопротивление при 1 МГц больше этой величины в 0,0255 / 0,00143 = 18 раз, а полное сопротивление (т.е. модуль комплексного сопротивления) примерно равное ωL больше этой величины в 1,64/0,00143 = 1147 раз.

То есть на переменном токе погонное сопротивление больше примерно в 1000 раз , чем на постоянном токе.

Тем самым мы доказали выше написанные выводы.