

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНИЯХ

Цель работы: изучение законов отражения и преломления импульсных волн при различных нагрузках в конце линии и при переходе импульсных волн с линии на линию через реактивные элементы.

Краткие сведения

В высоковольтной импульсной технике широко используется передача импульсных сигналов по различным линиям. В электроэнергетике импульсные электромагнитные волны возникают при ударах молнии в ВЛ или вблизи них и распространяются по проводам в обе стороны от места разряда. Распространение импульсов по однородной линии без потерь описывается телеграфными уравнениями:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial U}{\partial x} &= L_0 \frac{\partial i}{\partial t}, \\ -\frac{\partial i}{\partial x} &= C_0 \frac{\partial U}{\partial t}, \end{aligned} \quad (1)$$

где L_0 и C_0 - индуктивность и емкость на единицу длины линии. Решение этой системы уравнений может быть представлено в форме бегущих волн:

$$\begin{aligned} U &= U^+ + U^- = F^+(x-vt) + F^-(x+vt), \\ i &= i^+ + i^- = (1/W)F^+(x-vt) + (1/W)F^-(x+vt), \end{aligned} \quad (2)$$

где $Z = \sqrt{L_0/C_0}$ - волновое сопротивление линии без потерь;

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$
 - скорость распространения волны;

μ -относительная магнитная проницаемость среды; c -скорость света в вакууме, равная $3 \cdot 10^{10}$ см/с=300м/мкс.

Волна $F^+(x-vt)$ называется прямой волной (или падающей волной), волна $F^-(x+vt)$ - обратной (отраженной) волной. Волны $F^+(x-vt)$ и $F^-(x+vt)$ записаны как функции пространственных координат $(x-vt)$ и $(x+vt)$ в заданный момент времени t . Эти же волны можно записать как функции времени. Представим, что к линии, вдоль которой движется прямая волна U^+ , в точках X_1 и X_2 подключены осциллографы. В обеих точках осциллографы запишут функцию $f^+(t')$, где t' - время, отсчитываемое от момента прихода начала волны в точку X . Очевидно,

$t' = t - x/v$, где t - время, отсчитываемое от начала процесса в точке $X=0$. Следовательно, прямая волна запишется в виде $f^+(t') = f^+(t - x/v)$. Аналогично обратная волна может быть записана в виде $f(t - (-x/v)) = f(t + x/v)$.

Истинное значение напряжения (или тока) в данной точке линии в данный момент времени принято называть преломленным напряжением (током). Падающие, преломленные и отраженные волны напряжения и тока связаны следующими уравнениями:

$$U_{np} = U_{nad} + U_{omp}; \quad I_{np} = I_{nad} + I_{omp}; \quad (3)$$

$$I_{nad} = U_{nad}/Z; \quad I_{omp} = -U_{omp}/Z.$$

Знак минус означает, что движение волны в обратном направлении дает ток отрицательного (по отношению к напряжению) знака.

$$U_{np} = K_{np} U_{nad}; \quad U_{omp} = K_{omp} U_{nad}; \quad (4)$$

$K_{np} = 2Z_2/(Z_1 + Z_2)$ - коэффициент преломления;

$K_{отк} = (Z_2 - Z_1)/(Z_1 + Z_2)$ - коэффициент отражения;

$K_{np} - K_{отк} = 1$.

При переходе волны с одной линии на другую с иным волновым сопротивлением происходит отражение и преломление волны в месте сопряжения линий (рис. 1,а). Наличие реактивных элементов в линии (L,C) тоже приводит к изменению параметров распространяющейся волны.

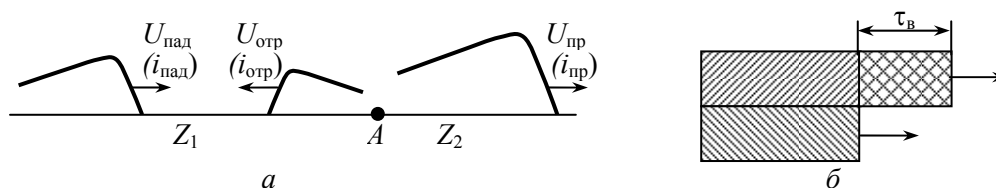


Рис.1. Волновые процессы в линиях

а- преломление и отражение волн в месте сопряжения двух линий;

б- принцип построения короткой прямоугольной волны

Анализ волновых процессов наиболее удобно и целесообразно проводить, рассматривая движение прямоугольной волны бесконечной длительности. Это обусловлено следующим:

1. Распространение прямоугольной волны проще описать математически.
2. Движение волны любой другой формы можно описать, зная закон распространения прямоугольной волны (используя интеграл Дюамеля).

В импульсной технике имеют дело с волнами ограниченной длительности. Их обычно представляют в виде суммы двух бесконечно длинных волн разных знаков, сдвинутых друг относительно друга на величину, равную длине короткой волны (рис. 1,б).

Порядок работы

1. Ознакомиться со схемой установки, которая состоит из генератора импульсов и подключаемых активных (R_1, R_2, R_n) и реактивных нагрузок ($C1, C2$),

СЗ, L1, L2). Сдвиг преломленной волны относительно падающей обеспечивается линиями задержки (Л1-Л4) типа ЛЗ-Г-2-1-1200.

2. Для регистрации сигналов используется цифровой осциллограф- приставка РС-500 совмещенный с компьютером.

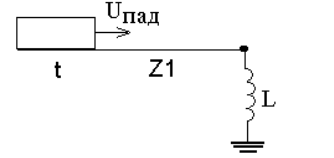
3. Из опыта холостого хода определить амплитуды $U_{пад}$, $U_{отр}$, длительность падающей волны, волновое сопротивление и время задержки линии Л1. Принять $R_2=2400 \text{ Ом}$.

4. Измерить форму сигнала напряжения падающей и преломленной волны с помощью осциллографа. Определить амплитуду $U_{пад}$ и $U_{отр}$ для всех схем.

Содержание отчета

1. Нарисовать схему замещения установки.
2. Привести осциллограммы преломленных и отраженных волн по п.2 и 3. Объяснить полученные результаты на каждой осциллограмме.
3. Рассчитать величину емкости или индуктивности и R_n для схемы, заданной преподавателем (табл.1).

Таблица 1

Схема	Напряжение в точках 1, 2	Постоянная времени
	$U_{np} = U_c = 2U_{nad}(1 - e^{-t/T})$	$T = Z_1 \cdot C$
	$U_1 = 2U_{nad} \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} (1 - e^{-t/T})$ $U_2 = 2U_{nad} \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} (1 - e^{-t/T})$	$T = (Z_1 + Z_2) \cdot C$
	$U_{np} = U_L = 2U_{nad} (1 - e^{-t/T})$	$T = L/Z_1$
	$U_1 = \frac{2U_{nad}}{Z_1 + Z_2} (Z_2 + Z_1 e^{-t/T})$ $U_2 = \frac{2U_{nad} Z_2}{Z_1 + Z_2} (1 - e^{-t/T})$	$T = L/Z_1 + Z_2$

Контрольные вопросы

1. Когда проводную систему можно считать длинной линией?
2. Нарисовать полную схему замещения длинной линией.
3. Объяснить, почему для генерирования наносекундных импульсов широко применяются коаксиальные линии на основе глицерина и воды.

