

МОЩНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНИКА

**Предмет мощной импульсной
техники (МИТ):**

посвящен изучению методов и
средств генерации мощных
импульсов электрического питания
различного электрофизического
оборудования

ТРЕБУЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСОВ:

импульсная мощность от кВт до ГВт ($10^3 \div 10^9$ Вт);
напряжение от кВ до МВ ($10^3 \div 10^6$ В);
ток от А до МА ($10^0 \div 10^6$ А);
длительность импульса . . от 10^{-10} до 10^{-3} с;
частота повторения от однократных до $10^3 \div 10^5$
Гц

Диапазон требуемых параметров исключительно широк. Реализовать его каким-то одним универсальным методом или средством невозможно. По этой причине предмет мощной импульсной техники получил самостоятельность, как отдельная отрасль знания

Единая физическая основа устройств МИТ

- ❖ Устройство МИТ - это преобразователь энергии, полученной из сети энергоснабжения, в энергию выходного импульса.
- ❖ КПД устройства МИТ равен отношению этих двух энергий и всегда остается меньшим единицы. При этом мощность выходного импульса может во много раз превышать среднюю мощность, потребляемую из сети.
- ❖ Это происходит из-за того, что из сети устройство МИТ потребляет энергию непрерывно или продолжительное время, а отдает ее в нагрузку в течение существенно более короткого времени, называемого длительностью импульса.

Обобщенная структурная схема устройства МИТ

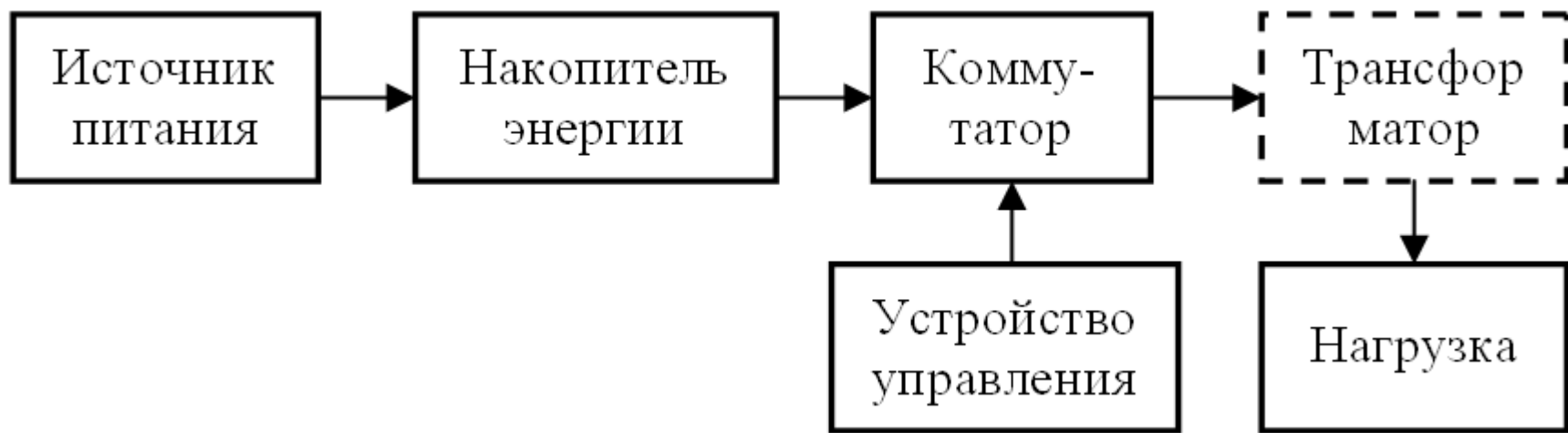


Рис. 1

Всякое устройство МИТ с подключенной к нему полезной нагрузкой является потребителем электрической энергии и должно отвечать требованиям электромагнитной совместимости с сетью.

Наиболее важной частью электромагнитной совместимости является проблема высших гармоник в электрических сетях.

Раздел 1. ЭЛЕМЕНТЫ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ

1. Линии передачи
2. Импульсные трансформаторы с сосредоточенными параметрами
3. Накопители энергии

ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Назначение и классификация линий передачи

Используются:

- для собственно передачи энергии,
- для ее хранения и преобразования (задержки)

Для неискаженной передачи сигнала линия должна обладать идеальными АЧХ и ФЧХ:

$$k(\omega) = \text{const}, \quad \varphi(\omega) = T \cdot \omega,$$

в реальности подобные характеристики достижимы лишь в некоторой ограниченной полосе частот $\omega \leq \omega_{гр}$.

Периодический импульсный сигнал и его спектр

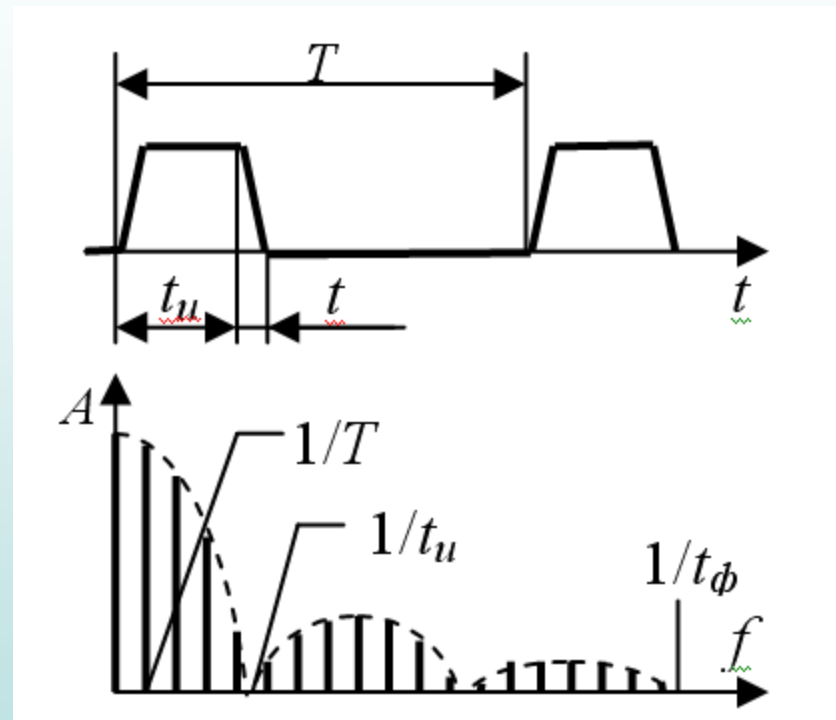


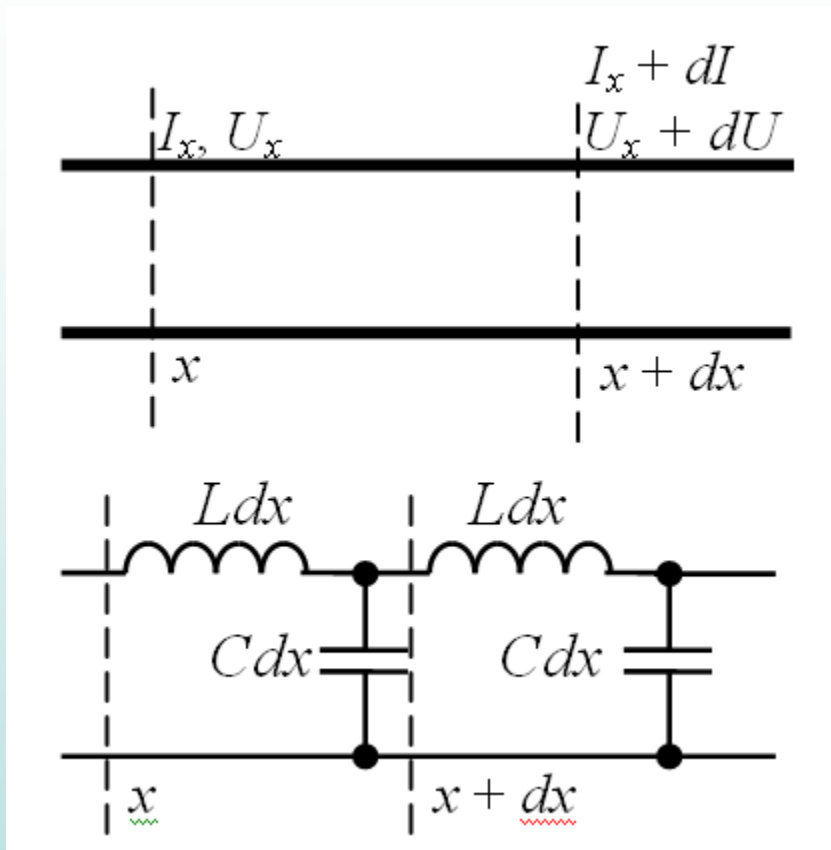
Рис. 17

Классификация линий передачи

Линии передачи

Однородные и неоднородные	С распределенными параметрами	Коаксиальные полосковые дисковые
	Промежуточные	Спиральные
	С сосредоточенными параметрами	Цепочечные

Элемент линии передачи и его эквивалентная схема



Первичные параметры линии передачи:
погонная индуктивность L [Гн/м] и
погонная емкость C [Ф/м].

Рис. 18

Дифференциальные уравнения линии передачи и их решение

$$\begin{cases} \frac{dU(p)}{dx} = -pLI_x(p); \\ \frac{dI(p)}{dx} = -pCU_x(p). \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{d^2U(p)}{dx^2} = p^2LCU_x(p); \\ \frac{d^2I(p)}{dx^2} = p^2LCI_x(p). \end{cases}$$

Решение (в операторном виде):

для напряжений

для токов

$$U_x(p) = \vec{U}_x + \vec{U}_x = \vec{U}_0 e^{-p\sqrt{LC}x} + \vec{U}_0 e^{p\sqrt{LC}x}$$

$$I_x(p) = \vec{I}_x - \vec{I}_x.$$

Здесь $T = \sqrt{LC}$ - погонное (в расчете на 1 м длины) время задержки распространения сигнала по линии

Решение дифференциальных уравнений линии в реальных функциях времени

$$U_x = \vec{U}_0(t - Tx) + \vec{U}_0(t + Tx)$$

масштаб и конкретный вид функций \vec{U}_0 и \vec{U}_0 определяются условиями на концах линии

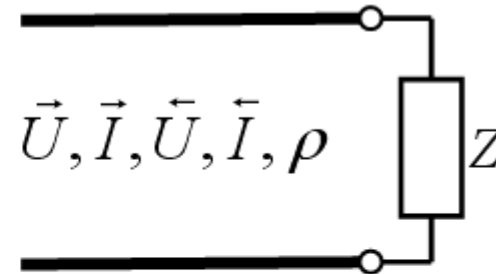
Свойства волн в линии передачи:

$$\frac{\vec{U}_0}{\vec{I}_0} = -\frac{\vec{U}_0}{\vec{I}_0} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho.$$

Если погонные параметры L и C , а с ними и волновое сопротивление линии ρ не зависят от координаты, то такая линия называется однородной.

Примеры неоднородностей в линиях передачи

Подключение нагрузки



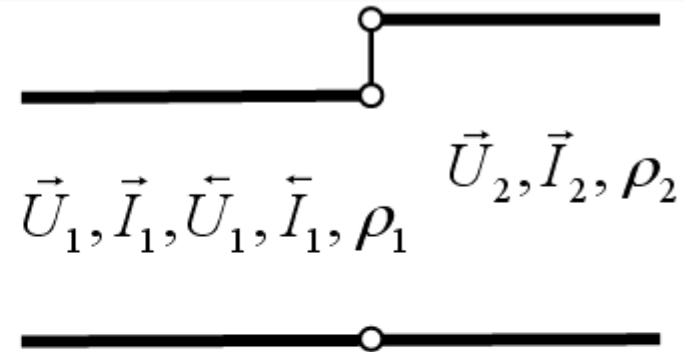
$$K_U = \frac{\vec{U}}{\vec{U}} = \frac{Z - \rho}{Z + \rho}.$$

Здесь интересны следующие частные случаи:

- короткое замыкание $Z = 0, K_U = -1;$
- холостой ход $Z \rightarrow \infty, K_U = 1;$
- согласование $Z = \rho, K_U = 0.$

Примеры неоднородностей в линиях передачи

Соединение двух линий



$$K_U = \frac{\vec{U}_1}{\vec{U}_1} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

Волна \vec{U}_2, \vec{I}_2 может рассматриваться, как преломленная из линии 1 в линию 2.

Очевидно, в сечении соединения линий полные напряжения должны быть равны:

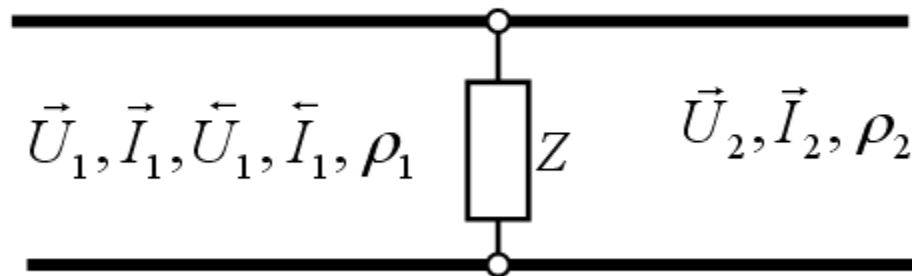
$\vec{U}_1 + \vec{U}_1 = \vec{U}_2$. Отсюда коэффициент преломления равен:

$$K_{II} = \frac{\vec{U}_2}{\vec{U}_1} = \frac{\vec{U}_1 + K_U \cdot \vec{U}_1}{\vec{U}_1} = 1 + K_U.$$

Как видим, при $\rho_2 > \rho_1$, когда $K_U > 0$, коэффициент преломления $K_{II} > 1$.

Примеры неоднородностей в линиях передачи

Вставка параллельного элемента внутрь линии



Здесь нагрузкой левой части

линии служит параллельно включенные сопротивление вставки Z и входное сопротивление

правой части ρ : $Z_{\text{вх}} = \frac{Z \cdot \rho}{Z + \rho} \neq \rho$, поэтому в левой части линии существует отраженная волна:

$$K_U = -\frac{\rho}{2Z + \rho}.$$

Переходные процессы в электрических цепях, содержащих отрезки линий передачи

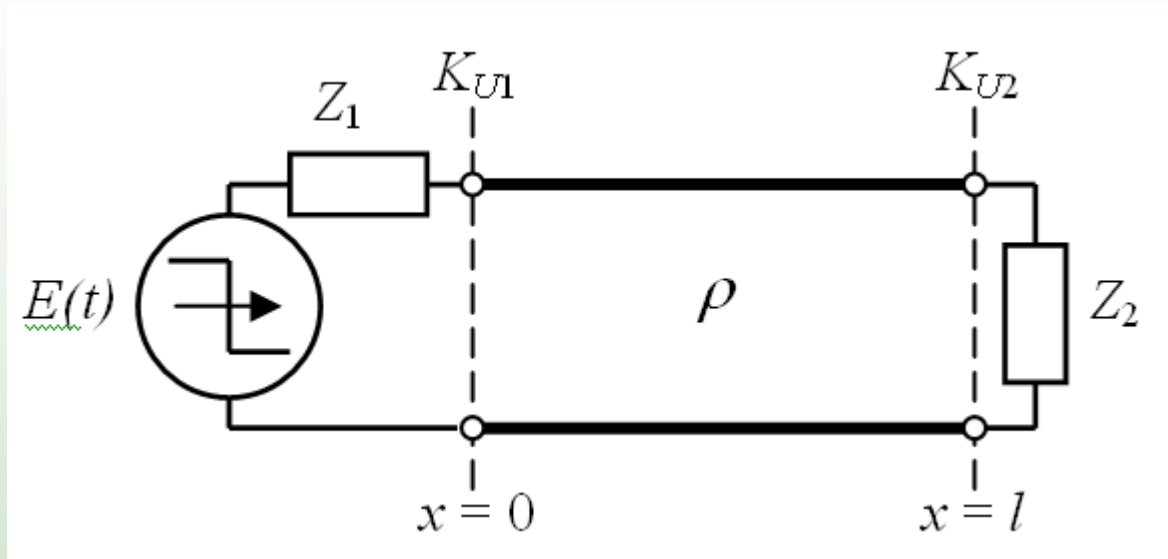


Рис. 20

сущность процесса будет состоять в последовательном возникновении отраженных волн в сечениях неоднородностей $x = 0$ и $x = l$. Коэффициенты отражения в этих сечениях равны, соответственно, $K_{U1} = \frac{Z_1 - \rho}{Z_1 + \rho}$ и $K_{U2} = \frac{Z_2 - \rho}{Z_2 + \rho}$. Моменты отражений определяются длиной линии, точнее, временем Tl распространения сигнала по линии. Будем считать, что сопротивления Z_1 и Z_2 действительны.

Переходные процессы в электрических цепях, содержащих отрезки линий передачи

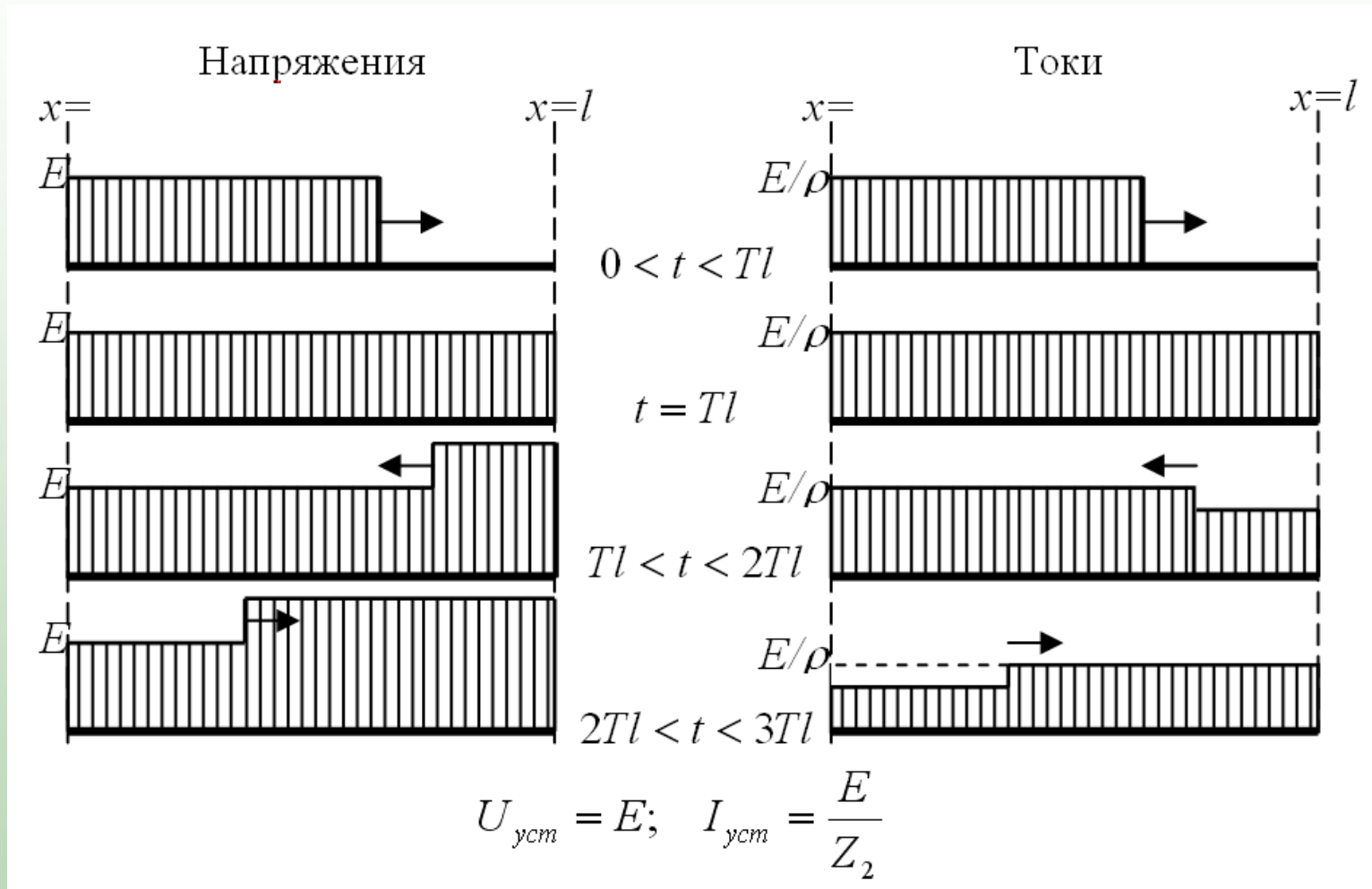


Рис. 21

Разрешение «конфликта» в сечении $x=l$ в момент $t=Tl$

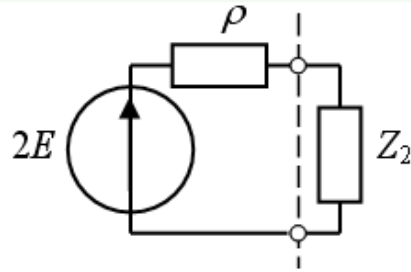


Рис. 22. Эквивалентная
схема для сечения $x = l$ в
момент $t = Tl$

линию с падающей на нагрузку волной напряжения E можно заменить эквивалентной схемой, включающей только элементы с сосредоточенными параметрами. На рис. 22 эквивалентный двухполюсник расположен слева от линии раздела.

Расчет цепи рис. 22 дает значения равновесных тока и напряжения

$$\text{на нагрузке } I = \frac{2E}{\rho + Z_2}, \quad U = \frac{2EZ_2}{\rho + Z_2}.$$

Примеры переходных процессов при согласованном генераторе

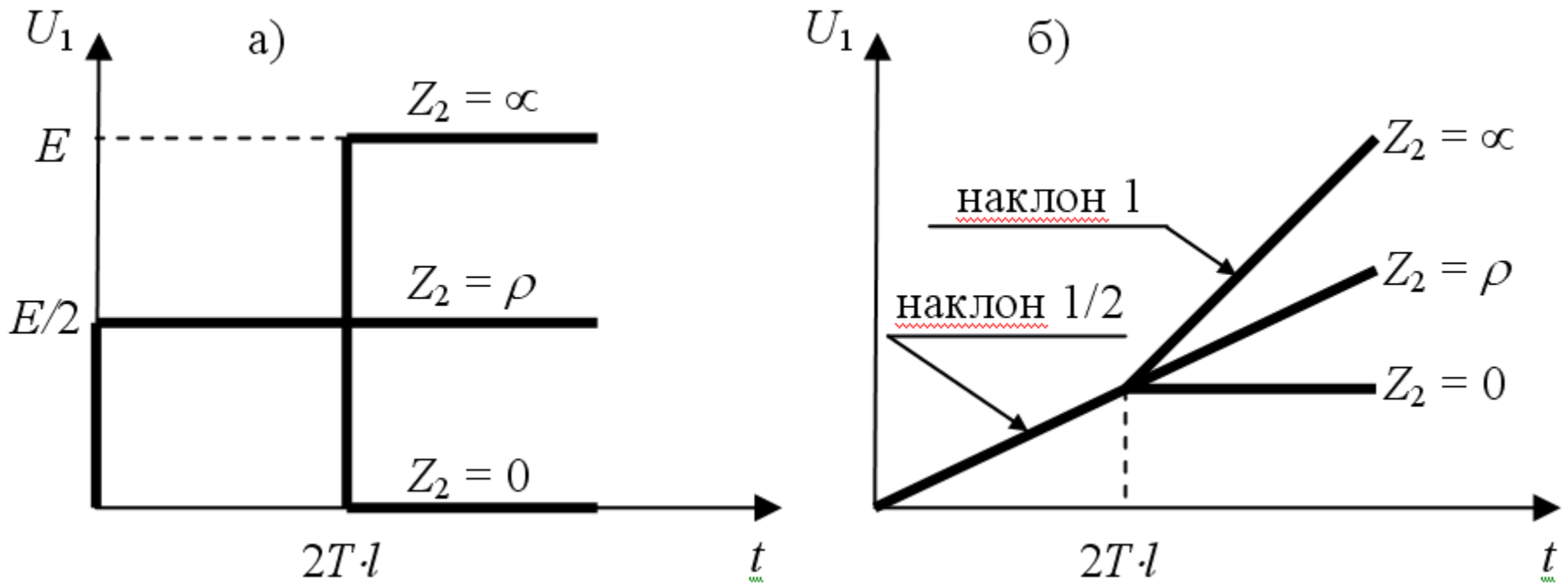
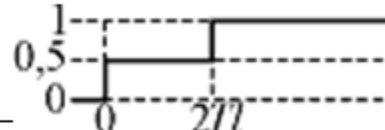
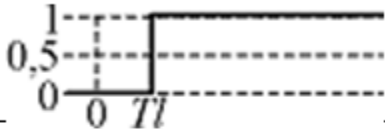
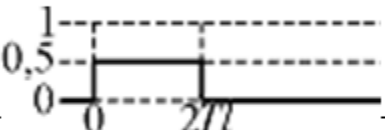
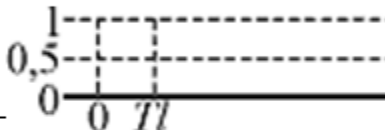
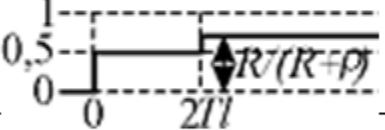
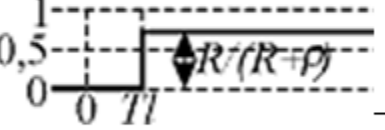
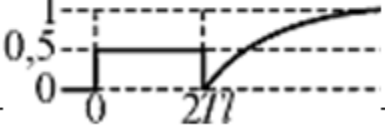
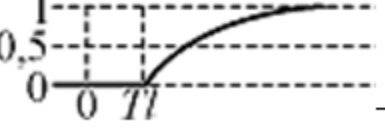
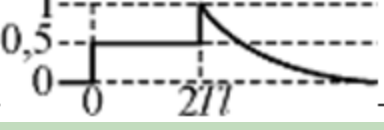
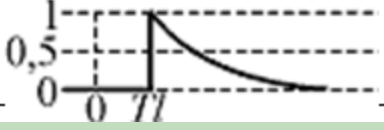


Рис. 21. а - ступенчатый сигнал, б – линейно нарастающий сигнал

Переходные процессы в линии передачи при согласованном генераторе и разных нагрузках

№	Вид нагрузки	Напряжение на входе	Напряжение на нагрузке
1	$Z_2 = \infty$		
2	$Z_2 = 0$		
3	$Z_2 = R$		
4	$Z_2 = 1/pC$		
5	$Z_2 = pL$		

Искусственная линия

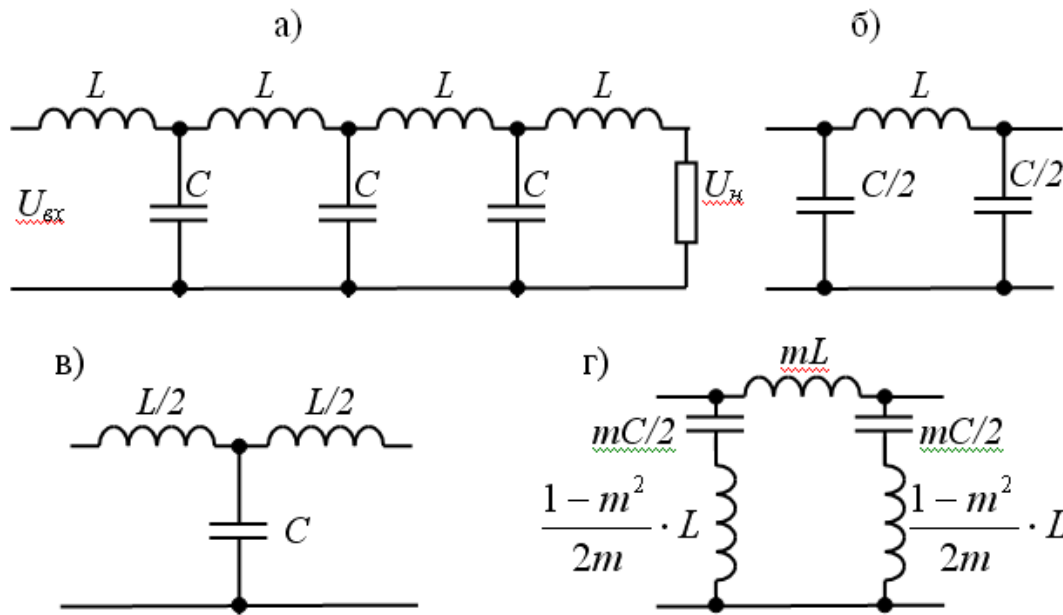


Рис. 27.

$$\omega_{гр} = \frac{2}{\sqrt{LC}}, \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$T_1 = 1,07\sqrt{LC}$$

$$t_{\phi 1} \approx 1,13\sqrt{LC}$$

$$t_{\phi} = t_{\phi 1} \cdot n^{1/3} \approx 1,1 \cdot n^{1/3} \cdot \sqrt{LC}$$

$$n \approx 1,1 \left(\frac{T}{t_{\phi}} \right)^{3/2}$$

$$R_{н} = \rho$$

$$L \approx \frac{TR_{н}}{1,1n}, \quad C \approx \frac{T}{1,1nR_{н}}$$

Разделы для самостоятельного изучения:

• Конструктивные типы линий передачи, используемых в устройствах МИТ – АГП, МИТ, с. 45-47

• Искажения наносекундных импульсов при их передаче по линии – АГП, МИТ, с. 48-50