

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации

**Б.И. Авдоченко**

**АНАЛОГОВЫЕ И ЦИФРОВЫЕ  
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА**

Методические указания по лабораторным работам

**Томск - 2016**

Методические указания по лабораторным работам предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению (специальности ) 11.03.01 Радиотехника и других специальностей радиотехнического направления.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение .....  | 2  |
| 1. Содержание лабораторных работ .....  | 2  |
| 2. Краткие теоретические сведения к лабораторной работе №1 .....  | 4  |
| 2.1 Оптимальные характеристики.....   | 4  |
| 2.2 Влияние изменения амплитудно-частотной характеристики на форму переходной характеристики .....                      | 6  |
| 2.3 Влияние изменения фазочастотной характеристики на переходную характеристику .....                                   | 6  |
| 2.4 Влияние изменения частотной или фазовой характеристики на переходную характеристику в минимально-фазовых цепях..... | 7  |
| 2.5 Порядок выполнения лабораторной работы №1 .....   | 8  |
| 3. Краткие теоретические сведения к лабораторной работе №2 .....  | 9  |
| 3.1 Кольцевая корректирующая параллельного типа .....   | 9  |
| 3.2 Влияние неоднородностей на характеристики устройства .....  | 9  |
| 3.3 Задания на лабораторную работу №2.....  | 10 |
| 4 Краткие теоретические сведения к лабораторной работе №3 .....   | 11 |
| 4.1.Реализация неминимально-фазовых передаточных функций в устройствах пикосекундного диапазона .....                   | 11 |
| 4.2 Задание на лабораторную работу №3.....  | 12 |
| 5 Краткие теоретические сведения к лабораторной работе №4 .....   | 12 |
| 5.1 Основные расчетные соотношения.....   | 13 |
| 5.2 Задание на лабораторную работу.....   | 14 |
| 5.3 Задачи по проектируемым формам импульсов .....  | 14 |

## Введение

Курс лабораторных работ рассчитан на 16 часов занятий, 4 работы по 4 часа.

За отведенное на лабораторную работы время студенты должны изучить основы теории, выполнить расчетное задание, собрать модель рассчитанной схемы в Multisim, сравнить результаты расчета и моделирования, оформить и защитить отчет по лабораторной работе. Особое внимание в отчете должно быть уделено выводам по работе, в которых необходимо сопоставить результаты теории и моделирования.

### 1. Содержание лабораторных работ

Содержание лабораторных работ приведено в таблице 1.

Таблица 1. Содержание лабораторных работ

| № | Названия разделов   | Содержание лабораторных работ   | Трудо емкос ть (час.) |
|---|---|---|-----------------------|
| 1 | Связь изменений частотных и переходных характеристик линейных систем. | <b>Теория:</b> связь между АЧХ и ПХ, спектр. Знакомство с анализатором спектра.<br><b>Индивидуальное расчетное задание:</b> получение заданной формы ПХ.<br><b>Экспериментальная часть:</b> моделирование в Multisim. Схема, исследование спектра прямоугольного импульса при разных фронтах, длительностях и частотах повторения.<br>Оформление отчета с выводами о связи между АЧХ и ПХ.<br><b>Защита отчета.</b> | 4                     |
| 2 | Коррекция переходной характеристики.                                  | <b>Теория:</b> линии передачи и типовые неоднородности.<br><b>Индивидуальное расчетное задание:</b> проектирование КЦ для заданной формы ПХ.<br><b>Экспериментальная часть:</b> моделирование в Multisim. Оформление отчета с выводами. <b>Защита отчета.</b>   | 4                     |
| 3 | Реализации оптимальных характеристик.                                 | <b>Теория:</b> Неминимально-фазовые цепи и их применение в пикосекундном диапазоне. Схемы. Коррекция формы ПХ.<br><b>Экспериментальная часть:</b> моделирование в Multisim неминимально-фазовой цепи. Исследование ПХ и ЧХ неминимально-фазовой цепи. Оформление отчета с выводами. <b>Защита отчета.</b>   | 4                     |
| 4 | Элементы пикосекундной техники и их применение.                       | <b>Теория:</b> модели линии передачи, влияние параметров линии передачи на форму  | 4                     |

|       |  |    |
|-------|--|----|
|       | импульсов. Индивидуальное <b>расчетное задание</b> , получение заданной формы импульса из единичного перепада напряжения.<br><b>Экспериментальная часть:</b> моделирование в Multisim. Оформление отчета с выводами. <b>Защита отчета.</b> |    |
| Итого |  | 16 |

## 2. Краткие теоретические сведения к лабораторной работе №1

### 2.1 Оптимальные характеристики

В качестве объективного критерия степени искажения сигнала, с учетом реальных условий работы устройства применяется критерий минимального среднеквадратичного отклонения спектра нормированного выходного сигнала от входного.

Спектр входного сигнала  $S_1(j\omega)$  определяется по его форме  $x(t)$  через преобразование Фурье

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_1(j\omega) \exp(j\omega t) d\omega$$

Предположим, что спектр выходного сигнала ограничен частотой  $\omega_b$  (рисунок 1)

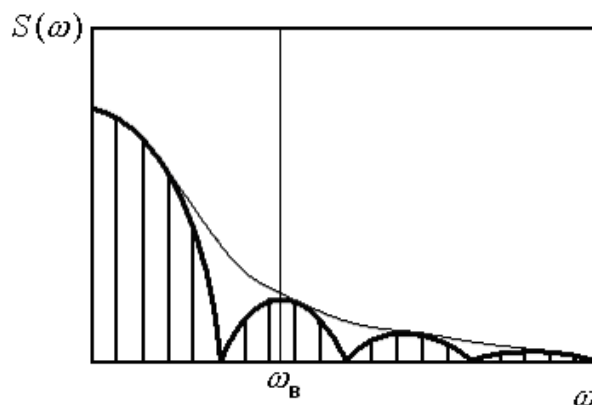


Рисунок 1. Спектры входного и выходного сигналов

где  $\omega_b$  - верхняя граничная частота полосы пропускания устройства. Тогда минимальное среднеквадратическое отклонение

$$[y(t) - x(t)]^2 = \frac{1}{\pi^2} \int_0^\infty \left[ \int_0^{\omega_B} S_1(j\omega) \exp(j\omega t) d\omega - \int_0^{\omega_B} \hat{S}_2(j\omega) \exp(j\omega t) d\omega + \int_{\omega_B}^\infty S_1(j\omega) \exp(j\omega t) d\omega \right]^2 dt$$

откуда минимальное отклонение  $[y(t) - x(t)]^2 = \frac{1}{\pi} \int_{\omega_B}^\infty |S_1(j\omega)|^2 d\omega$

Для этого ФЧХ и АЧХ должны удовлетворять соотношениям

$$\varphi(\omega) = \alpha\omega, \alpha = \text{const}, \omega \in [0, \omega_B]$$

$$\hat{K}(\omega) = \begin{cases} 1, \omega \in I_\omega = [0, \omega_B]; \\ 0, \omega \notin I_\omega. \end{cases}$$

Оптимальную переходную характеристику определим как реакцию системы на единичное ступенчатое воздействие  $x(t) = 1(t)$ , путем использования интегрального преобразования Фурье [1]:

$$h(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_g} \frac{|K(\omega)| \sin[\omega t - \varphi(\omega)]}{\omega} d\omega \quad \text{откуда}$$

$$\hat{h}(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \text{si}\left(\frac{t-a}{\omega_g}\right); \quad \text{где } \text{si}(t) - \text{табулированная функция -}$$

интегральный синус.

Графики функций (1), соответствующие оптимальным частотным характеристикам, приведены на рисунке 2а, оптимальная переходная характеристика - на рисунке 2б.

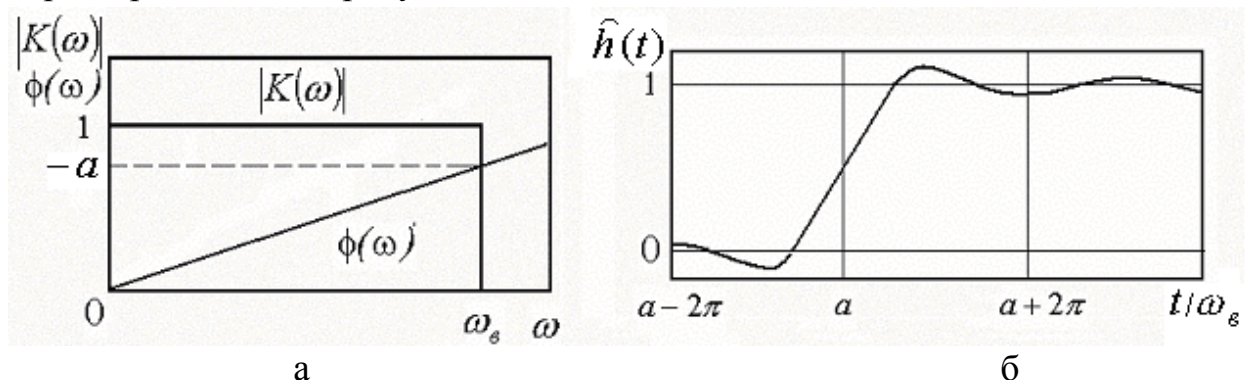


Рисунок 2. Оптимальные характеристики быстродействующего устройства: а) –АЧХ и ФЧХ, б) ПХ

Как следует из рисунков, при каскадном соединении устройств с оптимальными формами АЧХ, ФЧХ и ПХ результирующие характеристики не изменяются; характерной особенностью оптимальной переходной характеристики устройства является наличие отрицательного выброса перед передним фронтом, ликвидирующего затянутый начальный участок переходной характеристики.

## 2.2 Влияние изменения амплитудно-частотной характеристики на форму переходной характеристики

Амплитудно-частотная характеристика является четной функцией, поэтому для ее аппроксимации используется четный ряд Фурье:

$$|\overline{\Delta K(\omega)}| = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos T_n \Omega,$$

где  $a_0, a_n$  - коэффициенты ряда Фурье.

Подстановкой в выражение для ПХ определим изменения в ПХ:

$$\Delta h_k(t) = a_0 h_0(t) + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} a_n [h_0(t+T_n) + h_0(t-T_n)]$$

На рисунке 3 приведен пример влияния изменения АЧХ, описываемого двумя членами ряда Фурье, на ПХ.

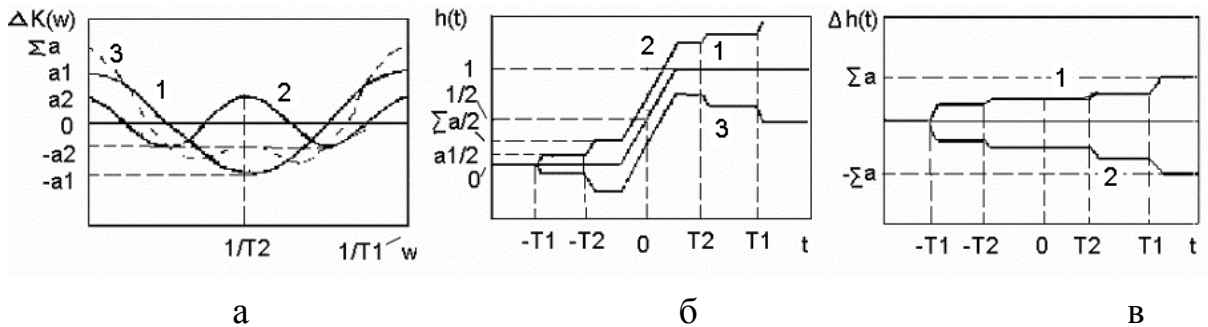


Рисунок 3. Коррекция ПХ изменением АЧХ

а) изменения АЧХ а) 1 -  $a_1 \cos T_1 \Omega$ , 2 -  $a_2 \cos T_2 \Omega$ , 3 -  $\sum a_n T_n \Omega$ ;

б) измененная ПХ 1 -  $h_0(t)$ , 2 -  $h_0(t) + \Delta h_k(t)$ , 3 -  $h_0(t) - \Delta h_k(t)$ ;

в) отклонения ПХ 1 -  $\Delta h_k(t)$ , 2 -  $[-\Delta h_k(t)]$

## 2.3 Влияние изменения фазочастотной характеристики на переходную характеристику

Изменения ФЧХ в силу нечетности фазовой характеристики описывается нечетным рядом Фурье:

$$\Delta \varphi(\Omega) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin T_n \Omega$$

подставляя изменения ФЧХ получаем изменения в ПХ:

$$\begin{aligned} \Delta h_\varphi(t) &= \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} b_n \left[ \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\sin(t+T_n)\Omega}{\Omega} d\Omega - \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\sin(t-T_n)\Omega}{\Omega} d\Omega \right] = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} b_n [h_0(t+T_n) - h_0(t-T_n)] \end{aligned}$$

Изменения ПХ, вызванные изменением ФЧХ, представляют собой полусумму взвешенных по  $b_n$  разностей исходных ПХ, сдвинутых во

времени на  $\pm T_n$ . Отличается от изменений, вызванных изменением АЧХ знаком перед вторым членом суммы.

На рисунке 4 приведен пример влияния периодического отклонения ФЧХ от исходной характеристики, аппроксимированной двумя членами ряда Фурье, на ПХ. На рисунке также приведена ПХ, соответствующая изменению знака  $\Delta\varphi(\Omega)$ .

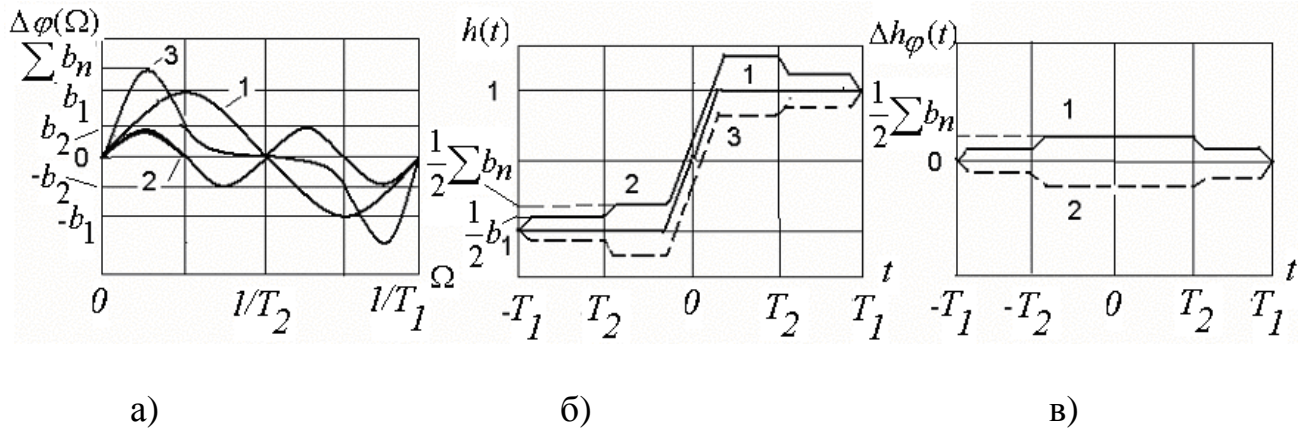


Рисунок 4. Коррекция ПХ изменением ФЧХ:

- а) изменения ФЧХ: а)  $1 - b_1 \sin T_1 \Omega$ ,  $2 - b_2 \sin T_2 \Omega$ ,  $3 - \sum b_n \sin T_n \Omega$  б) измененная ПХ 1-  $h_0(t)$ , 2-  $h_0(t) + \Delta h_\varphi(t)$ , 3-  $h_0(t) - \Delta h_\varphi(t)$ , в)

отклонения в ПХ 1-  $\Delta h_\varphi(t)$ , 2-  $[-\Delta h_\varphi(t)]$

## 2.4 Влияние изменения частотной или фазовой характеристики на переходную характеристику в минимально-фазовых цепях

Выше рассмотрены независимые изменения АЧХ и ФЧХ, что возможно только в неминимально – фазовых цепях.

В минимально - фазовых цепях частотные характеристики связаны между собой и по любой из частотных характеристик можно однозначно определить другую характеристику.

Связь между характеристиками можно определить на основе преобразований Гильберта, связывающего вещественную и мнимую составляющие комплексной переменной

$$\Delta\varphi(\omega_1) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Delta K(\omega)|}{\omega^2 - \omega_1^2} d\omega, \quad |\Delta K(\omega_1)| = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Delta\varphi(\omega)|}{\omega^2 - \omega_1^2} d\omega$$

Подстановкой изменения АЧХ в виде  $|\Delta K(\omega)| = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos T_n \Omega$  в изменения ПХ получаем выражение, описывающее изменения ФЧХ, вызванные изменениями АЧХ:

$$\Delta\varphi(\Omega) = - \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin T_n \Omega$$

Подставляя полученное выражение для ПХ, получим изменения в ПХ, вызванные изменением ФЧХ при изменении АЧХ в минимально-фазовой цепи:

$$\begin{aligned} \Delta h_{\varphi}(t) &= \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} a_n \left[ \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\sin(t+T_n)\Omega}{\Omega} d\Omega - \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\sin(t-T_n)\Omega}{\Omega} d\Omega \right] \\ &= \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} a_n [h_0(t+T_n) - h_0(t-T_n)] \end{aligned}$$

Определим суммарные изменения ПХ в минимально-фазовых цепях:

$$\Delta h_{k,\varphi}(t) = \Delta h_k(t) + \Delta h_{\varphi}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n h_0(t-T_n)$$

При изменении ФЧХ в минимально – фазовой цепи, проделав аналогичные операции, получим соотношение, связывающее изменения в ПХ минимально-фазовой цепи по изменению ФЧХ:

$$\Delta h_{\varphi,k}(t) = - \sum_{n=1}^{\infty} b_n h_0(t-T_n)$$

Таким образом, при использовании минимально-фазовой цепи, изменения в ПХ можно определить по изменению любой из частотных характеристик.

На рисунке 5 приведены графики, показывающие изменения в форме ПХ минимально-фазовой цепи, вызванные изменениями в ФЧХ, приведенными на рисунке 4а.

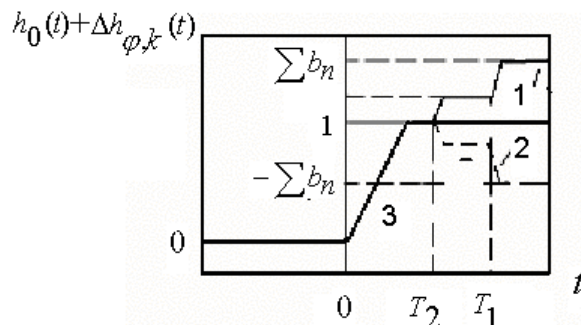


Рисунок 5. Изменения в ПХ минимально-фазовой цепи при изменениях в

ФЧХ: 1- при положительных  $b_n$ ; 2- при отрицательных  $b_n$ ;

3 - исходная ПХ  $h_0(t)$

## 2.5 Порядок выполнения лабораторной работы №1

1. Собрать каскад быстродействующего усилителя с ОЭ на транзисторе BC817.
2. Выполнить расчет элементов схемы для получения времени фронта 1 нс и спада вершины менее 10% при длительности импульса 100нс.
3. По Плоттеру Боде произвести коррекцию АЧХ усилителя
4. Изучить влияние изменения АЧХ в области нижних и верхних частот на форму ПХ. Объяснить связь изменением формы спектра.



### 3. Краткие теоретические сведения к лабораторной работе №2

#### 3.1 Кольцевая корректирующая параллельного типа

Схема кольцевой корректирующей цепи параллельного типа приведена на рисунке 6

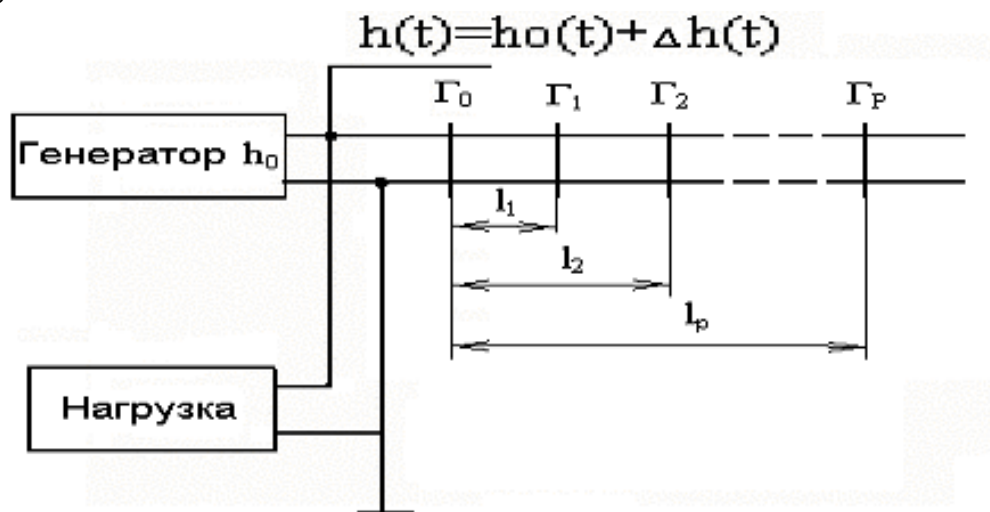


Рисунок 6. Параллельная корректирующая цепь отражательного типа

Для коррекции однородная, несогласованная линия передачи с коэффициентом отражения от входа  $\Gamma_0$ , подключается к точке соединения генератора и нагрузки. На расстояниях  $l_1, l_2, \dots, l_p$  в линии передачи включаются неоднородности  $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_p$ . В результате отражения от неоднородностей в нагрузку поступает сумма разнесенных во времени отраженных от каждой неоднородности сигналов, складывающихся с сигналом, поступающим с генератора.

#### 3.2 Влияние неоднородностей на характеристики устройства

Параметры неоднородностей, необходимых для реализации коэффициентов отражения  $\Gamma_p(j\omega)$  определяются величиной сопротивления – при последовательном включении элементов в линию или величиной проводимости – при параллельном включении элементов по известным выражениям:

$$\Gamma(j\omega) = \frac{Z(j\omega)}{Z(j\omega) + 2\rho} \quad \Gamma(j\omega) = -\frac{Y(j\omega)}{Y(j\omega) + 2/\rho} \quad (20)$$

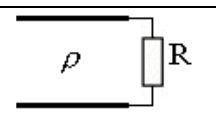
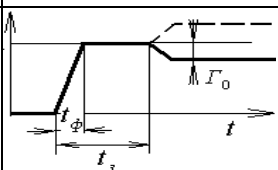
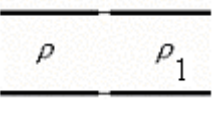
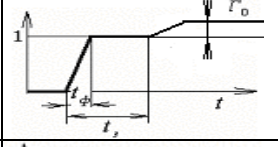
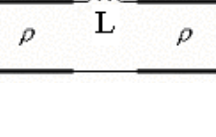
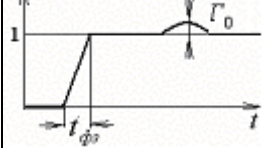
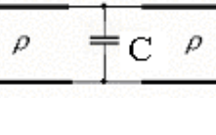
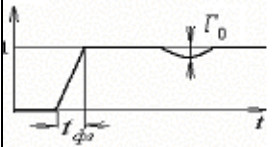
В качестве элементов неоднородностей используются включаемые параллельно или последовательно двухполюсники на основе дискретных сопротивлений, емкостей и индуктивностей, а также изменения волнового сопротивления по длине линии передачи  $\rho(l)$ , [1]. Для получения отрицательного коэффициента отражения используется параллельное подключение элементов к линии передачи или уменьшение волнового сопротивления линии, для получения положительного коэффициента

отражения используется последовательное подключение элементов в линию передачи или увеличение волнового сопротивления линии

Для коррекции переходной характеристики возможно применение каскадного соединения отрезков линии передачи с изменяющимся волновым сопротивлением.

Связь между характеристиками отраженного сигнала, элементами эквивалентной схемы и их значениями для наиболее часто встречающихся элементов определяется соотношениями, приведенными в таблице 2

Таблица 2 Связь значений элементов КЦ с коэффициентами отражения

| Схема   | Рефлектограмма  | Расчетное соотношение                                |
|---|---|--|
|    |    | $R = \rho \frac{1 + \Gamma_0}{1 - \Gamma_0}$         |
|    |   | $\rho_1 = \rho \frac{1 + \Gamma_0}{1 - \Gamma_0}$    |
|  |  | $L = 2\rho \cdot t_{\phi p} \cdot \Gamma_0$          |
|  |  | $C = \frac{2}{\rho} \cdot t_{\phi p} \cdot \Gamma_0$ |

По заданной величине коэффициента отражения и длительностью переходного процесса определить значения элементов. Результаты расчетов и осциллограммы переходных процессов привести в отчете.

### 3.3 Задания на лабораторную работу №2

По заданной величине волнового сопротивления линий передачи, величине задержек и коэффициентов отражения рассчитать величины элементов схемы. Собрать в Мультисиме схемы спроектированных цепей и снять их характеристики.

#### Задание 1:

Влияние  $\rho$  и  $L$  линии передачи на форму ПХ.  $T_3=5$  нс  $t_{имп}=5$  нс,  $\Gamma_1=0,2$ ,  $\Gamma_2=-0,2$  Зарисовать для отчета форму импульса

**Задание 2** Влияние  $C$  на форму ПХ.  $\rho_1 = \rho = R \Gamma = R_H$ ,  $\Gamma = -0,2$ , емкость между линиями

**Задание 3** Влияние  $L$  на форму ПХ.  $\rho_1 = \rho = R \Gamma = R_H$ ,  $\Gamma = -0,2$ , емкость между линиями

**Задание 4** Влияние  $\rho_1$  и  $C$  на форму ПХ.  $\rho=R\Gamma=R_H$ ,  $\Gamma=-0,2$ , емкость между линиями  $\rho$ ,  $\Gamma_{\text{линии}2}=0,2$

**Задание 5** Влияние  $\rho_1$  и  $L$  на форму ПХ.  $\rho=R\Gamma=R_H$ ,  $\Gamma=-0,2$ , емкость между линиями  $\rho$ ,  $\Gamma_{\text{линии}2}=0,2$

**Задание** Влияние  $\rho_1$ ,  $C$  и  $L$  на форму ПХ.  $\rho=R\Gamma=R_H$ ,  $\Gamma=-0,2$ , емкость между линиями  $\rho$ ,  $\Gamma_{\text{линии}2}=0,2$

Результаты расчетов и проведенных исследований привести в отчете с объяснением полученных результатов

#### 4 Краткие теоретические сведения к лабораторной работе №3

##### 4.1.Реализация неминимально-фазовых передаточных функций в устройствах пикосекундного диапазона

Рассмотрим реализацию в устройстве неминимально-фазовых передаточных функций, необходимых для получения оптимальных характеристик в быстродействующих устройствах или для управления формой сигнала. Наиболее простой и эффективный путь реализации звена с неминимально-фазовыми свойствами в устройствах пикосекундного диапазона - применение двухканального устройства с однонаправленным каналом на полевом транзисторе и пассивным широкополосным каналом. Пассивный канал должен иметь начальный фазовый сдвиг, например, быть инверсным, по отношению к однонаправленному каналу. Структурная схема такого звена приведена на рисунке ба, а вариант ее схемотехнической реализации – на рисунке бб.

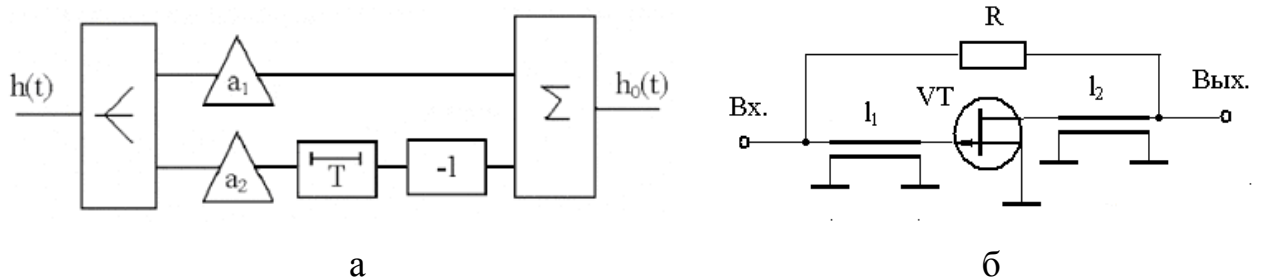


Рисунок 6. Схемы неминимально-фазового звена:

а - структурная схема; б – электрическая схема.

Переходная характеристика на выходе двухканального устройства со структурной схемой, изображенной на рисунке ба, описывается выражением:

$$h_0(t) = h(t) + \Delta h_k(t) = a_1 h(t) - a_2 h(t + T)$$

Если не учитывать задержку сигнала за счет линейных размеров резистора  $R_1$ , то сигнал на выходе первого канала и на выходе устройства появится одновременно со входным сигналом. На выходе второго канала инвертированный сигнал появится с задержкой, определяемой временем  $T$

прохождения через две линии задержки ( $l_1$  с волновым сопротивлением  $\rho_1$ ,  $l_2$  с волновым сопротивлением  $\rho_2$ ), и через транзистор VT.

Коэффициент передачи сигнала в первом канале зависит от номинала резистора, а во втором канале – от коэффициента передачи транзистора VT. В области средних и нижних частот, когда дополнительный фазовый сдвиг становится незначительным, действие резистора R проявляется как обычная отрицательная параллельная обратная связь (ОС). Поэтому, с практической точки зрения, величина резистора выбирается по оптимальной глубине ОС, обеспечивающей равномерную амплитудно-частотную характеристику устройства в области нижних и средних частот. Для этого используются известные программы и методы оптимизации.

Для управления линейностью фазочастотной характеристики в области верхних частот используется изменение длины линий задержки  $l_1$  и  $l_2$  (грубая настройка) и изменение коэффициента передачи транзистора (точная настройка). На переходной характеристике управление линейностью фазочастотной характеристики проявляется в «перекачке» величины выброса с переднего фронта переходной характеристики на выброс перед фронтом при изменении коэффициента передачи транзистора VT.

#### **4.2 Задание на лабораторную работу №3**

1. Собрать схему усилителя с параллельной обратной связью на транзисторе BC817. Установить режим работы  $I_{ко}=5\text{мА}$ ,  $U_{к}=10\text{В}$ .
2. Регулировкой глубины ОС установить коэффициент усиления равный 3.
3. Измерить с помощью плоттера Боде значение верхней граничной частоты, рассчитать время переднего фронта и измерить осциллографом.
4. Включить линию задержки с  $\rho=20\text{ Ом}$ , длиной равной удвоенной длине переднего фронта последовательно со входом транзистора.
5. Измерить с помощью плоттера Боде значение верхней граничной частоты, измерить время переднего фронта.
6. Зафиксировать форму выходного сигнала, сравнить с теоретической.
7. Объяснить полученные результаты в отчете.

#### **5 Краткие теоретические сведения к лабораторной работе №4**

Многоканальные формирователи импульсов выполняются на основе структур, рассмотренных выше. Принцип формирования в таких устройствах заключается в линейном преобразовании амплитудного и фазового спектров исходного сигнала. Форма выходного сигнала определяется сверткой

входного воздействия и импульсной характеристики многоканальной системы.

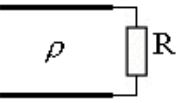
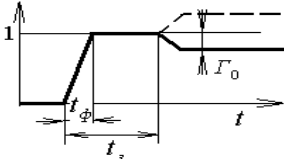

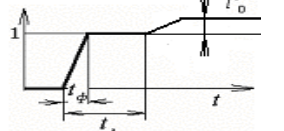
Многоканальные структуры используют для укорочения фронта и среза импульсов, для укорочения или расширения длительности импульсов или для формирования ступенчатых перепадов напряжения и т. п.

Для формирования импульса нужной формы используется изменение волнового сопротивления линии передачи и величины сопротивления нагрузки.

### 5.1 Основные расчетные соотношения

Основные расчетные соотношения приведены в таблице 3.

Таблица 3. Основные расчетные соотношения

| Схема  | Рефлектограмма   | Расчетное соотношение                             |
|--|--|---|
|   |   | $R = \rho \frac{1 + \Gamma_0}{1 - \Gamma_0}$      |
|  |  | $\rho_1 = \rho \frac{1 + \Gamma_0}{1 - \Gamma_0}$ |

Рассмотрим, что происходит при коротком замыкании и разрыве линии передачи, при  $R=0$  и  $R=\infty$ . Из приведенного выше выражения получаем коэффициент отражения

$$\Gamma_0 = \frac{R - \rho}{R + \rho} \quad (25)$$

При  $R = \rho$  отражение отсутствует,  $\Gamma_0 = 0$ . При  $R = \infty$ , разрыве (холостом ходе) на конце линии передачи, коэффициент отражения  $\Gamma_0 = 1$ , и сигнал на входе линии передачи имеет форму, приведенную на рисунке 7а. При  $R = 0$ , коротком замыкании на выходе линии, коэффициент отражения  $\Gamma_0 = -1$ , сигнал на входе линии передачи имеет форму, приведенную на рисунке 7б.

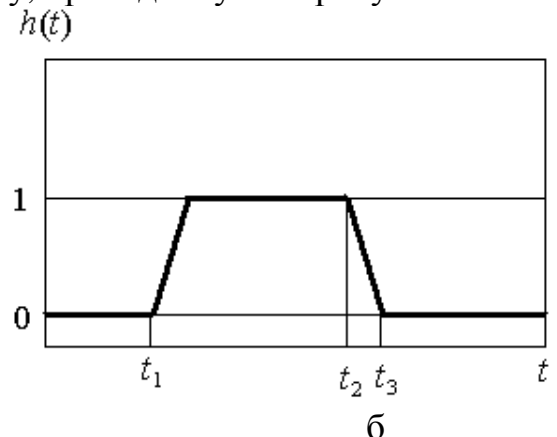
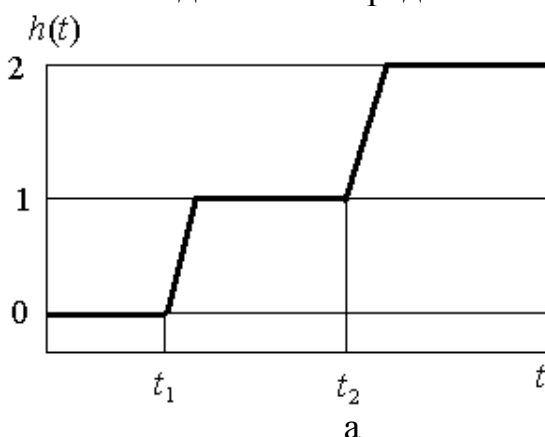


Рисунок 86. Рефлектограммы при холостом ходе (а) и коротком замыкании (б) линии передачи

Формирование импульса нужной длительности  $\Delta t = t_2 - t_1$  производится путем короткого замыкания отрезка линии передачи соответствующей длины:

$$l = \frac{C \cdot \Delta t}{2\sqrt{\epsilon}}$$

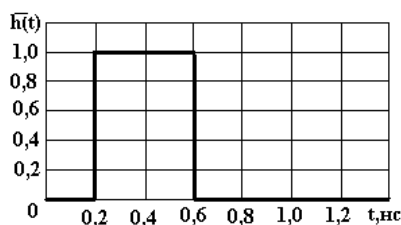
где  $\Delta t$  - длительность формируемого импульса,  $C = 3 \cdot 10^8$  м/сек - скорость света,  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость материала линии задержки.

## 5.2 Задание на лабораторную работу

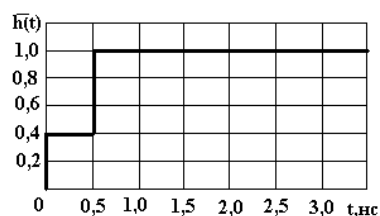
1. Собрать схему формирователя параллельного типа, состоящую из двух последовательно соединенных отрезков линии передачи, нагруженных на сопротивление. Выход формирователя – из точки соединения линий передачи.
2. По заданной форме импульса, его временного положения и величине волнового сопротивления рассчитать параметры линий передачи.
3. Установить параметры прямоугольного сигнала на выходе генератора: амплитуда 10В, фронт 0,1 нс, частота повторения 20МГц, сопротивление генератора в соответствии с заданием.
4. Снять форму выходного импульса, сопоставить с расчетным заданием.

## 5.3 Задачи по проектируемым формам импульсов

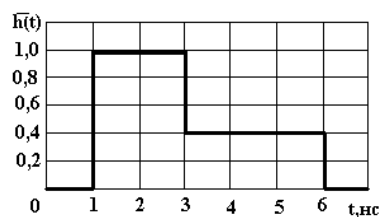
Задача 1. Генератор с выходным сопротивлением 100 Ом вырабатывает импульс  $i(t)$ . Приведите схему параллельной корректирующей цепи, формирующей импульс, приведенный на рисунке и определите значения элементов



Задача 2. Генератор с выходным сопротивлением 50 Ом вырабатывает импульс  $i(t)$ . Приведите схему параллельной корректирующей цепи, формирующей импульс, приведенный на рисунке и определите значения элементов



Задача 3. Генератор с выходным сопротивлением 75 Ом вырабатывает импульс  $h(t)$ . Приведите схему параллельной корректирующей цепи, формирующей импульс, приведенный на рисунке и определите значения элементов



### Литература

1. Пикосекундная импульсная техника Ильюшенко В.Н., Авдоченко Б.И. и др. /под ред. Ильюшенко В.Н. – М., Энергоатомиздат, 1993, 368с.
2. Авдоченко Б. И. Цифровые и аналоговые быстродействующие устройства: Курс лекций /<http://edu.tusur.ru/training/publications/954> – 2012.– 174 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 21 экз.)