#### **Реферат**

«Корректирующие цепи и линии задержки»

**1. Назначение линий задержки и их основные характеристики**

При решении многих задач техники связи и родственных ей областей возникает необходимость в построении электрической цепи, которая запоминала бы аналоговый сигнал, а затем повторяла бы его на выходе цепи через заданное время. Такие цепи называют линиями задержки (ЛЗ).

По конструктивному исполнению ЛЗ подразделяют на электрические, электромеханические, пьезоэлектрические, ультразвуковые, акустические, цифровые и т.д. Электрические ЛЗ являются наиболее распространенным типом, поэтому они и рассматриваются в дальнейшем.

Независимо от принципа работы ЛЗ представляет собой четырехполюсник, на выходе которого сигнал появляется спустя некоторое время после подведения его ко входу

,



где - выходной сигнал,



- входной сигнал,



- время задержки.



- коэффициент пропорциональности.



ЛЗ может выполняться в виде единого блока, либо в виде системы с отводами.

Вполне очевидно, что в идеальной ЛЗ должны выполняться условия безыскаженной передачи сигналов, т.е.



При этом время задержки



На рисунке 1 показаны графики некоторого входного и задержанного неискаженного выходного сигналов при .



Рисунок 1

Передаточная функция идеальной ЛЗ не может быть реализована электрической цепью с конечным числом элементов *R*, *L* и *С* (характеристиками идеальной ЛЗ обладает длинная линия без потерь, что и используется в технике СВЧ).

Описание реальной ЛЗ обычно осуществляется в рамках следующих основных характеристик и показателей:

а) Характеристика группового времени задержки и величина отклонения характеристики группового времени задержки от идеальной (рисунок 2).



В ряде случаев вместо требований к характеристике задают требования к ФЧХ или к характеристике рабочей фазы (см. рисунок 3).



Рисунок 2



Рисунок 3

б) АЧХ линии задержки и величина ее отклонения от идеальной.

Из условий безыскаженной передачи сигналов следует, что АЧХ ЛЗ должна быть постоянной величиной в рабочей полосе частот или отклоняться от этого значения на величину не превышающей некоторой заданной константы (рис. 4).



Рисунок 4

В ряде случаев при расчете ЛЗ оперируют с логарифмическими единицами, например



Помимо перечисленных характеристик, которые следует считать основными, ЛЗ часто характеризуют рядом дополнительных параметров (чувствительнотью ЧХ к воздействию дестабилизирующих факторов, числом отводов, массой и др.)

Задаче синтеза ЛЗ имеет целью спроектировать линейный четырехполюсник, у которого АЧХ в рабочей полосе частот отличается от постоянной величины на не превышающее заранее заданное значение, а функция группового времени задержки или ФЧХ в этой же полосе частот изменяются также в заранее заданных пределах.



Мерой отклонения реальной и идеальной характеристик при проектировании ЛЗ обычно служит чебышевской критерий близости, т.е.



Если по заданию на проектирование время задержки достаточно велико, то ЛЗ составляют из нескольких одинаковых секций. При этом требуемое время задержки и погрешность аппроксимации характеристик для каждой секции должны быть уменьшены в *N* (число секций) раз, поскольку при каскадно-согласованном или каскадно-развязанном соединении секций и будут суммироваться.



Главным этапом при расчёте ЛЗ является конструирование передаточной функции, удовлетворяющей заданным требованиям. После этого осуществляется выбор схемы реализации и расчёт элементов цепи.

1. **Линии задержки на фазовых звеньях**

У этого типа ЛЗ полностью снимается проблема АЧХ. Действительно, ОПФ фазового звена имеет вид



Следовательно,



Решая задачу синтеза ЛЗ на фазовых звеньях, необходимо найти такой полином Гурвица , у которого в заданном интервале частот функция аппроксимировала бы линейную зависимость .



Интервал аппроксимации чаще всего ограничивается полосой частот , что характерно для ЛЗ видеосигналов.



Для того чтобы решение было общим для любых конкретных значений аппроксимируемой функции удобно от переменной перейти к нормированной частоте , где – нормирующая частота, и нормированному времени



При этом аппроксимируемая функция переходит в функцию , а интервал аппроксимации – в интервал . Обозначим . Тогда , а аппроксимирующая функция будет иметь вид:



В свою очередь, учитывая свойства реактансных функций последнее выражение можно записать в виде



где ,



*Н* – некоторая функция.

а) Интерполирование линейной фазы

Для приближенного воспроизведения заданной линейной зависимости можно применять интерполирование, расположив узлы интерполяции в *n* равностоящих точках . Такие же значения будут принимать в этих точках аппроксимируемая и аппроксимирующая функции. Для получения указанных значений под знаком должны чередоваться ноль и полюс, то есть числитель и знаменатель должны поочередно обращаться в ноль.



В таком случае, например, при четырех узлах интерполирования и *Н* > 0, аппроксимирующая функция будет иметь вид



Значение *Н* можно найти, если потребовать, чтобы в точке производная функции совпадала бы со значением производной . В рассматриваемом примере , а при малых



, то .



Приравняв это значение к единице, получим:



График полученной функции



Рисунок 5

Числитель найденной функции представляет собой нечетную, а знаменатель – четную части комплекса полинома Гурвица. Поэтому



Собственно же полином Гурвица от нормированного переменного имеет вид



б) Линии задержки с равноволновыми частотными характеристиками

Из рисунка 5 нетрудно заметить, что отклонения аппроксимируемой функции и аппроксимирующей функции между узлами неодинаково. Поэтому найденное методом интерполирования решение, хотя и удовлетворительно воспроизводит заданную зависимость, следует рассматривать как первое приближение, которое затем можно уточнить.

Трифоновым И.И. с помощью ЭВМ была найдена совокупность полиномов Гурвица различных степеней *n*, у которых функция аппроксимирует линейную зависимость с минимальной в смысле Чебышева погрешностью. Например, полином четвертой степени имеет вид



График разности показан на рисунке 6.



Рисунок 6

в) Линии задержки с монотонными частотными характеристиками.

Другим способом аппроксимации фазы является аппроксимация по Тейлору. В этом случае функции для точки находятся аналитически и включают в себя так называемые полиномы Бесселя, как разновидность полиномов Гурвица



и т. д. (см. справочную литературу).

Полиному Бесселя степени *n* соответствует функция , которая в точке разлагается в ряд



,



где есть коэффициенты ряда, которые выражаются через функции Бесселя, чем и обусловлено название рассматриваемых полиномов.



На рисунке 7 приведены графики для нескольких полиномов Бесселя младших степеней, а на рисунке 8 графики , аппроксимирующие постоянное групповое время



Рисунок 7



Рисунок 8

Из рисунка 8 видно, что частотные зависимости группового времени прохождения ЛЗ являются максимально плоскими. Из него также видно, что интервал аппроксимации увеличивается с ростом степени полинома, а погрешность приближения монотонно возрастает с ростом



**3. Линии задержки на фильтрах нижних частот**

В подавляющем большинстве случаев для ЛЗ этого типа используется ФНЧ с фазочастотными характеристиками, близкими к линейной зависимости. ОПФ такой ЛЗ имеет такой же вид, как и у обычного полиномиального ФНЧ:



Рабочая фаза и функция группового времени задержки будут выражаться зависимостями:



В качестве полиномов на практике могут быть использованы разновидности полиномов Гурвица, например, Бесселя, Трифонова и др.



Если – полином Бесселя, то характеристика имеет максимально плоский вид (рис. 8).



Схемы пассивной реализации такой ЛЗ имеют лестничную структуру, в которой в продольных ветвях стоят индуктивные элементы, в поперечных – емкостные, а в общее число реактивных элементов равно *n*.

Полиномы Трифонова обеспечивают наилучшее в смысле чебышевского критерия близости воспроизведение линейной ФЧХ в рабочем диапазоне частот. Естественно, что функция при этом равноволновый характер не сохраняет.



Наибольшее практическое распространение получили ЛЗ, построенные на полиномиальных ФНЧ бесселевского типа. Основным недостатком, сдерживающим их широкое применение, является достаточно заметная неравномерность характеристики затухания Δ*а* в рабочей полосе частот.

**Заключение**

В данной работе рассмотрены направления синтеза пассивных линий задержки в *LC* базисе. При их проектировании следует использовать справочную литературу, например: Авраменко В.Л., Ланнэ А.А. «Электрические линии задержки и фазовозвращатели» – ВАС, 1969 г.;

В случае реализации ЛЗ в *ARC* – базисе могут быть применимы любые из известных методов расчета со всеми присущими им особенностями. В качестве общего недостатка активной реализации следует отметить чрезмерную избыточность в схеме активных приборов.

**Литература**

1. Белецкий А.Ф. «Теория линейных электрических цепей » Москва 1986 - с. 513- 518.

# Белецкий А.Ф. « Линейные устройства аппаратуры связи. Конспект лекций»

3. Бакалов В.П. «Теория электрических цепей» Москва «Радио и связь» 1998 с. 404-411