

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППОВОГО ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ И ДИСПЕРСИОННЫХ ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ

*В статье исследуются возможности определения группового времени задержки коаксиальных кабелей и дисперсионные линии задержки.*

*Ключевые слова:* групповое время задержки, дисперсионные линии, преобразование спектра, двойное преобразование Фурье.

**Введение.** Измерения групповой задержки применяются в технике связи, радиолокации и радиоэлектронике [1 - 7]. Недостаточно рассмотренными являются вопросы, связанные с измерением группового времени задержки коаксиальных кабелей и дисперсионных линий задержки.

**Материалы и методы исследования.** В статье рассматриваются способы измерения группового времени задержки коаксиальных кабелей с помощью непрерывных сигналов и дисперсионных линий задержки с помощью импульсных сигналов.

**Научная новизна статьи** заключается в использовании в процессе измерений групповой задержки двойного (прямого и обратного) преобразования Фурье измерительных сигналов.

**Цель данной статьи** – исследовать возможность повышения точности измерений с помощью измерителей разностной дисперсионной характеристики и дисперсионных характеристик с помощью измерителей с импульсными сигналами.

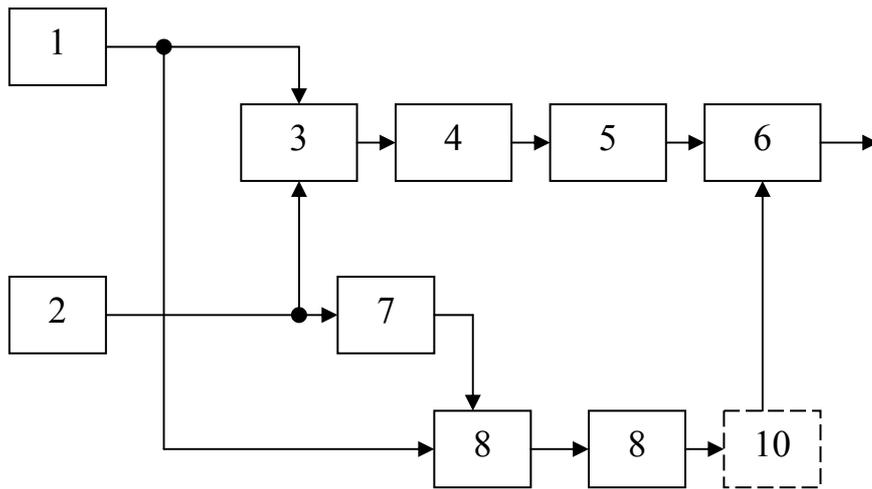
### **Изложение основного материала статьи.**

Коаксиальные кабели типа РК часто используются в качестве образцовых мер фазы или бездисперсионных мер группового времени задержки (ГВЗ), например, в приборе ФЧ-2. Однако из-за скин-эффекта в диапазоне частот 0,1-10 МГц частотная характеристика ГВЗ кабеля является дисперсионной.

Известны устройства, реализующие метод измерения групповой задержки по запаздыванию огибающей группового, например, двухчастотного сигнала (метод Найквиста). Метод позволяет производить измерение абсолютных значений групповой задержки с высокой точностью. Дисперсионную характеристику (зависимость групповой задержки от частоты) получают обычно путем свипирования (качания частоты) с выходом на экран осциллографа или самописец. Однако при перепадах групповой задержки в десятки – сотни микросекунд трудно обеспечить высокую точность отсчета. В этом случае целесообразно записывать разностную дисперсионную характеристику, которая показывает отклонение дисперсии коаксиального кабеля и дисперсионной линии задержки (ДЛЗ) от заданной.

В настоящее время при отсутствии надежного эталона разностную дисперсионную характеристику получают следующим образом. Производят точные измерения группового времени задержки на фиксированных частотах, вычисляют отклонение, аппроксимируя промежуточные значения, и строят графически разностную дисперсионную характеристику. Способ трудоемок и не дает представления о в промежуточных точках.

С целью повышения точности определения группового времени задержки разностной дисперсионной характеристики использована следующая методики, реализуемая с помощью устройства, представленного на рис. 1.



1, 2 – перестраиваемые генераторы; 3; 8 – сумматоры;  
 4 – исследуемый коаксиальный кабель или дисперсионная линия задержки  
 (дисперсионный элемент); 5, 9 – детекторы; 6 – фазометр;  
 7 – опорная линия задержки; 10 – фазовращатель.

Рис. 1 – Устройство измерения разностной дисперсионной характеристики.

Повышение точности измерений достигается тем, что измерения производятся с помощью генератора двухчастотного сигнала, один из выходов прямо, а другой через опорную линию задержки поданы на дополнительный сумматор, выход которого подключен к входу детектора.

Гармонические колебания вырабатываются перестраиваемыми генераторами 1 и 2. Разность частот генераторов в процессе измерений поддерживается постоянной.

Измерительный сигнал в виде суммы двух непрерывных гармонических колебаний с выхода сумматора 3 поступает на вход исследуемого дисперсионного элемента 4.

После прохождения через дисперсирующую среду двухчастотного сигнала, его огибающая выделяется детектором 5, который подключен к выходу исследуемого дисперсионного элемента. Выход детектора 5 соединен с одним из входов фазометра 6.

Разность фаз огибающей двухчастотного сигнала на выходе ДЛЗ и огибающей двухчастотного сигнала на входе ДЛЗ будет равна:

$$\Delta\varphi(f) = 2\pi Ft_{gp}(f), \quad (1)$$

где  $F = f_2 - f_1 = const$ ;

$f_1$  и  $f_2$  - частоты первого и второго перестраиваемых генераторов;

$t_{gp}$  - групповое время задержки измерительного сигнала на частотах

$$f = \frac{f_2 - f_1}{2}.$$

Опорная линия 7 задержки, сумматор 8 и детектор 9 образуют цепь формирования опорного сигнала. Выход генератора 1 подключен к сумматору 8. Генератор 2 подключен к сумматору 8 через опорную линию 7 задержки.

Фаза огибающей двухчастотного сигнала на выходе сумматора 3 (на входе ДЛЗ 4) будет равна

$$\Delta\varphi_2(f) = 2\pi f t_3, \quad (2)$$

где  $t_3$  - время задержки опорной линии 7.

При этом  $\Delta f_2 = f_0 + \frac{F}{2}$ , и, соответственно,  $\Delta\varphi_2(f) = 2\pi f_0 t_3 + \varphi_0$ , где  $\varphi_0 = \pi F t_3 = const$ .

Огибающая опорного двухчастотного сигнала выделяется детектором 9, который подключен ко второму входу фазометра 6.

Напряжение на выходе фазометра будет пропорционально разности фаз огибающих задержанного и опорного сигналов.

Чтобы напряжение на выходе фазометра было пропорционально отклонениям дисперсии коаксиального кабеля или ДЛЗ от линейной, фаза опорного напряжения должна изменяться в соответствии с расчетным значением линейной дисперсии исследуемого элемента.

Это может быть реализовано соответствующим подбором времени задержки  $t_3$  линии 7 и разностной частотой  $F$  генераторов 1 и 2. На практике целесообразно изменять время задержки линии 7 ступенчато, а разностную частоту  $F$  плавно.

Начальная фаза  $\varphi_0$  компенсируется фазовращателем 20. При отличии заданной дисперсионной характеристики исследуемого элемента от линейной (квадратичная, кубичная и т.д.) опорная линия 7 должна быть дисперсионной. Ее дисперсионная характеристика должна иметь кривизну на порядок ниже кривизны дисперсионной характеристики исследуемой ДЛЗ (линейная, квадратичная и т.д.).

Данный способ измерения может быть легко реализован для контроля коаксиальных кабелей и линий с линейной дисперсией. В этом случае время задержки опорной линии на превосходит десятых долей микросекунд, и она может быть выполнена в виде отрезка высокочастотного кабеля.

В радиолокации и технике связи широко применяются дисперсионные линии задержки. Определение зависимости группового времени задержки (ГВЗ) от частоты (дисперсионной характеристики) является актуальной задачей при использовании дисперсионных линий задержки в технике сжатия линейно-частотно-модулированных радиоимпульсов.

Дисперсионные линии задержки имеют частотные характеристики, комплексно сопряженные со спектральными характеристиками входных сигналов.

Известные устройства для измерения группового времени задержки дисперсионных линий содержат (рис. 2) генератор импульсных измерительных сигналов (1), измеряемую линию задержки (2), блок измерения задержки (3).

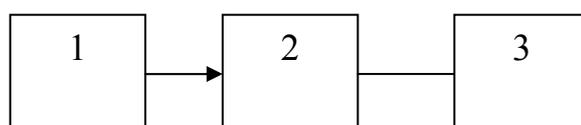


Рис. 2 – Устройство измерения групповой задержки.

Аналогичные устройства реализуют способы измерения групповой задержки линий по запаздыванию огибающей измерительного сигнала. Однако при измерении ГВЗ дисперсионных четырехполосников на результаты измерения оказывают влияние свойства амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной (ФЧХ) характеристик. Длительность задержанного импульса увеличивается (растягивается), а его форма искажается, что затрудняет получение отсчет. Если искажения формы импульса имеют несимметричный характер, возникают дополнительные ошибки измерения. Приводимый способ точного измерения дисперсионных характеристик со помощью импульсных сигналов позволяет существенно снизить влияние свойства АЧХ и ФЧХ измеряемого четырехполосника на результаты измерения.

Сущность способа состоит в том, что на вход исследуемой дисперсионной линии задержки подают измерительный радиоимпульс, а задержанный импульс преобразуют по частоте зеркально относительно его несущей частоты в блоке преобразования спектра задержанного радиоимпульса, и вновь подают на вход исследуемой дисперсионной линии задержки (ДЛЗ) (рис. 3).

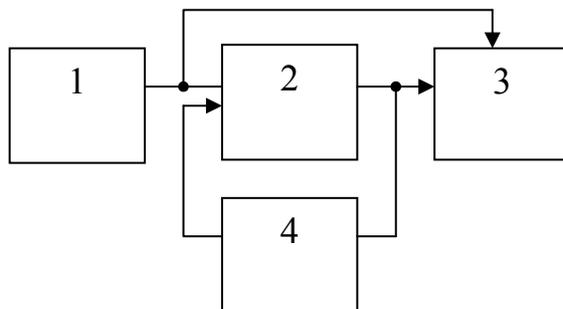


Рис. 3 – Устройство измерения дисперсионных характеристик: 1 – генератор импульсных измерительных сигналов; 2 – исследуемая линия задержки; 3 – блок измерения задержки; 4 – блок преобразования спектра задержанного радиоимпульса.

Рассмотренный способ измерения дисперсионных характеристик линий с помощью импульсных сигналов позволяет уменьшить влияние свойств АЧХ и ФЧХ измеряемого четырехполосника и проводить измерения по импульсу уменьшенной длительности («сжатому»).

Недостатком устройства (рис. 3) является наличие погрешности измерений группового времени задержки в пределах полосы рабочих частот исследуемой дисперсионной линии из-за существенной неравномерности амплитудно-частотной характеристики в пределах этой полосы.

Данный недостаток устраняется при введении в устройство для измерения группового запаздывания линий задержки блока автоматической регулировки амплитуды задержанных радиоимпульсов (рис. 5).

Устройство работает следующим образом. Генератор 1 вырабатывает радиоимпульсы (рис. 4а), поступающие на вход исследуемой линии 2 задержки. Характеристика преобразования задержанного радиоимпульса показана на рис. 4в.

Сигналы с выхода линии 2 задержки (рис. 4б) подаются на блоки 3 и 4 через блок 5 автоматической регулировки амплитуды задержанных радиоимпульсов, который обеспечивает выравнивание амплитуд откликов по всей полосе ее

пропускания. В результате обеспечиваются одинаковые условия работы преобразователя 4 и блока 3 измерения задержки во всем диапазоне частот полосы пропускания линий задержки 2, что уменьшает погрешность групповой задержки из-за неравномерности АЧХ линий задержки 2 в пределах ее полосы пропускания.

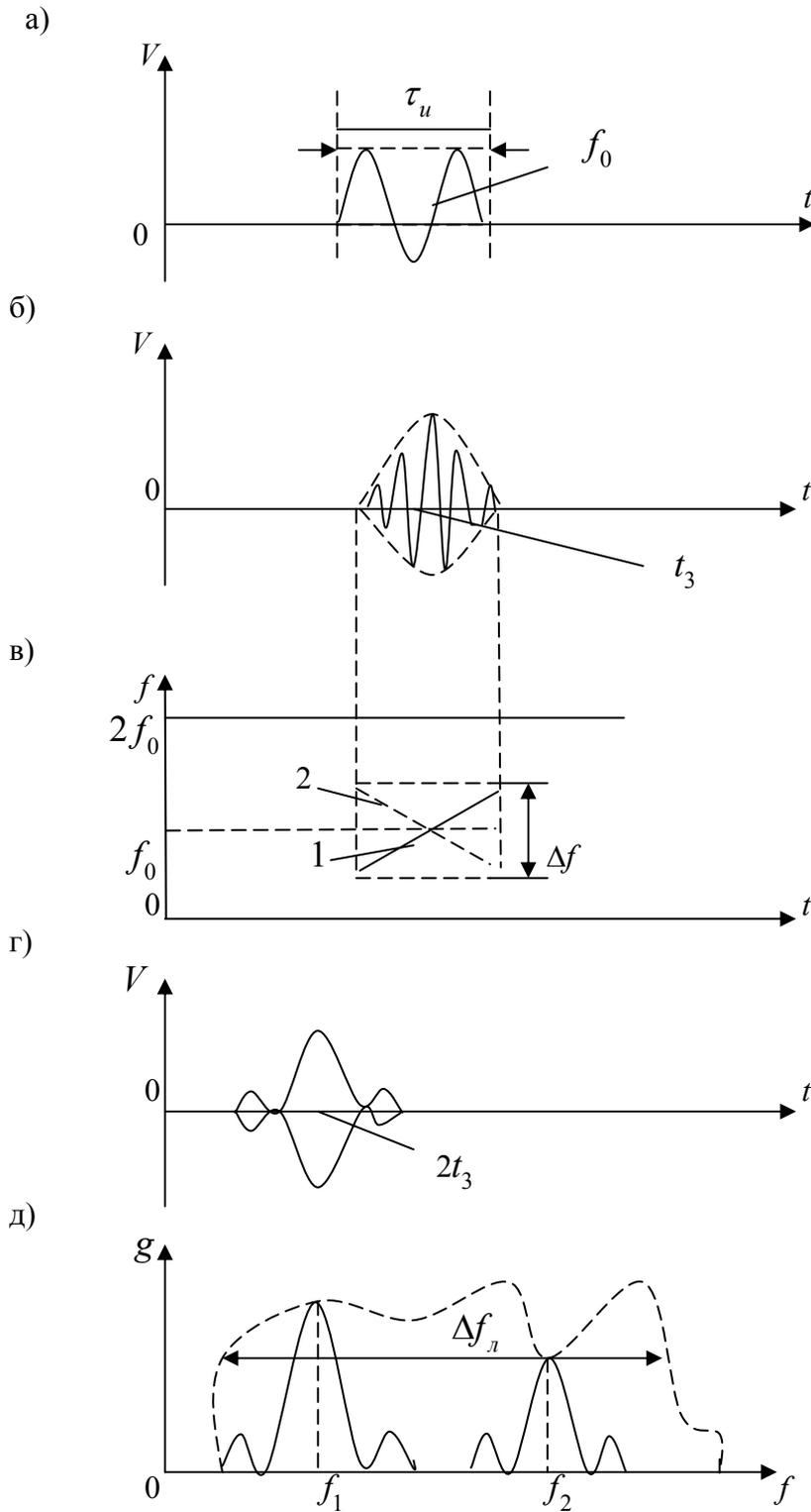


Рис. 4 – Временные диаграммы работы устройства.

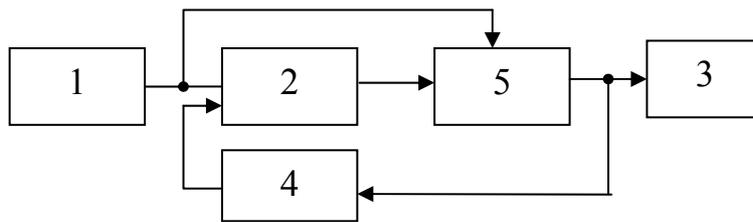


Рис. 5 – Устройство измерения с блоком автоматической регулировки: 1 – генератор импульсных измерительных сигналов; 2 – исследуемая линия задержки; 3 – блок измерения задержки; 4 – блок преобразования спектра задержанного радиоимпульса; 5 – блок автоматической регулировки амплитуды задержанных радиоимпульсов.

Выходные сигналы блока 5 поступают на блок 4, выполняющий преобразование в соответствии с характеристикой рис. 4в. После вторичного прохождения через дисперсионную линию 2 на ее выходе появляется укороченный задержанный радиоимпульс (рис. 4г), по которому блок 3 измерения задержки выполняет отсчет группового времени задержки (рис. 4в).

**Заключение.** Таким образом, исследования показали, что при использовании измерителя групповой задержки дисперсионных линий на основе двойного (прямого и обратного) преобразователя Фурье, включение в него блока автоматической регулировки усиления позволяет существенно повысить точность измерения группового времени запаздывания путем исключения влияния неравномерностей АЧХ исследуемой линии задержки в полосе рабочих частот на результаты измерения, поскольку измерение задержки производится по откликам с одинаковой амплитудой.

### Список литературы

1. О.И. Фальковский. Техническая электродинамика. – М.: Связь, 1988. – 429 с.
2. В.А. Кузнецов и др. Измерения в электронике. – М.: Энергоатомиздат, 1987.– 511 с.
3. Б.В. Дворяшкін и др. Радиотехнические измерения. – М.: Сов. радио, 1988. – 387 с.
4. П.Ф. Поляков. Потенциальные возможности дисперсионных анализаторов спектров сигналов и новые области их применения. – ТР. ВНИИФТРИ, 1975. – 268 с.
5. А.С. Лимонов, И.В. Перетягин. Измерение дисперсионных характеристик линий задержки с помощью импульсных сигналов. – ТР. ВНИИФТРИ, 1975. – 268 с.
6. В.Г. Шинаков. Определение группового времени задержки коаксиальных кабелей. – ТР. ВНИИФТРИ, 1975. – 268 с.
7. А.С. Лимонов. Авторское свидетельство № 51700, Бюллетень № 33, от 07.09.1982.

**Визачення групового часу затримки коаксиальних кабелів і дисперсійних ліній затримки.**

**Лімонов О.С., Пустовіт Т.М.**

*В статті досліджуються можливості визначення групового часу затримки коаксиальних кабелів і дисперсійних ліній затримки.*

**Ключові слова:** *груповий час затримки, дисперсійні лінії, перетворення спектра, подвійне перетворення Фур'є.*

**Group time delay measurement of coaxial cables and dispersional delay lines.**

**Limonov A. S., Pustovit T.M.**

*Abilities of group delay time determination for coaxial cables and delay lines are investigated.*

**Keywords:** *group delay time, dispersional lines, spectrum transform, double fourier transform.*