

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры  
(КУДР)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОАКСИАЛЬНОГО ТРАКТА**

Методические указания к выполнению  
лабораторной и самостоятельной работы  
по дисциплине «Основы проектирования микроволновых устройств»



время. Строго говоря, импульсный рефлектометр измеряет именно временную задержку между входным воздействием и отражённым сигналом. Однако, зная скорость распространения электромагнитной волны в кабеле, можно трансформировать ось времени в ось расстояний. Можно считать, что при распространении импульсного сигнала проводники линии являются только направляющими элементами для распространения сигналов, а основная часть энергии сигналов распространяется вдоль линии, то есть фактически в ее изоляции. Скорость распространения импульсных сигналов в воздушных линиях (изоляция - воздух) очень близка к скорости света в вакууме. Скорость распространения в кабельных линиях, в зависимости от материала изоляции, может быть значительно ниже (до нескольких раз) скорости распространения света в вакууме.

При импульсной рефлектометрии расстояние до места повреждения или до конца линии определяется по времени задержки отраженных сигналов относительно зондирующих, в соответствии с выражением:

$$L = \frac{V \cdot t}{2}$$

где  $L$  – расстояние до места повреждения,

$t$  – время задержки отраженных сигналов относительно зондирующих,

$V$  – скорость распространения импульсного сигнала по линии,

Принято учитывать скорость распространения импульсных сигналов безразмерной величиной коэффициента укорочения  $k$ .

Коэффициент укорочения показывает во сколько раз скорость распространения сигналов в линии меньше скорости света в вакууме и определяется выражением:

$$V = \frac{c}{k} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

где  $c$  – скорость света в вакууме ( $3 \cdot 10^8$  м/с),

$k$  – коэффициент укорочения

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала изоляции кабеля.

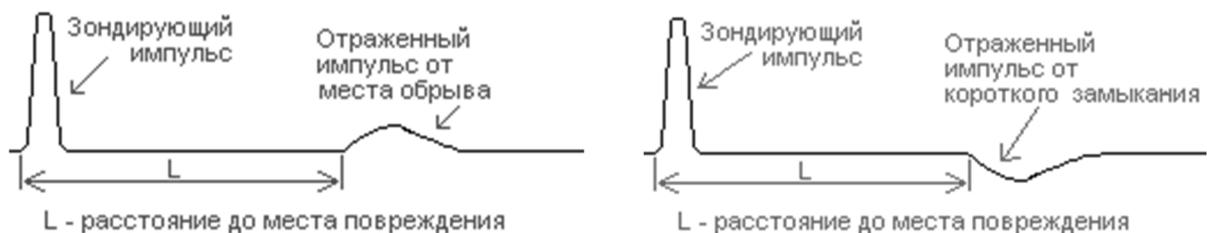


Рисунок 2. – Пример интерпретации измеренных рефлектограмм

В идеальном случае, когда отражение от повреждения полное и затухание отсутствует, амплитуда отраженного сигнала равна амплитуде зондирующего импульса.

Рассмотрим два случая эквивалентных схем повреждений, которые наиболее часто встречаются на практике: шунтирующая утечка и продольное сопротивление.

Пусть место повреждения линии представляет собой шунтирующую утечку  $R_{ш}$ :

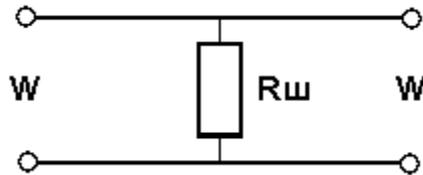


Рисунок 3. – Эквивалентная схема линии передачи с дефектом в виде шунта

С изменением сопротивления утечки от нуля (соответствует короткому замыканию) до бесконечности (соответствует исправной линии), при положительном зондирующем импульсе отраженный импульс имеет отрицательную полярность и изменяется по амплитуде от максимального значения до нулевого, в соответствии с выражением:

$$K_{отр} = (W_1 - W) / (W_1 + W) = -W / (W + 2R_{ш}),$$

где:  $R_{ш}$  – сопротивление шунтирующей утечки,

$W_1$  – волновое сопротивление линии в месте повреждения, определяется выражением:

$$W_1 = (W \cdot R_{ш}) / (W + R_{ш})$$

Так, например, при коротком замыкании ( $R_{ш} = 0$ ) получаем:  $K_{отр} = -1$ . В этом случае сигнал отражается полностью с изменением полярности.

При отсутствии шунтирующей нагрузки ( $R_{ш} = \infty$ ) имеем:  $K_{отр} = 0$ . Сигнал не отражается.

При изменении  $R_{ш}$  от 0 до бесконечности амплитуда отраженного сигнала уменьшается от максимального значения до нулевого, сохраняя отрицательную полярность (см. рисунок).



Рисунок 4. – Отраженный импульс в случае дефекта в виде шунта

Если эквивалентная схема места повреждения линии имеет вид включения продольного сопротивления (например, нарушение спайки или скрутки жилы), то с изменением величины продольного сопротивления отраженный импульс изменяется по амплитуде, оставаясь той же полярности что и зондирующий импульс.

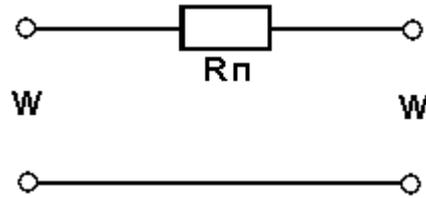


Рисунок 5. – Эквивалентная схема линии передачи с дефектом в виде последовательного сопротивления

Выражение для коэффициента отражения при наличии включения продольного сопротивления будет иметь вид:

$$K_{\text{отр}} = (W_1 - W) / (W_1 + W) = 1 / (1 + 2 \cdot W / R_n),$$

где:  $R_n$  – продольное сопротивление,

$W_1$  – волновое сопротивление линии в месте включения продольного повреждения, определяемое выражением:

$$W_1 = R_n + W$$

В случае обрыва жилы ( $R_n = \infty$ ) получаем коэффициент отражения:  $K_{\text{отр}} = 1$ . Это означает, что сигнал отражается полностью без изменения полярности.

При нулевом значении продольного сопротивления ( $R_n = 0$ ) имеем:  $K_{\text{отр}} = 0$ . Сигнал не отражается. При изменении  $R_n$  от бесконечности до 0 отраженный сигнал уменьшается по амплитуде от максимального значения до нулевого, без изменения полярности (см. рисунок).



Рисунок 6. – Отраженный импульс в случае дефекта в виде последовательного сопротивления

В данной работе измерения рефлектограмм осуществляется с помощью векторного импульсного измерителя характеристик цепей Р4-И-01. Прибор

предназначен для проведения измерений временных, частотных характеристик устройств, а также характеристик нелинейности преобразования сигнала устройством.

Особенностью прибора является использование сверхширокополосных тестовых сигналов (в том числе видеоимпульсных) для измерения всей совокупности характеристик. Это создает возможность подавления паразитных отражений сигнала стробированием (например, при измерении параметров антенн в незаглушенном помещении).



Рисунок 7. – Векторный импульсный измеритель характеристик цепей Р4-И-01с функцией рефлектометра

	Нелинейные характеристики	Линейные характеристики	
Частотная область	нуль-спектральные искажения;	входной импеданс;	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div>           традиционные методы измерений         </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="background-color: orange; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div>           методы измерений, реализованные только в линейке приборов, разработанных в ТУСУР         </div>
	гармонические искажения;	коэффициент отражения;	
	интермодуляционные искажения.	коэффициент стоячей волны;	
Временная область	нелинейные рефлектограммы (NTDR);	прямые и обратные потери;	
	нелинейная характеристика "на проход" (NTDT).	ФЧХ;	
		ГВЗ.	
		рефлектограммы (TDR);	
		характеристика "на проход" (TDT).	

#### Режимы измерений

Прибор и программное обеспечение "ИмпульсМ" позволяют производить измерения характеристик устройств в одном из пяти режимов:

1. Измерение частотных характеристик;
2. Измерение гармонических искажений;
3. Измерение интермодуляционных искажений;
4. Измерение нуль-спектральных искажений;
5. Построение рефлектограмм (в том числе нелинейных).

### 3 Порядок выполнения работы

В ходе данной работы должны быть освоены основы измерения временной задержки и искажения сигналов на примере коаксиального кабеля RG-58.

Для этого необходимо выполнить следующие действия:

3.1 Изучите предложенный в п. 2 теоретический материал и руководство пользователя к прибору P4-И-01.

3.2 Включите прибор, запустите программное обеспечение, выберите режим измерения рефлектограмм

3.3 Подключите к измерительному порту линию задержки, выполненную из коаксиального кабеля RG-58, длиной 20 м.

3.4 Измерьте рефлектограмму кабеля в режиме холостого хода.

3.5 Сохраните результат измерения в виде текстового файла.

3.6 Подключите к концу линии передачи поочередно нагрузки с различным коэффициентом отражения (короткое замыкание,  $R1 = 50 \text{ Ом}$ ,  $R2 = 25 \text{ Ом}$ ,  $R3 = 100 \text{ Ом}$ )

3.7 Сохраните результаты измерения каждой нагрузки в виде текстового файла.

3.8 Подключите к концу линии передачи «черный ящик» (нагрузка с неизвестным сопротивлением).

3.9 По измеренной рефлектограмме рассчитайте сопротивление нагрузки.

3.10 Сохраните результат измерения в виде текстового файла.

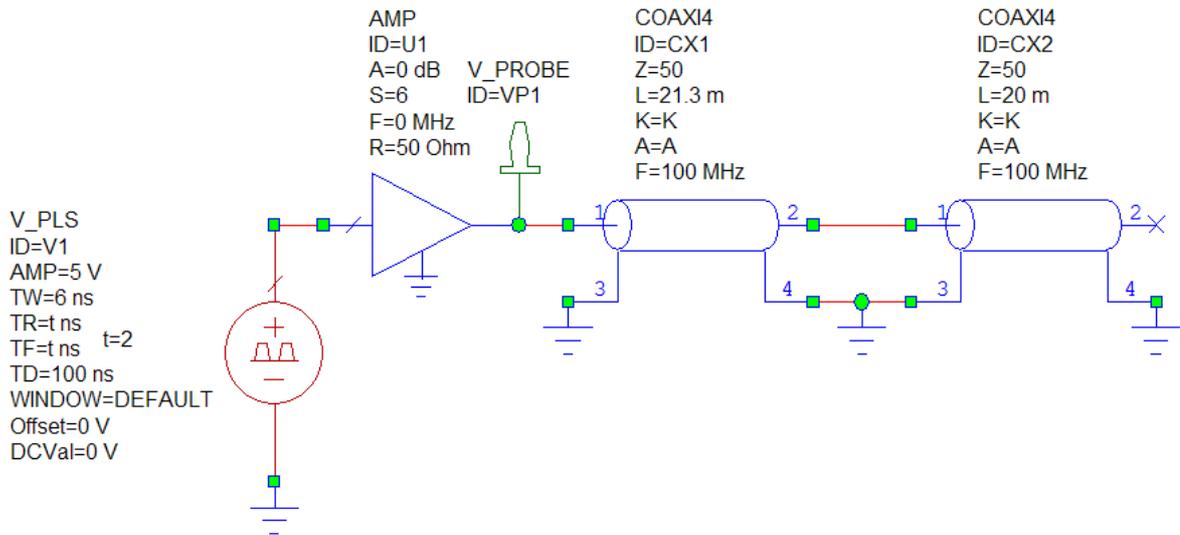
3.11 По измеренным рефлектограммам рассчитайте коэффициент укорочения кабеля.

3.12 Подключите к измерительному порту вместо линии задержки отрезок кабеля (выдается преподавателем).

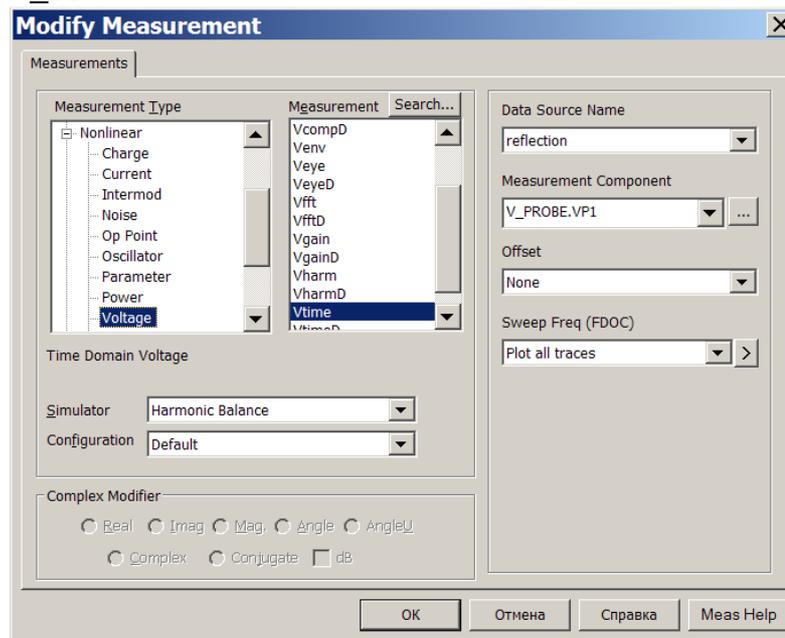
3.13 По измеренной рефлектограмме рассчитайте длину кабеля.

3.14 Сохраните результат измерения в виде текстового файла.

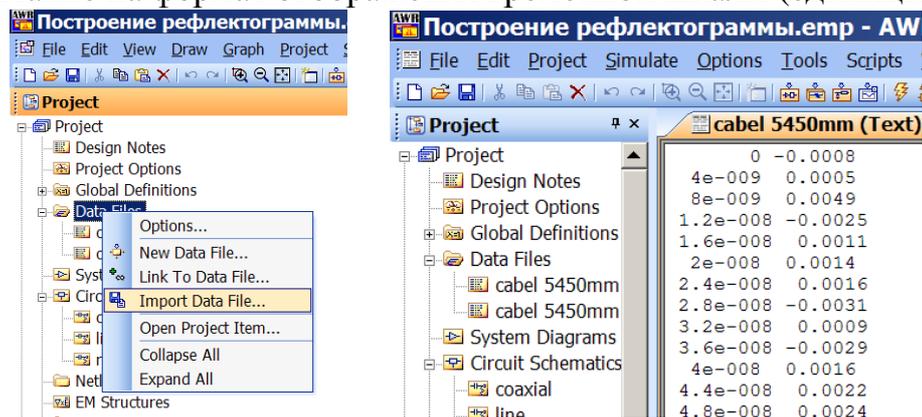
3.15 Запустите программу AWR DE и создайте схему, представленную ниже.



3.16 Постройте график с отображением осциллограммы в точке подключения V\_Probe.



3.17 Импортируйте в программу AWR DE файл, полученный в пункте 3.5. Обратите внимание на формат отображения временной шкалы (единицы СИ).



3.18 Постройте график по импортированным данным и сопоставьте с

моделью.

3.19 С помощью тюнера изменяйте параметры  $K$  и  $A$ , чтобы добиться совпадения отраженных импульсов

3.20 Повторите пункты 3.17-3.18 для файла, полученного в в 3.14.

3.21 С помощью тюнера изменяйте длину кабеля, чтобы совместить положение отраженных импульсов.

3.22 Сопоставьте полученные результаты с расчетными.

3.23 Оформите отчет, содержащий титульный лист и разделы: введение, ход выполнения работы, выводы, ответы на контрольные вопросы.

#### **4 Контрольные вопросы**

4.1 Какой тестовый сигнал используется в приборе Р4-И-01 для измерения рефлектограмм?

4.2 Как по задержке отраженного импульса рассчитать расстояние до объекта?

4.3 Что такое рефлектограмма?

4.4 Что такое коэффициент укорочения? От чего он зависит

4.5 Как рассчитать коэффициент отражения от нагрузки, подключенной на конце кабеля?

4.6 В чем разница между кабелем и проводом?

4.7 От чего зависит волновое сопротивление кабеля?