

Измерение параметров коаксиального кабеля. КАК и ЧЕМ ?

Автор: к.т.н. Калашников А.В. (старший)

инженер компании «Кабельные радиосистемы»

(095)-583-3492 www.crs.ru



Прежде чем начать описывать способы измерений кабелей, хотелось бы ответить на риторический вопрос – зачем это вообще нужно? В качестве ответа представьте себе ситуацию: вам необходимо установить радиопередающую станцию где-то достаточно далеко от Москвы (за Байкалом, например). После долгих поисков и сравнений был приобретён оптимальный радиочастотный кабель и соответствующая аппаратура. Через некоторое время всё оборудование было доставлено на место. Стоит отметить, что доставка в огромное количество регионов России производится не напрямую по железной дороге (есть места, где её просто НЕТ) а «на перекладных», что существенно увеличивает стоимость транспортировки. Разместив радиооборудование в надёжном месте, заделав на кабель разъёмы и закрепив его на мачте, к своему великому ужасу определяете по встроенному в передатчик КСВ-метру, что КСВ тракта – 3:1. Дальнейшие ваши действия могут развиваться по двум сценариям. Первый – отправка кабеля обратно к продавцу и выяснения с ним отношений, при этом продавец будет ссылаться на повреждения во время транспортировки и на вашу заделку разъёмов, при этом, если он докажет свою правоту, то отправка туда-обратно за ваш счёт. Второй путь, это попытаться разобраться на месте при помощи «подручных средств» и исправить сложившуюся ситуацию. В любом случае, иметь

информацию о возможных дефектах в кабеле, их проявлениях и определение местоположения, не будит лишним как в первом (чтобы быть «на равных» с поставщиком), так и во втором случае.

Радиочастотный кабель (как коаксиальный, так и двухпроводная линия (витая пара)) несмотря на своё, на первый взгляд простое строение, с электрической точки зрения представляет достаточно сложную конструкцию. Исходя из этого дефекты в кабеле, такие как обрывы, замыкания, скачки волнового сопротивления, могут проявляться в самых неожиданных местах. Это могут быть технологические непровары шва внешнего проводника или замыкание внешнего и внутреннего проводника через «заусенец» при сварке и гофрировании внешнего проводника при производстве, замыкание или скачок волнового сопротивления при неправильной или неаккуратной заделке разъёма, попадание воды в кабель и т.д. Это касается как радиочастотных коаксиальных кабелей, так и кабелей состоящих из витых пар. В кабельной терминологии такие явления как обрывы, замыкания, изменения волнового сопротивления (как локальные, так и распределённые) в результате попадания инородных тел или частиц при производстве или заделки разъёмов, а так же всевозможные заматия или другие внешние повреждения кабеля, принято называть **неоднородностями**.

Местонахождение таких неоднородностей невозможно определить при помощи обыкновенного омметра. Естественно, что для того чтобы исправить имеющийся дефект необходимо, как минимум, знать его расположение и вообще с какой стороны к этому всему подойти. Основным прибором, которым пользуются специалисты во всём мире для измерения всего вышеизложенного, является **измеритель неоднородностей линии**.

Данный прибор может быть исполнен в различных вариантах. Начиная от самого простого, в состав которого входит только импульсный рефлектометр, зондирующий кабель только видеоимпульсом, заканчивая многофункциональным устройством способным измерять не только характер неоднородности и расстояние до неё (используя не только видеоимпульс, но и перепад напряжения, суперпозицию импульса и перепада и др.), но и КСВ, затухание и другие параметры.

Принцип измерения характеристик кабеля импульсным методом

Общий принцип действия импульсного рефлектометра (ИР) относительно прост (см. рис.1).

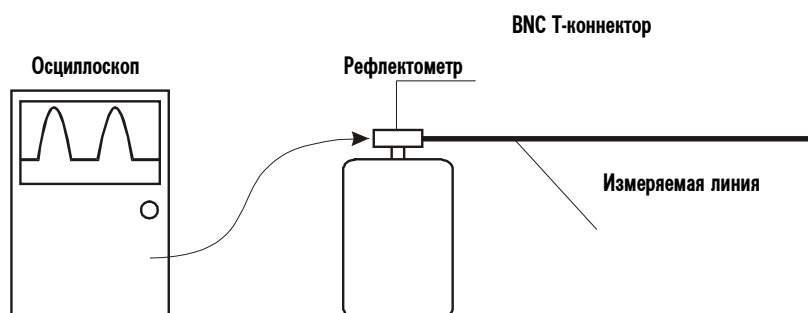


Рисунок 1

Генератор вырабатывает импульс, который посылается в измеряемую линию. Если линия имеет волновое сопротивление равное выходному сопротивлению генератора и вдоль всей своей длины постоянно и нагружена в конце на согласованную нагрузку ($Z_0=Z_{\text{Л}}=Z_{\text{Н}}$), то вся энергия импульса поглотится нагрузкой и отражённой волны не будет. Теперь предположим, что в линии присутствует неоднородность, изменяющая в этой точке волновое сопротивление. Любое отклонение волнового сопротивления от Z_0 ведёт к отражению части сигнала от этого места и возникновению стоячей волны, причём величина отражённого сигнала зависит от величины неоднородности, а фаза от её характера. Итак, вернёмся к импульсу. Посылая в линию импульс P1 и получая обратно отражённый импульс P2, можно измерить время между ними и определить расстояние до точки, породившей этот отражённый импульс P2. Однако необходимо учитывать, что хотя электромагнитная волна в свободном пространстве распространяется со скоростью света, в кабеле ей приходится «идти» сквозь диэлектрик (изоляция), а это несколько замедляет её скорость. Отсюда следует, что эту величину необходимо учесть: в кабельной технике используется параметр – коэффициент укорочения длины волны (ξ) который и определяет скорость распространения Э-М волны в кабеле относительно скорости её в свободном пространстве. Такое название получается из-за того, что ЭМВ в свободном пространстве распространяясь с частотой f и длиной волны λ , связь между которыми $\lambda = c/f$, попадая в кабель распространяется с меньшей скоростью ($V_{\text{каб}} = c/\xi$), но частота и скорость света измениться не могут, следовательно изменяется только λ – $\lambda_{\text{каб}} = V_{\text{каб}}/f$ (скорость уменьшается – длина волны уменьшается).

Здесь есть один нюанс: в отечественной и зарубежной документации эта величина выражается по-разному. У нас она считается как: $C/V_{\text{вол}}$, где C – скорость света, а $V_{\text{вол}}$ – скорость волны в кабеле, величина всегда больше 1 (например, для кабеля РК50-7-15 $\xi = 1,52$). В зарубежной литературе та же величина выражается в процентах от C и считается как $V_{\text{вол}}/C \times 100\%$, а получаемая величина всегда меньше 100 (напр. для кабеля RG-213 (аналог РК50-7-15) $\xi = 66\%$), либо без процентов и выражается как $V_{\text{вол}}/C$ величина всегда меньше 1 ($\xi = 0,66$).

Из всего вышесказанного следует, что в свободном пространстве ЭМВ проходит 0,33 метра за 1нс, в кабеле – $0,33 / \xi$ (отеч.), следовательно если время между импульсами P1 и P2 равно T (нс), то расстояние до неоднородности рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{0,33T}{2\xi} \quad \text{или}$$

$$D = \frac{0,33\xi T}{2} \quad \text{Где } \xi \text{ - в зарубежном «непроцентном» выражении (т.е. не 58\%, а -0,58)}$$

D – Расстояние до неоднородности в метрах.

T – Время между импульсами P1 и P2 в наносекундах.

ξ - Коэффициент укорочения длины волны в отечественном выражении.

На мой взгляд, имеет смысл рассказать об измерительных приборах этого класса, доступных не только малым и средним фирмам, но и частным лицам.

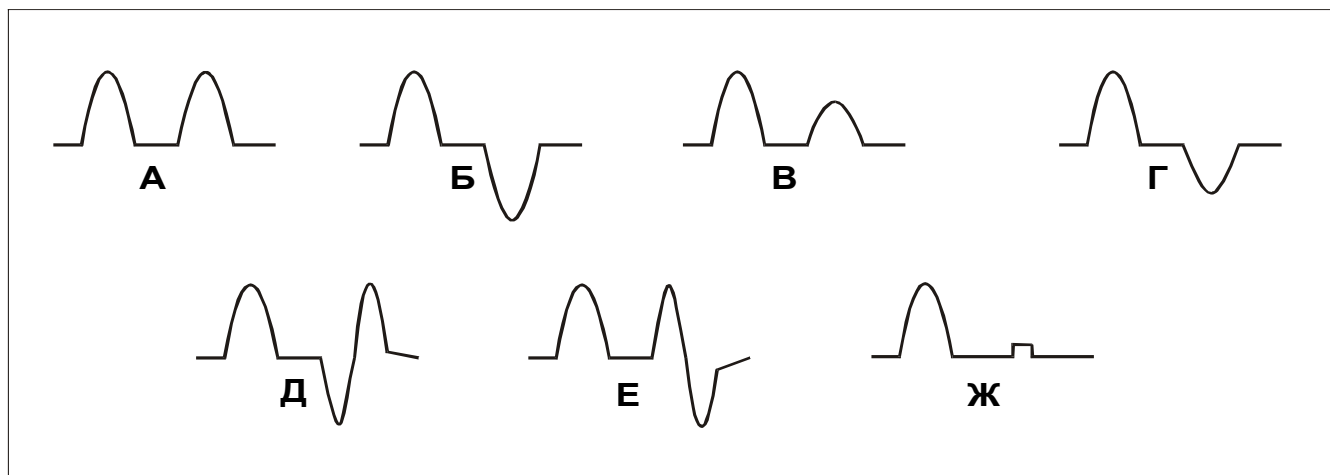


Рис.2

Формы сигналов при различных типах неоднородности. А – холостой ход, Б – короткое замыкание, В – волновое сопротивление неоднородности больше, чем волновое сопротивление линии, Г - волновое сопротивление неоднородности меньше, чем волновое сопротивление линии, Д – неоднородность имеет ёмкостной характер, Е – неоднородность имеет индуктивный характер, Ж - волновое сопротивление неоднородности немного больше, чем волновое сопротивление линии.

Из многочисленных зарубежных приборов можно рассмотреть рефлектометр (Cablemate Analyst Reflectometer) производства Advanced Electronic Applications. Это устройство представляет собой сравнительно недорогой, компактный ручной прибор, обладающий достаточным количеством возможностей для оценки параметров линии.

К прибору может подключаться панорамный анализатор (далее ПА) (как показано на **рис.1**), через 50-омный вход канала BNC. При измерении коаксиальных кабелей на вход ставится BNC T-коннектор (тройник), к которому с одной стороны подключается ПА, а с другой - измеряемая линия. При измерениях двухпроводных линий T-коннектор не требуется, ПА подключается непосредственно к BNC входу, а линия - к зажимным клеммам прибора. Итак, допустим, мы подключили к прибору 50-омный кабель. На **рис.2** показаны формы сигнала при установке на конец линии нагрузок с различными волновыми сопротивлениями. Рефлектометр определит расстояние до неоднородности, если вы введёте время запаздывания отражённого сигнала относительно посланного, которое определяется по осциллограмме. Например, если устройством определено, что время запаздывания импульсов – 400 нс, то введя в прибор число 400, получим расстояние – 130 футов (зарубежные приборы отображают расстояние, естественно, в футах). При использовании ПА необходимо точно определять время запаздывания импульсов, в противном случае измерения будут давать значительную погрешность. Ось X на экране ПА определяет волновое сопротивление, ось Y определяет расстояние.

На практике данным прибором удобнее измерять местонахождение достаточно крупных дефектов, таких как обрыв или короткое замыкание. При таких измерениях ПА не требуется, его целесообразно использовать при поиске мелких распределённых неоднородностей. В память прибора может быть введено до 96 видов линий передач, для быстрой его перенастройки. В прибор можно добавлять другие типы линий, путём введения их характеристик: волнового сопротивления, коэффициента укорочения длины волны и присвоения ей идентификационного номера. Как было сказано выше, 50-омный BNC вход служит для измерения коаксиальных линий, а зажимные клеммы – для измерений двухпроводных линий, однако здесь подключение происходит через встроенный преобразователь сопротивлений 4:1, поэтому при тестировании 600-омной линии, устанавливать следует значение 150.

У прибора так же имеется ЖКИ экран, для вывода на него визуальной информации. На ЖКИ экране отображается отражённый сигнал и курсор для выбора места тестирования. При наведении курсора на отражённый сигнал, информация о нём выводится на экран. В ней содержится: расстояние до дефекта, породившего отражённый сигнал и величину возвратных потерь (КСВ).

Основные тех. характеристики прибора следующие:

Возможность измерения линий длиной от 16' до 2000' футов (5-600 метров). Длины до 10 футов измеряются с большой погрешностью, в остальном диапазоне погрешность $\pm (1\%+2')$. Можно измерять коаксиальные кабели с волновыми сопротивлениями от 45 до 150 Ом с шагом 7 Ом, а двухпроводные линии с волновыми сопротивлениями от 180 до 600 Ом с шагом 28 Ом. Коэффициент укорочения волны варьируется от 30% до 99% с шагом 1%. Выходной импульс – 5 В, длительностью 25 нс. Устройство работает как от внешнего источника постоянного тока, так и от 8-ми батареек класса АА. Имеется последовательный порт для соединения с ПК.

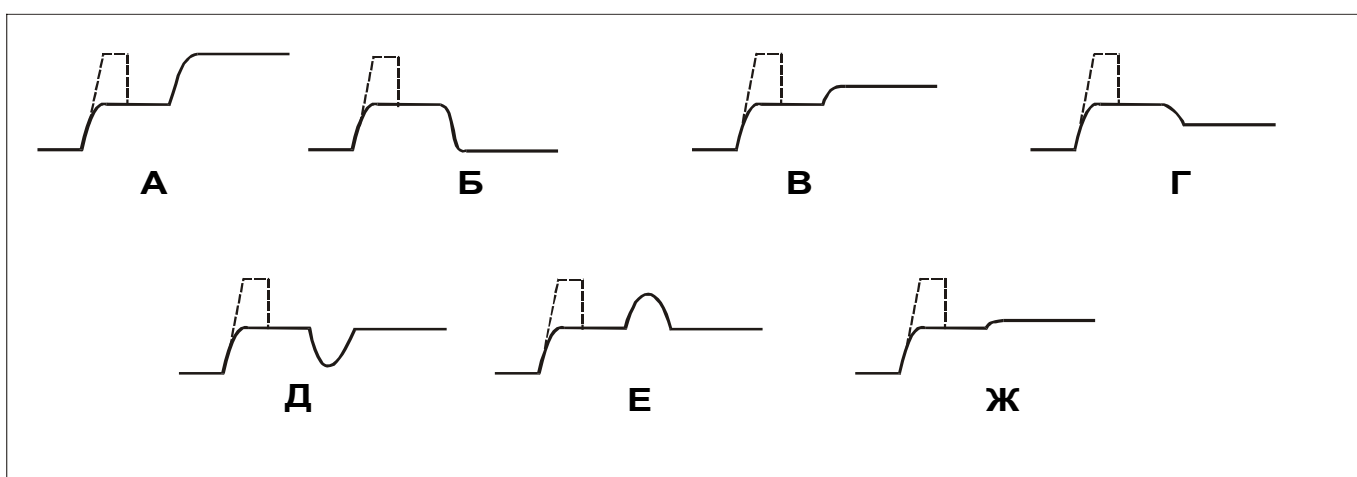
Из отечественных приборов-рефлектометров измеряющих неоднородности в кабелях наиболее интересным является «Измеритель неоднородностей линии Р5-15». Прибор не из последних разработок, зато вполне доступный по цене и удобный. Конечно, данный аппарат относится к более высокому классу, чем представленный выше зарубежный, но я, к сожалению, незнаком с отечественными приборами более низкого класса, измеряющих те же параметры.

Прибор выполнен в переносном варианте, имеет возможность подключения к сети 220 В, к источнику постоянного напряжения 12 В, а также комплектуется аккумуляторной батареей.

Несмотря на то, что возможности прибора достаточно широки (измеряет КСВ, R-L-C параметры линии, затухание, и многое другое) лучше всего исследовать на нём неоднородности. Т.е. задача сводится к определению волнового сопротивления вдоль линии, при этом расстояние до неоднородности, приводящей к изменению волнового сопротивления, определяется с погрешностью 1%. Посылаемый и отражённый сигнал отображается на экране ЭЛТ. Коэффициент укорочения длины волны вводится отдельно вращением ручки и контролем на цифровом табло в пределах от 1 до 2-х, с погрешностью – 1%.

Функционально прибор разбит на поддиапазоны для измерений линий длиной до 2 м, 20 м, 200 м. В зависимости от длины линии и затухания в ней, используется три вида сигнала, в том числе видеоимпульс. При зондировании линии видеоимпульсом (используется при тестировании линий с большим затуханием >60 дБ), формы осциллограмм в зависимости от типа неоднородности будут такие же, как на **рис.2**. При использовании в качестве зондирующего сигнала – «перепад напряжения» или «суперпозицию перепада напряжения и видеоимпульса» рефлектограммы полученного сигнала будут иметь несколько иной характер. Перепад используется для измерения параметров в линиях с малыми потерями, а суперпозиция - при измерении линий со средними параметрами затухания. Вид получаемых на ЭЛТ кривых представлен на **рис. 3**.

Рис.3



Формы сигналов при различных типах неоднородности при зондировании линии перепадом напряжения (импульс, обозначенный пунктирной линией, присутствует, если зондирование проводится суперпозицией перепада напряжения и видеоимпульса).

А - холостой ход,

Б - короткое замыкание,

В - волновое сопротивление неоднородности больше, чем волновое сопротивление линии,

Г - волновое сопротивление неоднородности меньше, чем волновое сопротивление линии,

Д - неоднородность имеет ёмкостной характер,

Е - неоднородность имеет индуктивный характер,

Ж - волновое сопротивление неоднородности немного больше, чем волновое сопротивление линии.

При проведении измерений прибор реагирует даже на сжатие тестируемого кабеля плоскогубцами, что говорит об его хорошей чувствительности, кроме того, для работы в условиях повышенных высокочастотных помех имеется встроенный фильтр.

Единственный недостаток прибора заключается в том, что измерять на нем удобнее всего 50 и 75-омные кабели. Измерение линий с другим волновым сопротивлением требует от пользователя более глубоких знаний и навыков.

Какие же можно сделать выводы из всего вышеизложенного?

- ✓ Если в вашу обязанность входит обслуживание оборудования, в состав которого включены фидерные тракты, то вам более чем желательно иметь при себе рефлектометр фирмы Advanced Electronic Applications или P5-15 (не новый выйдет почти в те же деньги).
- ✓ Имеет смысл приобретать не просто кабель, а уже заделанный в разъёмы, специально герметизированный и проверенный на вашей рабочей частоте готовый фидер, пусть это даже будет чуть дороже.

P.S. Для справки.

Чем ещё можно измерять параметры кабелей.

Портативные рефлектометры фирмы Riser-Bond Instruments - 1205TX и 1270. Эти модели обладают почти равными широкими возможностями, только модель 1205TX – измеряет кабели длиной до 1000 м.

Портативные рефлектометры FLUKE - FLUKE DSP-2000 и FLUKE 650/652 Cable Meters. Предназначены, в основном, для определения характеристик кабелей используемых в локальных компьютерных сетях (2-х и 4-х парники 5-ой категории, а также коаксиальные кабели типа RG-58). В данном случае для тестирования используются не только стандартные импульсы, но и сетевые протоколы в целом.

