

# **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ**

**Митрофанов С.В., Поздняков Н.В.**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург**

Найти обрыв в кабеле или определить место повреждения кабеля - одна из основных задач встающих перед инженером-измерителем в его повседневной практике.

Поиск места повреждения кабеля - это в наиболее сложных случаях целый комплекс измерительных процедур, использующий три основные группы кабельных приборов:

- рефлектометры реализующие импульсный метод (как для силовых, так и для слаботочных кабелей), импульсно-дуговой и волновой методы (для силовых кабелей): позволяют с высокой точностью (до 0.01%) определять расстояние до неоднородностей волнового сопротивления кабеля и таким образом определять: длину кабеля, определять расстояние до обрыва и короткого замыкания кабеля, определять места «замокания кабеля», определять муфты кабеля и места кроссировок, в том числе и определять ошибки кроссировки, места пониженной изоляции;

- кабельные-мосты реализующие мостовые методы поиска повреждений, позволяют как найти место повреждения кабеля (обрыв, пониженное сопротивление изоляции, короткое замыкание), так и измерить основные электрические параметры кабеля (измерение сопротивления шлейфа, измерение сопротивления изоляции, измерение электрической ёмкости;

- трассоискатели и трассодефектоискатели реализующие индукционный и контактный методы - это приборы позволяющие на местности проводить отыскание места повреждения кабеля типа обрыв, короткое замыкание, места пониженной изоляции (утечка на землю), определять направление и глубину залегания кабеля. К таким приборам предъявляются весьма жесткие требования в смысле помехозащищенности и избирательности приёмного тракта.

Точному определению места повреждения в линиях связи и электропередачи, которое производится трассовыми методами, должна предшествовать предварительная его локализация методом импульсной рефлектометрии.

Метод импульсной рефлектометрии позволяет определить зону повреждения (в пределах погрешности измерения) и применить отдельные трассовые методы обнаружения только на небольших участках трассы, что позволяет существенно сократить время точного определения места дефекта.

Основными видами повреждений в кабельных линиях электропередачи и связи являются: короткие замыкания и обрывы, появление утечки между жилами или между жилой и экраном (броней), увеличение продольного сопротивления.

Причин возникновения повреждений много: механические повреждения, например при проведении земляных работ, старение изоляции, нарушение изоляции от воздействия влаги и т.п.

Приборы, реализующие указанный метод, называются импульсными рефлектометрами.

Сущность метода импульсной рефлектометрии заключается в выполнении следующих операций:

Зондировании кабеля (двухпроводной линии) импульсами напряжения.

Приеме импульсов, отраженных от места повреждения и неоднородностей волнового сопротивления.

Выделении отражений от места повреждений на фоне помех (случайных и отражений от неоднородностей линий).

Определении расстояния до повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего.

Одним из важных применений современных осциллографов стала импульсная рефлектоскопия. Название происходит от слова reflect - отражение и свидетельствует об использовании при измерении параметров сигналов (импульсов), отраженных от тестируемых объектов и вернувшихся к началу линии. Более общим понятием является рефлектометрия. В процессе рефлектометрии выполняются определенные измерения, например, измеряется расстояние до обнаруженной неоднородности, оцениваются коэффициенты отражения и пропускания и т. д.

Рефлектометрия – это технология, позволяющая определять различные характеристики исследуемой среды по отражению отклика сигнала: поверхности (например, определение коэффициентов отражения и поглощения) или объемной среды (например, изучение распределения неоднородностей в оптическом волокне).

Импульсная рефлектометрия – это область измерительной техники, которая основывается на получении информации об измеряемой линии по анализу её реакции на зондирующее (возмущающее) воздействие. Импульсная рефлектометрия применяется как для металлических кабелей всех типов, так и для волоконно-оптических кабелей связи.

В принципе любой скоростной осциллограф можно использовать (совместно с импульсным генератором) для построения импульсного рефлектометра. Некоторые осциллографы имеют специальный выход перепада малой длительности, который можно использовать для целей рефлектометрии.

Подав импульсный перепад с помощью тройника на 50-омный вход осциллографа и подключив к свободному разъему тройника отрезок испытуемого коаксиального кабеля, можно превратить осциллограф в рефлектометр с неплохим временным разрешением. Осциллограмма, снятая при нагрузке в виде отрезка коаксиального кабеля, нагруженного на его волновое сопротивление 50 Ом, показывает на отсутствие отражений. Длительность развертки обычно ограничивают возможностью наблюдения отражения от конца линии.

Отраженный перепад меняет полярность и, дойдя до входа кабеля, гасит

исходный перепад. В результате на отрезке кабеля формируется почти прямоугольный импульс, длительность которого равна удвоенному времени задержки отрезка кабеля.

Таким образом, легко найти время задержки линии и, зная скорость распространения волны в линии, определить ее длину. Заметим, что скорость распространения импульса в кабеле с диэлектриком и в вакууме (воздухе) различна, и это различие в рефлектометрах учитывается с помощью специальных поправочных коэффициентов укорочения и таблиц, сохраняемых в памяти рефлектометра.

Разумеется, осциллограф позволяет наблюдать и импульс на выходе тестируемого отрезка линии, в том числе при использовании импульсов с почти прямоугольной формой. Большинство современных цифровых осциллографов, позволяет выполнять автоматическое измерение множества параметров наблюдаемых сигналов.

Осциллограф с полосой частот до 5 ГГц с перепадом в 0,1 нс позволяет методом рефлектометрии измерять одиночные неоднородности с отклонением от волнового сопротивления на 0,5 Ом, индуктивности до 0,1 нГ и емкости до 0,05 пФ. Современные цифровые осциллографы (правда, очень дорогие), работающие в реальном масштабе времени, имеют полосу частот до 20 ГГц и выше и куда более эффективны в роли импульсных рефлектометров.

Что касается измерения малых емкостей и индуктивностей, то современные измерители импеданса, иммитанса и адмитанса справляются с этим лучше и имеют на порядок и более низкую стоимость, чем широкополосные осциллографы. Однако они требуют подключения непосредственно к объектам измерения ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ), что не всегда возможно. Многие современные широкополосные осциллографы (особенно стробоскопические) имеют специальные средства для рефлектометрии в области малых времен, в частности, установку параметров зондирующих импульсов, растяжку осциллограмм, таблицы скоростей распространения сигнала в линиях передачи и другие возможности. Для этого есть и специализированное программное обеспечение. Как уже отмечалось, рефлектометры позволяют оценивать коэффициенты отражения и определять вид нагрузки испытываемых линий - сопротивление, емкость и индуктивность нагрузки.

Рефлектограммы позволяют опознать характер неоднородности в конце линии  $W$  или в ее середине. Для расчета емкости или индуктивности используются значения постоянных по времени отраженных импульсов. Осциллограф позволяет измерять их с точностью до единиц процентов, так что рассчитывать на высокую точность измерений тут не приходится.

Ряд фирм выпускает портативные, легко переносимые, цифровые рефлектометры с автономным и сетевым питанием.

Области применения портативных рефлектометров:

- эксплуатация и прокладка кабельных линий всех типов в связи, энергетике и т. п.;
- эксплуатация нефтепроводов и газопроводов, угледобывающая

промышленность;

- эксплуатация городского электро- и железнодорожного транспорта, ТЭЦ, ГЭС, АЭС, ГРЭС;

- гражданская и военная авиация, речной и морской флот и транспорт, эксплуатация портов, аэродромов и космодромов, судостроение и самолетостроение;

- кабельные и воздушные системы электропередачи, телекоммуникаций и связи промышленных предприятий, учреждений, жилищных массивов;

- кабельное телевидение и компьютерные сети;

- монтаж и эксплуатация тепловых сетей с предварительно-изолированными трубами на основе пенополиуретановой изоляции;

- производство и реализация кабельной продукции.

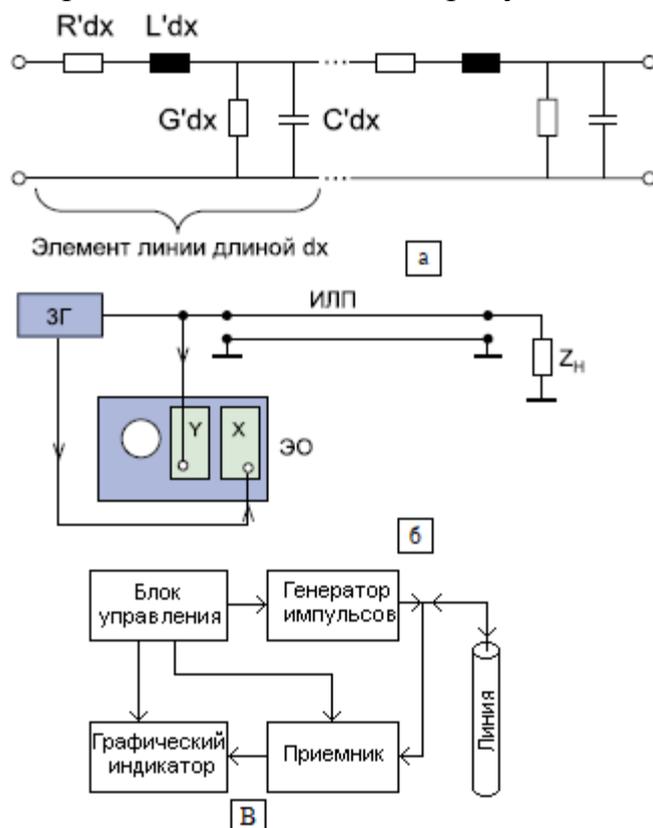


Рисунок 1 – а) эквивалентная схема линии передач; б) функциональная схема импульсного рефлектометра; в) упрощенная структурная схема импульсного рефлектометра

Функциональная схема импульсного рефлектометра представлена на рис. 16.

Импульс генератора задающих импульсов (или перепадов) ИГ - малой длительности, и сигнал на входе линии контролируется широкополосным электронным осциллографом ЭО - в наши дни цифровым. Осциллограф позволяет контролировать не только исходный импульс, но и отражения от всех неоднородностей линии от ее начала в середине и от конца.

Важно отметить, что рефлектометр подключается к тестируемой линии с одного конца - входного. Второй конец (выходной), особенно при линиях

большой длины, может оказаться просто недоступным. Такое подключение позволяет нередко провести такие измерения, которые принципиально невозможны при использовании других измерительных приборов и других методов измерений. Например, возможно измерение емкости и индуктивности в конце линии, то есть на значительном расстоянии от места расположения тестируемого устройства.

По виду осциллограмм отраженных сигналов можно судить о характере согласования линии с нагрузкой  $Z_n$  и о характере нагрузки, в общем случае комплексной. Нетрудно, по относительному уровню ступенек осциллограммы, оценить коэффициенты отражения. По виду отраженных импульсов можно судить и о характере импеданса нагрузки. Однако нужно учитывать, что современные цифровые анализаторы цепей позволяют делать это с гораздо большей точностью. Но это очень дорогие приборы, как правило, требующие подключения к началу и концу тестируемой линии.

С генератора импульсов зондирующие импульсы подаются в линию.

Отраженные импульсы поступают с линии в приемник, в котором производятся необходимые преобразования над ними. С выхода приемника преобразованные сигналы поступают на графический индикатор.

Все блоки импульсного рефлектометра функционируют по сигналам блока управления.

На графическом индикаторе рефлектометра воспроизводится рефлектограмма линии - реакция линии на зондирующий импульс.

Линия передачи может быть представлена эквивалентной схемой, показанной на рисунок 1. Здесь  $R'$ ,  $L'$ ,  $G'$  и  $C'$  - погонные (на единицу длины) удельные сопротивление, индуктивность, проводимость и емкость линии. Их значения зависят от типа линии передачи и ее конструктивных особенностей.

Сопротивление  $R_0$  называют волновым сопротивлением. Оно является важным параметром линии.

Элемент линии (рисунок 1а) представляет собой фильтр, ослабляющий высокие частоты. Поэтому импульс, перемещающийся вдоль однородной линии, постепенно ухудшается по форме: у него возрастает время нарастания и спада и увеличивается длительность. Кроме того, из-за потерь в линии уменьшается амплитуда импульса. Достигая конца линии (или неоднородностей в любом ее месте), сигнал отражается.

Основную сложность и трудоемкость при методе отраженных импульсов представляет выделение отражения от места повреждения на фоне помех.

Метод импульсной рефлектометрии базируется на физическом свойстве бесконечно длинной однородной линии, согласно которому отношение между напряжением и током введенной в линию электромагнитной волны одинаково в любой точке линии.

Если кабель исправен и его волновое сопротивление не меняется - сигнал проходит по кабелю без отражений. Если имеет место обрыв, короткое замыкание или иная неоднородность - сигнал отражается полностью, или частично.

При использовании метода импульсной рефлектометрии в линию

посылают зондирующий импульс и измеряют интервал  $t_x$  - время двойного пробега этого импульса до места повреждения (неоднородности волнового сопротивления).

Отношение амплитуды отраженного импульса  $U_o$  к амплитуде зондирующего импульса  $U_z$  обозначают коэффициентом отражения  $K_{отр}$ .

Отраженный сигнал появляется в тех местах линии, где волновое сопротивление отклоняется от своего среднего значения: у муфт, у мест изменения сечения жилы, у мест сжатия кабеля, у места обрыва, короткого замыкания и т.д.

Если выходное сопротивление импульсного рефлектометра отличается от волнового сопротивления измеряемой линии, то в месте подключения рефлектометра к линии возникают переотражения.

Переотражения - это отражения от входного сопротивления рефлектометра отраженных сигналов, которые пришли к месту подключения рефлектометра из линии. Выходное и входное сопротивления рефлектометра, как правило, равны между собой.

В зависимости от соотношения входного сопротивления рефлектометра и волнового сопротивления линии изменяется полярность и амплитуда переотражений, которая может оказаться соизмеримой с амплитудой отражений. Поэтому перед измерением рефлектометром обязательно нужно выполнить операцию согласования выходного сопротивления рефлектометра с волновым сопротивлением линии.

При распространении вдоль линии импульсный сигнал затухает, то есть уменьшается по амплитуде. Затухание линии определяется ее геометрической конструкцией и выбором материалов для проводников и изоляции и является частотно-зависимым.

Следствием частотной зависимости является изменение зондирующих импульсов при их распространении по линии: изменяется не только амплитуда, но и форма импульса - длительности фронта и среза импульса увеличиваются ("расплывание" импульса). Чем длиннее линия, тем больше "расплывание" и меньше амплитуда импульса. Это затрудняет точное определение расстояния до повреждения.

Зондирующие импульсы распространяются в кабельных линиях по определенным волновым каналам, определяемым режимом включения "жила - жила", "жила - оболочка" и другие варианты.

Импульсный сигнал распространяется в линии с определенной скоростью, которая зависит от типа диэлектрика.

Коэффициент укорочения показывает во сколько раз скорость распространения импульса в линии меньше скорости распространения в воздухе.

В любом рефлектометре перед измерением расстояния нужно установить коэффициент укорочения. Точность измерения расстояния до места повреждения зависит от правильной установки коэффициента укорочения.

Коэффициент укорочения можно определить импульсным рефлектометром по кабелю известной длины.

Для многожильных и многопарных кабелей коэффициент укорочения, волновое сопротивление и затухание различны для каждого варианта включения, поэтому рекомендуются включения рефлектометра независимо от типа повреждения по схеме "жила - жила". При повреждении одной из жил можно использовать схему включения "поврежденная жила - неповрежденная жила".

Включение рефлектометра по схеме "жила - оболочка" позволяет выявить поврежденную жилу методом сравнения.

При измерениях на воздушных линиях электропередачи с горизонтальным расположением проводов рефлектометр следует подключать по схеме "средний провод - крайний провод" или "средний провод - земля".

Управлением всем процессом измерения (считывание рефлектограмм и импульсных характеристик, сравнение, вычитание, отстройка от помех, контроль за напряжением питания, запоминание, вывод информации на экран и т.п.) и обработкой информации занимается мощный встроенный микропроцессор.

Современные методы рефлектоскопии и рефлектометрии достигли высокой степени совершенства и привели к созданию отдельного класса измерительных приборов — рефлектометров. Множество таких приборов выпускает как отечественная, так и зарубежная промышленность. Большая часть из них - это портативные и легко переносимые приборы с автономным питанием, поэтому их можно применять в полевых и производственных условиях.

Метод импульсной рефлектометрии удобен для практического использования, так как для измерения импульсным рефлектометром достаточно доступа к линии с одного конца.

Появились первые приборы, использующие новый вид математической обработки сигналов - вейвлет-преобразования. Пока они находятся в самом начале своего развития.

#### *Список литературы*

- 1. Зевеке, Г. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г. Зевеке, П.Ионкин, А. Нетушил, С. Страхов. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с. – ISBN 5-283-00523-2.*
- 2. Бессонов, Л. Теоретические основы электротехники : электрические цепи : учебник / Л. Бессонов. – Москва : Энергоатомиздат, 2013. – 701 с. – ISBN 978-5-9916-1449-8.*
- 3. Афонский, А. Измерительные приборы и массовые электронные измерения: учебник / А. Афонский, В.Дьяконов. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2007. – 541 с. – ISBN 5-98003-290-8.*