

Определение мест повреждения кабельных линий электропередачи

Несмотря на периодический осмотр кабельных трасс и проведение профилактических испытаний повышенным напряжением, при эксплуатации имеют место повреждения (случайные отказы) КЛ.

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.

Следует отметить, что по многолетним данным около 90 % причин автоматических отключений приходится на повреждения КЛ, а 10 % – на повреждения остальных элементов этих сетей. 82 % рассмотренных случаев относились к пробое изоляции КЛ, а 18 % – к пробое изоляции остальных элементов сети., в кабельных сетях 6...10 кВ.

При аварии особенно важным является точное определение места повреждения КЛ на трассе. Указанное наиболее актуально в условиях города или в зимнее время, так как позволяет значительно сократить размеры вскрываемого асфальтодорожного покрытия или мерзлого грунта.

Определение мест повреждения кабельных линий обычно проводится в определенной последовательности. Последовательность операций для обнаружения и определения мест повреждения кабельных линий приведена в [табл. 1](#).

Необходимая **приборная обеспеченность** зависит от вида линий: **силовые или связные, контроля и управления**, а также от вида кабельной трассы: подземные, в коробах, в шахтах, в метро и т.д.

Например, для обслуживания силовых кабельных линий обязательным является наличие высоковольтных генераторов, прожигающих устройств, локационных и волновых дистанционных искателей повреждений, индукционных и акустических топографических искателей повреждений.

Для кабелей связи, управления и контроля использование методов пробоя и прожига, как правило, не допускается, поэтому применяют локационные и мостовые дистанционные искатели повреждений и индукционные топографические искатели повреждений.

Поврежденный кабель отсоединяется с обоих концов от оборудования и с помощью мегаомметра определяется *характер повреждения*: Определение **целостности жил** выполняется мегаомметром. Измерения сопротивления проводят между каждой парой фаз с одного конца кабеля. Жилы кабеля на другом конце замыкаются между собой. При целых жилах кабеля мегаомметр при всех измерениях должен показать нулевое сопротивление.

Измеряется **сопротивление изоляции** между каждой фазой и заземленной металлической оболочкой и между каждой парой фаз. Измерения проводят с одного конца кабеля. Фазные жилы другого конца кабеля в этом случае разомкнуты.

Результаты измерений могут не выявить характер повреждения, поскольку **переходное сопротивление** в месте повреждения может быть достаточно высоким, в частности, из-за затекания места пробоя изоляции маслоканифольным составом (**заплывающий пробой**) в кабелях с бумажной пропитанной изоляцией.

Все повреждения по характеру делятся на **устойчивые и неустойчивые, простые и сложные**. К устойчивым повреждениям относятся **короткие замыкания (КЗ), низкоомные утечки и обрывы**. Характерной особенностью устойчивых повреждений является неизменность сопротивления в месте повреждения с течением времени и под воздействием различных дестабилизирующих факторов.

К **неустойчивым** повреждениям относятся **утечки и продольные сопротивления с большими величинами сопротивлений, "заплывающие пробой"** в силовых кабельных линиях, **увлажнения** места нарушения изоляции и и другие.

Неустойчивые повреждения могут самоустраняться, оставаться неустойчивыми или переходить при определенных условиях в устойчивые. Сопротивление в месте неустойчивого повреждения может изменяться как с течением времени, так и под воздействием различных дестабилизирующих факторов (напряжения, тока, температуры и др.)

Неустойчивые повреждения в изоляции КЛ в большинстве случаев возникают вследствие специфических свойств бумажно-масляной изоляции. При ее пробое в разрядном промежутке создаются условия, способствующие гашению электрической дуги. Необходимо подчеркнуть, что количество неустойчивых повреждений значительно превосходит количество устойчивых.

Распределение КЗ по видам зависит от класса изоляции и конструкции элементов сетей. По данным [1], однофазные КЗ составляют примерно 65 %, двухфазные и двойные замыкания на землю – 20 %, двухфазные замыкания «без земли» – 10 %, трехфазные замыкания – 5 %. Из этой информации следует, что в подавляющем большинстве случаев (примерно 85 %) происходит «замыкание на землю» или однофазное КЗ.

Одним из средств контроля состояния изоляции является измерение ее сопротивления, выполняемое мегаомметром. Схемы измерения фазной и междуфазной изоляции кабеля показаны на рис. 2. Отсчет величины сопротивления изоляции осуществляется приблизительно через 1 минуту после начала процесса измерения. Сопротивление изоляции кабелей на напряжение до 1 кВ должно быть не менее 0,5 МОм. Сопротивление изоляции кабелей на напряжение выше 1 кВ не нормируется.

Электрическая прочность изоляции КЛ проверяется испытанием повышенным выпрямленным напряжением. Величина испытательного напряжения *u_{исп}* и длительность его приложения *t_в* зависимости от вида кабельной изоляции приведены в табл. 2.

Испытательное напряжение прикладывается поочередно к каждой жиле кабеля, при этом две другие жилы кабеля и его металлическая оболочка (экран) должны быть заземлены. Испытательное напряжение поднимается плавно со скоростью 1... 2 кВ/с до требуемого значения и поддерживается неизменным в течение времени, указанного в табл. 2.

При проведении испытаний повышенным напряжением измеряются токи утечки и их несимметрия по фазам.

Таблица 2 Испытание повышенным напряжением

Уном, Ко	до 1	3	6	10	20	35
Бумажная пропитанная изоляция						
U _{исп} , КВ / t, МИН	2,5/5	15-25/5	36/5	60/5	100/5	175/ 5
Пластмассовая изоляция и СПЭ-изоляция						
U _{исп} , КВ / t, МИН	2,5/5	7,5/5	36/5	60/5		
Резиновая изоляция						
U _{исп} , КВ / t, МИН		6/5	12/5	20/5		

Изоляция кабеля считается удовлетворительной, если не произошло ее пробоя, а токи утечки и коэффициент несимметрии этих токов по фазам не превысили значений, приведенных в табл. 3.

Таблица 3

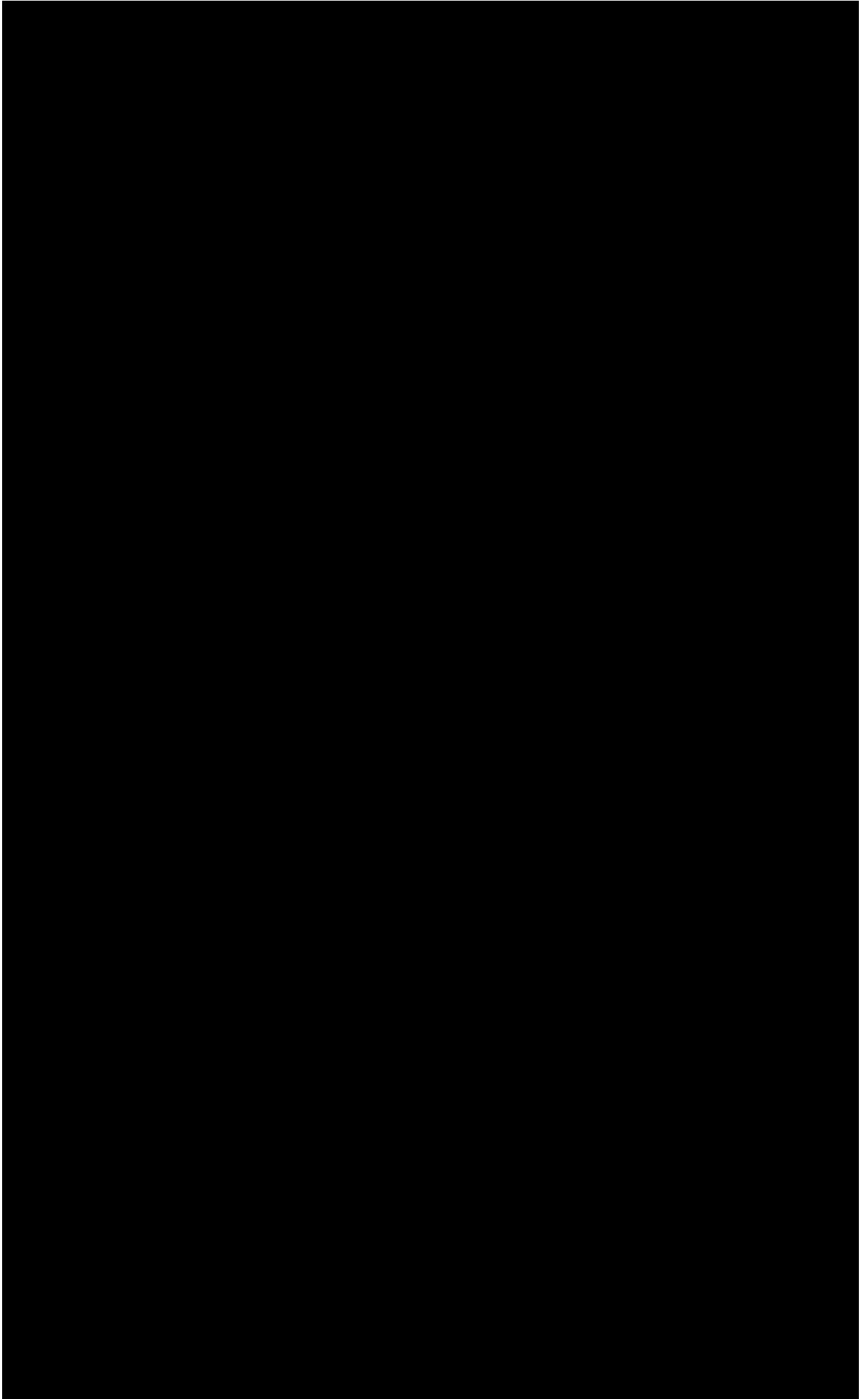
U _{ном} , Кв	6	10	20	35
$I_{ут}$, мА	0,2	0,5	1,5	1,8
$I_{ут max} / I_{ут min}$	2	3	3	3

У кабелей с пластмассовой защитной оболочкой (шлангом) дополнительным испытаниям повышенным выпрямленным напряжением подвергается защитная оболочка. Испытательное выпрямленное напряжение -10 кВ в течение 1 мин. подается между металлической оболочкой (экраном) и землей. При неуспешных испытаниях отыскивается место повреждения пластмассовой оболочки и выполняется ее ремонт.

На вертикальных участках кабелей напряжением 20...35 кВ с бумажной изоляцией контролируется осушение изоляции. Этот контроль осуществляется с помощью термометров, укрепленных на броне кабеля в верхней, средней и нижней частях вертикального участка. Разность показаний термометров более чем на 2...3°C свидетельствует о сильном осушении изоляции и начавшемся процессе ее пробоя. В этом случае вертикальный участок кабеля должен быть выведен из эксплуатации и заменен.

У одножильных кабелей, собранных в трехфазную группу, измеряется токораспределение.

Неравномерность распределения токов по фазам должна быть не более 10%.



Устойчивость повреждения может быть определена посредством измерения сопротивления изоляции и прозвонки поврежденного кабеля при отсутствии или наличии дестабилизирующих факторов. Это **первая операция**, указанная в таблице 1, которая является обязательной для определения места повреждения как силовой кабельной линии, так и кабельной линии связи, контроля и управления.

2 операция. Для снижения переходного сопротивления **изоляция** кабеля в месте повреждения **прожигается**, что достигается обугливанием изоляции при прохождении постоянного или переменного тока высокого напряжения через поврежденное место изоляции. Для этого на кабель подается напряжение, достаточное для пробоя изоляции в месте повреждения. После повторения пробоев переходное сопротивление в месте повреждения уменьшается, разрядное напряжение снижается, а ток разряда увеличивается. Изоляция прожигается этим током, переходное сопротивление в месте повреждения уменьшается.

Важная роль из всех операций, указанных в таблице 1 принадлежит **3-ей операции** "Обнаружение зоны нахождения места повреждения" локационными и волновыми искателями повреждений.

Успешное решение операции дистанционного определения расстояния до зоны нахождения места повреждения измерением с одного конца кабеля позволяет значительно сократить трудоемкость и время точного определения места повреждения, так как зона обследования кабельной линии трассовыми методами существенно сужается. Это наиболее актуально для протяженных кабельных линий.

По точности определения места повреждения различают относительные и абсолютные методы. **Относительные методы** имеют определенную погрешность и позволяют определить лишь зону повреждения. Это **импульсный, петлевой и емкостной** методы.

Точное место повреждения позволяют найти **абсолютные методы** такие, как **индукционный и акустический**.

При практическом поиске мест повреждения КЛ используется сочетание относительных и абсолютных методов. С помощью относительного метода определяется зона повреждения, а затем в этой зоне отыскивается место повреждения абсолютным методом.

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.

Перед проведением измерений методом импульсной рефлектометрии необходимо проверить участок кабельной линии омметром или мегоометром. Однако такая проверка может быть недостаточной. Например, после воздействия мегоометром на кабель, имеющий растрескавшуюся изоляцию с попавшей влагой, может произойти подсушивание места дефекта. При этом показания мегоометра соответствуют как бы исправному кабелю (сотни и тысячи МОм).

После выявления дефектных линий (жил, фаз) мегоометром переходят к

предварительному определению места повреждения методом импульсной рефлектометрии.

Сущность метода импульсной рефлектометрии

Метод импульсной рефлектометрии, называемый также *методом отраженных импульсов* или *локационным* методом, базируется на распространении импульсных сигналов в двух- и многопроводных системах (линиях и кабелях) связи.

Приборы, реализующие указанный метод, называются *импульсными рефлектометрами*.

Сущность метода заключается в выполнении следующих операций:

1. Зондировании кабеля (двухпроводной линии) импульсами напряжения.
2. приеме импульсов, отраженных от места повреждения и неоднородностей волнового сопротивления.
3. Выделении отражений от места повреждений на фоне помех (случайных и отражений от неоднородностей линий).
4. Определении расстояния до повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего.

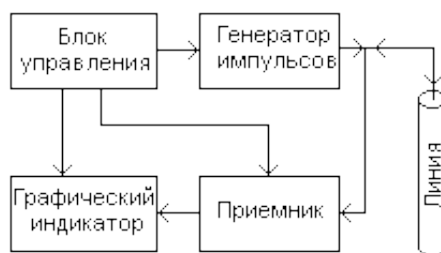


Рис. структурная схема импульсного рефлектометра

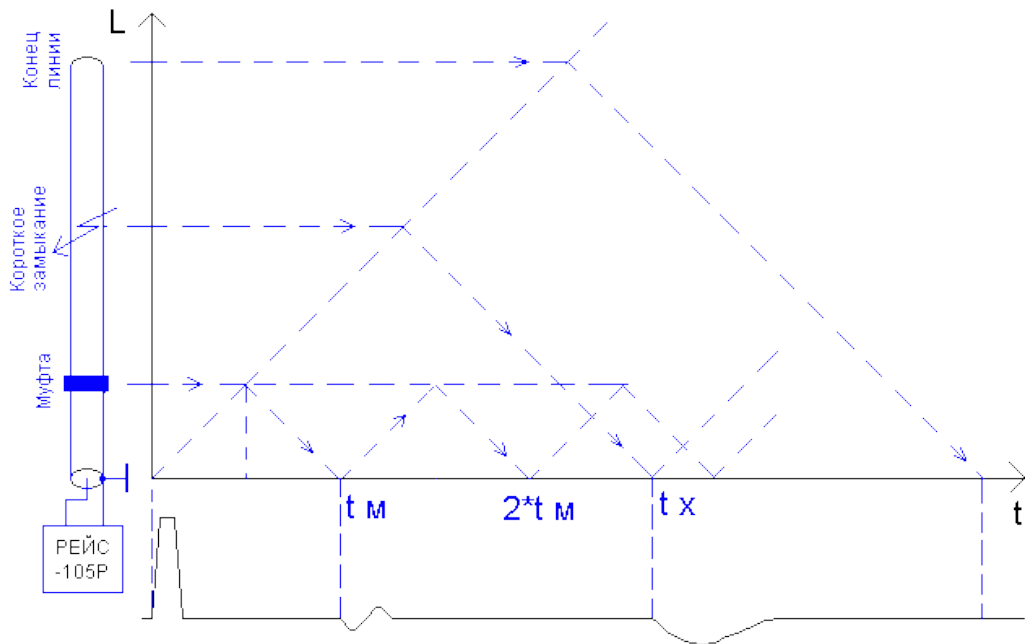
С генератора импульсов зондирующие импульсы подаются в линию.

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, проградуированному в мкс, воспроизводится рефлектограмма линии - реакция линии на зондирующий импульс - измеряется интервал времени t_x между моментом подачи импульса и моментом прихода импульса, отраженного от места повреждения (рис. 3).

Образование рефлектограммы линии легко проследить по диаграмме, приведенной на рисунке ниже. Здесь осью ординат является ось расстояния, а осью абсцисс - ось времени.



В левой части рисунка показана кабельная линия с муфтой и коротким замыканием, а в нижней части - рефлектограмма этой кабельной линии.

Анализируя рефлектограмму линии, оператор получает информацию о наличии или отсутствии в ней повреждений и неоднородностей.

Например, по приведенной выше рефлектограмме можно сделать несколько выводов:

1. На рефлектограмме кроме зондирующего импульса есть только два отражения: отражение от муфты и отражение от короткого замыкания. Это свидетельствует о хорошей однородности линии от начала до муфты и от муфты до короткого замыкания.
2. Выходное сопротивление рефлектометра согласовано с волновым сопротивлением линии, так как переотраженные сигналы, которые при отсутствии согласования располагаются на двойном расстоянии, отсутствуют.
3. Повреждение имеет вид короткого замыкания, так как отраженный от него сигнал изменил полярность.
4. Короткое замыкание полное, так как после отражения от него других отражений нет.
5. Линия имеет большое затухание, так как амплитуда отражения от короткого замыкания много меньше, чем амплитуда зондирующего сигнала.

Если выходное сопротивление рефлектометра не согласовано с волновым сопротивлением линии, то в моменты времени $2 \cdot t_M$, $4 \cdot t_M$ и т.д. будут наблюдаться переотраженные сигналы от муфты, убывающие по амплитуде, а в моменты времени $2 \cdot t_X$, $4 \cdot t_X$ и т.д. - переотражения от места короткого замыкания.

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. Это соотношение:

$$W = U/I$$

имеет размерность сопротивления и называется волновым сопротивлением линии.

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). Расстояние до места повреждения рассчитывают по выражению:

$$L_x = t_x \cdot V / 2,$$

где V - скорость распространения импульса в линии.

Отношение амплитуды отраженного импульса U_0 к амплитуде зондирующего импульса U_3 обозначают коэффициентом отражения $K_{отр}$:

$$K_{отр} = U_0 / U_3 = (W_1 - W) / (W_1 + W),$$

где: W - волновое сопротивление линии до места повреждения (неоднородности), W_1 - волновое сопротивление линии в месте повреждения (неоднородности).

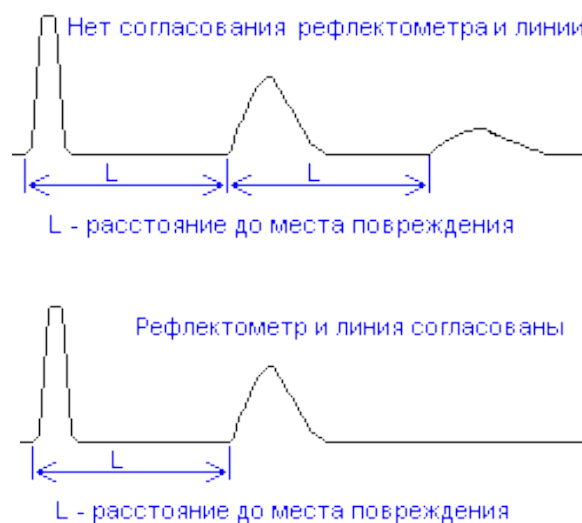
Отраженный сигнал появляется в тех местах линии, где волновое сопротивление отклоняется от своего среднего значения: у муфт, у мест изменения сечения жилы, у мест сжатия кабеля, у места обрыва, короткого замыкания и т.д.

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.

Примеры рефлектограммы линии без согласования выходного сопротивления с линией и с согласованием приведены на рисунках:

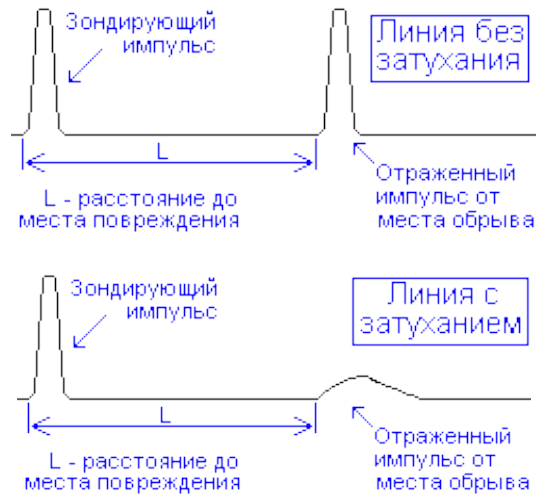


При распространении вдоль линии импульсный сигнал затухает, то есть уменьшается по амплитуде.

Затухание линии определяется ее геометрической конструкцией и материалами 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.

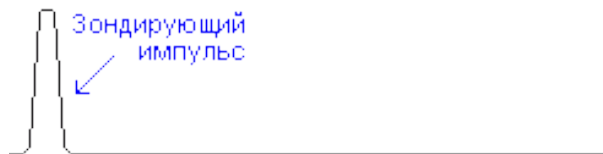
Примеры рефлектограмм линий без затухания (идеальная линия) и с затуханием показаны на рисунке.



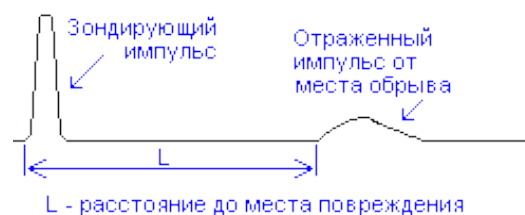
Для более точного измерения необходимо правильно, в соответствии с длиной и частотной характеристикой затухания линии, выбирать параметры зондирующего импульса в рефлектометре.

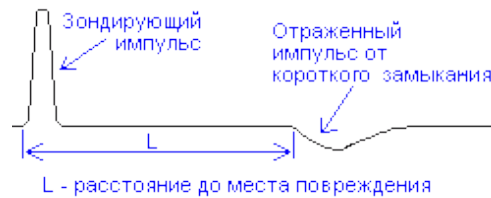
Критерием правильного выбора является минимальное "расплывание" и максимальная амплитуда отраженного сигнала.

Если при подключенной линии на рефлектограмме наблюдается только зондирующий импульс, а отраженные сигналы отсутствуют, то это свидетельствует о точном согласовании выходного сопротивления рефлектометра с волновым сопротивлением линии, отсутствии повреждений и наличии на конце линии нагрузки равной волновому сопротивлению линии.



Вид отраженного сигнала зависит от характера повреждения или неоднородности. Например, при обрыве отраженный импульс имеет ту же полярность, что и зондирующий, а при коротком замыкании отраженный импульс меняет полярность.

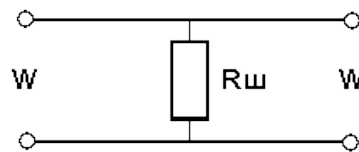




В идеальном случае, когда отражение от повреждения полное и затухание отсутствует, амплитуда отраженного сигнала равна амплитуде зондирующего импульса.

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 Rш*:



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:

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

где: **Rш** - сопротивление шунтирующей утечки,

W1 - волновое сопротивление линии в месте повреждения, определяется выражением:

$$W_1 = (W * R_{ш}) / (W + R_{ш})$$

Так, например, при коротком замыкании (**Rш=0**) получаем:

$$K_{отр} = -1$$

В этом случае сигнал отражается полностью с изменением полярности.

При отсутствии шунтирующей нагрузки (**Rш=∞**) имеем:

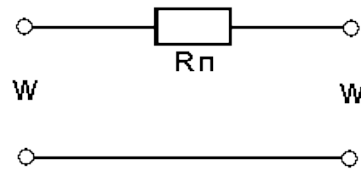
$$K_{отр} = 0$$

Сигнал не отражается вообще.

При изменении **Rш** от 0 до ∞ амплитуда отраженного сигнала уменьшается от максимального значения до нулевого, сохраняя отрицательную полярность (см. рисунок).



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.

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

$$K_{отр} = (W_1 - W) / (W_1 + W) = 1 / (1 + 2 * W / R_{п}),$$

где: $R_{п}$ - продольное сопротивление,

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

$$W_1 = R_{п} + W$$

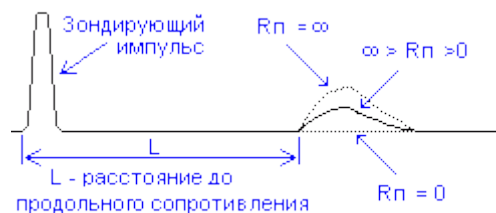
В случае обрыва жилы ($R_{п} = \infty$) получаем коэффициент отражения:

$$K_{отр} = 1$$

Это означает, что сигнал отражается полностью без изменения полярности.

При нулевом значении продольного сопротивления ($R_{п} = 0$) имеем:

$$K_{отр} = 0$$



Сигнал не отражается вообще.

При изменении $R_{п}$ от ∞ до 0 отраженный сигнал уменьшается по амплитуде от максимального значения до нулевого, без изменения полярности (см. рисунок).

Виды зондирующих сигналов

В рефлектометрах для определения мест повреждения линий применяются в основном два вида зондирующих импульсов: короткий видеоимпульс и перепад напряжения. Иногда используется суперпозиция видеоимпульса и перепада напряжения.

1. Короткий видеоимпульс

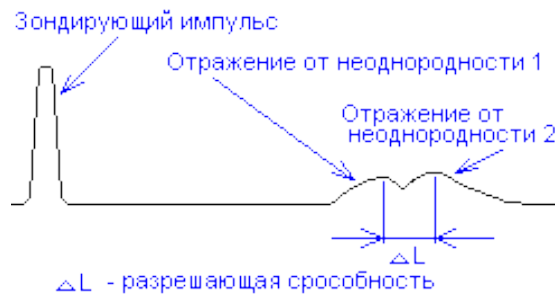
Короткий видеоимпульс представляет импульс напряжения малой длительности, которая выбирается много меньше (в 10...100 раз) времени распространения импульса по линии. Выбор длительности может производиться вручную или автоматически, в зависимости от диапазона измеряемых расстояний.

При зондировании линии короткими видеоимпульсами наблюдаются отражения от начала и конца распределенных неоднородностей, поэтому такое зондирование используется для поиска локальных повреждений и крупных сосредоточенных неоднородностей волнового сопротивления.



Короткий зондирующий импульс обеспечивает высокую разрешающую способность, которая определяется его длительностью.

Разрешающая способность - это минимальное расстояние между двумя неоднородностями волнового сопротивления при котором отраженные от них сигналы еще наблюдаются как отдельные сигналы.



На рисунке отраженные от двух неоднородностей импульсы еще наблюдаются раздельно.

Длительность зондирующего видеоимпульса влияет на разрешающую способность рефлектометра - чем она меньше, тем выше разрешающая способность рефлектометра.

В тоже время, при уменьшении длительности зондирующих сигналов возрастает их затухание.



Следует иметь в виду, что для линий с одинаковой длиной более высокая разрешающая способность может быть получена на более высокочастотной линии (см. рисунок).

Зондирующие сигналы в виде коротких видеоимпульсов нашли применение во многих рефлектометрах относительно низкочастотных и высокочастотных диапазонов (**РЕЙС-105Р**), предназначенных для определения мест повреждения и неоднородностей волнового сопротивления в линиях связи, электропередачи, контроля и управления различных типов.

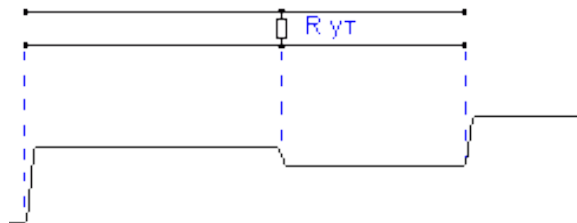
2. Перепад напряжения

Перепад напряжения - это зондирующий импульс такой длительности, которая больше чем время распространения импульса по линии.

При зондировании линии таким широким импульсом ("перепадом") наблюдается профиль изменения волнового сопротивления вдоль линии. Поэтому такое зондирование может использоваться не только для измерения расстояния и величины неоднородности, но и при наличии в линии следующих друг за другом нескольких протяженных неоднородностей волнового сопротивления или его плавного изменения вдоль линии.

При прочих равных условиях, в частности при одинаковых длительностях фронтов зондирующих импульсов, разрешающая способность при измерении перепадом напряжения вдвое лучше, чем при измерении видеоимпульсом. Эта разрешающая способность определяется длительностью фронта "перепада".

Пример рефлектограммы линии с утечкой при зондировании "перепадом" напряжения показан на рисунке.



Зондирующие импульсы в виде перепада напряжения нашли применение в рефлектометрах СВЧ диапазона (P5-11, P5-12, P5-15, СК7-18), используемых для анализа однородности антенных систем, волноводных трактов и т. д.

Коэффициент укорочения электромагнитных волн

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 и определяется выражением:

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

где c - скорость света,

g - коэффициент укорочения электромагнитной волны в линии,

ϵ - диэлектрическая проницаемость материала изоляции кабеля.

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.

Величина g является справочной только для радиочастотных кабелей, для других типов кабелей не нормируется. 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".

Скорость распространения электромагнитных волн в силовых кабелях практически не зависит от сечения и материала жил и составляет $160+3$ м/мкс. Расстояние до места повреждения вычисляется как $l_x = 80t_x$, м.

Для случая, приведенного на рис. 1, зона повреждения находится на расстоянии $l_x = 80 * 3,5 = 280$ м от места измерения.

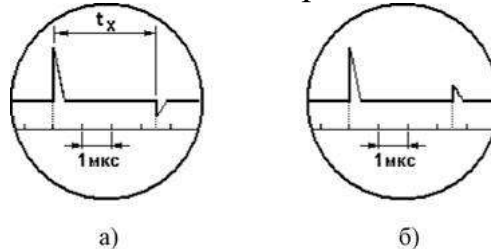


Рис. 1. Экран прибора при определении зоны повреждения кабеля импульсным методом: а - при замыкании; б - при обрыве

По знаку отраженного импульса судят о характере повреждения. Если посланный и отраженный импульс разного знака - повреждение типа замыкание (рис. 1,а), если одного знака - повреждение типа обрыв (рис. 1,б).

Помехи импульсной рефлектометрии и борьба с ними

По соотношению величин отражения от повреждения и напряжения помех все отражения можно разделить на *простые* и *сложные*.

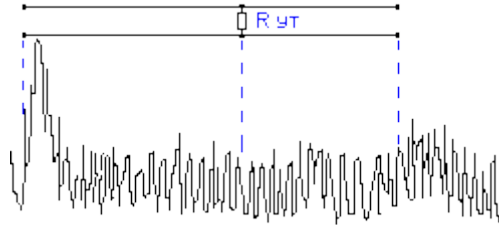
Простое повреждение - это такое повреждение кабельной линии, при котором амплитуда отражения от места повреждения больше амплитуды помех.

Сложное повреждение - это такое повреждение, для которого амплитуда отражения от места повреждения меньше или равна амплитуде помех.

По источникам возникновения помехи бывают *асинхронные* (аддитивные) и *синхронные*.

Асинхронные помехи не связаны с зондирующим сигналом и неоднородностями кабельной линии и вызваны наводками от соседних кабельных линий, от оборудования, транспорта и различной аппаратуры.

Пример рефлектограммы кабельной линии с асинхронными помехами показан на рисунке.



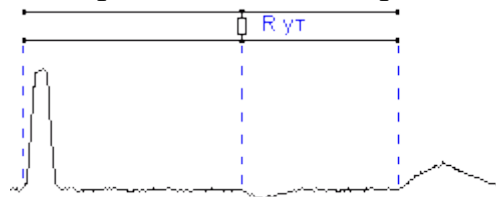
На рефлектограмме асинхронные помехи полностью закрывают отражение от повреждения. Это отражение невозможно рассмотреть на фоне помех.

Эффективными методами отстройки от асинхронных помех являются *аналоговая фильтрация* и *цифровое накопление сигнала*.

Аналоговая фильтрация применялась в основном в аналоговых рефлектометрах, таких как P5-10 и P5-13.

Сущность *цифрового накопления* заключается в том, что одну и ту же рефлектограмму считывают несколько раз и вычисляют среднее значение. В связи с тем, что асинхронные помехи носят случайный характер, после цифрового накопления их уровень значительно снижается.

Пример предыдущей рефлектограммы линии, "очищенной" в результате цифрового накопления рефлектометром [РЕЙС-105Р](#), приведен на рисунке.



На этой рефлектограмме можно легко выделить сигнал, отраженный от места утечки.

Синхронные помехи связаны с зондирующим сигналом и являются отражениями зондирующего сигнала от неоднородностей волнового сопротивления линии (отражения от кабельных муфт, ответвлений, кабельных вставок, неоднородностей кабельных линий технологического характера и др.).

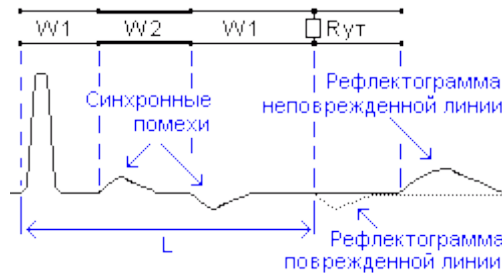
Основная масса кабельных линий (кроме кабелей связи) не предназначены для передачи коротких импульсных сигналов, используемых при методе импульсной рефлектометрии. Поэтому этим кабельным линиям присуще большое количество синхронных помех.

Пример рефлектограммы кабельной линии с синхронными помехами показан на рисунке.



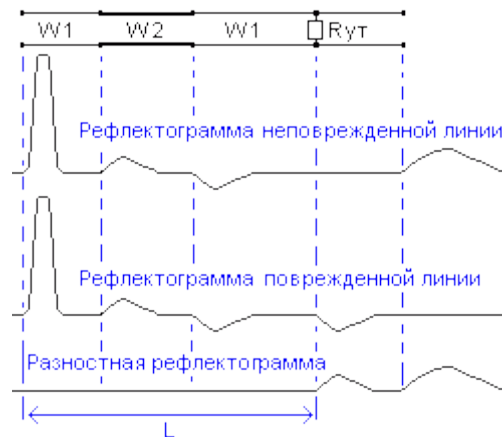
Синхронные помехи можно существенно уменьшить посредством *сравнения* или *дифференциального анализа*.

При *сравнении* накладывают рефлектограммы двух линий (неповрежденной и поврежденной), проложенных по одной трассе.



Наложение двух рефлектограмм позволяет быстро обнаружить начальную точку их различия, по которой и определяют расстояние L до повреждения.

При *дифференциальном анализе* рефлектограммы поврежденной и неповрежденной линий вычитают, как показано на рисунке ниже



Из рисунка видно, что при вычитании все синхронные помехи компенсируются. По разностной рефлектограмме легко обнаружить отражение от места повреждения и определить расстояние L до него.

Сравнение и дифференциальный анализ рефлектограмм легко реализуется в рефлектометре [РЕЙС-105Р](#).

Наилучших результатов от сравнения и вычитания удастся получить при использовании в качестве исправной линии жилы или кабельной пары того же кабеля.

При измерении кабельной линии методом импульсной рефлектометрии асинхронные и синхронные помехи присутствуют на рефлектограмме одновременно.

Асинхронные помехи (кроме помех импульсного характера), как правило, имеют одинаковые величины, независимо от того, с какого конца кабельной линии ведется измерение рефлектометром.

Синхронные помехи при измерении с разных концов кабеля имеют различную величину, в зависимости от многих факторов: длины кабельной линии, затухания импульсных сигналов, удаленности места повреждения и мест неоднородностей волнового сопротивления кабельной линии, точности согласования выходного сопротивления импульсного рефлектометра с волновым сопротивлением линии и других факторов. Поэтому отраженный сигнал от одной и той же неоднородности может иметь различные величины при измерении с разных концов линии.

Если хотя бы предположительно известно, к какому концу кабельной линии

ближе может быть расположено место повреждения, то для измерений нужно выбирать именно этот конец кабельной линии. В других случаях желательно проводить измерения последовательно с двух концов кабельной линии.

Следует учитывать, что даже такие повреждения как "короткое замыкание" и "обрыв", дающие максимальные отражения зондирующего сигнала, не всегда можно легко обнаружить на фоне помех. Например при большом затухании и больших неоднородностях волнового сопротивления линии амплитуда отражения от удаленного повреждений типа "короткое замыкание" или "обрыв" зачастую бывает меньше, чем отражения от близко расположенных неоднородностей волнового сопротивления. Поэтому такие повреждения являются сложным для обнаружения.

Рефлектограмма кабельной линии со сложным повреждением показана на рисунке.



Как правило, сложные повреждения встречаются значительно чаще чем простые.

На практике метод импульсной рефлектометрии позволяет эффективно определить обрыв, короткое замыкание, низкоомные соединения жил или оболочки при сопротивлении утечки до 10 кОм, муфты, ответвления и т.д. При малых синхронных помехах возможно обнаружение повреждений и при более высоких значениях сопротивлений утечки.

Выводы

1. Метод импульсной рефлектометрии удобен для практического использования, так как для измерения импульсным рефлектометром достаточно доступа к линии с одного конца.
2. Импульсные рефлектометры позволяют определить расстояние до места повреждения линии при любом характере повреждения (обрыв, короткое замыкание, утечка, продольное сопротивление и т.д.).
3. Результаты, достигаемые при измерениях импульсным рефлектометром, зависят от его возможностей по отстройке от помех.
4. Метод импульсной рефлектометрии позволяет достигнуть более высокой точности измерений расстояния до места повреждения по сравнению с другими методами (например, по сравнению с мостовым): 1% - для аналоговых импульсных рефлектометров и 0,2% - для цифровых рефлектометров.



Метод петли (метод Муррея) применяется для определения зоны однофазных и двухфазных замыканий на землю. Этот метод основан на **измерении омического сопротивления жил кабеля до места повреждения мостовым методом**. Он применяется в том случае, если произошел пробой между жилой кабеля и броней или между двумя жилами в трехжильном кабеле. Определение возможно при малом сопротивлении места пробоя, не выше 1 кОм.

На одном конце кабеля замыкаются нормальная и поврежденная жилы (образуется петля). Измерения проводятся с другого конца кабеля (см. рис. 3). Для измерения сопротивлений R_2 и R_4 может использоваться мост постоянного тока.

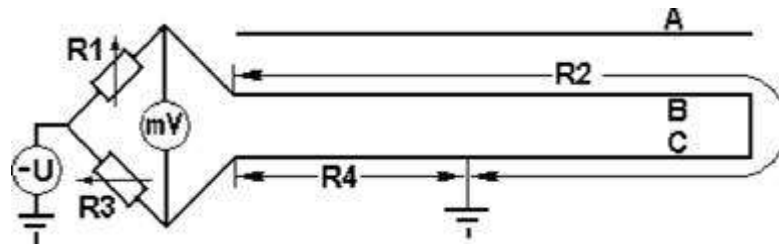


Рис. 3. Схема определение зоны повреждения петлевым методом

В одну диагональ моста включается источник постоянного напряжения $-U$, в другую - измерительный прибор, например милливольтметр mV . Регулируемыми сопротивлениями R_1 и R_3 , достигается равновесие моста - нулевое показание милливольтметра. Известно, что равновесие моста будет достигаться при выполнении соотношения $R_1 R_4 = R_2 R_3$ где R_2 - сопротивление нормальной жилы и участка поврежденной жилы от конца кабеля до места повреждения; R_4 - сопротивление участка поврежденной жилы от начала кабеля до места повреждения. Или

$$R_x = R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{(2R_2 - R_4) R_3}{R_1},$$

Поскольку сопротивление жилы кабеля пропорционально его длине $R = \rho \frac{l}{S}$, зона повреждения после достижения равновесия моста определяется несложными вычислениями

$$\begin{aligned} l_x \frac{\square}{S} &= (2l - l_x) \frac{l R_3}{S R_1} \\ l_x + l_x \frac{R_3}{R_1} &= 2l \frac{R_3}{R_1} \\ l_x &= \frac{2l R_3}{R_1 + R_3} \end{aligned}$$

где l - длина кабеля.

Для проверки результата измерения производят второе аналогичное измерение, поменяв концы кабеля. Правильность результатов измерения подтверждается равенством $l_x + l_y = l$

Сопротивления соединительных проводов и переходные сопротивления должны быть малыми

Емкостной метод позволяет определить зону обрыва фазных жил кабеля. Метод базируется на измерении емкости между каждой жилой и заземленной

металлической оболочкой кабеля.

Пусть измеренная емкость оборванной жилы составляет C_x , а измеренная емкость целой жилы - C . Расстояние до места обрыва составляет

$$l_x = l \frac{C}{C_x}$$

При обрыве трех фазных жил емкость кабеля рассчитывается по известному выражению

$$C = \frac{b_0 l}{314}$$

где b_0 - удельная емкостная проводимость кабеля, определяемая по справочным данным.

Индукционный метод позволяет определить место многофазных замыканий в кабеле после успешного прожига изоляции в месте повреждения. Метод основан на улавливании магнитного поля, создаваемого вокруг кабеля протекающим по нему током. Улавливание поля производится с помощью специальной поисковой катушки, имеющей магнитный сердечник для концентрации поля.

По двум поврежденным жилам кабеля пропускается ток высокой частоты (800... 1000 Гц) от звукового генератора G (рис. 4). Вокруг кабеля образуется магнитное поле высокой частоты. Поместив в это поле поисковую катушку, соединенную через усилитель с наушниками, можно прослушивать звуковой сигнал. Обслуживающий персонал, продвигаясь по трассе КЛ, прослушивает этот звуковой сигнал.

Слышимость сигнала вдоль кабельной линии будет периодически изменяться от max до min. Это объясняется спиральным навивом жил кабеля. Преобладание над поверхностью земли магнитного поля одной жилы периодически меняется на преобладание противоположного магнитного поля другой жилы.

В месте короткого замыкания ток от генератора G меняет свое направление, интенсивность магнитного поля и, следовательно, слышимость сигнала в этом месте усиливаются. За местом повреждения звукового сигнала не будет. Использование тока высокой частоты необходимо для отстройки звукового сигнала от фона промышленной частоты 50 Гц соседних кабелей.

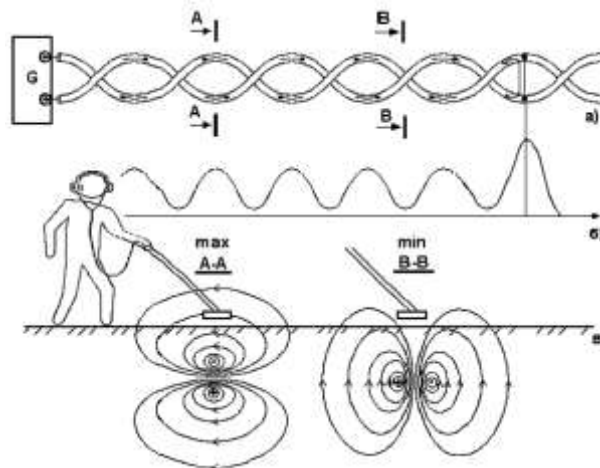


Рис. 5. Иллюстрация индукционного метода отыскания повреждения

Акустический метод позволяет определить место однофазных и многофазных замыканий в кабеле при заплывающем пробое.

В поврежденную жилу (в поврежденные жилы) периодически подаются импульсы постоянного напряжения, например, от накопительного конденсатора. В месте повреждения возникают разряды, вызывающие акустический шум. Для возникновения устойчивого искрового разряда необходимо, чтобы величина переходного сопротивления в месте повреждения превышала 40 Ом. Уровень шума прослушивается с поверхности земли, например, с помощью стетоскопа или прибора с пьезодатчиком - преобразователем механических колебаний в электрические.

Метод применяют для обнаружения на трассе всех видов повреждения с условием, что в месте повреждения может быть создан электрический разряд. Слышимость звука с поверхности земли зависит от глубины залегания кабеля, плотности грунта, вида повреждения кабеля и мощности разрядного импульса. Глубина прослушивания колеблется в пределах от 1 до 5 м. Применение этого метода на открыто проложенных кабелях, кабелях в каналах, туннелях не рекомендуется, так как из-за хорошего распространения звука по металлической оболочке кабеля можно допустить большую ошибку в определении места повреждения.

В качестве генератора импульсов применяется кенотрон с дополнительным включением в схему высоковольтных конденсаторов и шарового разрядника. Вместо конденсаторов можно использовать емкость неповрежденных жил кабеля. В качестве акустического датчика используют датчики пьеза – или электромагнитной системы, преобразующие механические колебания грунта в электрические сигналы, поступающие на вход усилителя звуковой частоты. Над местом повреждения сигнал наибольший. В качестве прибора можно использовать тчетрассопоисковый комплект «ЛИДЕР».

Потенциальные методы основаны на фиксации вдоль трассы электрических потенциалов, создаваемых протекающими по оболочке КЛ и в земле токами. Используются постоянный и переменный токи повышенной частоты (звукового диапазона). Оператор перемещается по трассе с двумя контактными стержнями или пластинами. В первом случае осуществляется непосредственное измерение разности потенциалов, во втором – через емкость пластин. Пластины используются при асфальтобетонных покрытиях на трассе КЛ. В переносное устройство входят усилитель и индикатор. Ток в поврежденную жилу подается с конца КЛ.

Метод накладной рамки

Этот метод применяют для непосредственного обнаружения места повреждения кабеля. Метод удобен при открытой прокладке кабеля; при прокладке в земле необходимо открыть несколько шурфов в зоне повреждения. Метод основан на том же принципе, что и индукционный. Генератор подключают к жиле и оболочке или между двумя жилами. На кабель накладывают рамку и поворачивают ее вокруг оси. До места повреждения будут прослушиваться два максимума и два минимума сигнала от поля пары токов. За местом повреждения при вращении рамки будет прослушиваться монотонный сигнал, обусловленный магнитным полем одиночного

тока.

Метод колебательного разряда

Этот метод применяется при заплывающих пробоях кабелей. Для измерения на поврежденную жилу подается от кенотронной испытательной установки напряжение, которое плавно поднимается до напряжения пробоя. В момент пробоя в кабеле возникает разряд колебательного характера. Период колебаний определяет расстояние до точки повреждения, так как скорость электромагнитная волна распространяется в кабеле с постоянной скоростью. Измерение выполняется рефлектометром РЕЙС-105Р/

Электромеханические методы основаны на фиксации механических усилий, создаваемых за счет энергии тока КЗ. Могут использоваться электродинамические усилия между током в токоведущих частях и наводимым током в расположенном вблизи датчике и электромагнитные силы, приложенные к якорю из магнитного материала. Электромеханические устройства (указатели) устанавливаются стационарно в РУ и на опорах ВЛ. Протекание тока КЗ через контролируемый объект сигнализируется с помощью блинкера. Восстановление исходного состояния указателя в ряде конструкций осуществляется автоматически при включении ВЛ под напряжение.

Использование методов поиска мест повреждения кабельных линий

Наибольшей *эффективности* обнаружения мест повреждения кабельных линий можно добиться **совместным** использованием приборов **дистанционного** определения мест и приборов **трассового поиска** мест повреждения. При этом сначала прибором дистанционного типа определяют зону нахождения места повреждения, а затем трассовым прибором в зоне нахождения места повреждения определяют трассу залегания кабельной линии и определяют точное местонахождение повреждения.

Удобства применения приборов **дистанционного типа**, в частности основанных на локационном методе измерения, обусловлены прежде всего возможностью проведения измерений с **одного конца** кабельной линии и достаточно точным определением расстояния до места повреждения.

Точно указать место повреждения на трассе по результатам замеров локационным прибором возможно при укладке кабеля в коробах или в метро - при наличии точной разметки трассы и по дополнительным признакам (наличию видимого обрыва, пережатию, нарушению защитного покрова или брони, следам от пробоя или выгорания участка кабеля, увлажнению и т.п.).

Основной **недостаток трассовых** методов заключается в том, что при неизвестной зоне нахождения места повреждения для точного его определения трассовым методом потребуется пройти с трассоискателем вдоль всей трассы. Это приводит к большим затратам, особенно для протяженных кабельных линий или для случаев прокладки кабеля в труднодоступных местах. Для сокращения затрат в этих случаях нужно пользоваться **способом последовательного приближения**.

Важная роль, отводится индукционным методам, так как они позволяют определить трассу, глубину залегания и точное местонахождение повреждения кабельной линии. Они нашли наибольшее применение, поэтому рассмотрим их более подробно.

В основу индукционного метода трассового поиска кабельных линий

положено наличие магнитного поля, которое создается протекающим по кабелю током. Поле вокруг одиночного кабеля можно представить в виде концентрических линий, опоясывающих кабель ([рис. 3.1](#)).



Рис. 3.1. Электрическое поле одиночного кабеля

Посредством **обнаружения** магнитного поля обнаруживают **наличие кабельной линии**, а посредством **измерения** поля определяют **местоположение кабельной линии, глубину ее залегания и место повреждения**.

Измерения обычно производят при помощи специальной поисковой катушки, имеющей сердечник для концентрации электрического поля.

Если ось поисковой катушки расположить параллельно поверхности земли непосредственно над кабелем, вдоль линий поля, то в катушке наведется электрический сигнал максимальной амплитуды ([рис. 3.1а](#)).

По максимуму сигнала при указанном положении катушки на практике обнаруживают ориентировочное местонахождение трассы кабельной линии. Однако из-за размытости максимума сигнала точно определить местонахождения кабеля весьма затруднительно.

Если ось поисковой катушки расположить перпендикулярно поверхности земли непосредственно над кабелем (перпендикулярно линиям поля, когда ось катушки проходит через ось кабеля), то электрический сигнал с катушки будет иметь минимальную амплитуду ([рис. 3.1б](#)). При смещении катушки в сторону амплитуда сигнала сначала резко увеличивается, а затем плавно уменьшается. Поэтому перпендикулярное к поверхности земли расположение катушки на практике используется для точного определения местонахождения кабеля.

Для эффективного обнаружения трасс кабельных линий и точного определения мест повреждения на трассе обычно используют специальные индукционные комплекты приборов, состоящие из генератора звуковых частот и индукционного приемника

Обследование местности индукционными приборами проводится на предмет наличия кабельных линий и трубопроводов в следующих случаях:

а) перед проведением земляных и других работ для предотвращения повреждения кабельных линий или трубопроводов;

б) при поиске трассы кабельной линии, например для ее ремонта.

Обследование местности может проводиться **одним индукционным приемником**, если нет возможности подключить к кабельной линии генератор звуковых частот или нет возможности отключить кабель из рабочего состояния. В

этом случае обнаружение кабелей в основном базируется на приеме сигналов с частотой 50 Гц.

Наиболее эффективное обнаружение кабеля, особенно при наличии других кабелей, можно провести при подключении к началу (концу) искомого кабеля генератора звуковых частот, входящего в индукционный комплект.

На [рис. 4.1](#) показано широкое обследование местности на предмет наличия кабельных линий или трубопроводов.

Для обследования неизвестной местности обходят эту местность по периметру и прослушивают сигналы, принимаемые индукционным приемником. Ось поисковой катушки приемника держится параллельно поверхности земли и параллельно направлению обхода. Любая кабельная линия, проходящая через обследуемую местность, при обходе пересекается дважды. Каждый раз при пересечении кабельной трассы приемник выдает сигнал. Максимальная амплитуда сигнала указывает на место прохождения кабельной трассы.

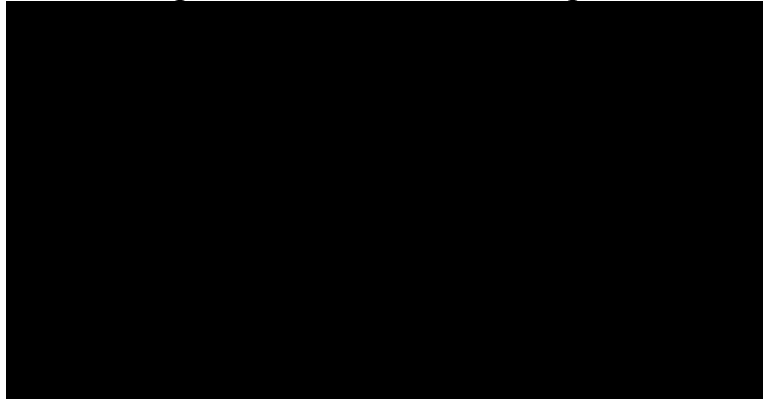


Рис. 4.1. Широкое обследование местности

Для более надежного определения наличия кабельных линий необходимо обойти обследуемую местность несколько раз.

Местность с большой площадью необходимо обследовать по частям. После широкого обследования местности определяют трассу кабельной линии. Для этого перемещаются между двумя точками кабельной линии, найденным при обследовании, и индукционным приемником определяют точное прохождение кабельной трассы по данной местности. На [рис. 4.2](#) показано определение трассы кабельной линии.



Рис. 4.2. Определение трассы кабельной линии

Точное определение трассы кабельной линии осуществляется по максимальному уровню сигнала, принятого индукционным приемником. Для этого ось катушки должна находиться параллельно поверхности земли и перпендикулярно

оси кабельной линии.

Методы непосредственного подключения генератора к кабельной линии

Непосредственное подключение генератора к кабельной линии используется во всех случаях когда это возможно. При непосредственной связи выходной ток генератора протекает непосредственно по кабелю, поэтому создаваемое им поле имеет наибольшую эффективность. Это позволяет достигнуть наивысшей эффективности поиска индукционным методом: наибольшей дальности и глубины обнаружения кабельной линии.

Рассмотрим методы непосредственного подключения индукционного генератора при определении местонахождения кабельной линии.

4.2.1. Непосредственное подключение генератора по схеме "неповрежденная жила - земля"

При этом методе один конец неповрежденной жилы кабеля присоединяют к одной из выходных клемм генератора. Вторую клемму генератора соединяют с заземлителем, которым может служить: специальный заземляющий наконечник (металлический стержень длиной 0,5 м с припаянным к нему проводом), вбитый в землю на расстоянии 6...8 м от генератора, водопроводная сеть или металлическая опора линии электропередачи. Другой конец неповрежденной жилы также заземляют. На [рис. 4.3](#) приведена схема подключения "неповрежденная жила-земля".

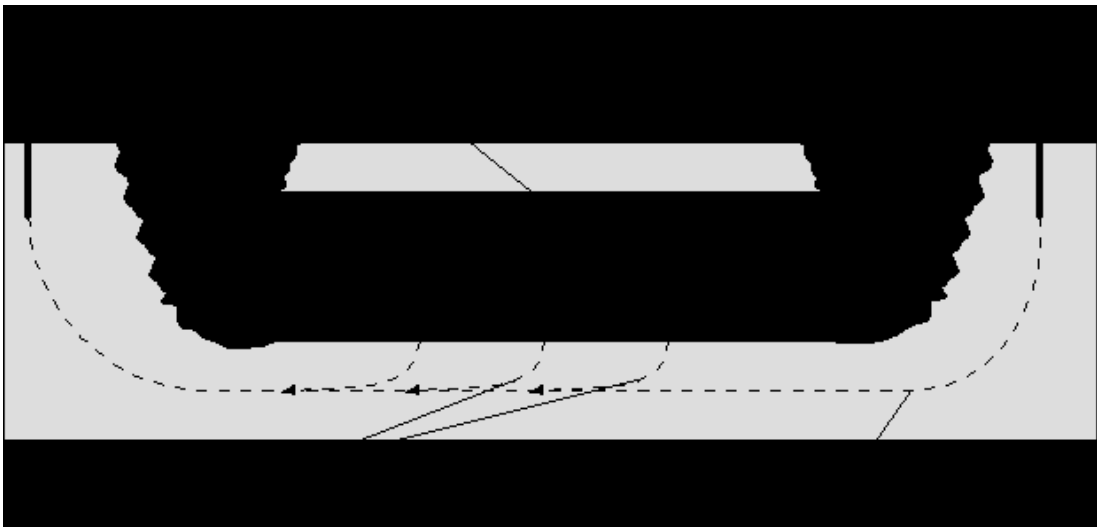


Рис. 4.3. Непосредственное подключение генератора по схеме "неповрежденная жила - земля"

Выходной ток генератора протекает в основном через присоединенную неповрежденную жилу кабельной линии и замыкается через землю. Вокруг кабеля возникает поле, интенсивность которого слабо зависит от удаления от начала кабеля. Это поле можно прослушивать на протяжении всей линии и тем самым определять ее местонахождение.

Однако некоторая часть обратного тока может протекать не через землю, а через броню или экран кабеля. Это приводит во-первых, к некоторому общему ослаблению интенсивности поля, а во-вторых к некоторому постепенному ослаблению интенсивности поля вдоль кабельной линии.

Первая причина ослабления поля обусловлена тем, что направления токов в жиле и оболочке кабельной линии противоположны и поля от них частично компенсируются. Вторая причина обусловлена емкостным током, величина которого уменьшается при удалении от начала кабеля. На [рис. 4.4](#) показана интенсивность магнитного поля над кабелем при подключении генератора по схеме "неповрежденная жила-земля".

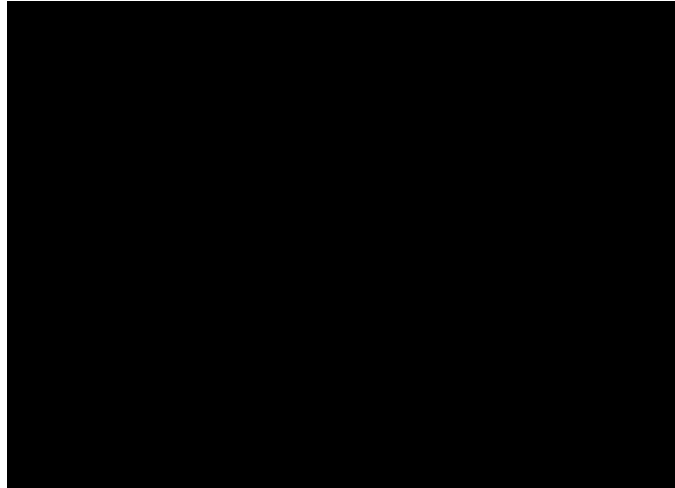


Рис. 4.4. Интенсивность поля над кабелем при подключении генератора по схеме "неповрежденная жила - земля"

4.2.2. Непосредственное подключение генератора по схеме "неповрежденная жила - броня"

При этом методе неповрежденную жилу подключают к одному из выходных клемм генератора, а другую выходную клемму генератора соединяют с броней (экраном) кабельной линии. На другом конце кабельной линии неповрежденную жилу также соединяют с броней (экраном) кабельной линии. Подключение индукционного генератора к кабельной линии по схеме "неповрежденная жила-броня" показано на [рис. 4.5](#).

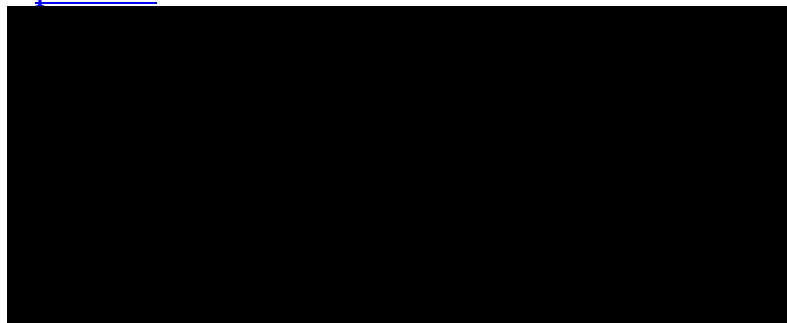


Рис. 4.5. Непосредственное подключение генератора по схеме "неповрежденная жила - броня"

Выходной ток генератора протекает по неповрежденной жиле и возвращается по броне (экрану) кабеля. Токи в жиле и броне протекают в противоположных направлениях, поэтому интенсивность результирующего магнитного поля вокруг кабеля уменьшается.

Если выход генератора подключить к двум жилам кабеля и соединить эти жилы на противоположном конце между собой, то интенсивность результирующего поля вокруг кабеля будет периодически изменяться.

Методы непосредственного подключения генератора с использованием

неповрежденной жилы и брони удобно использовать для определения местоположения кабельной линии на местности. Однако все рассмотренные методы требуют соединений на противоположном конце кабельной линии.

В случае полного обрыва кабеля или короткого замыкания (между жилами или между жилами и броней) в кабеле все соединения на противоположном конце кабеля не имеют смысла. Доступ к месту повреждения невозможен, так как его местонахождение неизвестно. Поэтому используемые в этом случае методы подключения генератора служат как для определения трассы кабельной линии, так и для точного определения места повреждения. Рассмотрим примеры подключения генератора при наличии в кабельной линии повреждения.

4.2.3. Непосредственное подключение генератора по схеме "оборванная жила - броня"

Данный метод подключения в сущности является разновидностью метода подключения по схеме "неповрежденная жила-броня" с тем лишь отличием, что на противоположном конце соединение между жилой и броней не производится. Подключение генератора к кабельной линии по схеме "оборванная жила-броня" показано на [рис. 4.6](#).

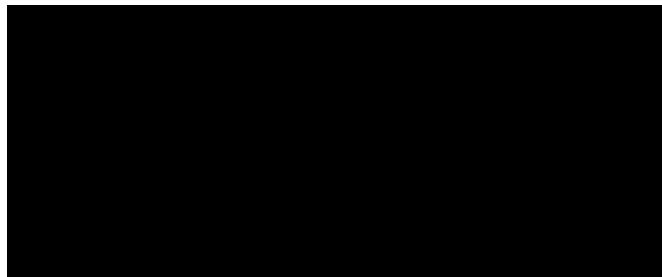


Рис. 4.6. Непосредственное подключение генератора по схеме "оборванная жила броня"

Данный метод использует наличие распределенной емкости кабельной линии. Выходной ток генератора протекает через подключенную к его выходу поврежденную жилу, распределенную емкость кабеля и броню кабельной линии. При удалении от начала кабеля ток в подключенной жиле постепенно убывает из-за ответвления на распределенную по длине емкость. Поэтому интенсивность поля, окружающего кабель, при удалении от начала кабеля также убывает. Интенсивность магнитного поля над кабелем в месте обрыва становится нулевой. Уменьшение интенсивности магнитного поля вдоль кабельной линии показано на [рис. 4.7](#).

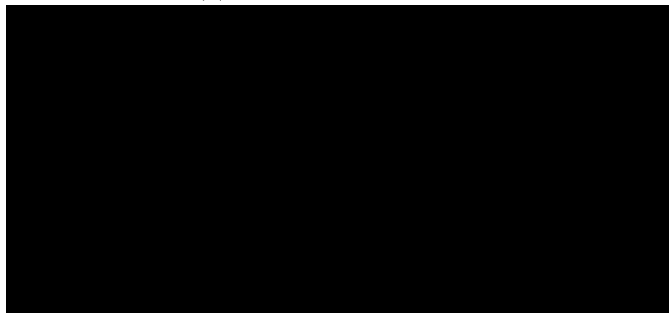


Рис. 4.7. Интенсивность магнитного поля над кабелем при непосредственном подключении по схеме "оборванная жила - броня"

Для увеличения интенсивности магнитного поля над кабельной линией, необходимо увеличить ток, протекающий по кабелю. В рассматриваемом случае выходной ток генератора протекает через распределенное емкостное сопротивление

между жилой и броней. Для увеличения тока необходимо уменьшить емкостное сопротивление, для чего необходимо либо выбрать более высокую выходную частоту генератора, либо увеличить погонную емкость кабеля. Увеличения погонной емкости кабеля можно добиться параллельным соединением нескольких жил кабеля.

4.2.4. Непосредственное подключение генератора между двумя короткозамкнутыми жилами кабельной линии

При этом методе выходные клеммы генератора подключаются к двум короткозамкнутым жилам кабельной линии по схеме, показанной на [рис. 4.8](#).

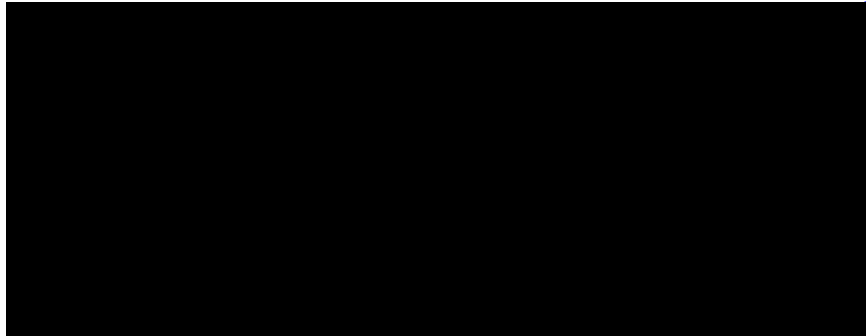


Рис. 4.8. Схема подключения индукционного генератора между двумя короткозамкнутыми жилами кабельной линии

Выходной ток индукционного генератора протекает непосредственно по поврежденным жилам кабельной линии: по одной жиле - в одном направлении, по другой - в обратном направлении. Если при коротком замыкании между жилами переходное сопротивление низкое, то такое повреждение называется "низкоомным" или повреждением типа "металлическое короткое замыкание". Индукционный метод позволяет точно определять такие повреждения при переходном сопротивлении порядка 1 Ом. При этом в месте повреждения не должно быть никаких контактов с оболочкой (экраном) кабеля или с другими жилами. Если контакт все же имеется, то необходимо его устранить, например воздействуя на контактирующие элементы высоковольтным импульсным генератором.

Для точного определения места повреждения генератор включают в режим непрерывной генерации и начинают двигаться вдоль кабельной линии с индукционным приемником, у которого ось поисковой катушки расположена параллельно поверхности земли и перпендикулярно направлению движения (трассе кабельной линии). При движении с индукционным приемником вдоль трассы кабельной линии слышимость кабельной линии будет периодически ослабевать и усиливаться. Это объясняется наличием скрутки повива жил кабельной линии, из-за чего преобладание на поверхности земли магнитного поля одной жилы периодически меняется на преобладание противоположного магнитного поля от другой жилы.

На [рис. 4.10а](#) показана кабельная линия с муфтой и участком, имеющим увеличение глубины залегания. На [рис. 4.10б](#) приведена зависимость интенсивности магнитного поля кабельной линии от длины.

Над муфтами и другими неоднородностями интенсивность магнитного поля изменяется. В местах кабельных муфт расстояние между соседними жилами увеличивается, поэтому создаваемые жилами поля меньше компенсируют друг

друга. Скрутка жил в этих местах отсутствует. Все это приводит к увеличению интенсивности магнитного поля над кабельной муфтой.

В местах, где кабельная линия плавно уходит на большую глубину наблюдается плавное уменьшение интенсивности магнитного поля.

В местах, требующих особой защиты кабельной линии от механических повреждений, кабель прокладывают в металлических трубах. В этих случаях из-за экранирования наблюдается значительное ослабление интенсивности магнитного поля.

В месте короткого замыкания между жилами кабельной линии ток от индукционного генератора меняет свое направление, структура магнитного поля вокруг кабеля изменяется и компенсация от жил проявляется более слабо. Поэтому над местом повреждения интенсивность магнитного поля усиливается ([рис. 4.10б](#)) и становится нулевой после места повреждения.

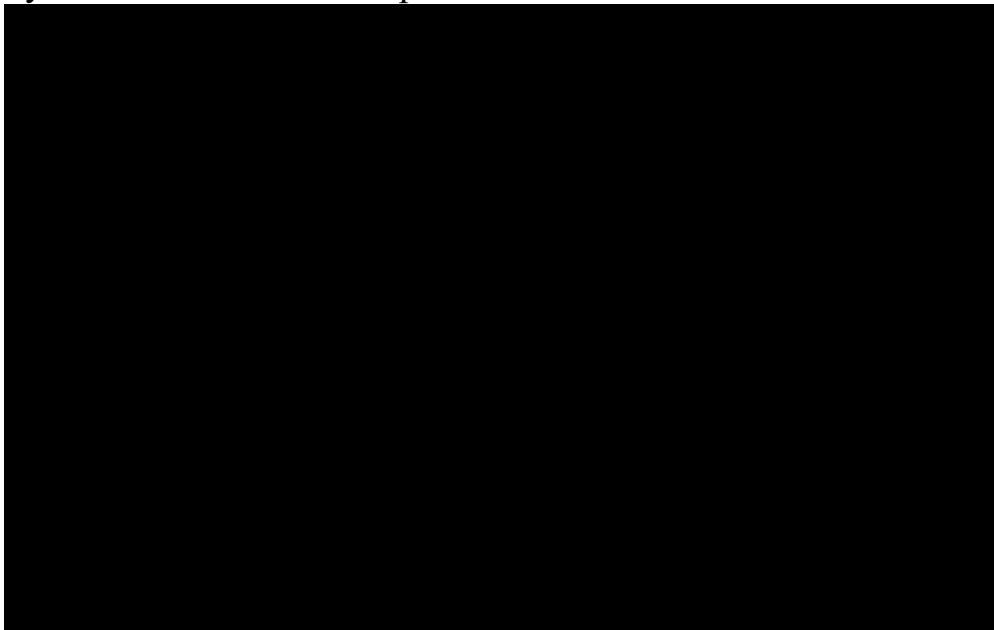


Рис. 4.10. Кабельная линия с неоднородностями и распределение магнитного поля от длины

4.3. Индуктивная связь генератора с кабельной линией или металлическим трубопроводом

Индуктивная связь используется в тех случаях, когда необходимо исследовать определенную местность на предмет наличия кабельных линий или металлических трубопроводов, например перед проведением земляных работ, или когда невозможно непосредственно подключиться генератором к кабельной линии. Для этого применяют специальную индукционную рамку, которую подключают к выходным клеммам генератора. Генератор с подключенной индукционной рамкой располагают на поверхности земли над предполагаемым местом нахождения кабельной линии или металлического трубопровода. Принцип индуктивной связи генератора с кабельной линией показан на [рис. 4.11](#).

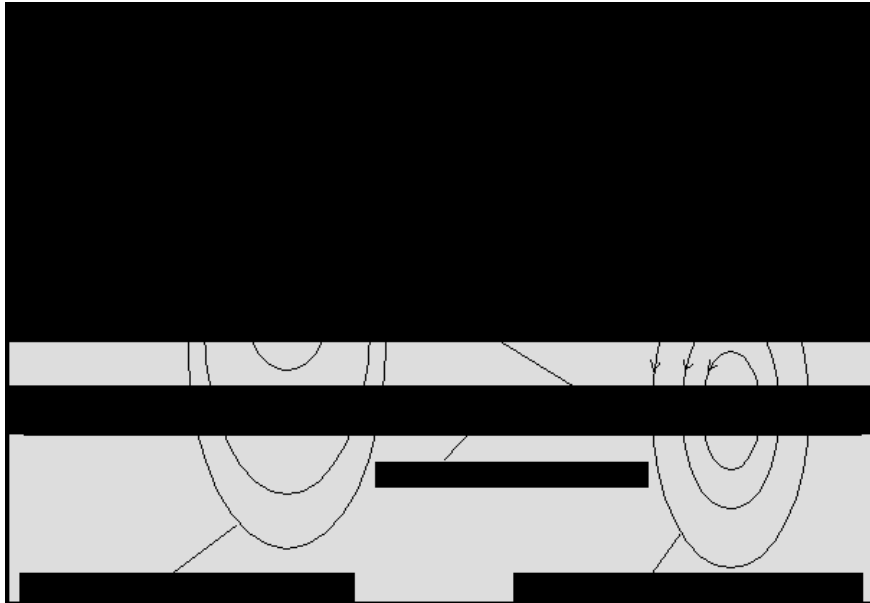


Рис. 4.11. Принцип индуктивной связи генератора с кабельной линией

Выходной ток генератора протекает по виткам индукционной рамки и вызывает появление магнитного поля, проходящего через окно рамки. Это поле проникает через землю и охватывает кабельную линию или трубопровод. В кабеле или трубопроводе начинает протекать индуцированный ток. Этот ток в свою очередь вызывает появление магнитного поля, которое опоясывает кабель (трубопровод) и может быть принято индукционным приемником. Таким образом, удастся обнаружить кабельную линию (трубопровод) без непосредственного подключения к ним. При этом желательно, чтобы трубопровод был изолирован от земли.

Рассмотрим некоторые особенности определения местонахождения кабельных линий или металлических трубопроводов при индуктивной связи с ними генератора звуковых частот.

Из рис. 4.11 следует, что эффективность индуктивной связи генератора с кабельной линией будет наибольшей в том случае, когда плоскость индукционной рамки генератора расположена параллельно кабелю и непосредственно над кабелем.

Методика определения местонахождения кабельной линии или трубопровода при индуктивной связи с ними генератора звуковых частот поясняется на рис. 4.12.

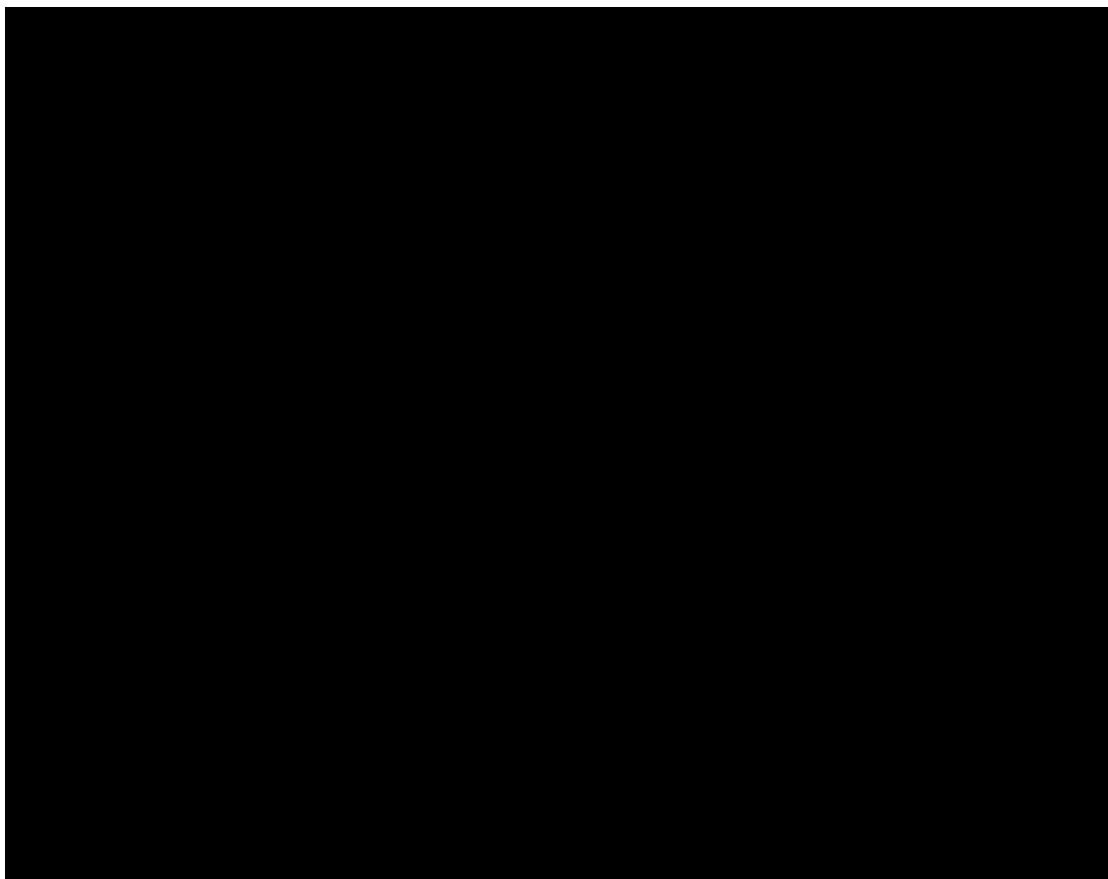


Рис. 4.12. Определение местонахождения кабельной линии или металлического трубопровода при индуктивной связи с генератором

Согласно рисунку можно рекомендовать следующую методику определения местонахождения кабельной линии или трубопровода:

1. Расположить индукционный приемник на местности в зоне предполагаемого местонахождения кабельной линии или трубопровода. Поисковая катушка должна находиться в центре обследуемой зоны.
2. К выходу индукционного генератора, имеющего автономное питание, подключить индукционную рамку.
3. Исключить возможность прямой связи индукционной рамки генератора с индукционным приемником. Для этого отнести генератор от приемника на расстояние не менее 15 метров. Установить плоскость индукционной рамки генератора перпендикулярно поверхности земли по направлению на приемник.
4. С включенным генератором начать обход местности вокруг приемника по окружности, сохраняя ориентировку плоскости рамки генератора перпендикулярно поверхности земли и по направлению на приемник.
5. При пересечении местопрохождения кабельной линии или металлического трубопровода приемником будет зафиксирован максимальный сигнал. Отметить указанное местонахождение генератора и продолжать обход местности до завершения окружности. Отметить другое место пересечения трассы на местности.
6. Обойти указанную местность еще раз и проверить найденные ранее точки пересечения.
7. Расположить генератор непосредственно над обнаруженной кабельной линией

и определить точное местопрохождения трассы посредством прохождения с приемником по обследуемой местности от одной отмеченной точки до другой.
Примечание. Все работы удобно проводить вдвоем.

4.4. Определение трассы работающей кабельной линии без генератора

Работающие силовые кабельные линии, кабельные линии связи, контроля и управления, а также металлические трубопроводы имеют вокруг себя магнитные поля. Магнитные поля вокруг кабельных линий вызываются протекающими по их жилам рабочими токами, а также различными уравнительными токами в броне или металлических экранах. Диапазон частот магнитного поля вокруг кабельных линий зависит от назначения кабеля и лежит в пределах от 50 Гц и выше.

Магнитное поле вокруг водопроводов вызвано наличием различных наведенных и "блуждающих" токов.

Основной причиной наличия магнитного поля вокруг нефтепроводов являются токи катодной защиты частотой 100 Гц, которые специально пропускаются по нефтепроводам.

Все указанные магнитные поля могут быть обнаружены индукционным приемником звуковых частот, что позволяет определять местонахождения кабельной трассы или металлического трубопровода без применения индукционного генератора. Методика поиска заключается в обследовании местности индукционным приемником, принимающим звуковые частоты в диапазоне от 50 Гц и выше. При этом поисковая катушка приемника удерживается в горизонтальном положении непосредственно над поверхностью земли.

При пересечении трассы кабельной линии или металлического трубопровода принимается соответствующий звуковой сигнал, который имеет максимальную интенсивность непосредственно над трассой. Определение трасс залегания кабельной линии или металлического трубопровода без использования генератора поясняется [рисунком 4.2](#).

При обследовании местности следует учитывать, что звуковой сигнал каждой кабельной линии или металлического трубопровода имеет свой характерный тон. При тщательном прослушивании каждый звуковой сигнал можно отличить от других сигналов. Это требует определенного практического навыка, однако позволяет определить по отдельности трассы различных линий и коммуникаций, в том числе расположенных вблизи друг друга.

4.5. Подключение генератора к работающей кабельной линии через фильтр присоединения

Применение индукционных трассопоисковых приборов для определения точного местонахождения трассы кабельной линии возможно не только для отключенной кабельной линии, но и в случае работающей кабельной линии, без отключения ее от питающего напряжения с частотой промышленной сети 50 или 60 Гц. Возможно также определение трассы нефтепровода, имеющего катодную защиту с частотой тока 100 Гц. Эти возможности существуют благодаря разницы частот работающей кабельной линии и рабочих частот индукционного трассоискателя (обычно 1 кГц и выше).

Для реализации указанных возможностей индукционный генератор подключают к работающей кабельной линии через специальный фильтр

присоединения. Схема подключения генератора к кабельной линии через фильтр присоединения показана на рис. 4.13.



Рис. 4.13.

Амплитудно-частотная характеристика фильтра присоединения показана на [рис. 4.14](#). Из этого рисунка видно, что фильтр присоединения представляет собой фильтр верхних частот. Он свободно пропускает в кабельную линию ток от индукционного генератора и предотвращает попадание рабочего напряжения кабеля на генератор.

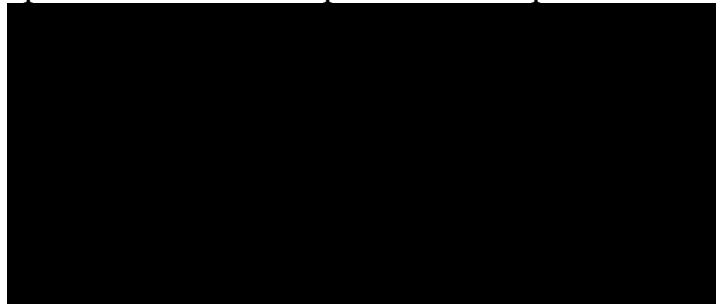


Рис. 4.14.

После подключения к работающей кабельной линии индукционного генератора в ней протекают одновременно токи двух частот: 50 Гц и рабочей частоты генератора, например 1,47 кГц. Принимая индукционным приемником сигналы на частоте 1,47 кГц, имеется возможность определить точное местонахождения трассы работающей кабельной линии, в том числе при наличии других работающих кабельных линий.

5. Определение трасс залегания металлических и неметаллических подземных коммуникаций

Возможности определения трасс металлических трубопроводов (водопроводов, нефтепроводов и газопроводов) при использовании индуктивной связи с генератором и без генератора рассматривались в [п 4.3](#) и [п 4.4](#).

Более эффективное определение местонахождения трасс металлических трубопроводов можно произвести при непосредственном подключении генератора к трубопроводу. При этом одну выходную клемму генератора соединяют с трубой, а вторую выходную клемму заземляют на некотором расстоянии от трубы через заземлитель. Подключение индукционного генератора к металлическому трубопроводу показано на [рис. 5.1](#).

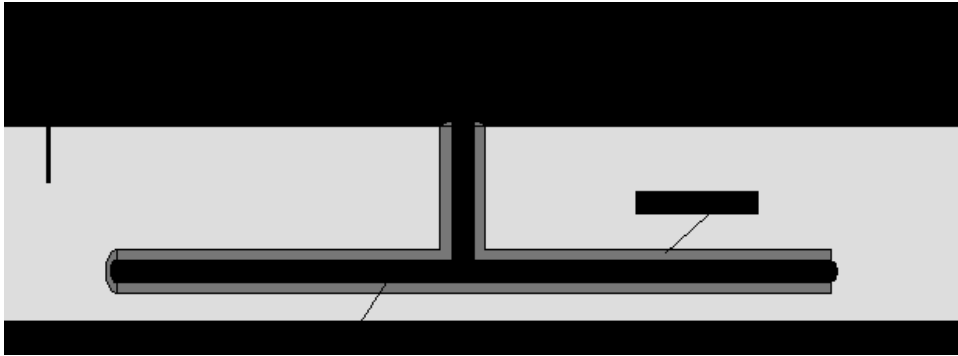


Рис. 5.1. Схема подключения индукционного генератора к металлическому трубопроводу

Соединение выхода генератора с трубой можно производить прикруткой провода или с помощью постоянного магнита. Место контакта провода с трубой необходимо предварительно зачистить.

Если необходимо определить местонахождение трассы водопровода и подключение генератора осуществляется в колодце, где трубы расходятся, то одну выходную клемму генератора необходимо соединить с той трубой, трассу которой необходимо определить. При этом соединение необходимо производить на расстоянии не менее 30...50 см от места стыковки труб. Вторую клемму генератора необходимо заземлить на расстоянии 5...10 м от колодца. Схема подключения индукционного генератора к водопроводу в колодце показана на [рис. 5.2.](#)

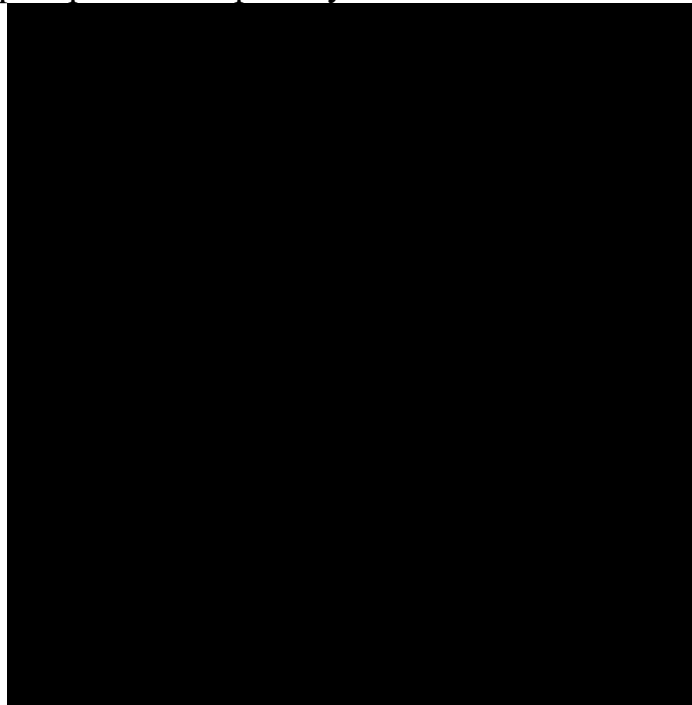


Рис. 5.2.

Индукционными трассоискателями можно определять местоположение неметаллических трубопроводов, например канализационных магистралей. Для этого к одной выходной клемме индукционного генератора подключают проводник, на конце которого прикреплен металлический предмет, и опускают его в поток воды в колодце. Вторую выходную клемму генератора заземляют через заземлитель на расстоянии 5...10 м от колодца. Схема подключения индукционного генератора к неметаллическому трубопроводу приведена на рис. 5.3.

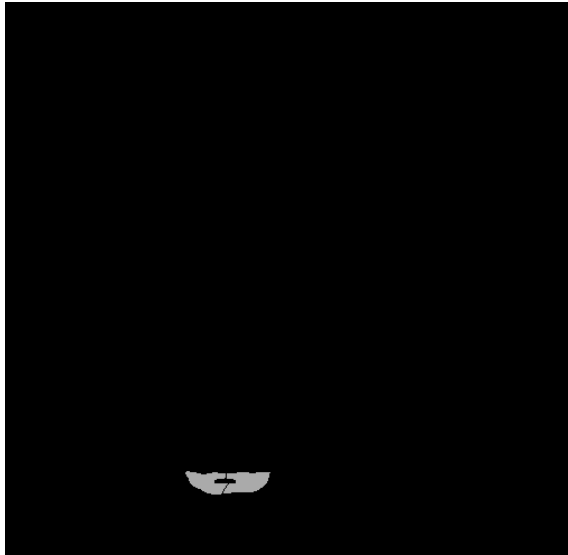


Рис. 5.3.

Металлический предмет, прикрепленный к концу проводника, обеспечивает контакт выхода генератора с водой в магистрали. За счет хорошей проводимости воды выходной ток генератора протекает по трубопроводу, вокруг которого образуется магнитное поле. Наличие поля позволяет определять местонахождение трассы магистрали при помощи обычного индукционного приемника.

6. Определение глубины залегания кабельной линии

6.1. Методика определения глубины залегания кабельной линии

Определение точного местоположения повреждения кабельной линии невозможно без определения глубины залегания кабельной линии. Индукционные трассоискатели позволяют решить указанную задачу.

Измерение глубины залегания кабельной линии индукционным трассоискателем основано на использовании создаваемого кабелем магнитного поля, силовые линии которого имеют форму концентрических окружностей. Если ось поисковой катушки приемника расположить параллельно силовым линиям поля, то наводимый в ней сигнал будет иметь максимальную величину ([рис. 6.1a](#)). Если ось расположить перпендикулярно силовым линиям, то сигнал будет минимальным ([рис. 6.1б](#)). При перемещении наклоненной катушки вдоль поверхности земли наводимый в ней сигнал будет изменяться согласно [рис. 6.1в](#).

Рассмотрим определение глубины залегания кабельной линии индукционными трассоискателями. Для измерения необходим один из индукционных трассоискателей. Приемник, входящий в комплект трассоискателей, конструктивно выполнен в ручке пластмассовой штанги, к концу которой под углом 45 градусов к оси, прикреплена поисковая катушка (показано на [рис. 6.2](#)).

Определение глубины залегания кабельной линии производят в следующем порядке.

1. К кабельной линии подключают генератор. Может быть использована как непосредственная, так и индуктивная связь генератора с кабельной линией. Наиболее эффективно непосредственное подключение.

При этом возможны два варианта непосредственного подключения генератора к кабельной линии.

При первом варианте одну выходную клемму генератора необходимо

подключить к соединенным между собой жилам, а вторую выходную клемму - к оболочке кабеля или его экрану. Этот вариант подключения рекомендуется использовать для определения глубины залегания в случае обрыва кабельной линии.

При втором варианте одну выходную клемму генератора необходимо подключить к одной или нескольким, соединенным между собой, жилам кабеля, которые на противоположном конце соединены с заземленным наконечником. Вторую выходную клемму генератора необходимо соединить с изолированным проводом, идущим к заземлителю, отдаленному от конца кабеля влево или вправо.

Этот вариант подключения рекомендуется использовать при наличии хотя бы одной исправной жилы кабельной линии.

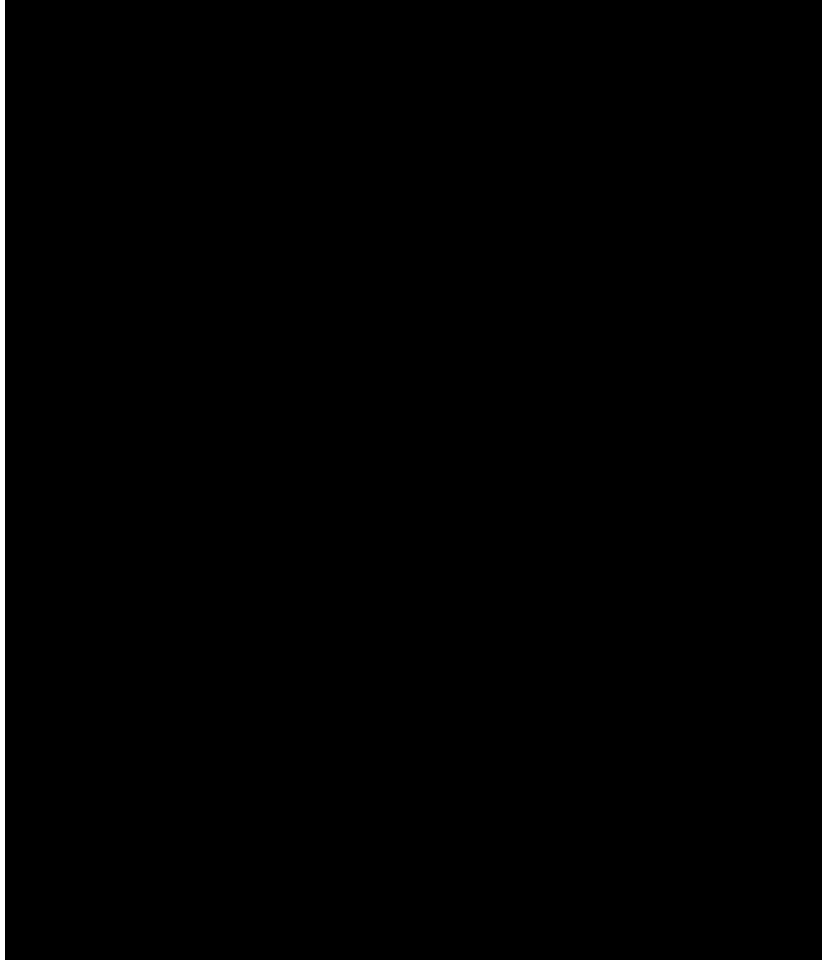


Рис. 6.1. Сигналы в поисковой катушке в зависимости от ее расположения относительно силовых линий магнитного поля

- Используя описанные в главе 4 методы при помощи приемника находят трассу кабельной линии в том месте, где необходимо определить глубину ее залегания.
- Располагают штангу приемника над местом залегания кабельной линии таким образом, чтобы ось поисковой катушки на конце штанги была перпендикулярна поверхности земли. Перемещаются со штангой приемника перпендикулярно трассе пролегания кабельной линии то в одном, то в другом направлении до тех пор, пока не будет найдено положение с минимальной громкостью сигнала. При этом необходимо выбрать такое положение штанги, при котором смещение в любую сторону приводит к одинаковому резкому увеличению громкости (рис. 6.2).

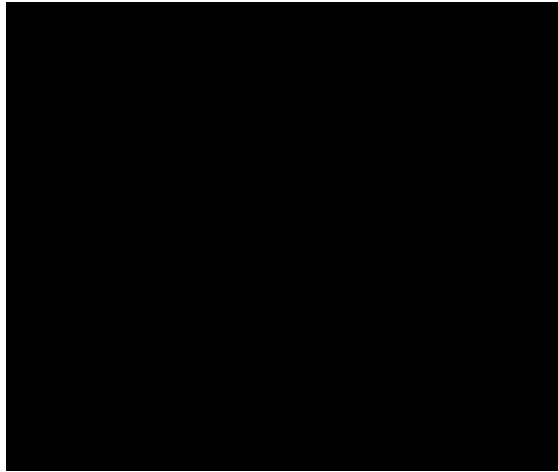


Рис. 6.2. Определение точного местонахождения трассы кабельной линии

Отмечают на поверхности земли точку 1 с минимальной громкостью сигнала генератора.

4. Располагают штангу с приемником и поисковой катушкой таким образом, чтобы ось штанги была перпендикулярна поверхности земли, а ось поисковой катушки лежала в плоскости, перпендикулярной оси кабеля. Со штангой перемещаются от точки 1 перпендикулярно трассе пролегания кабельной линии сначала в одном, а затем в другом направлении до тех пор, пока не определят положения (точка 2 и точка 3) с минимальной громкостью сигнала ([рис. 6.3](#)).

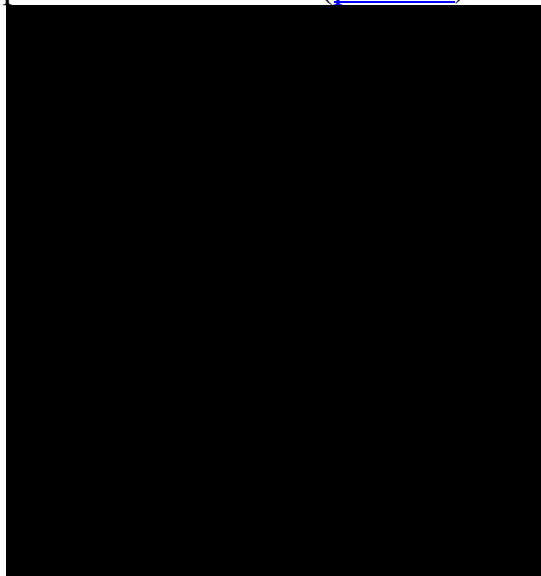


Рис. 6.3. Определение боковых точек с минимальной громкостью принимаемого сигнала

Согласно рисунка расстояние от точки 1 до точки 2 или 3 будет равно глубине залегания кабельной линии, т.е. выполняются равенства $L_1=L_2$, $L_1=h$ и $L_2=h$, а также $h=(L_1+L_2)/2$.

6.2. Особенности определения глубины залегания при параллельном прохождении других кабельных линий

Рассмотренная в [п. 6.1](#) методика определения глубины залегания дает правильные результаты в том случае, когда силовые линии магнитного поля имеют форму концентрических окружностей, как показано на [рис. 6.3](#). При этом расстояния от Точки 1 (под кабелем) до Точки 2 и Точки 3 с минимальной громкостью сигнала одинаковы или близки по величине.

Однако силовые линии магнитного поля имеют форму концентрических окружностей только для одиночного проводника с током. Это возможно, если по жилам (жиле) кабеля ток протекает только в одном направлении, а обратный ток протекает по другому пути, например по земле или по другому кабелю, отнесенному от измеряемого кабеля.

Если прямой ток от генератора протекает по всем жилам кабеля, а обратный ток - по оболочке или экрану, то происходит некоторая взаимная компенсация создаваемых этими токами полей. В этом случае результирующее ослабленное магнитное поле также имеет форму концентрических окружностей.

Если форма силовых линий магнитного поля искажена, то точное определение глубины залегания кабельной линии описанным выше методом значительно затруднено.

Искажение силовых линий магнитного поля имеет место, когда пути прохождения прямого и обратного токов кабеля расположены достаточно близко друг около друга. Например, если прямой ток протекает по одной жиле кабеля, а обратный - по другой жиле того же кабеля.

Аналогичная ситуация возникает в случае, когда прямой ток протекает по одному обнаруживаемому кабелю, а обратный - по второму, проложенному близко к первому. Этот случай показан на [рис. 6.4](#).

Из рисунка видно, что из-за искажения формы магнитного поля Точка 1' смещена относительно места залегания обнаруживаемой кабельной линии, Точка 2' и точка 3' несимметрично расположены относительно Точки 1', а также имеют место неравенства: $L1' \neq L2$, $L1' \neq h$, $L2' \neq h$ и $(L1'+L2')/2 \neq h$.

Следовательно, при таком искажении магнитного поля измерения по описанным ранее методам приведут к ошибкам как в определении места, так и глубины залегания кабельной линии.

Поэтому, при измерении глубины залегания кабельной линии одновременно производится проверка прохождения трассы кабельной линии.

Основным признаком искажения магнитного поля и следовательно ошибочного определения месторасположения трассы и измерения глубины залегания кабельной линии является неравенство: $L1 \neq L2$, причем, если отличие между этими величинами превышает 15...20%.

Для проведения более достоверных измерений необходимо попытаться изменить путь прохождения обратного тока, как указывалось выше.

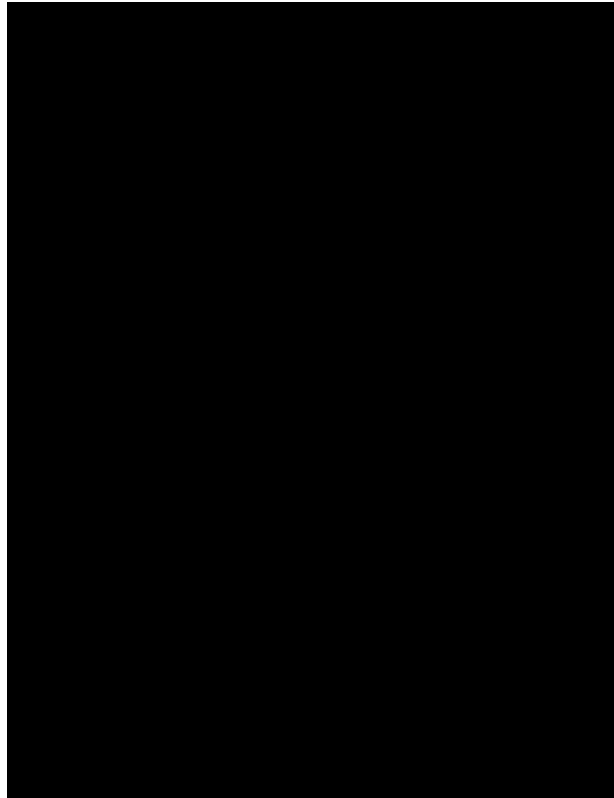


Рис. 6.4. Искажение магнитного поля при параллельном прохождении других кабельных линий (жил) с обратным током

7. Точное определение местонахождения повреждения индукционным методом

Получение малой величины переходного сопротивления способствует эффективному применению как локационного метода, так и в последующем - индукционного метода.

Однако, в ряде случаев, использование прожига на силовых кабельных линиях не позволяет снизить переходное сопротивление. Например, если имеет место "заплывающий" пробой, при котором после возникновения пробоя в образовавшийся канал затекает масло и пробой прекращается, или если место повреждения изоляции находится во влажном месте и кабель "насосывает" в себя воду.

Для определения таких поврежденных используется другой импульсный метод - волновой, который эффективно реализуется при помощи системы К6Р-5.

При этом случае система [К6Р-5](#) должна использоваться совместно с присоединительным устройством и высоковольтным генератором напряжения или импульсно-волновым генератором. Соответственно реализуется волновой метод напряжения или волновой метод тока.

При волновом методе напряжения к линии прикладывается высокое напряжение, которое постепенно повышается до возникновения пробоя в месте повреждения. Возникающая в момент пробоя волна напряжения распространяется по кабельной линии и запоминается в памяти системы [К6Р-5](#), в том числе после переотражения от начала кабельной линии и от места повреждения.

При волновом методе тока в кабельную линию от импульсно-волнового генератора подается высоковольтный импульс, который достигнув места повреждения, вызывает в нем пробой. Возникший в месте повреждения пробой аналогичен повреждению типа короткое замыкание. Поэтому происходит полное отражение

волны и она начинает распространяться к началу линии и запоминается в памяти системы [К6Р-5](#).

Запомненные в памяти системы характеристики волн позволяют определить расстояние до места повреждения.

7.2. Точное определение места повреждения без предварительного определения зоны

При отсутствии приборов дистанционного определения зоны повреждения точное определение места повреждения можно произвести используя только индукционный трассоискатель, включающий генератор и приемник. Рассмотрим два способа.

1. Способ прохода вдоль кабельной линии.

При этом способе после подключения к линии генератора звуковых частот идут по трассе линии от ее начала до места повреждения. Способ прохода вдоль кабельной линии для точного определения места повреждения без предварительного определения зоны дистанционными методами графически представлен на [рис. 7.5](#).

На рисунке точкой G отмечен конец маршрута при проходе вдоль всей кабельной линии с индукционным приемником. Очевидно, что будет затрачено слишком много времени. Это особенно актуально для протяженных кабельных линий. Кроме того, трасса кабельной линии зачастую пролегает через труднодоступные места (под зданиями, по склонам, через болотистые места и т.п.), а зимой дополнительные трудности для прохождения вдоль всей трассы создает снег. Поэтому этот очевидный способ зачастую на практике неэффективен.

2. Способ последовательного приближения.

Точное определение места повреждения по способу последовательного приближения графически показано на [рис. 7.6](#). При этом способе после подключения к линии генератора звуковых частот едут на место, расположенное ориентировочно посередине длины кабельной линии (точка А). Перемещаясь с приемником перпендикулярно прохождению кабельной линии, пытаются прослушать ее трассу. Если сигнал от кабельной линии не прослушивается, то место повреждения находится по направлению к началу линии.

Если сигнал прослушивается, то место повреждения расположено ближе к концу линии, в этом случае необходимо проехать к концу линии на расстояние, равное четверти длины линии. Этот случай показан на рисунке и соответствует точке В. Здесь необходимо повторить описанные выше действия, после которых оператор будет находиться в точке С. Из точки С необходимо проехать в точку D.

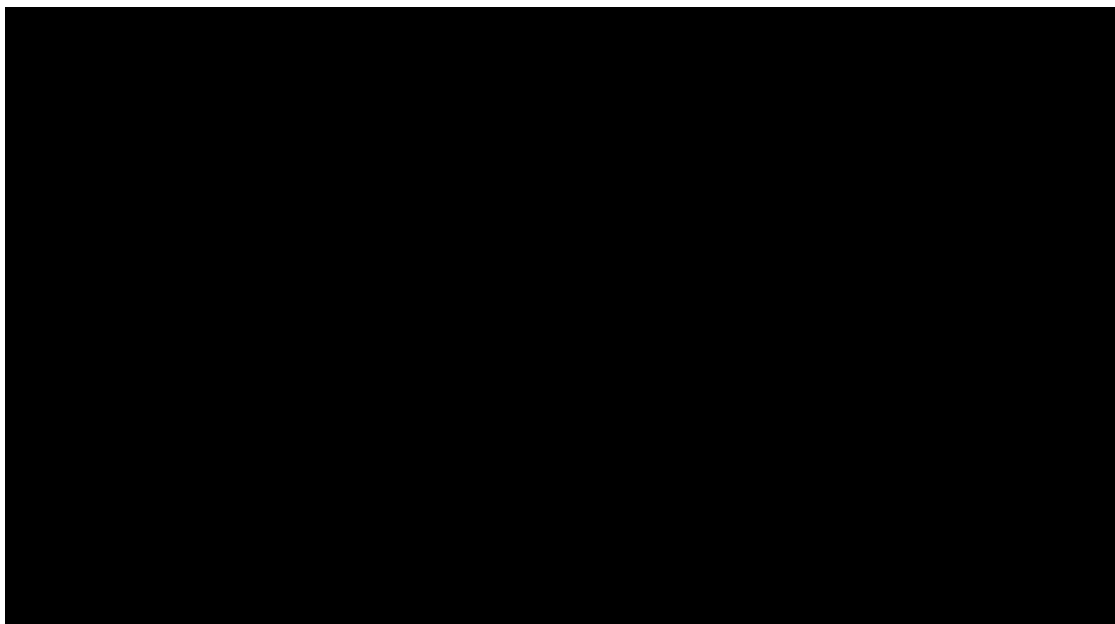


Рис. 7.6. Поиск места повреждения по способу последовательного приближения
Из точки D до точки E оператор перемещается пешком, а далее, до точки F - на автомобиле.

Конечный участок пути длиной 100...400 метров до места повреждения целесообразно пройти вдоль кабельной линии с индукционным приемником пешком.

Следовательно, для точного определения места повреждения по способу последовательного приближения основное расстояние оператор преодолевает на автомобиле, что значительно сокращает время поиска повреждения.

Количество ступеней приближения зависит от длины кабельной линии.

Так, например, при длине 10 километров уже через 5 ступеней оператор приблизится к месту на расстояние менее 320 метров. А оставшийся путь несложно пройти вдоль трассы кабельной линии пешком с индукционным приемником.

Трассодефектоискатель Поиск-210Д-2 Комплект "ПОИСК-210Д-2" конструктивно состоит из двух блоков: генератора и приемника. Генератор работает одновременно на двух частотах: 273,5 Гц и 2187,5 Гц. На низкой частоте можно уверенно обнаружить неисправность изоляции до 1 МОм и выше. На частоте 2187,5 Гц легко определить трассу. Эта частота хорошо отстроена от помех.

Комплект "ПОИСК-210Д-2 (2)" с двумя приемниками. Наличие в сигнале одновременно двух рабочих частот позволяет работать одновременно двум измерителям: первый определяет трассу приемной антенной на частоте 2187,5 Гц, второй на частоте 273,5 Гц контактными штырями с высокой эффективностью ищет повреждения изоляции. Двум измерителям работать гораздо быстрее и удобнее.

Предусмотрена возможность подачи сигнала от генератора в трассу бесконтактным способом: от катушки-индуктора или индукционных клещей (аналог индукционной рамки).

В пассивном режиме поиска – без применения генератора – приемник может быть использован для поиска кабелей промышленной частоты и сети радиотрансляции, а также трубопроводов и металлических коммуникаций.



Трассоискатель (кабелеискатель) "Сталкер-2"

ТРАССОДЕФЕКТОИСКАТЕЛЬ ТДИ-05М-3 (приемник)

Индукционный метод. Используется как активный, так и пассивный методы. Переизлученный трассой сигнал генератора прослушивается оператором через головные телефоны и/или регистрируется на индикаторе приемника.



Контактный метод

Контактный метод позволяет с высокой точностью определить место повреждения изоляции.

В этом методе генератор является источником зондирующего сигнала, подключаемым в искомую трассу и создающим в местах нарушения изоляции кабеля токи утечки. Для реализации этого метода в некоторых приемниках предусмотрены специальные контактные щупы позволяющие измерять шаговое напряжение (токи утечки) вдоль трассы. Оператор двигаясь по трассе и периодически касаясь щупами грунта регистрирует шаговое напряжение по стрелочному индикатору, возрастающее по мере приближения к месту повреждения. В непосредственной близости от места повреждения шаговое напряжение будет максимальным.

Датчик-обнаружитель мест повреждения изоляции для течетрассопоискового комплекта ЛИДЕР.

Датчик предназначен для определения неисправности (повреждения изоляции) систем катодной защиты, а также для обнаружения места обрыва силовых кабелей. Принцип действия датчика состоит в определении разности потенциалов на поверхности земли, которая образуется при прохождении тока по цепи: генератор, труба, поврежденная изоляция, земля, заземление генератора, генератор. В месте повреждения изоляции переходное сопротивление труба-земля уменьшается, и на поверхности земли потенциал будет иметь повышенное значение. Увеличение потенциала будет тем значительнее, чем больше повреждение.

Датчик представляет собой две изолированные друг от друга измерительные пластины, соединенные с предварительным усилителем и образующие единую конструкцию. Обследование производится двумя операторами, у одного оператора находится измерительная пластина, у второго оператора находится измерительная пластина и приёмник. По показанию приёмника (стрелочный индикатор и головные телефоны) судят о местонахождении неисправности.



Правила работы с датчиком.

Работа по определению неисправности выполняется в два этапа:

- на 1-ом этапе производится поиск и разметка трассы (с помощью электромагнитного зонда).
- на 2-ом этапе производится поиск неисправности.

Для поиска неисправности необходимо использовать частоты генератора 1452 Гц или 9820 Гц. Выбор частоты излучения генератора зависит от места прокладки трассы, глубины залегания, состояние грунта, и выбирается исходя из вышеперечисленных условий. Оценка разности потенциалов производится без контакта с грунтом, при этом в качестве электродов используется собственная емкость операторов относительно земли. В процессе обследования операторы перемещаются по трассе на расстоянии 8-10м друг от друга. Провод соединяющий два операторов должен находиться в натянутом состоянии, а руки операторов должны быть прижаты к туловищу. Скорость перемещения в процессе обследования не должна превышать 0.5 м/с.

Определение неисправности производится двумя методами – методом максимума, методом минимума. Метод максимума используется для предварительного поиска неисправности, а метод минимума – для окончательного его уточнения.

Метод минимума соответствует параллельному расположению операторов относительно трассы. Движение операторов должно проходить по оси трассы с максимальным смещением не более 1 метра. Операторы передвигаются по оси трассы, впереди оператор с измерительной пластиной, за ним оператор с измерительной пластиной и приёмником. Место повреждения определяется по изменению показаний стрелочного индикатора и уровню звука в головных телефонах. С приближением первого оператора к месту неисправности сигнал в приёмнике увеличивается, затем, достигает максимума когда первый оператор находится над местом повреждения. Далее сигнал начнет уменьшаться, достигнув минимума, когда место неисправности находится посередине между операторами. Далее сигнал опять начнет увеличиваться и опять достигнет максимума, когда второй оператор будет находиться непосредственно над местом дефекта. На поверхности земли место повреждения уточняется путем повторного его обследования. При этом расстояние между операторами сокращается в два раза. Излишки провода скручиваются и находятся у первого оператора. При этом кабель, соединяющий операторов, должен находиться в натянутом состоянии.

Метод максимума соответствует перпендикулярному расположению операторов, относительно оси трассы. При этом первый оператор движется непосредственно над трассой, а второй оператор с приёмником движется на удалении 8-10м от оси трассы. С приближением операторов к месту повреждения сигнал увеличивается в амплитуде, и достигает максимума, когда первый оператор находится непосредственно над местом повреждения. Далее сигнал убывает.

Изменение амплитуды звука в головных телефонах и по индикатора приёмника.



фиксируется по уровню отклонению стрелки