

Виды повреждений кабельных линий

1. Короткое замыкание

Поврежденная изоляция приводит к низкоомному замыканию двух или более проводников в месте повреждения.

2. Замыкание на землю/ короткое замыкание на землю

Повреждения могут возникать из-за замыкания на землю (низкоомное соединение с потенциалом земли) индуктивно заземленной сети или изолированной сети, и/или из-за короткого замыкания на землю заземленной сети. Еще один вид повреждения - двойное замыкание на землю, характеризующееся двумя замыканиями на землю на разных проводниках с отдельно расположенными начальными точками.

3. Обрывы кабеля

Механические повреждения и движение земной поверхности могут вызвать обрывы одного или нескольких проводников.

4. Заплывающие повреждения

Зачастую повреждение не стабильно, носит эпизодический характер и зависит от нагрузки на кабель. Причиной может быть высыхание кабелей с масляной изоляцией при низкой нагрузке. Еще одна причина - частичный разряд вследствие старения или электрического триинга в кабелях с полимерной изоляцией.

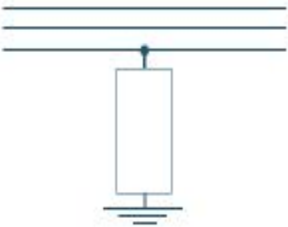
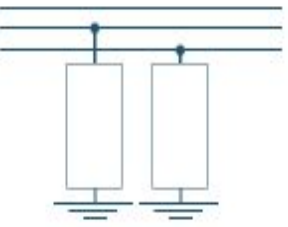
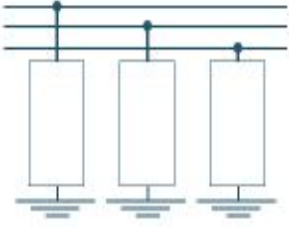
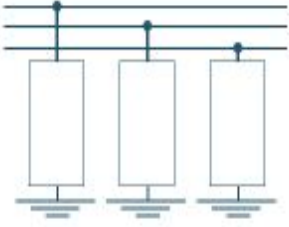
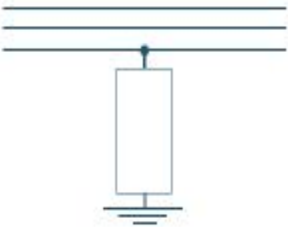
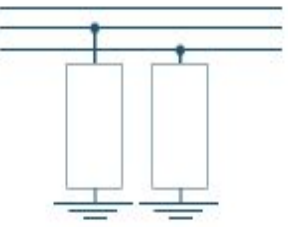
5. Повреждения кабельной оболочки

Повреждения внешней кабельной оболочки не всегда ведут к немедленному выходу кабельной линии из строя, но с течением времени могут вызывать повреждения кабеля, в частности, из-за проникновения влаги и повреждений изоляции.

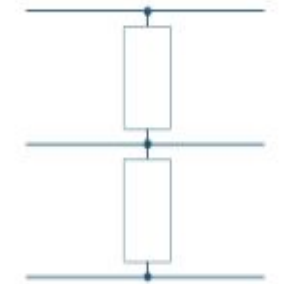
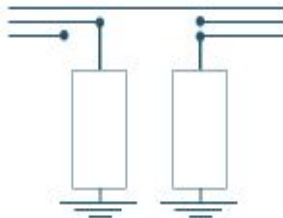
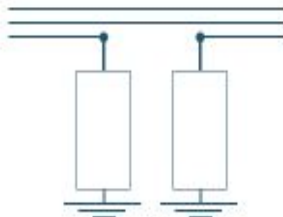
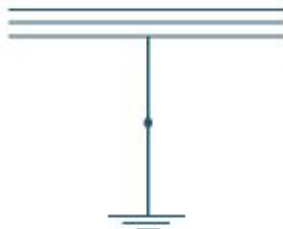
Классификация методов ОМП



Виды повреждений и основные методы поиска

| Виды повреждений | Схема повреждения | Переходное сопротивление, Ом | Дистанционный метод | Топографический метод | Оборудование для определения мест повреждений |
|----------------------------------|--|------------------------------|---------------------|--|---|
| Замыкание фаз на оболочку кабеля |  | $R_{п} < 50$ | <u>Импульсный</u> | <u>Акустический</u> | <u>РЕЙС-105М1, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А</u> |
| |  | $100 < R_{п} < 10^4$ | Мостовой | <u>Акустический, накладная рамка</u> | <u>РЕЙС-305, SC40, ПКМ-105, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А</u> |
| |  | $R_{п} \leq 50$ | <u>Импульсный</u> | <u>Акустический</u> | <u>РЕЙС-105М1, КП-500К</u> |
| |  | $100 < R_{п} < 10^4$ | Петлевой (мостовой) | <u>Акустический</u> | <u>РЕЙС-305, SC40, ПКМ-105, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А</u> |
| |  | $R_{п} \leq 50$ | <u>Импульсный</u> | <u>Акустический, индукционный, накладная рамка</u> | <u>РЕЙС-105М1, КП-500К</u> |
| |  | $100 < R_{п} < 10^4$ | Мостовой | <u>Акустический, индукционный</u> | <u>РЕЙС-305, SC40, ПКМ-105, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А</u> |

Виды повреждений и основные методы поиска

| | | | | | |
|--|---|-----------------|---|--|--|
| Замыкания между фазами |  | $R_{пл} < 100$ | <u>Импульсный</u> | <u>Индукционный</u> | <u>РЕЙС-105М1, КП-500К</u> |
| Обрыв жил с заземлением и без заземления |  | $R_{пл} > 10^6$ | <u>Импульсный, колебательного разряда</u> | <u>Акустический, индукционный, накладная рамка</u> | <u>РЕЙС-305, SC40, SDC50, SD80, АИП-70, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А, КП-500К</u> |
| Обрыв жил с заземлением и без заземления |  | $R_{пл} > 10^6$ | <u>Импульсный, колебательного разряда</u> | <u>Акустический</u> | <u>РЕЙС-305, SC40, SDC50, SD80, АИП-70, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А</u> |
| Заплывающий пробой |  | $R_{пл} > 10^6$ | Колебательного разряда | <u>Акустический</u> | <u>РЕЙС-305, SC40, SD80, АИП-70, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А</u> |

Дистанционные (относительные) методы

- **Импульсный метод** заключается в том, что в кабельную линию посылаются электрические импульсы (зондирующие импульсы), которые, распространяясь по линии, частично отражаются от неоднородностей волнового сопротивления и возвращаются к месту, откуда были посланы. По времени прохождения импульса до неоднородности и обратно, которое пропорционально расстоянию до него вычисляют расстояние. Можно определить расстояние до места повреждения, обрыва жилы, длину кабеля, Можно определять расстояния до неоднородностей, муфт, однофазных и междуфазных повреждений кабеля.
- **Емкостный метод** возможно использовать при обрывах жил кабеля. Расстояние до места обрыва определяется по значению измеренной емкости жил КЛ. Измерение проводится с помощью мостов переменного тока. Мостами переменного тока можно измерять емкость при обрывах с сопротивлением изоляции в месте повреждения не менее 300 Ом. При меньших сопротивлениях точность измерения падает ниже допустимого значения.
- **Метод колебательного разряда** используется при определении расстояния до мест однофазных повреждений с переходным сопротивлением в месте повреждения порядка 10-100 килоом. С помощью высоковольтной испытательной установки на поврежденной жиле кабеля поднимается напряжение до пробоя. Короткое замыкание в заряженной жиле кабеля приводит к появлению электромагнитных волн, которые распространяются от места пробоя в месте дефекта к началу и к концу кабельной линии. Анализируя эпюры напряжения колебательного процесса можно вычислить расстояние до дефекта.

Дистанционные (относительные) методы

- **Волновой метод** используется, в том случае, если сопротивление в месте повреждения составляет от нуля до сотен килоом. Осуществляется метод следующим образом. При пробое разрядника высоковольтной выпрямительной установки в линию посылается высоковольтная электромагнитная волна от заряженного конденсатора, которая создает пробой в месте повреждения кабельной линии, что вызывает волновой колебательный процесс в цепи конденсатор-линия. При достижении электромагнитной волной, посланной от конденсатора, места повреждения произойдет пробой в случае, если сопротивление в месте повреждения не равно нулю Ом, после чего отраженный от повреждения фронт волны вернется к месту посылки – конденсатору, отразится от него и вернется к месту повреждения. Если сопротивление в месте повреждения близко к нулю, разряда не произойдет и волна отразится от короткого замыкания. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока волна не затухнет. С помощью измерений временной зависимости напряжения на зажимах кабеля во время колебательного процесса, можно установить время, за которое волна достигнет места пробоя, и рассчитать расстояние до него.
- **Петлевой метод** основан на измерении сопротивления току жил кабеля (как правило, с помощью моста). Используется при определении места повреждения защитной пластмассовой изоляции. Точность определения расстояния до места повреждения невелика и составляет около 15% измеряемой длины.

Топографические (абсолютные) методы

- **Акустический метод поиска** основан на прослушивании над местом повреждения звуковых колебаний, возникающих в месте повреждения в момент искрового разряда от электрических импульсов, посылаемых в кабельную линию.
- **Потенциальный метод поиска** основан на фиксации на поверхности грунта вдоль трассы электрических потенциалов, создаваемых протекающими по оболочке КЛ в земле токами.
- **Индукционный метод поиска** основан на контроле магнитного поля вокруг кабеля, которое создается протекающим по нему током от специализированного генератора. Оценивая уровень магнитного поля, определяют наличие КЛ и глубину ее залегания, а по характеру изменения и уровню поля определяют место повреждения. Этот метод применяется для непосредственного отыскания на кабеле мест повреждения при пробое изоляции жил между собой или на «землю», обрыве с одновременным пробоем изоляции между жилами или на «землю», для определения трассы кабеля и глубины его залегания, для определения местоположения соединительных муфт.

основные свойства и характеристики предъявляемые к поисковой аппаратуре:

- Высокая избирательность приемника. Этот параметр обеспечит электрическую помехозащищенность, позволяющую успешно проводить поиск при наличии мощных источников регулярных помех.
- Высокая чувствительность приемника. В совокупности с высокой избирательностью обеспечит поиск коммуникаций со слабым сигналом на большой глубине.
- Качество и временная стабильность выходного сигнала генератора. Это обеспечит и необходимую избирательность, и достаточную помехозащищенность. Кроме того, сигнал генератора не будет влиять на работу другой электронной аппаратуры.
- Достаточно большая выходная мощность генератора, позволяющая работать на глубоко (до 10 метров) залегающих и протяженных (до нескольких десятков километров) КЛ. Это требование является совершенно необходимым для российских условий. Также мощный и надежный генератор с большим выходным током допустимо использовать в качестве устройства дожига кабеля.
- Высокая надежность генератора, обеспечивающая неограниченное время работы на активную и реактивную нагрузку в диапазоне от короткого замыкания до холостого хода с возможными резкими изменениями по величине.
- Высокие эксплуатационные характеристики. Минимальный диапазон рабочих температур эксплуатации: от -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$.
- Достаточный набор рабочих частот генератора и частотных каналов приемника, обеспечивающий гарантированное выполнение функций трассопоиска и определения мест повреждений.
- Универсальность, т.е. возможность работать индукционным, акустическим и потенциальным методами. Желательное свойство, позволяющее минимизировать необходимый комплект оборудования.



В наши дни поиск места повреждения кабеля осуществляется с помощью современных поисковых комплектов. Профессиональные поисковые комплекты, такие как, например, [КП-500К](#), [КП-250К](#) и [КП-100К](#) позволяют в кратчайшие сроки выполнять поиск места дефекта и определить глубину залегания кабеля.

Методы определения зоны повреждения кабельных линий

В кабельных линиях определяют сначала зону повреждения, а затем уточняют место повреждения непосредственно на трассе.

Для определения зоны повреждения линии применяют следующие методы: импульсный, колебательного разряда, петли и емкости.

Импульсный метод

Импульсный метод применяется для определения расстояния до места повреждения в кабельных линиях при однофазных и межфазных замыканиях, а также при обрывах жил. Работы производят с помощью приборов называемых рефлектометрами.



Рисунок. Рефлектометр РЕИС-305

Прибор посылает в кабель кратковременный импульс тока, который дойдя до места повреждения отражается и возвращается обратно. Характер повреждения кабеля (короткое замыкание или обрыв) определяют по изображению, появляющемуся на экране прибора.

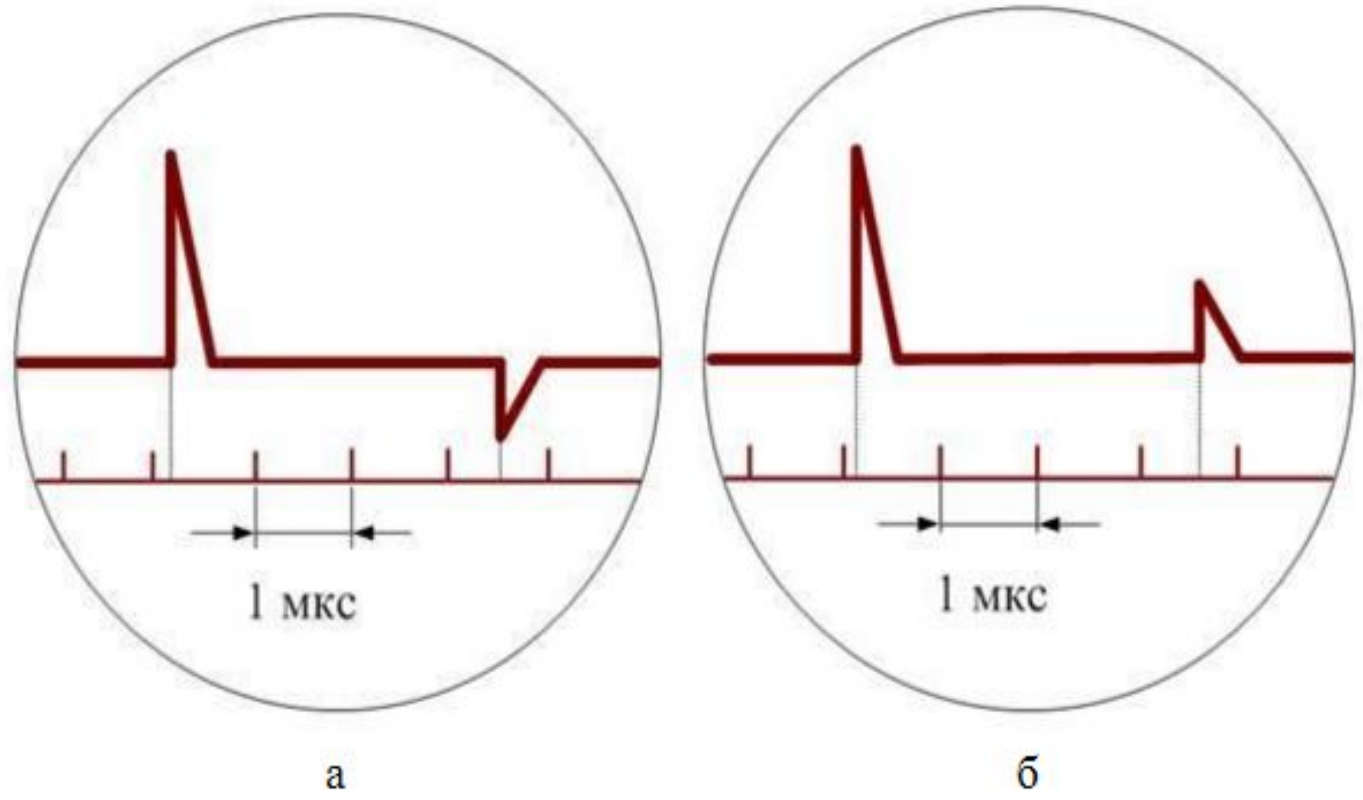


Рисунок. Экран прибора при определении зоны повреждения кабеля импульсным методом: а – при коротком замыкании жил кабеля; б – при обрыве жилы.

Время прохождения импульса определяют по экрану прибора.

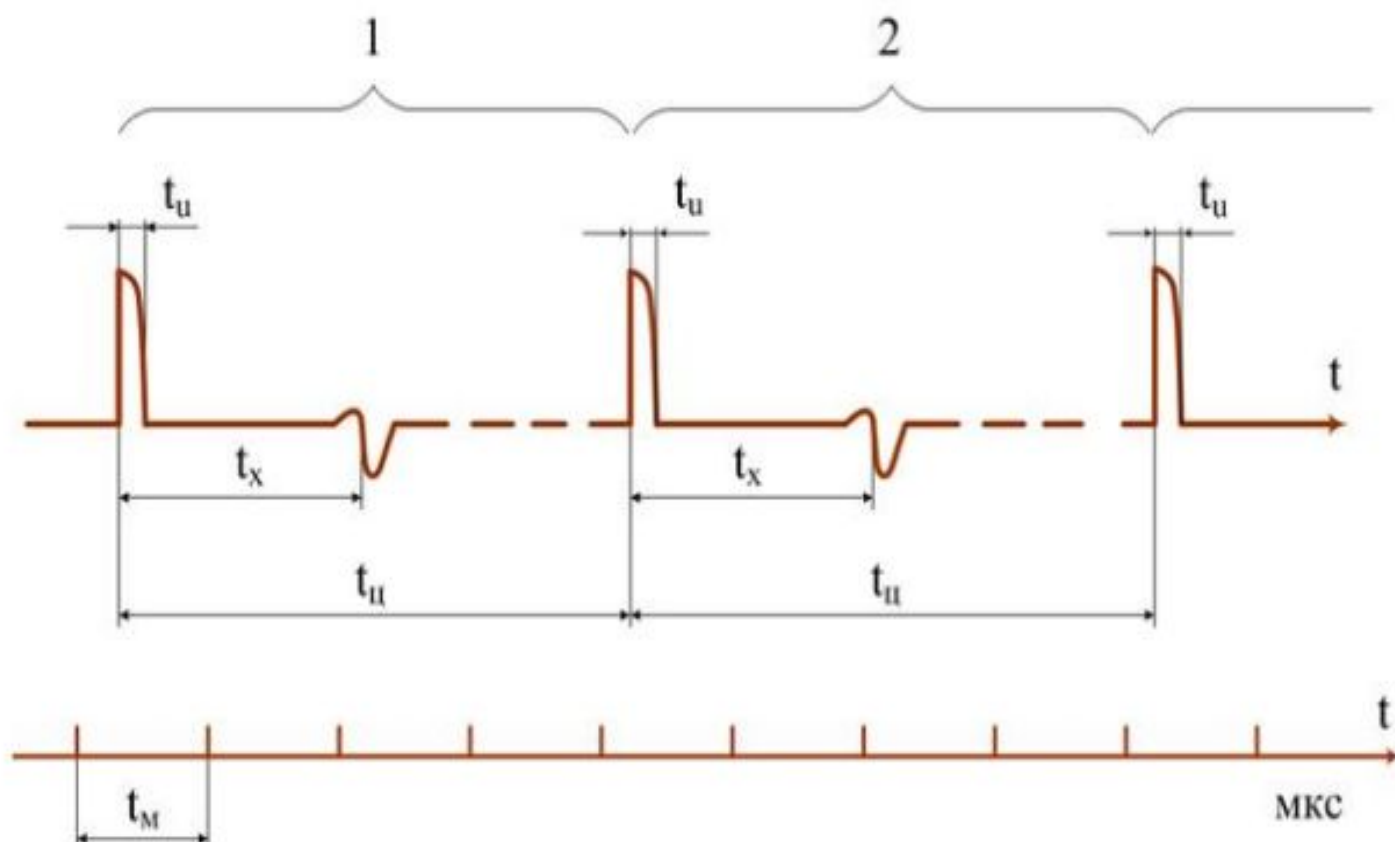


Рисунок. Временная развертка зондирующих отраженных сигналов при импульсном методе определения мест повреждения: 1, 2, ..., m – единичные процессы, повторяющиеся с частотой 500 - 1000 Гц.

Расстояние до места повреждения $\{L\}$ можно определить, зная время прохождения импульса $\{t_x\}$ и скорость его распространения $\{v\}$.

$$L = \frac{t_x}{2} \cdot v$$

Так как переменная $\{t_x\}$ – это время прохождения импульса до места повреждения кабеля и обратно к генератору импульса, то его следует разделить на два.

Скорость распространения импульса практически постоянна (для силовых кабельных линий 3-35 кВ она составляет 160 м/мкс) и окончательно формула для определения расстояния до места повреждения кабеля имеет следующий вид

$$L \approx 80 \cdot t_x$$

Достоинствами этого метода являются быстрота, наглядность и простота измерений; возможность определения любых видов повреждений, в том числе в разных местах кабеля при условии, что переходное сопротивление не превышает 150-200 Ом. При этом, как правило, достаточно произвести измерения только на одном конце линии, не производя никаких присоединений на противоположном ее конце, независимо от длины и типа кабельной линии.

Разновидностью импульсного метода является импульсно-дуговой метод определения зоны повреждения кабеля. Данный метод позволяет выявлять высокоомные повреждения (переходное сопротивление в месте повреждения свыше 1 кОм) с точностью импульсного метода.

В отличие от импульсного метода где в кабель подается низковольтный импульс (амплитудой в несколько вольт), сущность импульсно-дугового метода заключается в том, что с помощью генератора высоковольтных импульсов (амплитудой до нескольких десятков киловольт) в месте повреждения кабеля создается кратковременная электрическая дуга, низкое сопротивление которой отражает импульс рефлектометра.

Метод не требует предварительного прожига изоляции и особенно эффективен при работе на кабелях с полиэтиленовой оболочкой. Реализация импульсно-дугового метода осуществляется при использовании дополнительного оборудования – генератора высоковольтных импульсов.