Козиенко Л. В.
Шустов Н. П.

Электрические измерения в кабельных линиях связи

Практикум

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО ИрГУПС)

Л. В. Козиенко, Н. П. Шустов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Практикум

Электронное издание
локального распространения

Санкт-Петербург
Наукоемкие технологии
2025

© Козиенко Л. В., Шустов Н. П., 2025
© Иркутский государственный
университет путей сообщения, 2025
ISBN 978-5-907946-81-1

УДК 621.39
ББК 32.889
К59

Рецензенты:
С. А. Шурыгин, главный инженер Иркутской дирекции связи
Центральной станции связи – филиала ОАО «РЖД»;
С. Н. Колесник, канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Радиофизика и радиоэлектроника», ИГУ

К59 **Козиенко Л. В., Шустов Н. П.**
Электрические измерения в кабельных линиях связи [Электронный ресурс]: практикум / Л. В. Козиенко, Н. П. Шустов. – Электрон, текстовые дан. (4,0 Мб). – СПб.: Наукоемкие технологии, 2025. – 63 с. – 1 электрон., опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-5-907946-81-1

В практикуме изложены основы эксплуатации кабельных линий связи, приведены методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Линии связи». Рассматриваются вопросы по изучению принципов работы и методов контроля кабельных линий связи, проведения измерений параметров электрических цепей с целью закрепления теоретических знаний и формирования практических навыков.

Отдельное внимание уделяется освоению современных методик диагностики, включая импульсные и мостовые методы измерений, определение повреждений, обрывов и понижения изоляции. Практикум направлен на развитие умений по проверке исправности кабельных линий, анализу их характеристик и обеспечению надёжности работы систем связи.

Предназначен для студентов очной и заочной форм обучения по специальности 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов» специализаций СОД.2 «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», СОД.3 «Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта» и СОД.4 «Радиотехнические системы на железнодорожном транспорте» и может быть полезен аспирантам и инженерно-техническим работникам в данной области.

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования:

- процессор: Intel x86, x64, AMD x86, x64 не менее 1 ГГц;
- оперативная память RAM ОЗУ: не менее 512 МБайт;
- свободное место на жестком диске (HDD): не менее 120 МБайт;
- операционная система: Windows XP и выше;
- Adobe Acrobat Reader;
- дисковод CD-ROM;
- мышь.

УДК 621.39
ББК 32.889

© Козиенко Л. В., Шустов Н. П., 2025
© Иркутский государственный университет путей сообщения, 2025

ISBN 978-5-907946-81-1

Учебное издание

Козиенко Леонид Владимирович
Шустов Николай Павлович

Электрические измерения в кабельных линиях связи

Практикум

Электронное издание
локального распространения

Компьютерный набор Л. В. Козиенко

Издательство «Наукоемкие технологии»
ООО «Корпорация «Интел Групп»
https://publishing.intelgr.com
E-mail: publishing@intelgr.com
Тел.: +7 (812) 945-50-63
Интернет-магазин издательства
https://shop.intelgr.com/

Подписано к использованию 16.06.2025 г.
Объем издания – 4,0 Мб.
Комплектация издания – 1 CD.
Тираж 100 CD.

ISBN 978-5-907946-81-1



Оглавление

Введение 5

Общие требования к выполнению лабораторных работ 8
Лабораторная работа № 1. Измерение первичных параметров линии 12
Лабораторная работа № 2. Определение характера и места повреждения линии импульсным методом.....25
Лабораторная работа № 3. Определение расстояния до места понижения изоляции жил в кабеле 37
Лабораторная работа № 4. Определение расстояния до места обрыва жил кабельной линии 49

Заключение 62
Библиографический список 63

Введение

Системы связи играют ключевую роль в организации железнодорожных перевозок, обеспечивая управление транспортными процессами. Телекоммуникационная инфраструктура формирует основу единого информационного пространства, объединяя различные средства передачи и обработки данных. На железных дорогах применяются различные виды связи, включая общетехнологическую (ОбТС) и оперативно-технологическую (ОТС), которые, в свою очередь, подразделяются на местные и магистральные системы с использованием проводных, радиорелейных, спутниковых и радиоканалов.

Исторически сети связи на железных дорогах строились на базе воздушных и кабельных линий с использованием аналоговых систем передачи. Современные цифровые сети передачи данных используют, как правило, волоконно-оптические линии связи, пропускная способность которых на порядки выше, чем у традиционных медножильных кабелей.

Несмотря на повсеместное внедрение волоконно-оптических линий связи, кабели с металлическими жилами по-прежнему остаются в эксплуатации как в хозяйстве связи, так и в хозяйстве сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). Проложенные на перегонах магистральные кабели используются в системах железнодорожной автоматики и телемеханики, с их помощью организуется перегонная связь (ПГС) и связь с местом аварийно-восстановительных работ (МАВР).

Для контроля параметров кабельных линий в ОАО «РЖД» применяются модульные диагностические комплексы МДК-М1 производства «Пульсар-Телеком», подключенные к единой системе мониторинга и администрирования (ЕСМА). Они проверяют активное сопротивление кабеля в нескольких режимах, включая омическое сопротивление изоляции жил и наведённое напряжение. Полученные результаты измерений сохраняются в системе ЕСМА, что позволяет отслеживать характеристики кабельных линий непрерывно в режиме 24/7 и своевременно информировать обслуживающий персонал в случае возникновения неисправностей.

Помимо непрерывной диагностики кабельных линий, в процессе эксплуатации применяются также специальные измерительные приборы, предназначенные для контроля электрических параметров линий, а также определения характера и мест повреждений. Такие приборы позволяют оперативно выявлять повреждения (обрывы, замыкания, утечки изоляции), так и осуществлять контроль основных электрических параметров (сопротивление жил, изоляцию, ёмкость, наводки).

При эксплуатации кабельных линий связи и СЦБ применяются следующие типы измерительных устройств:

Рефлектометры (импульсные локаторы повреждений), служащие для определения расстояния до места обрыва, короткого замыкания или выявления мест с повышенным переходным сопротивлением. Работа таких приборов основана на отражении зондирующего импульса от неоднородностей линии и последующему определению расстояния по времени задержки отраженного сигнала. Точность локализации событий составляет ± 0,5–1% от длины линии + 1–2 м. Для точного определения расстояния необходимо знать скорость распространения импульса в линии.

Измерительные мосты (мостовые мегомметры, мосты постоянного тока) предназначены для определения расстояния до места понижения изоляции, утечки или частичного обрыва. В основе метода лежит сравнение сопротивлений повреждённой и исправной жил кабеля с использованием мостовой схемы. Различают метод Варлея (для поиска повреждений между жилами) и метод Муррея (для определения утечек на землю). Преимуществом мостовых методов является высокая точность ± 0,2–0,5 % при малых расстояниях (до 5 км).

Мегомметры и *измерители сопротивления изоляции* используются для оценки состояния изоляции кабеля (жил) путём подачи высокого напряжения 100–2500 В с последующим измерением тока утечки. Стандартные испытания включают в себя измерение сопротивления изоляции между жилами, а также между жилами и «землёй». При проведении измерений требуется отключение тестируемой линии от оборудования.

Кабельные тестеры и *мультиметры* применяются для оперативной проверки жил кабеля на обрыв или короткое замыкание за счёт измерения активного сопротивления, ёмкости, а также проверки целостности цепи.

Анализаторы цепей и *параметрические измерители* служат для диагностики симметрии пар, поиска замыканий между жилами на основе комплексного определения характеристик линии (R, L, C, импеданс).

Детекторы наводок и *источники акустического сигнала* применяются для поиска трассы прокладки кабеля в грунте или поиске отдельных кабелей в пучке. Метод основан на генерации высоковольтного импульса с последующей регистрацией акустического сигнала в месте повреждения. Точность локализации дефектов ± 0,1–0,3 м при глубине залегания до 2 м.

Современные подходы при проведении электрических измерений подразумевают использование комбинированных методов (мостовых, импульсных), адаптивных алгоритмов с цифровой обработкой сигналов.

В представленном практикуме рассматриваются методы электрических измерений параметров кабельных линий связи, используемых в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Рассматриваются основные электрические характеристики кабелей, включая сопротивление жил, параметры изоляции, емкостные показатели, а также методы их измерения. Особое внимание уделено современным диагностическим методикам – от классических мостовых способов до импульсной рефлектометрии, позволяющей точно локализовать характер и место повреждения. Приводятся практические рекомендации по работе с измерительными приборами, интерпретации результатов и соблюдению требований безопасности при проведении измерений.

Материал изложен с ориентацией на практическое применение – пособие содержит подробные методики проведения измерений и контрольные вопросы. Практикум предназначен для формирования у студентов и специалистов целостного представления о современных технологиях контроля кабельных линий и развития навыков работы с измерительной аппаратурой. Учебное пособие будет полезно как для лабораторных, практических занятий, так и для самостоятельной подготовки специалистов в области обслуживания и ремонта кабельных линий связи.

Общие требования к выполнению лабораторных работ

Цель написания практикума – формализация процесса проведения лабораторных работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины «Линии связи». Целью изучения указанной дисциплины является формирования у студентов твердых знаний, навыков и умений по вопросам эксплуатации кабельных линий железнодорожной автоматики, телемеханики и связи.

Требования техники безопасности

Соблюдение требований охраны труда и техники безопасности при работе с лабораторным оборудованием и контрольно-измерительными приборами является необходимым условием допуска студента к выполнению лабораторных работ. На первом занятии перед началом выполнения лабораторных работ каждый студент обязан лично изучить документ «Инструкция по охране труда и технике безопасности при выполнении лабораторных работ» и поставить свою подпись в журнале учёта прохождения инструктажа.

Защита от поражения электрическим током. При выполнении лабораторных работ следует знать, что лабораторные стенды и установки, а также контрольно-измерительная аппаратура питаются от сети переменного тока напряжением 220 В, промышленной частоты 50 Гц.

Необходимо помнить, что степень воздействия электрического тока на организм человека зависит от его индивидуальных особенностей (прежде всего, от сопротивления кожного покрова) и даже напряжение 12–24 В может вызвать электротравму или смертельное поражение.

Для защиты от воздействия электрического напряжения питающей сети, попадающего при неисправной изоляции на корпус лабораторного стенда, корпус стенда должен быть надежно заземлен.

Категорически запрещается:

- прикасаться к открытым токоведущим частям лабораторного оборудования;
- самостоятельно включать напряжение питания в лаборатории и на стендах без предварительного согласия преподавателя;
- начинать работу с оборудованием без разрешения преподавателя;
- выполнять настроечные, регулировочные и измерительные работы на аппаратуре с одновременным прикосновением к ней двумя руками;
- самостоятельно пытаться устранять неисправности оборудования;
- оставлять без присмотра включенный лабораторный стенд и подключенную к нему контрольно-измерительную аппаратуру;
- раскладывать на рабочем месте посторонние предметы;

– совершать резкие и неконтролируемые движения и перемещения возле токоведущих частей и оборудования.

При поражении кого-либо электрическим током принять все возможные немедленные меры к снятию напряжения питания и одновременно к освобождению пострадавшего от воздействия электрического напряжения с помощью любых подручных нетокопроводящих предметов (элементы сухой одежды, предметы мебели или одной рукой, при надёжной изоляции других частей тела от воздействия напряжения). При необходимости оказать пострадавшему первую медицинскую помощь и одновременно организовать вызов медицинской помощи.

ДО ВЫЯСНЕНИЯ ПРИЧИН ПОРАЖЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ ЛАБОРАТОРНЫЕ СТЕНДЫ
И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
В СЕТЬ НЕ ВКЛЮЧАТЬ И РАБОТУ НЕ ПРОДОЛЖАТЬ!

Предотвращение механических травм и разрушения лабораторного оборудования. На рабочем месте, прежде всего, запрещается отвлекаться от выполнения работы, следует избегать резких движений, взмахов руками и т.п.

Категорически запрещается:

– перемещать приборы, снимать их со столов или обмениваться между бригадами без распоряжения преподавателя;
– садиться на стол лабораторной установки или залезать под него;
– сдвигать лабораторные установки с установленных мест;
– совершать неконтролируемые перемещения по лаборатории.

Исключение возгорания и развития пожара. Для исключения возгорания и развития пожара на рабочем месте *категорически запрещается*:

– пользоваться открытым огнём от любых источников;
– пользоваться для подключения электрических приборов неисправными розетками, вилками и шнурами;
– использовать и приносить в помещение лаборатории горючие вещества и жидкости и выкладывать вблизи потенциально опасных в смысле возгорания мест легковоспламеняющиеся предметы.

При малейших признаках проявления специфического запаха перегретых проводников и радиодеталей немедленно выключить лабораторный стенд и контрольно-измерительные приборы и доложить преподавателю.

Для предотвращения развития пожара, в случае его возникновения, запрещается открывать окна в помещении, а открытые окна – немедленно закрыть. Принять все необходимые меры к тушению огня. В случае невозможности тушения огня или наличия очевидной опасности для жизни требуется немедленно организованно покинуть помещение и обеспечить вызов пожарной бригады. При возникновении возгорания вследствие неисправности электропроводки или электрооборудования, перед тушением огня требуется принять меры по обесточиванию помещения лаборатории.

Требования охраны труда в аварийных ситуациях

При работе студентов на лабораторном оборудовании в лабораториях кафедры могут возникнуть аварийные ситуации:

- получение студентом травмы;
- возникновение пожара или предпосылки к его возникновению (появление дыма или запаха гари);
- короткое замыкание электропроводки;
- обрыв фазы;
- отсутствие показания приборов и т.д.

При возникновении пожара следует в кратчайшие сроки сообщить об этом в пожарную часть по телефонам 01 или 112.

При попадании под действие тока студента или преподавателя необходимо оперативно освободить пострадавшего от действия тока, отключив электроприбор от розетки.

При наличии пострадавшего необходимо как можно скорее вызвать скорую помощь по телефонам 03 или 112, встретить врачей у входа в здание и проводить до кабинета.

При возникновении любых иных аварийных ситуаций студенты, находящиеся в лаборатории, должны:

- немедленно отключить электропитание лабораторных установок;
- известить о случившемся преподавателя и выполнять его указания по дальнейшим действиям.

Правила выполнения лабораторных работ и подготовки отчётов

До начала работы студенту необходимо:

- уяснить цель лабораторной работы и детально представить себе задачи практических измерений, включая объекты испытаний, перечни измеряемых величин и средства измерений, используемых в работе;
- изучить теоретические сведения, определенные целью работы;
- разобраться с принципом действия, особенностями конструкции, органами управления и основными техническими характеристиками применяемых устройств.

До выполнения лабораторной работы студенты должны пройти собеседование с преподавателем по цели и задачам работы, её основным теоретическим положениям, по устройству и принципу действия лабораторной установки, порядку выполнения работы и правилам безопасности. Только после получения допуска можно приступать к практическим шагам по выполнению работы.

Порядок производства студентами измерений должен соответствовать указаниям руководства к лабораторной работе и указаниям преподавателя. Отдельные требования к конкретным лабораторным работам изложены в описаниях работ. В ходе выполнения лабораторной работы следует непрерывно контролировать режим работы оборудования. При нарушении нормального режима (превышения предела измерений, перегрузки и других неисправностей) необходимо отключить питание контрольно-измерительных приборов.

Полученные в процессе выполнения работы результаты измерений и наблюдений заносятся в протокол или в заготовку отчёта и предоставляются для проверки преподавателю.

По окончании лабораторной работы и после проверки результатов преподавателем необходимо отключить питание всего оборудования и привести все коммутационные элементы в начальное положение в соответствии с требованиями к конкретной лабораторной работе.

Лабораторная работа № 1
«Измерение первичных параметров линии»

Цель работы: изучить особенности измерения первичных параметров кабельных линий мостовым методом.

Приборы и оборудование:
- макет кабельной линии «Электрические характеристики кабеля»;
- кабельный прибор ИРК–ПРО АЛЬФА;
- кабельный прибор ДЕЛЬТА–ПРО DSL;
- комплект соединительных проводов.

Макет кабельной линии имитирует кабель типа МКСБ – 4×4×1,2 длиной 20 км. На макете предусмотрен выбор из пяти вариантов пар кабеля.

Краткие теоретические сведения

Первичные параметры кабельных линий – это основные характеристики, которые определяют свойства передачи сигналов по кабелю. Они используются для анализа и расчёта вторичных параметров, таких как волновое сопротивление, затухание и фазовая скорость. К основным первичным параметрам относятся:

Активное сопротивление (R)
- Сопротивление проводников кабеля постоянному или переменному току.
- Зависит от материала проводника (медь, алюминий и т.д.), его длины, сечения и частоты сигнала.
- На высоких частотах проявляется скин-эффект (поверхностный эффект), который увеличивает сопротивление.

Индуктивность (L)
- Индуктивность проводников, обусловленная магнитным полем, возникающим при протекании тока.
- Зависит от геометрии кабеля (расстояние между проводниками, их диаметр) и магнитных свойств материалов.
- Измеряется в Генри [Гн].

Ёмкость (C)
- Ёмкость между проводниками кабеля, обусловленная электрическим полем.
- Зависит от расстояния между проводниками, диэлектрической проницаемости изоляции и площади поверхности проводников.
- Измеряется в Фарадах [Ф].

Проводимость изоляции (G)

- Проводимость диэлектрика между проводниками, обусловленная утечками тока через изоляцию.
- Зависит от качества изоляционного материала и частоты сигнала.
- Обратная величина сопротивлению изоляции.

Частотная зависимость

Все первичные параметры (R, L, C, G) зависят от частоты сигнала:

- Сопротивление (R) увеличивается с ростом частоты из-за скин-эффекта.
- Индуктивность (L) и ёмкость (C) могут изменяться из-за влияния диэлектрических и магнитных свойств.
- Проводимость изоляции (G) также зависит от частоты.

Первичные параметры используются для расчёта вторичных параметров кабеля:

Волновое сопротивление:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

Коэффициент затухания:

$$\alpha = Re\left(\sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}\right)$$

Фазовая скорость:

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Данные параметры широко используются для оценки эксплуатации технических качеств линий связи. При проектировании сооружений и эксплуатации кабельных магистралей в первую очередь нормируются и контролируются именно вторичные параметры линии.

Порядок выполнения работы

На макете кабельных линий проведите измерения сопротивления изоляции – $R_{из}$, ёмкости – C, сопротивления шлейфа – $R_{шл}$ и асимметрию жил. Измерения проводятся для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии – сначала прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL, а затем – прибором ИРК–ПРО АЛЬФА. Для каждой пары проводов измерения проводятся дважды – с левой и с правой стороны макета кабельной линии.

Результаты измерений первичных параметров заносятся в соответствующие таблицы отчёта по лабораторной работе.

Измерение сопротивления изоляции

Работа с прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL

Для измерения сопротивления изоляции подключите провода А, В и С к клеммам макета «Электрические характеристики кабеля» и измерительного прибора ДЕЛЬТА–ПРО DSL.

Провода А и В подключаются к жилам макета кабельной линии Л1 и Л2, а провод С к оболочке кабеля 3. На противоположном конце линии жилы Л1 и Л2 должны быть изолированы (разомкнуты).

Включите прибор нажав кнопку включения питания ⏻. О правильном подключении и нормальном напряжении питания свидетельствует появление на экране заставки, сообщающей о типе прибора и версии встроенного программного обеспечения.

В приборе реализована защита от случайного включения. После включения прибора кнопкой ⏻ необходимо в течение 2-х секунд подтвердить включение нажатием кнопки [ОК]. В результате на экране отобразится главное меню прибора (рис. 1.1):

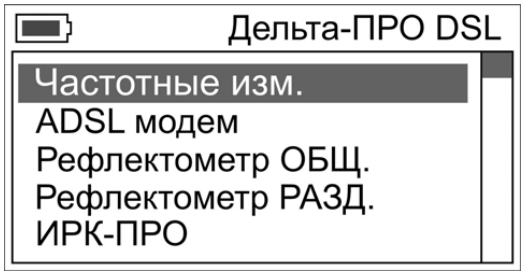


Рис. 1.1. Главное меню прибора ДЕЛЬТА–ПРО DSL

Для измерения сопротивления изоляции выбрать режим ИРК–ПРО в главном меню прибора.

На экране прибора выводятся три строки коммутации, которые показывают результат измерения сопротивления изоляции между проводами АС, ВС и АВ (рис. 1.2). Кнопками «▲▼» выбирается соответствующая пара проводов. В выбранной строке прибор непрерывно проводит измерения между обозначенными проводами и показывает текущий результат.

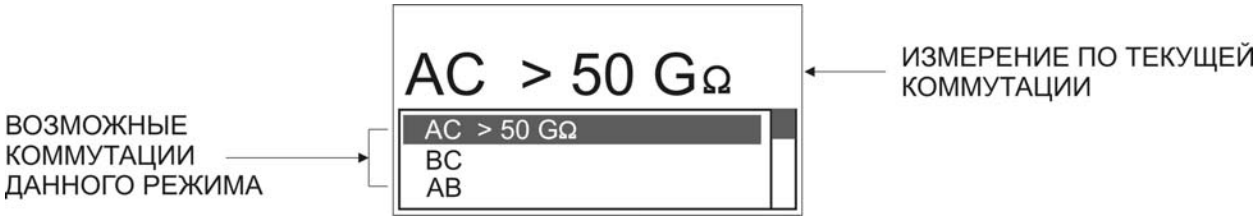


Рис. 1.2. Экран прибора в режиме измерения сопротивления изоляции

В нижней части экрана три строчки показывают результаты измерений для трех коммутаций измерительных проводов АС, ВС и АВ. Переключение осуществляется аналогично кнопками «▲▼». При этом текущая активная строка выделяется инверсией текста. Прибор автоматически производит усреднённое измерение.

Провести измерения сопротивления изоляции между проводами АС, ВС и АВ поочерёдно для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии с левой стороны макета, а затем с правой стороны макета кабельной линии. Результаты измерений сопротивления изоляции занести в табл. 1.1.

Важно!

- *Во время измерения не рекомендуется держать руками изоляторы штекеров измерительных проводов. При повышенной влажности может возникнуть дополнительный канал проводимости.*

- *Необходимо дождаться полной зарядки кабеля. При подключении прибора к длинному кабелю показания могут расти, пока кабель заряжается от испытательного напряжения. При смене коммутации измерительных проводов (и при выходе из измерительного режима) предыдущий контакт автоматически разряжается.*



Внимание!

Измерение сопротивления изоляции кабеля прибором Дельта проводится при испытательном напряжении 180 В.

Работа с прибором ИРК–ПРО АЛЬФА

Для измерения сопротивления изоляции подключите провода А, В и С к клеммам макета и измерительного прибора ИРК–ПРО АЛЬФА.

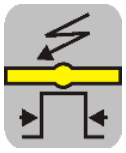
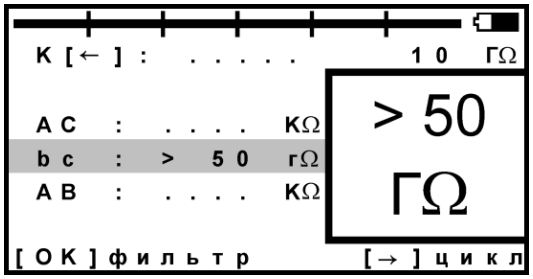
Провода А и В подключаются к жилам макета кабельной линии Л1 и Л2, а провод С к оболочке кабеля 3. На противоположном конце линии жилы Л1 и Л2 должны быть изолированы (разомкнуты).

Включите прибор нажав кнопку включения питания ⏻. На экране прибора появится заставка с указанием типа прибора и версии встроенного программного обеспечения. Для проведения мостовых измерений выберите режим ИРК–ПРО.

Прибор проводит измерения электрических параметров кабеля в измерительных режимах: ИЗОЛЯЦИЯ, ЕМКОСТЬ, ШЛЕЙФ. Режим ВОЛЬТМЕТР служит для контроля напряжения в линии.

Измерение сопротивления изоляции прибором ИРК–ПРО АЛЬФА отличается от измерений прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL. После включения прибора и выбора режима ИРК–ПРО на измерительном экране появляется

режим ВОЛЬТМЕТР и для перехода к режиму ИЗОЛЯЦИЯ необходимо нажать соответствующую сенсорную клавишу на лицевой стороне прибора:

Режим	Кнопка	Экран
ИЗОЛЯЦИЯ		

На экране прибора выводятся три строки коммутации, которые показывают результат измерения сопротивления изоляции между проводами АС, ВС и АВ. Кнопками «▲▼» выбирается соответствующая пара проводов. В выбранной строке прибор непрерывно проводит измерения между выбранными проводами и одновременно показывает их в большом окне для удобства чтения.

Работа фильтра усреднения

Для устранения влияния помех прибор ИРК–ПРО АЛЬФА в измерительном экране включает фильтр усреднения. Работа фильтра показана бегущей строкой под символами АВ. Во время работы бегущей строки проводятся измерения, которые выводятся в строке коммутации. По окончании, обработанный результат будет зафиксирован в большом окне, а прибор продолжит текущие измерения в строке коммутации (рис. 1.3).

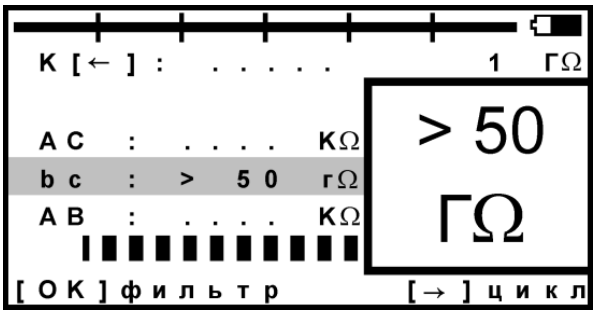


Рис. 1.3. Работа фильтра усреднения в режиме измерения изоляции

Фильтр усреднения АВТО работает по умолчанию при включении режима ИЗОЛЯЦИЯ. Он запускается автоматически: прибор постоянно перемеряет сопротивление изоляции в выбранной коммутации. В большом окне показан результат усреднения фильтра. В самой строке коммутации прибор продолжает непрерывно выводить текущие измерения.

В режиме ИЗОЛЯЦИЯ перед началом работы фильтра кабель заряжается тестовым напряжением. После заряда работает фильтр усреднения. Процессы сопровождаются бегущей строкой. По умолчанию работает фильтр

АВТО, поэтому нажатие любой кнопки срабатывает не сразу. Следует удерживать кнопку до начала работы разряда: появляется слово «разряд». При смене коммутации АС-ВС-АВ предыдущий контакт автоматически разряжается. То же самое происходит при выходе из режима.

Провести измерения сопротивления изоляции между проводами АС, ВС и АВ поочерёдно для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии с левой стороны макета, а затем с правой стороны макета кабельной линии. Результаты измерений сопротивления изоляции занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Сопротивление изоляции кабеля $R_{из}$

Жилы	Прибор	Положение переключателя на макете									
		1		**2**		**3**		**4**		**5**	
		слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
АС	Дельта										
	Альфа										
ВС	Дельта										
	Альфа										
АВ	Дельта										
	Альфа										

Измерение электрической ёмкости

Для измерения электрической ёмкости подключите провода А, В и С к клеммам макета «Электрические характеристики кабеля» и измерительного прибора ДЕЛЬТА–ПРО DSL (ИРК–ПРО АЛЬФА).

Провода А и В подключаются к жилам макета кабельной линии Л1 и Л2, а провод С к оболочке кабеля 3. На противоположном конце линии жилы Л1 и Л2 должны быть изолированы (разомкнуты).

После включения измерительного моста ИРК–ПРО нажмите кнопку ЕМКОСТЬ, экран примет следующий вид (рис. 1.4):

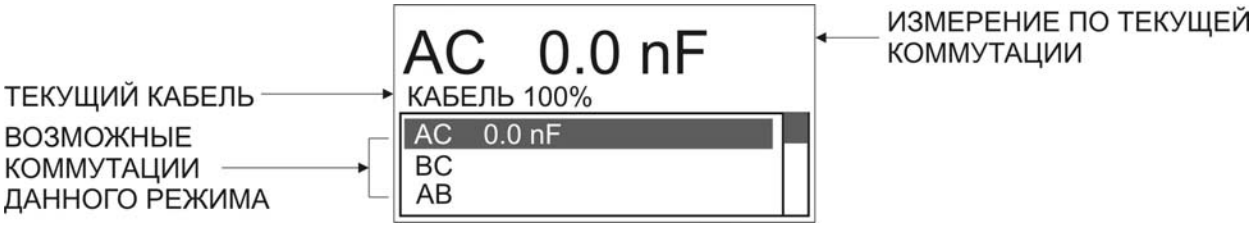
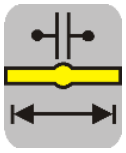
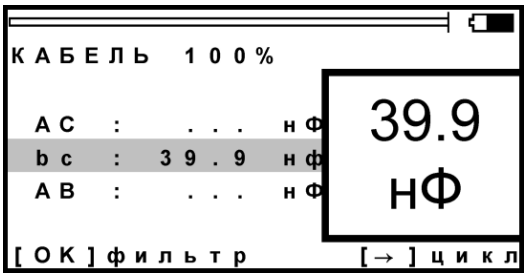


Рис. 1.4. Экран прибора в режиме измерения электрической ёмкости

В нижней части экрана три строчки показывают результаты измерений для трёх коммутаций измерительных проводов АС, ВС и АВ. Переключение осуществляется кнопками «▲▼». Прибор автоматически производит усреднённое измерение. Также прибор показывает выбранный кабель и расстояние, пересчитанное по ёмкости кабеля (кроме «Кабеля 100%»).

Для прибора ИРК–ПРО АЛЬФА выбор режима измерения ёмкости осуществляется путём нажатия на соответствующую сенсорную клавишу на лицевой стороне прибора:

Режим	Кнопка	Экран
ЕМКОСТЬ		

Информация над строками коммутации показывает карту кабеля и расстояние до обрыва, пересчитанное по ёмкости кабеля из списка. Если вы не выбирали кабель из списка, то прибор по умолчанию включит «Кабель 100%» без отображения карты и расстояния.

Таблица 1.2

Электрическая ёмкость кабеля *C*

Жилы	Прибор	Положение переключателя на макете									
		1		**2**		**3**		**4**		**5**	
		слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
АС	Дельта										
	Альфа										
ВС	Дельта										
	Альфа										
АВ	Дельта										
	Альфа										

Провести измерения электрической ёмкости между проводами АС, ВС и АВ поочерёдно для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии с левой стороны макета, а затем с правой стороны макета кабельной линии. Результаты измерений параметров электрической ёмкости заносятся в табл. 1.2.

Измерение сопротивления шлейфа

Сопротивление шлейфа $R_{шл}$ – это суммарное сопротивление двух проводников, соединённых на одном конце (образующих петлю или шлейф).

Если сопротивление одного проводника равно R, то сопротивление шлейфа $R_{шл}$ определится как:

$$R_{\text{шл}} = 2R$$

Это связано с тем, что ток проходит через оба проводника (туда и обратно).

Сопротивление шлейфа используется для проверки целостности кабеля и выявления обрывов или повреждений. Если измеренное сопротивление шлейфа значительно превышает ожидаемое значение, то это может указывать на обрыв или плохой контакт.

Сопротивление шлейфа зависит от материала проводника (медь, алюминий и т.д.), его длины и сечения. На высоких частотах также учитывается скин-эффект, который увеличивает сопротивление.

Для измерения сопротивления шлейфа подключите провода А, В и С к клеммам макета «Электрические характеристики кабеля» и измерительного прибора ДЕЛЬТА–ПРО DSL (ИРК–ПРО АЛЬФА).

Провода А и В подключаются к жилам макета кабельной линии Л1 и Л2, а провод С к оболочке кабеля 3. На противоположном конце линии жилы Л1 и Л2 закорачиваются с помощью провода-перемычки.

После включения измерительного моста ИРК–ПРО нажмите кнопку ШЛЕЙФ, экран примет следующий вид (рис. 1.5):

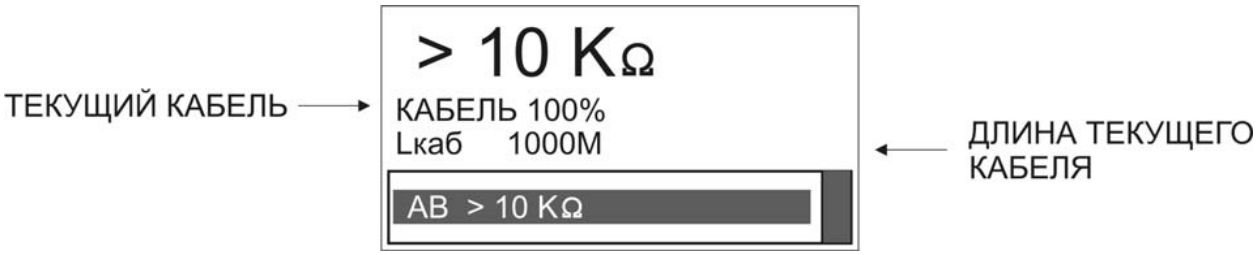
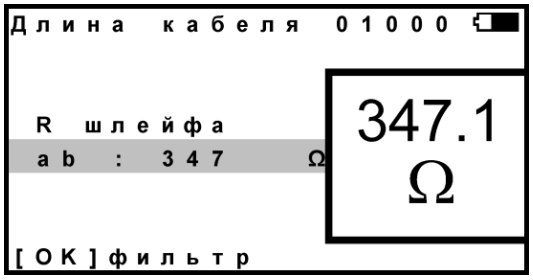


Рис. 1.5. Экран прибора в режиме измерения сопротивления шлейфа

В измерительном экране в нижней строке прибор непрерывно усредненно измеряет сопротивление шлейфа между проводами А и В. Результат выводится крупно в верхней строке экрана. На экран выводится информация о выбранном рабочем кабеле (имя и длина). Если длина неизвестна и в списке кабелей выбран кабель – «Марка кабеля», то прибор рассчитывает длину кабеля по выбранной марке и температуре грунта.

Для прибора ИРК–ПРО АЛЬФА выбор режима измерения сопротивления шлейфа осуществляется путём нажатия на соответствующую сенсорную клавишу на лицевой стороне прибора:

Режим	Кнопка	Экран
ШЛЕЙФ		

В измерительном экране прибор непрерывно измеряет сопротивление шлейфа между проводами А и В. Чтобы измерить шлейф с максимальной точностью, включите фильтр кнопкой [OK]. В верхней части экрана прибор

показывает длину кабеля. Если длина неизвестна и в списке выбрана «Марка кабеля», то прибор рассчитывает длину кабеля по выбранной марке и температуре грунта.

Провести измерения сопротивления шлейфа между проводами А и В поочерёдно для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии с левой стороны макета, а затем с правой стороны макета кабельной линии. Результаты измерений значения сопротивления шлейфа заносятся в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Сопротивление шлейфа $R_{шл}$

Жилы	Прибор	Положение переключателя на макете									
		1		**2**		**3**		**4**		**5**	
		слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
АВ	Дельта										
	Альфа										

Измерение омической асимметрии шлейфа

Омическая асимметрия – это разница в сопротивлении ΔR между двумя проводниками в паре:

$$\Delta R = |R_1 - R_2|$$

где R_1 и R_2 – сопротивления первого и второго проводников соответственно.

Омическая асимметрия, как правило, возникает из-за различий в материалах, длине, сечении проводников или плохих контактах (окисление, коррозия, механические повреждения), а также в результате неравномерного распределения тока из-за скин-эффекта на высоких частотах.

Омическая асимметрия может вызывать искажения сигнала, особенно в высокочастотных линиях связи (например, Ethernet, DSL), она также способствует увеличению уровня шумов и снижению помехоустойчивости.

Для различных типов кабелей существуют допустимые значения омической асимметрии. В телефонных линиях допустимая асимметрия обычно не превышает 1–2 Ом. В сетях Ethernet (витая пара) допустимая асимметрия строго регламентируется стандартами (TIA/EIA-568 и др.).

Для измерения асимметрии шлейфа подключите провода А, В и С к клеммам макета «Электрические характеристики кабеля» и измерительного прибора ДЕЛЬТА–ПРО DSL (ИРК–ПРО АЛЬФА).

Провода А и В подключаются к жилам макета кабельной линии Л1 и Л2, а провод С к оболочке кабеля 3. На противоположном конце линии жилы Л1, Л2 и оболочка кабеля 3 замыкаются между собой с помощью специального

провода-перемычки. Если провод С не подключен, то прибор сообщит, что сопротивление утечки больше 20 МОм.

Включите режим ШЛЕЙФ и фильтром (кнопка [OK]) измерьте сопротивление шлейфа. Работа фильтра обязательна! После работы фильтра (бегущей строки) прибор запомнит сопротивление шлейфа. Теперь нажмите кнопку АСИММЕТРИЯ. Запуск и повтор измерения осуществляется нажатием кнопки [OK].



Рис. 1.6. Экран прибора ДЕЛЬТА–ПРО DSL в режиме измерения омической асимметрии

При работе с прибором ИРК–ПРО АЛЬФА также замкните испытуемые жилы Л1 и Л2 на дальнем конце между собой и на оболочку кабеля 3. Провода А и В подключите к испытуемым жилам Л1 и Л2, а провод С – к оболочке кабеля (если провод С не подключен, будет сигнал $R_{ут}$ > 20 МОм).

В режиме ШЛЕЙФ включите фильтр. После работы бегущей строки прибор запомнит сопротивление шлейфа.

Войдите в Меню 1 и выберите пункт <Омич. асимметрия> (рис. 1.7). Запуск и повтор измерения осуществляется нажатием кнопки [OK].



Рис. 1.7. Экран прибора ИРК–ПРО АЛЬФА в режиме выбора омической асимметрии

Провести измерения омической асимметрии шлейфа между проводами А и В поочерёдно для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии с левой стороны макета, а затем с правой стороны макета кабельной линии. Результаты измерений значения асимметрии шлейфа заносятся в табл.1.4.

Таблица 1.4

Омическая асимметрия шлейфа $R_{ом}$

Жилы	Прибор	Положение переключателя на макете									
		1		**2**		**3**		**4**		**5**	
		слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
АВ	Дельта										
	Альфа										

Содержание отчёта

Отчёт составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать:

- наименование и цель работы;
- структурную схему экспериментальной установки;
- таблицы с результатами измерений первичных параметров;
- выводы по работе;
- ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие первичные параметры кабелей вы знаете?
2. Поясните особенности измерения сопротивления изоляции кабеля?
3. Поясните особенности измерения ёмкости жил кабеля?
4. Как проводят измерение сопротивления шлейфа?
5. Что такое омическая асимметрия жил кабеля?
6. Основные причины возникновения омической асимметрии?
7. От чего зависит точность результатов измерений?
8. Технические характеристики приборов ИРК–ПРО АЛЬФА и ДЕЛЬТА–ПРО DSL?

Лабораторная работа № 2
«Определение характера и места повреждения линии импульсным методом»

Цель работы: освоить методику определения расстояния до места обрыва и короткого замыкания кабельной линии импульсным методом.

Приборы и оборудование:
- макет кабельной линии «Макет ИЛ для измерений импульсным методом»;
- кабельный прибор ИРК–ПРО АЛЬФА;
- кабельный прибор ДЕЛЬТА–ПРО DSL;
- комплект соединительных проводов.

Макет кабельной линии имитирует кабель типа КСПП – 1×4×1,2 длиной около 4 км. На макете предусмотрен выбор из 13 вариантов положения и типа неисправности.

Краткие теоретические сведения

Метод импульсной рефлектометрии, называемый также методом отражённых 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 импульсной рефлектометрии заключается в выполнении следующих операций:

1. Зондировании кабеля (двухпроводной линии) импульсами напряжения.
2. Приёме импульсов, отражённых 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 отражённого импульса относительно зондирующего.

На графическом индикаторе рефлектометра воспроизводится рефлектограмма линии – реакция линии на зондирующий импульс. Анализируя рефлектограмму линии, оператор получает информацию о наличии или отсутствии в ней повреждений и неоднородностей. При распространении вдоль линии импульсный сигнал затухает, т.е. уменьшается по амплитуде.

Затухание линии определяется её геометрической конструкцией, выбором материалов для проводников и изоляции и является частотно-

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

Проще всего обнаруживаются резкие повреждения: короткое замыкание и обрыв. Повреждённая линия эквивалентна линии длиной *l'*, где *l'* – расстояние до места повреждения, т.е. нагрузкой в повреждённой линии может быть либо $Z_H \to 0$ (короткое замыкание), либо $Z_H \to \infty$ (обрыв).

В таком случае прямой и отражённый импульсы будут разнесены на время:

$$t = \frac{2l'}{v}$$

Если измерить это время, то при известной скорости *v* находим расстояние до места повреждения.

Коэффициент отражения от нагрузки определяется как:

$$\mathrm{n} = \frac{Z_H - Z_B}{Z_H + Z_B}$$

Отсюда видно, что если отражение происходит от места короткого замыкания, то амплитуда отражённого импульса имеет противоположную полярность по сравнению с амплитудой падающего (задающего) импульса. Если отражение происходит от обрыва, то полярность импульсов одинакова. Этим определяется характер повреждения в линии.

Работа рефлектометра ДЕЛЬТА–ПРО DSL (ИРК–ПРО АЛЬФА)

Принцип работы рефлектометра в приборах ДЕЛЬТА–ПРО DSL и ИРК–ПРО АЛЬФА основан на известном физическом явлении отражения зондирующего импульса напряжения от неоднородности волнового сопротивления исследуемого кабеля. При этом расстояние до дефекта может быть рассчитано по времени между моментом начала зондирующего импульса и моментом прихода отражённого, при известной скорости распространения в линии. Скорость распространения традиционно для рефлектометрии задаётся коэффициентом укорочения (КУ):

$$g = \frac{c}{v}$$

где *c* – скорость света в вакууме, *v* – скорость распространения электромагнитной волны в исследуемом кабеле.

Для большинства марок кабелей коэффициент укорочения находится в пределах 1÷3.

Тип повреждения может быть определён по форме отражённого импульса. При этом на форму импульса дополнительное влияние оказывают такие параметры кабеля как затухание и дисперсия. На достаточно длинных или значительно повреждённых кабелях отражённый сигнал может быть сильно ослаблен.

Возможна работа прибора в двух режимах: с объединёнными и раздельными выводами для подачи зондирующего импульса и наблюдения отражённого сигнала. Чаще всего используется режим работы с общим входом/выходом. По наблюдаемой рефлектограмме возможна локализация большинства неоднородностей (рис. 2.1). Прибор использует биполярный импульс для большего разрешения, поэтому форма отраженного сигнала отличается от привычной.

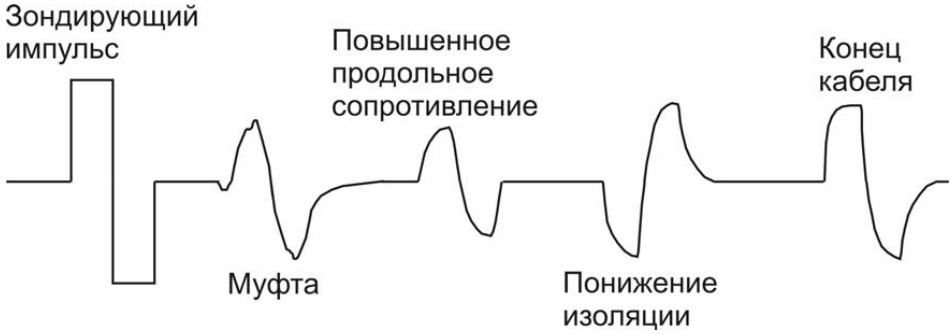


Рис. 2.1. Рефлектометрический импульс и типы неоднородностей

Для достижения максимальной «дальнобойности» следует подключать прибор непосредственно к паре жил. Канал «жила–экран» обладает большим коэффициентом затухания и уровнем шумов. Любые неоднородности линии вызывают увеличение затухания и уменьшают предельное расстояние. На коротких расстояниях следует пользоваться короткими импульсами, а на больших – более длинными. Прибор сам устанавливает оптимальную ширину импульса в зависимости от выбранного диапазона. Однако измеритель может оперативно изменять этот параметр для получения более чёткой картинки.

Порядок выполнения работы

На макете кабельных линий проведите соответствующие измерения для определения расстояния до места повреждения и характера неисправности кабельной линии. Измерения проводятся для всех 13 положений переключателя макета кабельной линии – сначала прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL, а затем – прибором ИРК–ПРО АЛЬФА. Для каждой пары проводов измерения проводятся дважды – с левой и с правой стороны макета кабельной линии.

Результаты измерений заносятся в соответствующие таблицы отчёта лабораторной работы.

Определение расстояния до места повреждения в линии

Работа с прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL

Включите прибор нажав кнопку включения питания ⏻. О правильном подключении и нормальном напряжении питания свидетельствует появление на экране заставки, сообщающей о типе прибора и версии встроенного программного обеспечения.

В приборе реализована защита от случайного включения. После включения прибора кнопкой ⏻ необходимо в течение 2-х секунд подтвердить включение нажатием кнопки [ОК]. В результате на экране отобразится главное меню прибора (рис. 2.2):

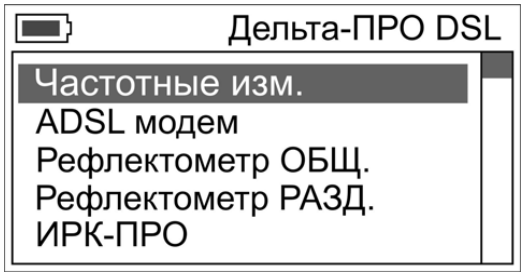


Рис. 2.2. Главное меню прибора ДЕЛЬТА–ПРО DSL

В основном меню прибора выберите пункт «РЕФЛЕКТОМЕТР ОБЩ». В этом случае зондирующий импульс подаётся в кабель через разъём «ВХОД». С этого же разъёма принимается отражённый сигнал.

Для проведения измерений в режиме рефлектометра подключите измерительный кабель к разъёму ВХОД прибора ДЕЛЬТА–ПРО DSL.

Подключите два вывода измерительного кабеля к любой паре жил (a, b, c и d) макета кабельной линии. Третий вывод (чёрный) подключите к оболочке кабеля (клемма 3 макета).

На экране прибора появится рефлектограмма кабельной линии (рис. 2.3).

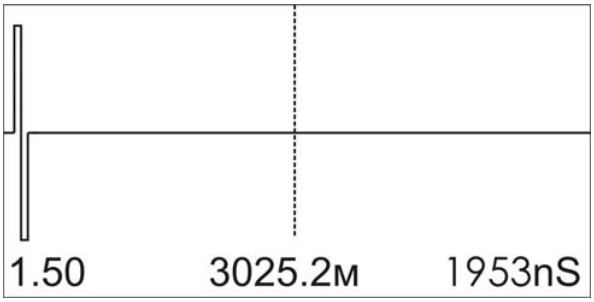


Рис. 2.3. Экран прибора в режиме рефлектометра

На примере рис. 2.3 на дисплее прибора отображается: коэффициент укорочения (1.50), расстояние от курсора до начала импульса (3025.2 м), длительность зондирующего импульса (1953 нс).

Смещение рефлектограммы относительно курсора производится кнопками «◄ ►». Изменение параметров измерений (импульс, диапазон, усиление, растяжка и коэффициент укорочения) осуществляется с помощью кнопок управления на лицевой стороне прибора:

Функция	Кнопка
ИМПУЛЬС Изменение ширины (длительности) импульса	
ДИАПАЗОН Установка дальности (глубины) зондирования	
УСИЛЕНИЕ Изменение масштаба по амплитуде	
РАСТЯЖКА Изменение масштаба по расстоянию	
УКОРОЧЕНИЕ Установка коэффициента укорочения	

После нажатия на любую из этих кнопок редактирование параметра производится кнопками «▲▼». Возврат к основному окну измерений – кнопка [ОК].

Оценка расстояния проводится после ввода соответствующего коэффициента укорочения и всегда осуществляется между началом зондирующего импульса (началом кабеля) и активным курсором.

Для более точного позиционирования увеличьте растяжку и сместите рефлектограмму кнопками «◄ ►» так, чтобы активный курсор приходился на начало отражённого импульса (рис. 2.4).

Курсор следует устанавливать на начало импульса, а не на максимум (вершину) импульса. Наиболее точного результата можно добиться при максимальной растяжке для данного диапазона.

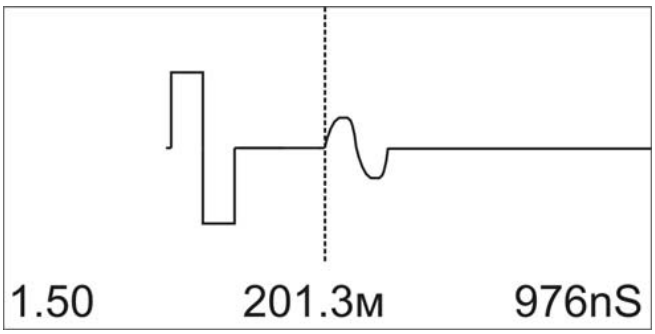


Рис. 2.4. Пример рефлектограммы кабеля длиной 200 м

На рис. 2.4 приведён пример рефлектограммы кабеля длиной 200 м, полученный со следующими параметрами измерения: длительность импульса – 976 nS, диапазон – 6197 м, усиление – 0 дБ, растяжка – 8, коэффициент укорочения – 1.50.

Проведите соответствующие измерения для определения расстояния до места повреждения и характера неисправности поочерёдно для всех 13 положений переключателя макета кабельной линии с левой стороны, а затем с правой стороны макета.

Результаты рефлектометрических измерений прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL занесите в соответствующие разделы табл. 2.1.

Работа с прибором ИРК–ПРО АЛЬФА

Включите прибор нажав кнопку включения питания ⏻. На экране прибора появится заставка с указанием типа прибора и версии встроенного программного обеспечения. По умолчанию прибор автоматически выбирает работу с рефлектометром.

Если был выбран режим мостовых измерений ИРК–ПРО, то переключение в режим рефлектометра осуществляется следующим образом. Войдите в Меню 1 режима ВОЛЬТМЕТР, выберите пункт меню – «Рефлектометр» и нажмите кнопку [ОК]. Появится стандартный измерительный экран рефлектометра.

Прибор будет настроен в соответствии с параметрами дежурного кабеля «Короткий кабель» с длиной 1 км. Внешний вид экрана прибора в режиме рефлектометрических измерений представлен на рис. 2.5.

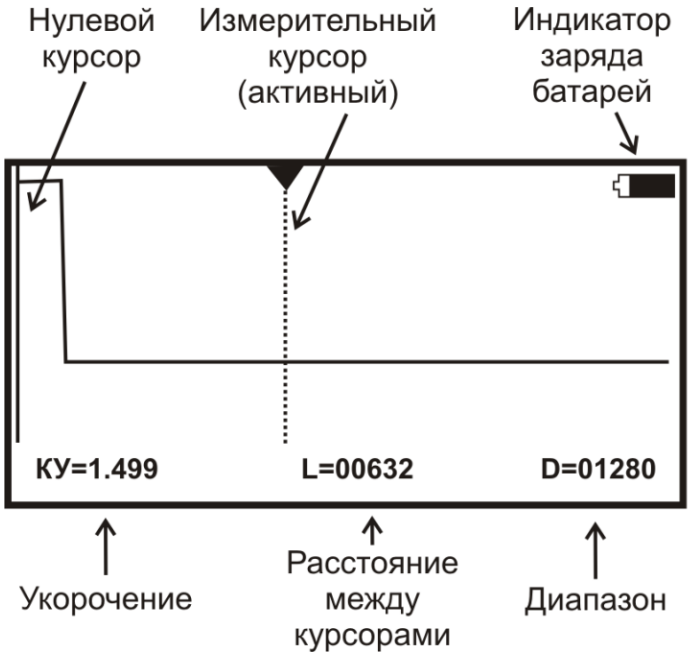


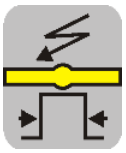
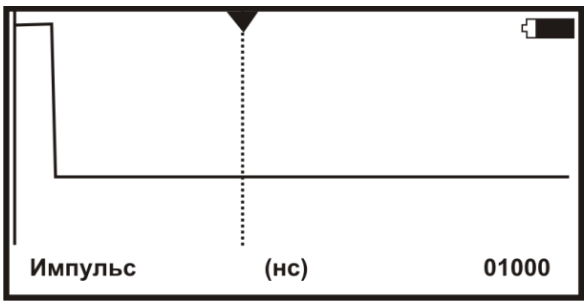
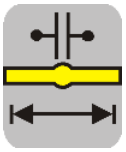
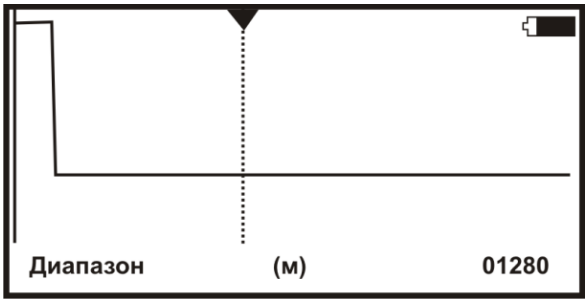
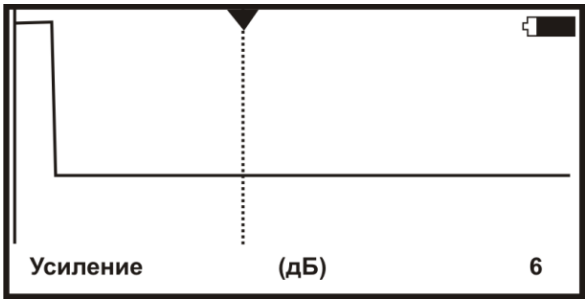
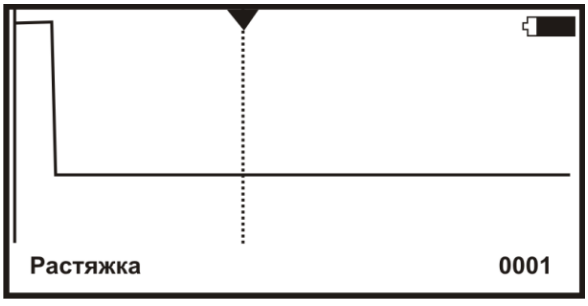
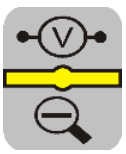
Рис. 2.5. Экран прибора ИРК–ПРО АЛЬФА в режиме рефлектометра

Управление экраном в режиме рефлектометра осуществляется следующим образом:

- смещение активного курсора – кнопки «◄ ►».
- переключение активности между нулевым и измерительным курсорами – кнопка [ОК].
- вертикальное смещение рефлектограммы – кнопки «▲▼».

ВНИМАНИЕ! При изменении усиления и движении активного курсора часть рефлектограммы, где стоит курсор, удерживается в центре экрана по вертикали. Благодаря этому область просмотра не «уплывает», стабилизируется. Перед сменой усиления подведите курсор к нужной области просмотра.

Оперативное управление параметрами просмотра рефлектограммы осуществляется сенсорными кнопками:

Функция	Кнопка	Экран
ИМПУЛЬС Изменение – кнопки ▲▼ Выход из режима – [OK]		
ДИАПАЗОН Изменение – кнопки ▲▼ Выход из режима – [OK]		
УСИЛЕНИЕ Изменение – кнопки ▲▼ Выход из режима – [OK]		
РАСТЯЖКА Изменение – кнопки ▲▼ Выход из режима – [OK]		
КАРТА Выход из режима – повторное нажатие кнопки		Включает/выключает растяжку

Для проведения измерений в режиме рефлектометра подключите коаксиальный кабель к разъёму ВХОД/ВЫХОД измерительного прибора ИРК–ПРО АЛЬФА.

Подключите два вывода (красный и чёрный) измерительного коаксиального кабеля к любой паре жил (a, b, c или d) макета кабельной линии.

Войдя в Меню 1 убедитесь, что в пункте «Входы» установлено значение «ОБЩИЙ» (рис. 2.6). В этом случае зондирующий импульс передаётся в кабель через разъём [ВХОД/ВЫХОД]. С этого же разъёма снимается отражённый сигнал.



Рис. 2.6. Установка параметра общего входа в режиме рефлектометра

Измерение расстояния всегда осуществляется между двумя курсорами. Для измерения расстояния от начала кабеля до неоднородности необходимо сделать активным нулевой курсор. Над нулевым курсором должна стоять метка. Если метки нет, нажмите кнопку [ОК] – метка встанет над нулевым курсором.

Кнопками «◄►» установите курсор на начало зондирующего импульса. Затем кнопкой [ОК] переключитесь на измерительный курсор и установите его на начало отражённого импульса. Курсоры следует устанавливать в начале импульса, а не на максимум (вершину) импульса (рис. 2.7). Для более точного позиционирования курсоров рекомендуется использовать растяжку.

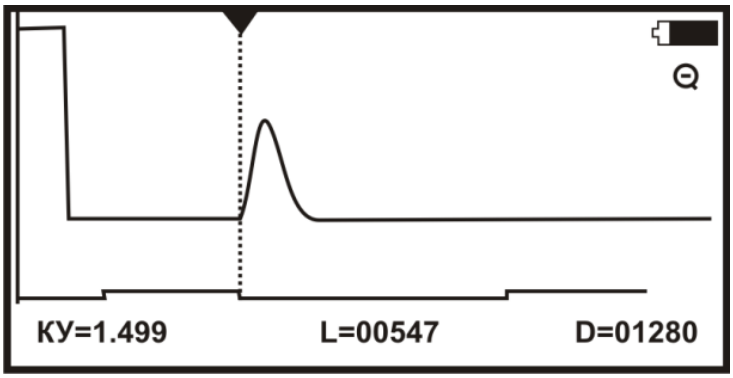


Рис. 2.7. Установка активного курсора для определения расстояния

Подведите курсор к месту, которое необходимо растянуть и нажмите кнопку «РАСТЯЖКА». Нажмите кнопку «▲», при этом растяжка будет увеличиваться в 2, 4, 8, 16, 32, ... раза. На экране будет отображаться не вся рефлектограмма, а её увеличенная часть вокруг активного курсора. Выход из режима изменения растяжки – кнопка [OK].

Рефлектограмму также можно увеличить по вертикали. Подведите курсор к месту, которое необходимо увеличить по вертикали и нажмите кнопку «УСИЛЕНИЕ». Кнопками «▲▼» установите соответствующее усиление. Выход из режима усиления – кнопка [OK].

При нажатии кнопки «КАРТА» прибор покажет кабель полностью. Повторное нажатие приведёт к восстановлению установленной ранее растяжки вокруг активного курсора. Можно переключаться между просмотром карты кабеля и областью растяжки.

Проведите необходимые измерения для определения расстояния до места повреждения и характера неисправности поочерёдно для всех 13 положений переключателя макета кабельной линии с левой стороны, а затем с правой стороны макета.

Результаты рефлектометрических измерений прибором ИРК–ПРО АЛЬФА занесите в соответствующие разделы табл. 2.1.

Таблица 2.1

Определение расстояния до места повреждения импульсным методом

Положение переключателя на макете	Рефлектометр			
	ДЕЛЬТА–ПРО DSL		ИРК–ПРО АЛЬФА	
	Расстояние до повреждения, м	Характер повреждения	Расстояние до повреждения, м	Характер повреждения
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				

Содержание отчёта

Отчёт составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать:

- наименование и цель работы;
- структурную схему лабораторной установки;
- таблицы с результатами измерений импульсным методом приборами ДЕЛЬТА–ПРО DSL и ИРК–ПРО АЛЬФА;
- выводы по работе;
- ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия рефлектометра?
2. Каким образом определяется расстояние до места повреждения?
3. Как определяется характер (тип) повреждения?
4. От чего зависит точность результатов измерений?
5. Технические характеристики приборов ДЕЛЬТА–ПРО DSL и ИРК–ПРО АЛЬФА?
6. Какие типы неоднородностей выявляет рефлектометр ДЕЛЬТА–ПРО DSL и ИРК–ПРО АЛЬФА?

Лабораторная работа № 3
«Определение расстояния до места понижения изоляции жил в кабеле»

Цель работы: освоить методику определения расстояния до места понижения изоляции жил кабельной линий мостовым методом.

Приборы и оборудование:

- макет кабельной линии «Определение расстояния до места понижения изоляции жил в кабеле»;
- кабельный прибор ИРК–ПРО АЛЬФА;
- кабельный прибор ДЕЛЬТА–ПРО DSL;
- комплект соединительных проводов.

Макет кабельной линии имитирует кабель типа МКСБ – 4×4×1,2 длиной 20 км. На макете предусмотрен выбор из пяти вариантов пар кабеля.

Краткие теоретические сведения

Кабельные линии в основном прокладываются подземным способом. Поэтому при повреждении оболочки кабеля, содержащаяся в грунте влага проникает внутрь него, вследствие чего резко снижается сопротивление изоляции жил по отношению друг к другу и к «земле». В зависимости от времени повреждения и от его размеров, а также от влажности грунта сопротивление изоляции в месте повреждения (т.е. переходное сопротивление) может иметь разные значения.

Также кабельные линии нередко повреждаются при строительстве и ремонте других подземных коммуникаций (водопровода, газопровода, теплопровода, электрических кабелей).

Различают два состояния повреждённых линий связи:

повреждение – выход некоторых параметров за пределы нормы;

авария – повреждение линии связи, при котором полностью прекращают действовать каналы и тракты.

Повреждения линейных сооружений устраняются в порядке профилактического обслуживания в такие сроки, чтобы не допустить простоя систем связи.

Аварийные измерения заключаются в определении повреждённого участка и характера повреждения: определение поврежденной строительной длины, определение расстояния до места повреждения в пределах строительной длины, уточнение места повреждения, проведения контрольных измерений с целью определения качества ремонтно-восстановительных работ.

В кабельных линиях наибольшее распространение получили мостовые методы измерений с переменным и постоянным отношением плеч. Мостовые методы с переменным отношением плеч (метод Муррея) применяют на длинных и коротких участках кабельных линий при повреждении изоляции жил в тех случаях, когда переходное сопротивление в месте повреждения варьируется от 0 до 30 МОм.

Метод моста с постоянным отношением плеч (метод Варлея) применяют для электрических измерений при определении места повреждения в кабельных линиях в тех же случаях, как и предыдущий.

Схема классического измерительного моста Уитстона (Wheatstone bridge, 1843) представлена на рис. 3.1.

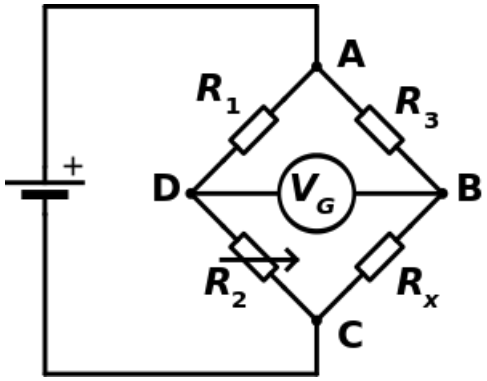


Рис. 3.1. Схема моста Уитстона

На схеме рис. 3.1 резистор R_x – это фиксированное, но неизвестное сопротивление, которое необходимо измерить. R_1, R_2 и R_3 – резисторы с известным сопротивлением, при этом сопротивление R_2 можно регулировать. Между точками B и D подключается индикатор, в качестве которого может выступать гальванометр V_G, вольтметр ($R_G = \infty$) или амперметр ($R_G = 0$). Сопротивление R_2 регулируется до тех пор, пока мост не будет «сбалансирован», и через гальванометр V_G не будет протекать ток.

При достижении равновесия разность потенциалов между двумя средними точками (B и D) будет равна нулю. Поэтому отношение двух сопротивлений в известном плече (R_2/R_1) равно отношению двух сопротивлений в неизвестном плече (R_x/R_3) моста. По отклонению стрелки гальванометра в ту или иную сторону можно судить о направлении протекания тока на диагонали моста BD и соответственно о величине сопротивления R_2.

Когда гальванометр показывает ноль, говорят, что наступило «равновесие моста» или «мост сбалансирован»:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3}$$

Отсюда

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

При плавном изменении сопротивления R_2 гальванометр способен зафиксировать момент наступления равновесия с большой точностью. Если величины R_1, R_2 и R_3 были измерены с малой погрешностью, то величина R_x будет вычислена с большой точностью.

В процессе измерения сопротивление R_x не должно изменяться, так как даже небольшие его изменения приведут к нарушению баланса моста.

Порядок выполнения работы

На макете кабельных линий проведите соответствующие измерения для определения расстояния до места понижения изоляции жил кабельной линии. Измерения проводятся для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии – сначала прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL, а затем – прибором ИРК–ПРО АЛЬФА. Для каждой пары проводов измерения проводятся дважды – с левой и с правой стороны макета кабельной линии.

Результаты измерений заносятся в соответствующие таблицы отчёта лабораторной работы. В столбцах «плохая» и «хорошая» жила отмечается Л1 или Л2. Расстояние до места понижения изоляции указывается в процентах от полной длины кабельной линии.

Определение расстояния до места понижения изоляции в кабеле

Работа с прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL

Включите прибор нажав кнопку включения питания ⏻. О правильном подключении и нормальном напряжении питания свидетельствует появление на экране заставки, сообщающей о типе прибора и версии встроенного программного обеспечения.

В приборе реализована защита от случайного включения. После включения прибора кнопкой ⏻ необходимо в течение 2-х секунд подтвердить включение нажатием кнопки [ОК]. В результате на экране отобразится главное меню прибора (рис. 3.2):

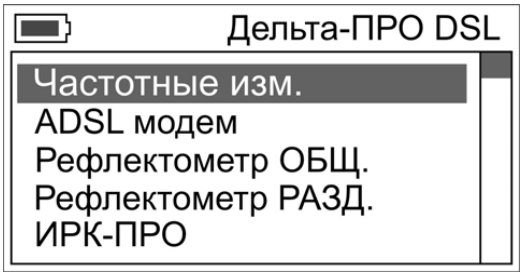


Рис. 3.2. Главное меню прибора ДЕЛЬТА–ПРО DSL

Перед началом измерений необходимо выбрать тип кабеля для правильного определения расстояния до места повреждения.

В основном меню прибора выберите пункт «Список кабелей» и нажмите [ОК]. Список кабелей состоит из кабелей «КАБЕЛЬ 100%», «МАРКА КАБЕЛЯ» и 10 пользовательских кабелей (рис. 3.3).

Выберите «КАБЕЛЬ 100%» кнопками «▲▼». Выбранный кабель помечается стрелкой слева. Чтобы прибор начал работать с выбранным кабелем, необходимо нажать кнопку «►».

Прибор будет использовать параметры выбранного кабеля для расчёта расстояния до места повреждения. По умолчанию выбран кабель «МАРКА КАБЕЛЯ» (ТПП 0.5).



Рис. 3.3. Экран прибора в режиме выбора кабеля

Для проведения измерений необходимо выбрать режим ИРК–ПРО в главном меню прибора, при этом автоматически включается режим измерения сопротивления изоляции.

На экране прибора выводятся три строки коммутации, которые показывают результат измерения сопротивления изоляции между проводами АС, ВС и АВ (рис. 3.4). Кнопками «▲▼» выбирается соответствующая пара проводов. В выбранной строке прибор непрерывно проводит измерения между обозначенными проводами и показывает текущий результат.

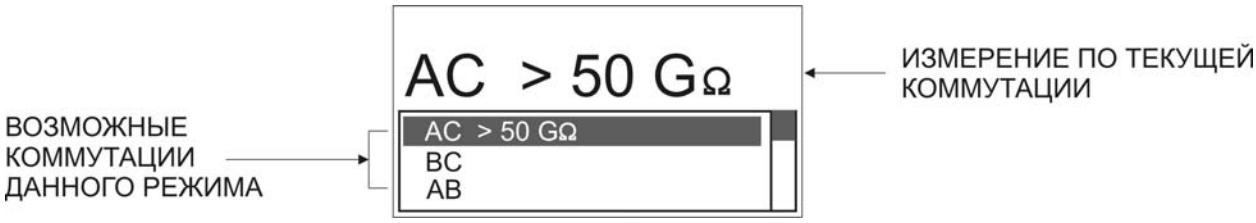


Рис. 3.4. Экран прибора в режиме измерения сопротивления изоляции

В нижней части экрана три строчки показывают результаты измерений для трёх коммутаций измерительных проводов АС, ВС и АВ. Переключение осуществляется аналогично кнопками «▲▼». При этом текущая активная строка выделяется инверсией текста. Прибор автоматически производит усреднённое измерение.

Определение расстояния до места понижения изоляции жил кабельной линии всегда проводятся в три этапа:

1. *Поиск обратной жилы*

Для измерения сопротивления изоляции подключите провода А, В и С к клеммам измерительного прибора ДЕЛЬТА–ПРО DSL.

Подключите провод С к оболочке кабеля 3 макета кабельной линии. Проводом В определите «плохую» жилу кабеля с пониженной изоляцией (Л1 или Л2), контролируя сопротивление изоляции в строке ВС.

Затем проводом А подключите «хорошую» жилу кабеля, контролируя сопротивление изоляции в строке АС. Соотношение их сопротивлений должно быть не менее 400.

Величины измеренных сопротивлений изоляции жил, а также их соотношение заносятся в табл. 3.1.

2. *Измерение сопротивления шлейфа*

Включите режим ШЛЕЙФ нажав соответствующую клавишу на лицевой панели прибора. С помощью провода-перемычки замкните жилы Л1 и Л2 на противоположном конце макета кабельной линии. По показаниям прибора контролируйте качество соединения на дальнем конце.

3. *Определение расстояния до места повреждения изоляции*

Включите режим УТЕЧКА нажав соответствующую клавишу на лицевой панели прибора и запустите поиск неисправности кнопкой [OK]. После работы бегущей строки на экране прибора отобразится расстояние до места повреждения изоляции (рис. 3.5). Прибор также показывает на какой жиле имеется повреждение: к этой жиле подключен провод А или В.



Рис. 3.5. Экран прибора в режиме измерения расстояния до места повреждения изоляции

Поскольку для проведения измерений был выбран «КАБЕЛЬ 100%», то в табл. 3.1 указывается не расстояние в метрах, а его отношение к полной длине кабеля. Например, для результата показанного на рис. 3.5, в таблице нужно записать не 552 м, а 55,2%.

Если на экране появилось сообщение $R_{ут} > 20$ МОм, то это означает, что «плохое» сопротивление превышает то значение, при котором может быть измерено расстояние до повреждения, либо отсутствует контакт между проводом С и оболочкой кабеля. Проверьте подключение провода С к оболочке 3 макета кабельной линии. При устранении причины, связанной с плохим контактом, прибор автоматически запустит режим измерения расстояния до места повреждения изоляции.



Внимание!

Измерение расстояния до места повреждения изоляции кабеля проводится при испытательном напряжении 400 В.

Проведите соответствующие измерения для определения расстояния до места понижения изоляции жил поочерёдно для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии с левой стороны, а затем с правой стороны макета.

Результаты измерений прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL занесите в табл. 3.1. В столбцах «плохая» и «хорошая» жила отмечается Л1 или Л2. Расстояние до места понижения изоляции указывается в процентах от полной длины кабельной линии.

Таблица 3.1

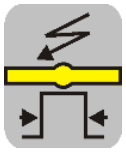
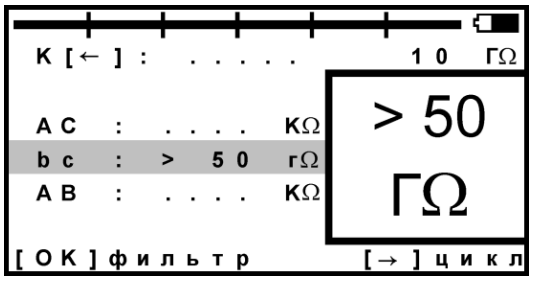
Определение расстояния до места повреждения изоляции жил прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL

Параметр	Положение переключателя на макете									
	1		**2**		**3**		**4**		**5**	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
Плохая жила										
$R_{\text{плох}}$, Ом										
Хорошая жила										
$R_{\text{хор}}$, Ом										
$K = \frac{R_{\text{плох}}}{R_{\text{хор}}}$										
Расстояние до места понижения изоляции, %										

Работа с прибором ИРК–ПРО АЛЬФА

Включите прибор нажав кнопку включения питания ⏻. На экране прибора появится заставка с указанием типа прибора и версии встроенного программного обеспечения. Для проведения мостовых измерений выберите режим ИРК–ПРО.

Измерение сопротивления изоляции прибором ИРК–ПРО АЛЬФА отличается от измерений прибором ДЕЛЬТА–ПРО DSL. После включения прибора и выбора режима ИРК–ПРО на измерительном экране появляется режим ВОЛЬТМЕТР и для перехода к режиму ИЗОЛЯЦИЯ необходимо нажать соответствующую сенсорную клавишу на лицевой стороне прибора:

Режим	Кнопка	Экран
ИЗОЛЯЦИЯ		

На экране прибора выводятся три строки коммутации, которые показывают результат измерения сопротивления изоляции между проводами АС, ВС и АВ. Кнопками «▲▼» выбирается соответствующая пара проводов. В выбранной строке прибор непрерывно проводит измерения между выбранными проводами и одновременно показывает их в большом окне для удобства чтения.

Определение расстояния до места понижения изоляции жил кабельной линии всегда проводятся в три этапа:

1. *Поиск обратной жилы*

Для измерения сопротивления изоляции подключите провода А, В и С к клеммам измерительного прибора ИРК–ПРО АЛЬФА. В Меню 1 режима ИЗОЛЯЦИЯ выберите тестовое напряжение 400 В.

Подключите провод С к оболочке кабеля 3 макета кабельной линии. Проводом В определите «плохую» жилу кабеля с пониженной изоляцией (Л1 или Л2), контролируя сопротивление изоляции в строке ВС.

Затем проводом А подключите «хорошую» жилу кабеля, контролируя сопротивление изоляции в строке АС (рис. 3.6).

Для определения соотношения сопротивлений «хорошей» и «плохой» жил нажатием кнопки «◄» измерьте коэффициент К (отображается на экране

рядом с символом К [←]). Полученное значение не должно превышать 0,005. Измеренный коэффициент К сохраняется в памяти прибора.

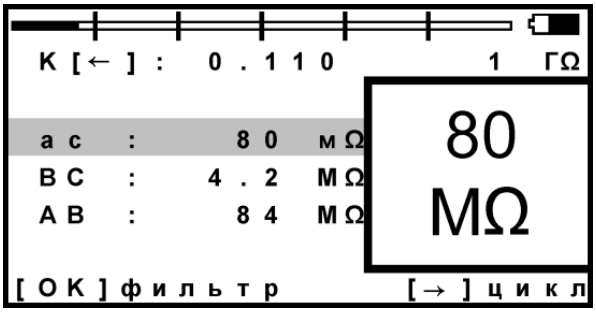


Рис. 3.6. Экран прибора в режиме измерения сопротивления изоляции

Запишите в табл. 2 значения сопротивлений для «плохой» и «хорошей» жил, а также их соотношение (коэффициент К).

2. *Измерение сопротивления шлейфа*

Включите режим ШЛЕЙФ нажав на соответствующую сенсорную клавишу на лицевой стороне прибора. С помощью провода-перемычки замкните жилы Л1 и Л2 на противоположном конце макета кабельной линии.

В измерительном экране прибор непрерывно измеряет сопротивление шлейфа между проводами А и В (рис. 3.7).

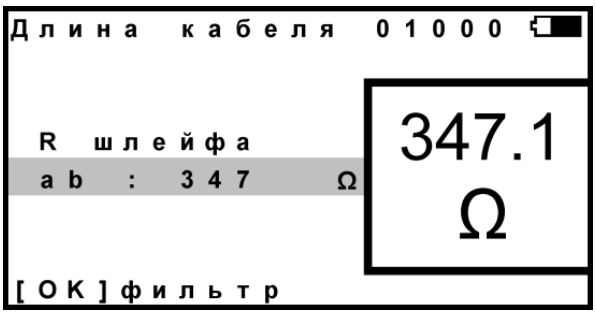


Рис. 3.7. Экран прибора в режиме измерения сопротивления шлейфа

Чтобы измерить шлейф с максимальной точностью, включите фильтр усреднения нажатием кнопки [OK]. В верхней части экрана прибор показывает длину кабеля.

3. *Измерения расстояния до места повреждения изоляции*

Включите режим УТЕЧКА нажав соответствующую сенсорную клавишу на лицевой панели прибора и запустите поиск неисправности кнопкой [OK]. После работы бегущей строки прибор покажет расстояние до повреждения изоляции в процентах от полной длины кабеля (рис. 3.8).

В верхней части экрана отображается карта кабеля, которая показывает на каком участке находится повреждение. Ниже выводится результат определения расстояния (в процентах) до места повреждения изоляции кабеля.

Буква рядом с символом «x» (xa или xb) показывает, на какой жиле имеется повреждение: к этой жиле подключен провод A или B.

В строке Xkb выводится результат измерения, пересчитанный с помощью коэффициента K.

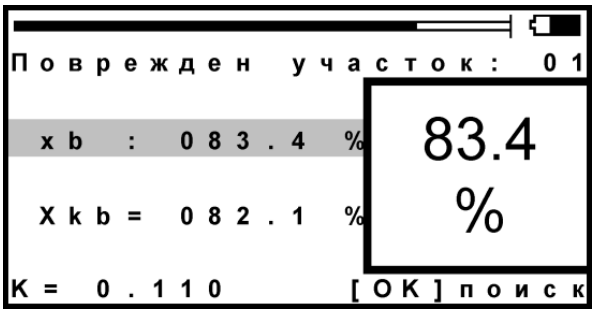


Рис. 3.8. Экран прибора в режиме измерения расстояния до места повреждения изоляции

Если в большом окне появилась надпись $R_{ут} > 20$ МОм (рис. 3.9), то это означает, что сопротивление повреждения превышает то значение, при котором может быть измерено расстояние, либо отсутствует контакт между проводом C и оболочкой кабеля. Проверьте подключение провода C к оболочке 3 макета кабельной линии. При устранении причины, связанной с плохим контактом, прибор автоматически запустит режим измерения расстояния до места повреждения изоляции.

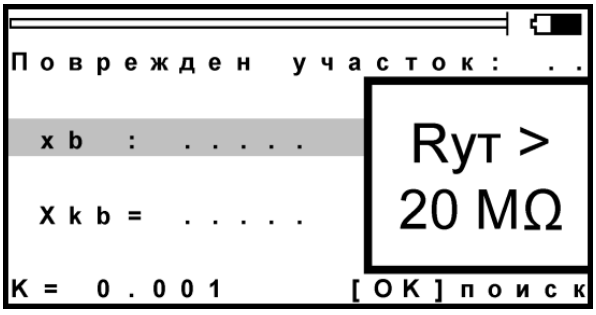


Рис. 3.9. Экран прибора в режиме измерения расстояния до места повреждения изоляции при $R_{ут} > 20$ МОм

Проведите необходимые измерения для определения расстояния до места понижения изоляции жил поочерёдно для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии с левой стороны, а затем с правой стороны макета.

Результаты измерений прибором ИРК–ПРО АЛЬФА занесите в табл. 3.2. В столбцах «плохая» и «хорошая» жила отмечается Л1 или Л2. Расстояние до места понижения изоляции указывается в процентах от полной длины кабельной линии.

Таблица 3.2

Определение расстояния до места повреждения изоляции жил прибором ИРК–ПРО АЛЬФА

Параметр	Положение переключателя на макете									
	1		**2**		**3**		**4**		**5**	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
Плохая жила										
$R_{\text{плох}}$, Ом										
Хорошая жила										
$R_{\text{хор}}$, Ом										
$K = \frac{R_{\text{плох}}}{R_{\text{хор}}}$										
Расстояние до места повреждения xb, %										
Расстояние до места повреждения Xkb, %										

Содержание отчёта

Отчёт составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать:

- наименование и цель работы;
- структурную схему лабораторной установки;
- таблицы с результатами измерений расстояния до места повреждения изоляции жил кабельной линии;
- выводы по работе;
- ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие методы мостовых измерений вы знаете?
2. Поясните особенности мостовых методов?
3. Каким образом определяется расстояние до места повреждения изоляции кабельной линии?
4. Основные причины повреждения (понижения) изоляции кабеля?
5. От чего зависит точность результатов измерений?
6. Технические характеристики приборов ДЕЛЬТА–ПРО DSL и ИРК–ПРО АЛЬФА?
7. Какие типы повреждений выявляет ДЕЛЬТА–ПРО DSL и ИРК–ПРО АЛЬФА?

Лабораторная работа № 4
«Определение расстояния до места обрыва жил кабельной линии»

Цель работы: освоить методику определения расстояния до места обрыва жил кабельной линии измерительным мостом и импульсным методом.

Приборы и оборудование:

- макет кабельной линии «Определение расстояния до места обрыва» с повреждением в виде обрыва;
- кабельный прибор ИРК–ПРО АЛЬФА;
- комплект соединительных проводов.

Макет кабельной линии имитирует кабель типа ТПП 30×2×0,5 длиной 4,3 км. На макете предусмотрен выбор из пяти вариантов пар кабеля.

Краткие теоретические сведения

Достаточно распространённой неисправностью в проводных линиях связи является обрыв токоведущей жилы в кабелях.

Основной целью измерения в данном случае является определение расстояния до места повреждения. Это расстояние можно определить несколькими способами, в частности, используя то, что ёмкость проводника пропорциональна его длине. Измеряют ёмкость участка повреждённой жилы и, сравнивая её с ёмкостью исправной, легко определить расстояние до места обрыва. Ёмкость оборванной жилы измеряют с помощью моста переменного тока (рис. 4.1) или баллистического гальванометра на постоянном токе.

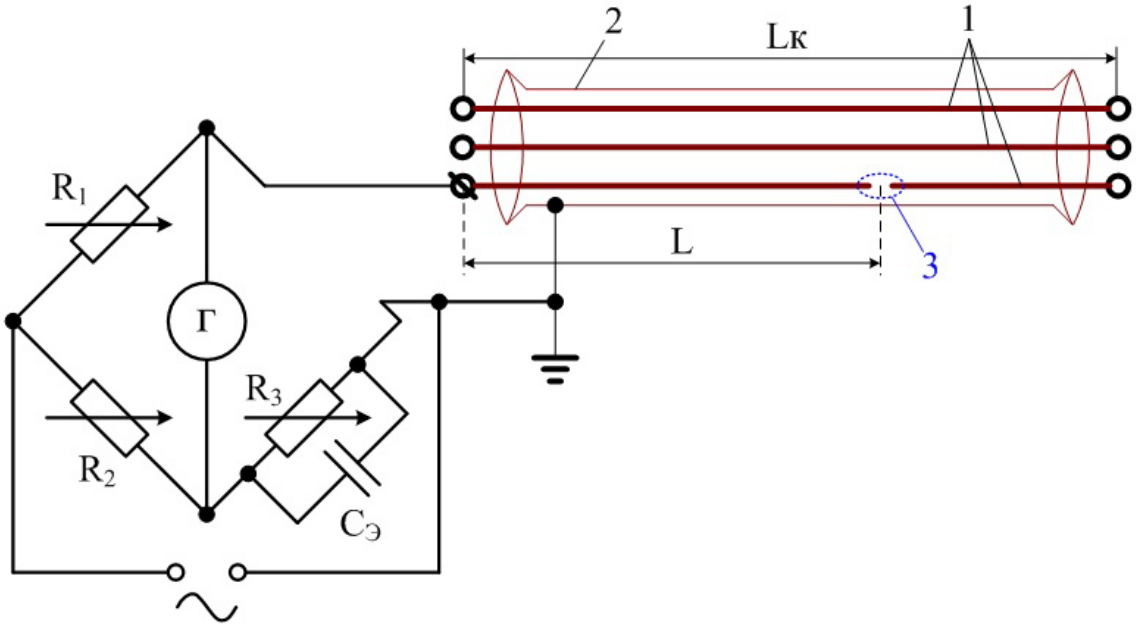


Рис. 4.1. Схема определения места повреждения ёмкостным методом с помощью моста переменного тока (1 – жилы кабелей; 2 – оболочка; 3 – место обрыва жилы кабеля)

В первом случае плечи моста переменного тока образуются регулируемыми комбинированными сопротивлениями R_1 и R_2, ёмкостью поврежденной (измеряемой) жилы C_x и эталонной ёмкостью $C_э$ с регулируемым сопротивлением R_3. К одной диагонали моста подводят переменное напряжение звуковой частоты (обычно 1000 Гц), ко второй – подключают телефон или усилитель переменного тока со стрелочным индикатором. Регулируя сопротивления R_1 и R_2, эталонную ёмкость $C_э$ и сопротивление R_3, получают практически равные по величине и фазе падения напряжений на сопротивлениях R_1 и R_2. Это соответствует минимальной слышимости (или минимальному отклонению стрелки индикатора), т.е. равновесию плеч моста.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_x}{C_э}$$

Из полученного соотношения определяют ёмкость поврежденной (измеряемой) жилы относительно земли:

$$C_x = C_э \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Аналогично определяют ёмкость поврежденной жилы с другого конца кабеля.

Измерение с помощью баллистического гальванометра производится следующим образом (рис. 4.2).

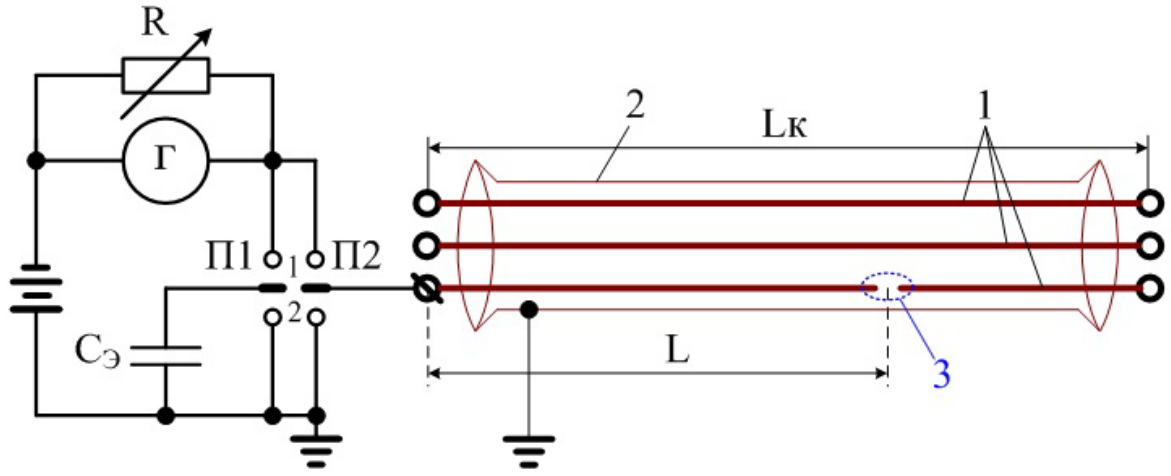


Рис. 4.2. Схема определения места повреждения емкостным методом с помощью баллистического гальванометра на постоянном токе (1 – жилы кабелей; 2 – оболочка; 3 – место обрыва жилы кабеля; П1 и П2 – переключатели)

Сопротивлением R устанавливают минимальную чувствительность гальванометра, а переключатель П2 устанавливают в положение 1. При этом

зарядный ток, протекая через гальванометр в ёмкость поврежденной жилы кабеля, отклоняет стрелку гальванометра на угол α_1. Сопротивлением R повышают чувствительность для получения четкого замера. Измерение производят 3–4 раза и берут среднее значение. Перед каждым измерением ёмкость жилы кабеля разряжается установкой переключателей в положение 2. Далее определяется угол отклонения стрелки гальванометра $\alpha_э$ на эталонной ёмкости при том же самом положении сопротивления R. Ёмкость поврежденной жилы будет равна:

$$C_x = C_э \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_э}$$

Аналогично определяют ёмкость поврежденной жилы с другого конца кабеля.

Расстояние до места повреждения вычисляют по формуле:

$$L = \frac{L_К \cdot C_1}{C_1 + C_2}$$

где C_1 и C_2 – ёмкости участков поврежденной жилы, измеренные с одного и другого концов кабеля; $L_к$ – длина кабельной линии.

По быстроте и точности измерения ёмкостной метод существенно уступает импульсному и в настоящее время широко не применяется. В качестве технических средств определения зоны повреждения кабелей в основе работы которых лежит ёмкостной метод, в настоящее время используют прибор ИРК–ПРО АЛЬФА.

Второй метод измерения расстояния до обрыва заключается в измерении времени распространения отражённого от неоднородности импульса. Измерения производят с помощью приборов называемых рефлектометрами.

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 (рис. 4.3). Время прохождения импульса определяют по экрану прибора (рис. 4.4).

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

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

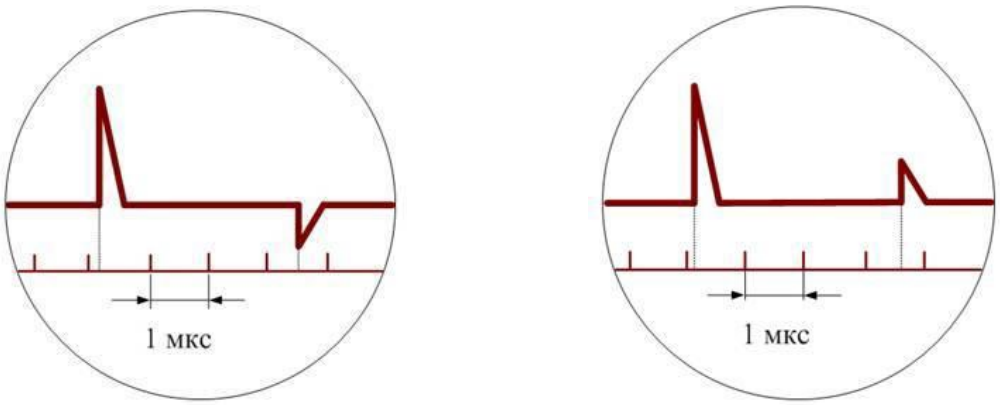


Рис. 4.3. Экран прибора при определении зоны повреждения кабеля импульсным методом: а – при коротком замыкании жил кабеля; б – при обрыве жилы.

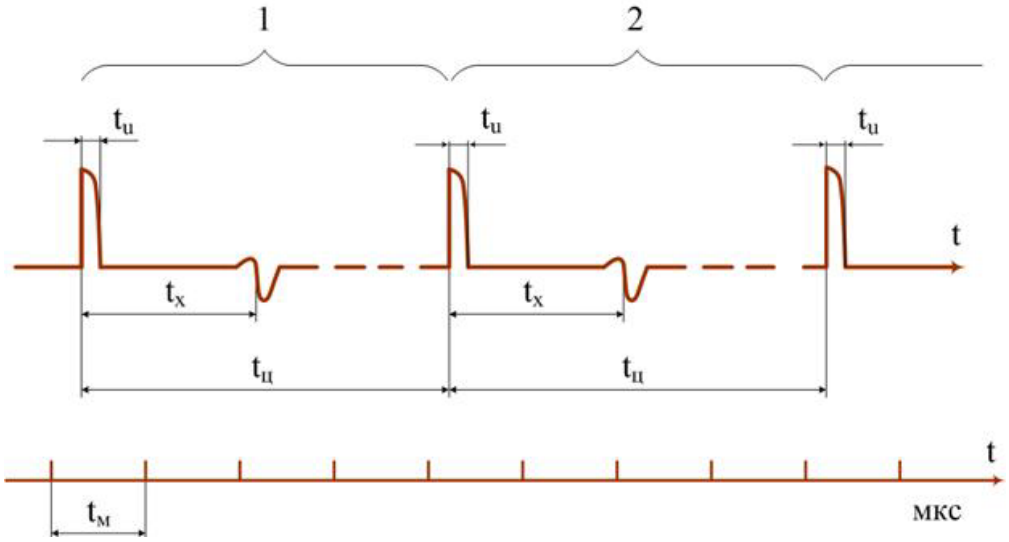


Рис. 4.4. Временная развертка зондирующих отраженных сигналов при импульсном методе определения мест повреждения: 1, 2, ..., m – единичные процессы, повторяющиеся с частотой 500–1000 Гц.

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 и определяется коэффициентом укорочения (КУ) кабеля. Коэффициент укорочения показывает во сколько раз скорость распространения сигналов в линии $\{v\}$ меньше скорости света$\{c\}$ в вакууме:

$$g = \frac{c}{v}$$

Достоинствами импульсного 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 отличии 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.

Порядок выполнения работы

На макете кабельных линий с помощью прибора ИРК–ПРО АЛЬФА проведите измерения мостовым методом для определения расстояния до места обрыва жил кабельной линии.

Измерения проводятся для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии. Для каждой пары проводов измерения проводятся дважды – с левой и с правой стороны макета.

Используя режим рефлектометра прибора ИРК–ПРО АЛЬФА проведите измерения импульсным методом для определения расстояния до места обрыва жил кабельной линии.

Измерения также проводятся для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии. Для каждой пары проводов измерения проводятся дважды – с левой и с правой стороны макета.

Результаты измерений заносятся в соответствующие таблицы отчёта лабораторной работы.

Проведите сравнение результатов измерений, полученных мостовым и импульсным методами и сделайте соответствующие выводы.

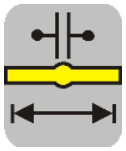
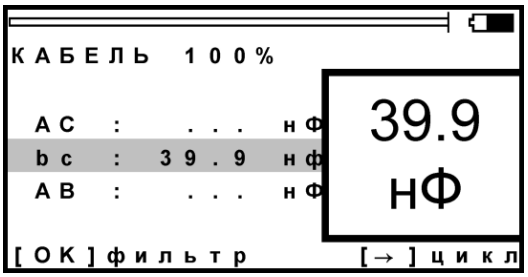
Определение расстояния до места обрыва жил кабельной линии измерительным мостом

Работа с прибором ИРК–ПРО АЛЬФА

Для проведения измерений подключите провода А, В и С к клеммам измерительного прибора ИРК–ПРО АЛЬФА.

Включите прибор нажав кнопку включения питания ⏻. На экране прибора появится заставка с указанием типа прибора и версии встроенного программного обеспечения. Для проведения мостовых измерений выберите режим ИРК–ПРО.

После включения прибора и выбора режима ИРК–ПРО на измерительном экране появляется режим ВОЛЬТМЕТР и для перехода к режиму ЕМКОСТЬ необходимо нажать соответствующую сенсорную клавишу на лицевой стороне прибора:

Режим	Кнопка	Экран
ЕМКОСТЬ		

В режиме ЕМКОСТЬ войдите в Меню 1. На экране прибора выделена строка «Обрыв: сравнение выкл». Необходимо включить режим сравнения оборванной жилы с хорошей жилой. Для этого кнопкой «►» выберите опцию «сравнение жил» (рис. 4.5). В этом режиме жила будет сравниваться с жилой, а не пара с парой.

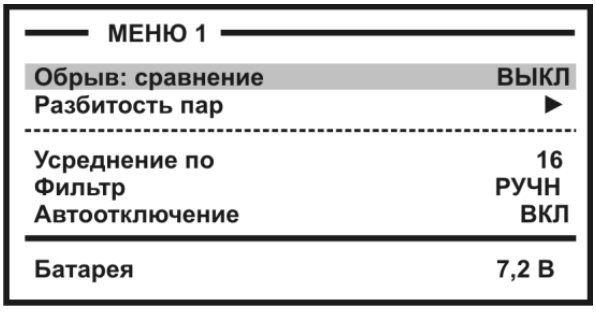


Рис. 4.5. Экран прибора при выборе режима сравнения жил

Далее подключите измерительные провода А и В к оборванной (Л1, Л2 или Л4) и исправной (Л3) жилам макета кабельной линии. Провод С подключите к оболочке кабеля (клемма 3 макета).

Убедитесь, что на экране прибора выбрана строка «Обрыв: сравнение жил» и нажмите кнопку [ОК]. Прибор включит измерительный экран и предложит выбрать хорошую жилу из двух измеренных. Хорошая жила та, у которой ёмкость больше. Кнопками «▲▼» выделите строку с хорошей жилой и нажмите [ОК].



Рис. 4.6. Экран прибора в режиме сравнения жил

Прибор проведёт измерение ёмкости жилы, которая принимается за эталонную и сравнит с ней ёмкость оборванной жилы.

На приведённом выше примере (рис. 4.6) хорошая жила В имеет ёмкость по отношению к оболочке 626 нФ. Прибор показал, что он выбрал её за эталон «С хор» и сравнил с ней ёмкость оборванной жилы А. Результат отображается в метрах, если введена длина кабеля (рис. 4.7), либо в процентах от полной длины.



Рис. 4.7. Результат измерения расстояния до места обрыва жил

На макете кабельной линии имеется исправная жила Л3 и три жилы с обрывами: Л1, Л2 и Л4.

Проведите соответствующие измерения для определения расстояния до места обрыва жил поочерёдно для всех 5 положений переключателя макета кабельной линии с левой стороны макета, а затем с правой стороны макета.

Результаты измерений заносятся в табл. 4.1. Расстояние до места обрыва указывается в процентах от полной длины кабельной линии.

В последней строке Л3 указывается измеренная ёмкость хорошей жилы по отношению к оболочке кабеля (клемма 3 макета).

Таблица 4.1

Определение расстояния до места обрыва жил мостовым методом

Жила	Параметр	Положение переключателя на макете									
		1		**2**		**3**		**4**		**5**	
		слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
Л1	С, нФ										
	Расстояние до места обрыва, %										
Л2	С, нФ										
	Расстояние до места обрыва, %										
Л4	С, нФ										
	Расстояние до места обрыва, %										
Л3	С, нФ										

Определение расстояния до места обрыва жил кабельной линии импульсным методом

Работа с прибором ИРК–ПРО АЛЬФА

После проведения мостовых измерений режим рефлектометра включается следующим образом. Войдите в Меню 1 режима ВОЛЬТМЕТР, выберите пункт меню – «Рефлектометр» и нажмите кнопку [ОК]. Появится стандартный измерительный экран рефлектометра.

Прибор будет настроен в соответствии с параметрами дежурного кабеля «Короткий кабель» с длиной 1 км.

Внешний вид экрана прибора в режиме рефлектометрических измерений представлен на рис. 4.8.

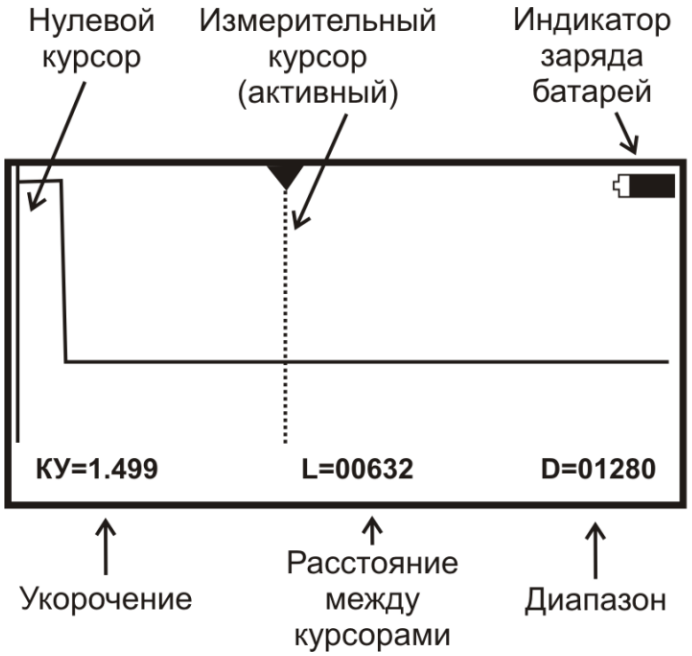


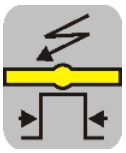
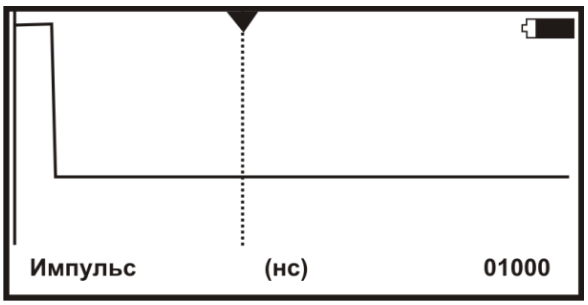
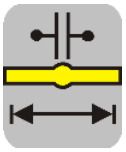
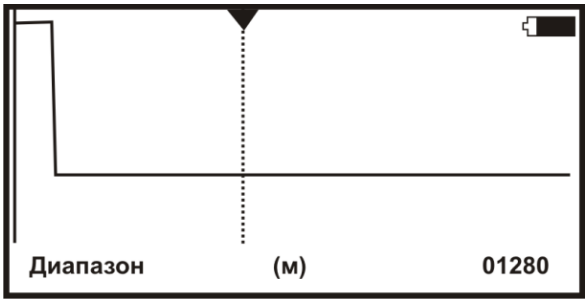
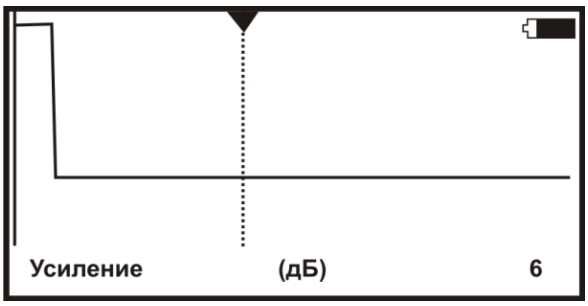
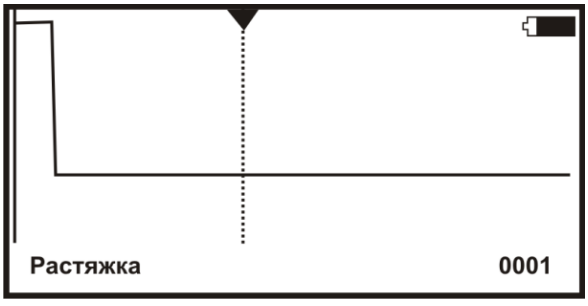
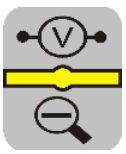
Рис. 4.8. Экран прибора в режиме рефлектометра

Управление экраном в режиме рефлектометра осуществляется следующим образом:

- смещение активного курсора – кнопки «◄ ►».
- переключение активности между нулевым и измерительным курсорами – кнопка [ОК].
- вертикальное смещение рефлектограммы – кнопки «▲▼».

ВНИМАНИЕ! При изменении усиления и движении активного курсора часть рефлектограммы, где стоит курсор, удерживается в центре экрана по вертикали. Благодаря этому область просмотра не «уплывает», стабилизируется. Перед сменой усиления подведите курсор к нужной области просмотра.

Оперативное управление параметрами просмотра рефлектограммы осуществляется сенсорными кнопками управления:

Функция	Кнопка	Экран
ИМПУЛЬС Изменение – кнопки ▲▼ Выход из режима – [OK]		
ДИАПАЗОН Изменение – кнопки ▲▼ Выход из режима – [OK]		
УСИЛЕНИЕ Изменение – кнопки ▲▼ Выход из режима – [OK]		
РАСТЯЖКА Изменение – кнопки ▲▼ Выход из режима – [OK]		
КАРТА Выход из режима – повторное нажатие кнопки		Включает/выключает растяжку

Для проведения измерений в режиме рефлектометра подключите коаксиальный кабель к разъёму ВХОД/ВЫХОД измерительного прибора ИРК–ПРО АЛЬФА.

Подключите один вывод (красный) измерительного коаксиального кабеля к оборванной (Л1, Л2 или Л4) жиле макета кабельной линии. Второй вывод (чёрный) подключите к оболочке кабеля (клемма 3 макета).

Войдите в Меню 1 и убедитесь, что в пункте «Входы» установлено значение «ОБЩИЙ» (рис. 4.9). В этом случае зондирующий импульс передаётся в кабель через разъём [ВХОД/ВЫХОД]. С этого же разъёма снимается отраженный сигнал.



Рис. 4.9. Установка параметра общего входа в режиме рефлектометра

Измерение расстояния всегда осуществляется между двумя курсорами. Для измерения расстояния от начала кабеля до неоднородности необходимо сделать активным нулевой курсор. Над нулевым курсором должна стоять метка. Если метки нет, нажмите кнопку [ОК] – метка встанет над нулевым курсором.

Кнопками «◄►» установите курсор на начало зондирующего импульса. Затем кнопкой [ОК] переключитесь на измерительный курсор и установите его на начало отражённого импульса. Курсоры следует устанавливать в начале импульса, а не на максимум (вершину) импульса (рис. 4.10). Для более точного позиционирования курсоров рекомендуется использовать растяжку.

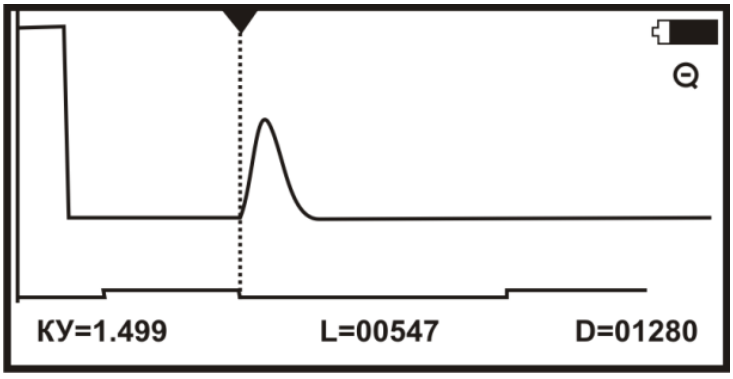


Рис. 4.10. Установка курсора на начало отражённого импульса

Проведите измерения для определения расстояния до места обрыва жил поочерёдно для всех 5 положений переключателя с левой стороны макета, а затем с правой стороны макета кабельной линии.

Результаты рефлектометрических измерений прибором ИРК–ПРО АЛЬФА занесите в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Определение расстояния до места обрыва жил импульсным методом

Жила	Расстояние до места обрыва	Положение переключателя на макете									
		1		**2**		**3**		**4**		**5**	
		слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
Л1	Lx, м										
	Lx, %										
Л2	Lx, м										
	Lx, %										
Л4	Lx, м										
	Lx, %										

Сравнение полученных результатов

Проведите сравнение результатов измерений, полученных мостовым и импульсным методами. При наличии расхождений в соответствующих графах табл. 4.1 и 4.2, оцените величину ошибки и дайте своё объяснение.

Содержание отчёта

Отчёт составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать:

- наименование и цель работы;
- структурную схему лабораторной установки;
- таблицы с результатами измерений расстояния до места обрыва жил мостовым и импульсным методами;
- выводы по работе;
- ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Принцип определения расстояния до места повреждения кабельной линии ёмкостным методом с помощью моста переменного тока?
2. Принцип определения расстояния до места повреждения кабельной линии ёмкостным методом с помощью баллистического гальванометра на постоянном токе?
3. От чего зависит точность измерения расстояния мостовым методом?
4. Принцип определения расстояния до неисправности импульсным методом?
5. Что показывает рефлектограмма?
6. На что влияет коэффициент укорочения КУ?
7. От чего зависит точность результатов измерений импульсным методом?
8. Технические характеристики прибора ИРК–ПРО АЛЬФА?

Заключение

Практикум направлен на освоение методов измерения и диагностики кабельных линий связи, используемых в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Выполнение работ позволит студентам получить практические навыки определения основных электрических параметров кабелей: сопротивления жил, изоляции, ёмкостных и волновых характеристик. Это способствует достижению целей и задач изучения дисциплины «Линии связи», формируя у обучающихся комплексное понимание принципов построения и эксплуатации кабельных систем.

В процессе занятий отрабатываются методики выявления типовых повреждений – обрывов, замыканий и повреждений изоляции с использованием современного измерительного оборудования. Особое внимание уделяется освоению импульсных и мостовых методов измерений, которые являются основой для поддержания работоспособности кабельных линий хозяйства связи и систем СЦБ. Практические навыки, полученные в ходе работ, позволяют будущим специалистам эффективно решать задачи по обеспечению бесперебойной работы железнодорожной инфраструктуры.

Полученные знания и умения непосредственно связаны с вопросами безопасности движения поездов, так как надежность кабельных линий напрямую влияет на стабильность работы систем управления и связи. Данный практикум формирует у студентов профессиональные компетенции, необходимые для диагностики, обслуживания и восстановления кабельных сетей в реальных условиях эксплуатации.

Библиографический список

1. *Андреев, В. А.* Направляющие системы электросвязи: теория передачи и влияния, проектирование, строительство и техническая эксплуатация. Учебник для вузов / В. А. Андреев, Э. Л. Портнов, В. А. Бурдин и др.; Под редакцией В. А. Андреева. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 396 с.
2. *Андреев, Р. В.* Измерения на медных кабельных линиях связи: учебное пособие / Р. В. Андреев, В. Б. Попов, А. А. Воронков, В. В. Лапшин. – Самара: ПГУТИ, 2016. – 265 с.
3. *Бакалов, В. П.* Основы анализа цепей. / В. П. Бакалов, О. Б. Журавлёва, Б. И. Крук. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 596 с.
4. *Бартковский, А. Л.* Измерения в электротехнических устройствах железнодорожного транспорта. / А. Л. Бартковский, В. А. Козин, С. А. Купер. – М.: Транспорт, 1980. – 407 с.
5. *Виноградов, В. В.* Линии автоматики телемеханики и связи на железнодорожном транспорте. / В. И. Кузьмин, Л. Я. Гончаров – М.: Транспорт, 1990. – 231 с.
6. *Гроднев, И. И.* Линии связи. Учебник для вузов. / И. И. Гроднев, С. М. Верник – М.: Радио и связь, 1988. – 544 с.
7. *Зевеке, Г. В.* Основы теории цепей. / Г. В. Зевеке, П. Л. Ионкин и др. – М.: Энергия, 1988. – 750 с.
8. *Парфёнов, Ю. А.* Кабели электросвязи. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 256 с.
9. *Шахтанов, С. В.* Направляющие системы электросвязи. Измерение медножильных кабельных линий связи. Практикум / С. В. Шахтанов. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 192 с.
10. *Яловицкий, М. П.* Электрические измерения на линиях связи. – М.: Радио и связь, 1984. – 144 с.
11. Правила охраны линий и сооружений связи Российской Федерации. – М., 1995. – 193 с.
12. Правила по охране труда при работах на линейных сооружениях кабельных линий передачи. ПОТ РО-45-009-2003.
13. Кабельный прибор «ИРК-ПРО Альфа». Руководство по эксплуатации. – Тверь: Связьприбор, 2011. – 62 с.
14. Кабельный прибор «Дельта-ПРО DSL». Руководство по эксплуатации. – Тверь: Связьприбор, 2007. – 56 с.