

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ КАБЕЛЯ

В.М. Горохов

Когда возникает необходимость измерения длины кабеля в бухте, конечно, лучшим способом измерения является перемотка и определение длины прямым методом. Однако этот способ требует наличия перемоточных машин, достаточно большого времени и обслуживающего персонала. Гораздо чаще используют косвенные методы определения длины кабеля.

В настоящее время используются два основных метода:

- **DC метод** - по измерению сопротивления жилы на постоянном токе
- **TDR метод** (рефлектометр) - по измерению времени прохождения зондирующего импульса

Рассмотрим основные свойства этих методов, их достоинства и недостатки.

DC метод

В основу метода положен закон Ома в котором сопротивление жилы кабеля пропорционально длине жилы. Или для длины кабеля:

$$L = \frac{R}{R_{pg}}$$

Здесь R - измеренное сопротивление жилы в Омах.

R_{pg} - погонное сопротивление жилы в Ом/км.

Все было бы хорошо, если бы погонное сопротивление не зависело от множества факторов. В действительности погонное сопротивление зависит от сечения жилы, температуры и химического состава материала жилы.

В общем случае для R_{pg} можно записать:

$$R_1 = \frac{\rho \times L_1}{S}$$

$$L_1 = 1000 \text{ м}$$

Удельное сопротивление ρ материала жилы зависит от химического состава и температуры

$$\rho = \rho_{20} \times (1 + \alpha \times (t - 20))$$

ρ_{20} - удельное сопротивление материала из которого сделана жила при 20°C - зависит только от материала жилы

α - температурный коэффициент, зависящий тоже от химического состава материала жилы.

Итак, более подробная формула для длины жилы кабеля будет выглядеть так:

$$L = R \times \frac{S}{\rho_{20} \times (1 + \alpha \times t) \times L_1}$$

Следует отметить, что длина жилы не всегда равна длине кабеля. Если для энергетических кабелей эти величины совпадают, то в кабелях связи применяется скрутка отдельных жил в пары или четверки. Скрутка приводит к тому, что длина жилы становится больше длины кабеля.

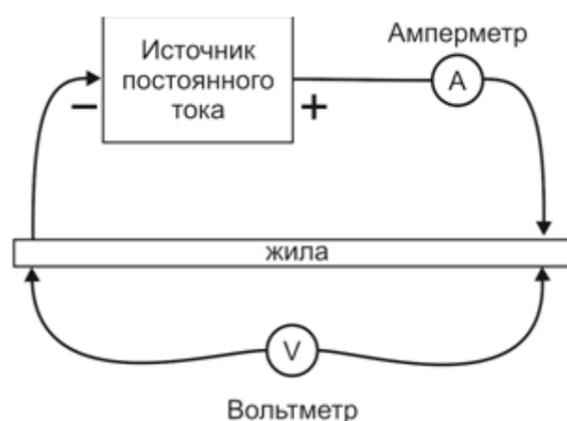
Что должен измерять прибор по DC методу?

Конечно сопротивление жилы с максимально возможной точностью.

Так для типичного медного силового кабеля с сечением 9 мм² сопротивление 1 метра будет иметь величину порядка 0,002 Ом, Для кабеля с большим сечением сопротивление будет еще меньше. Таким образом, прибор должен иметь разрешение не хуже 0,001 Ом.

Измерение сопротивления с таким разрешением представляет известные трудности.

Во-первых, необходимо обеспечить подключение прибора не вносящее искажение в результат измерения. Решение этой проблемы хорошо известно - это использование так называемого подключения Кельвина или четырехпроводное подключение. Его смысл показан на следующем рисунке:



В этой схеме есть две отдельные цепи: цепь для подачи тока с амперметром и цепь измерения падения напряжения с вольтметром.

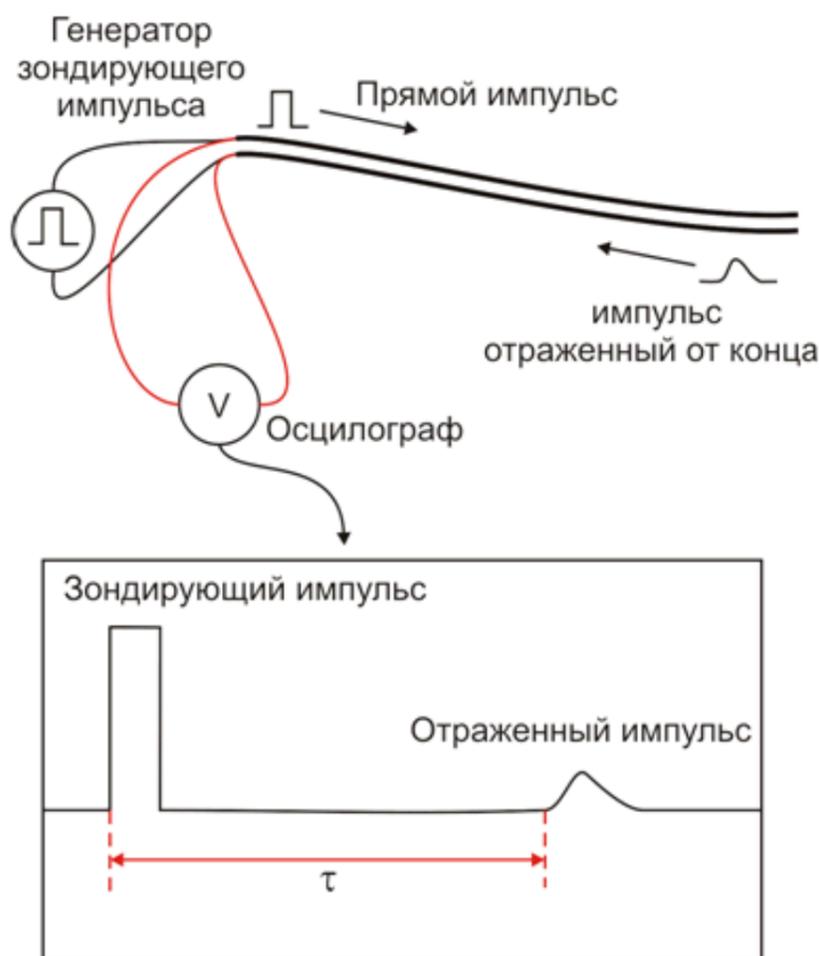
Во-вторых, измерение маленького падения напряжения осложняется присутствием термо-ЭДС на контактах. Уменьшить влияние термо-ЭДС на результат можно только двумя способами:

- Выдерживать оба конца кабеля при одинаковой температуре
- Проводить измерение при большом токе

В современных переносных приборах идет борьба за уменьшение потребляемой мощности и измерения обычно проводятся на малых токах. К тому же его величина обычно не приводится в документации на прибор. На наш взгляд этот параметр имеет первостепенное значение, определяющее физические ограничения на метрологические параметры прибора.

TDR метод

Метод основан на посылке короткого зондирующего импульса в кабель и наблюдении отраженного сигнала от конца кабеля:



Метод не применим к кабелям с одной жилой!

Отражение происходит как от открытого, так и от закороченного конца кабеля. Разница будет только в том, что при отражении от закороченного конца импульс переворачивается.

Длина может быть рассчитана по времени τ между моментом начала зондирующего импульса и моментом прихода отраженного, при известной скорости распространения. Скорость распространения определяется геометрией кабеля и свойствами изоляции. Кабели имеющие одинаковую геометрия (сечение жил, толщину изоляции и пр.), но отличающиеся диэлектрической постоянной материала изоляции будут характеризоваться различной скоростью распространения. Заводы - производители кабельной продукции обычно не приводят значение скорости распространения и измерителю необходимо ориентироваться на какие-то значения. Можно найти некоторые справочные материалы, но кабели с одинаковой маркировкой из разных партий могут иметь различные физические свойства.

Скорость распространения традиционно для рефлектометрии задается коэффициентом укорочения $KУ = C/V$. Здесь C - скорость света в вакууме, V - скорость распространения электромагнитной волны в исследуемом кабеле. Для большинства марок кабелей коэффициент укорочения находится в пределах 1÷3.

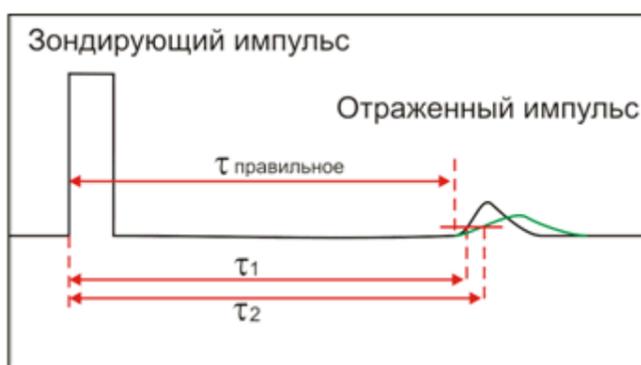
Кроме отражения от конца кабеля, зондирующий импульс отражается и от любой неоднородности кабеля.

Прибор, подключенный к кабелю, представляет собой тоже неоднородность. Для устранения паразитного эхо-сигнала служит регулируемая нагрузка СОГЛАСОВАНИЕ.

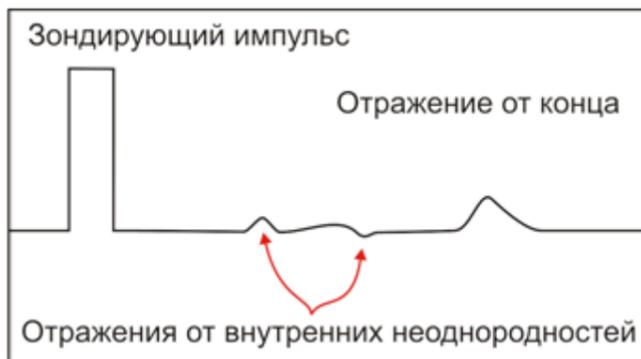
Что должен измерять прибор по TDR методу?

Время между посылкой зондирующего импульса и началом прихода отраженного эхо-сигнала. На первый взгляд все достаточно просто, но на практике имеются значительные затруднения. Для точного измерения зондирующий сигнал должен иметь длительность в наносекундном диапазоне с очень крутыми фронтами. При распространении вдоль кабеля такой импульс претерпевает значительные искажения. Сильно уменьшается его амплитуда и размываются фронты.

В таких условиях определение начала эха вызывает значительные трудности. Обычный подход, когда сам прибор определяет начало по превышению некоторого уровня приводит к появлению значительных ошибок.



Вторым осложняющим фактором представляется наличие собственных неоднородностей кабеля.



Реальность такова, что на сегодняшний момент лучший способ определения начала отражения от конца кабеля связан с зорким глазом измерителя. Даже профессиональные рефлектометры для медных кабелей не имеют функций автоматического анализа с точным определением расстояния.

Большинство измерителей длины кабеля отображают информацию на алфавитно-цифровых индикаторах. По нашему мнению качественное измерение длины кабеля возможно лишь при наблюдении графической картинке с возможностью ее растяжки по осям для точного позиционирования измерительного курсора.

Сравнение характеристик приборов

На рынке предлагается несколько моделей приборов для измерения длины кабеля на барабане. В таблице приведены приборы и методы, которые они используют:

Модель	Производитель	DC метод	TDR метод	Цена и ссылка
Unitest 3000	СН. ВЕНА GmbH (Германия)	ДА	НЕТ	24 840 руб http://www.electronpribor.ru
Unitest Echometer 3000	СН. ВЕНА GmbH (Германия)	НЕТ	ДА	18 405 руб http://www.electronpribor.ru
CLM100B	UEITEST (Канада)	ДА	НЕТ	
CLM33	FINEST (Корея)	ДА	НЕТ	
900 TDR Cable Length Meter	FINEST (Корея)	НЕТ	ДА	
MIT710	MITCHELL INSTRUMENT	ДА	НЕТ	\$395.95 http://www.cablelengthmeter.com/cable-length-meter.html
КТ-96	Kilter Electronic (Китай)	ДА	НЕТ	
Megger TDR900	MEGGER (Англия)	НЕТ	ДА	\$380,00
CableMeter ИРК-ПРО Альфа	СВЯЗЬПРИБОР (Россия)	ДА	ДА	23 560 руб. с НДС

Из приведенной таблицы видно, что только в приборе **CableMeter (СВЯЗЬПРИБОР)** реализованы оба метода одновременно. Продолжим сравнительный анализ более подробно.

DC метод

Измерение расстояния основано на измерении сопротивления. Основные метрологические характеристики определяются параметрами измерения сопротивления с учетом температуры жилы кабеля.

Модель	Диапазоны Сопротивлений [Ом]	Разрешение [мОм]	Измерительный ток [мА]	Погрешность [%]	Датчик температуры	Индикация температуры
Unitest 3000	0,5÷200 0,5÷2000	10 100	10	±(2% + 5 ед.сч.)	ДА	НЕТ
CLM100B	0÷10 10÷99,99	1	?	±(0,5% + 3 ед.сч.) ±(0,5% + 10 ед.сч.)	ДА	НЕТ
CLM33	0÷65	1	?	±(2% + 3 ед.сч.)	ДА	НЕТ
MIT710	0÷10 10÷99,99	1	?	±(0,5% + 3 ед.сч.) ±(0,5% + 10 ед.сч.)	ДА	НЕТ

КТ-96	200 2000	?	?	?	ДА	НЕТ
CableMeter ИРК-ПРО Альфа	0÷2000	1	90	±(0,1% + 1 ед.сч.)	ДА	ДА

Далее прибор по измеренному сопротивлению и температуре должен рассчитать длину кабеля. В расчетах необходимо учитывать материал и сечение кабеля. Все приборы позволяют выбирать алюминий или медь. Сечение кабеля может задаваться различными способами. Существует несколько способов определения сечения жилы кабеля:

- AWG (MCM)
- Диаметр [мм]
- Площадь сечения [мм²]

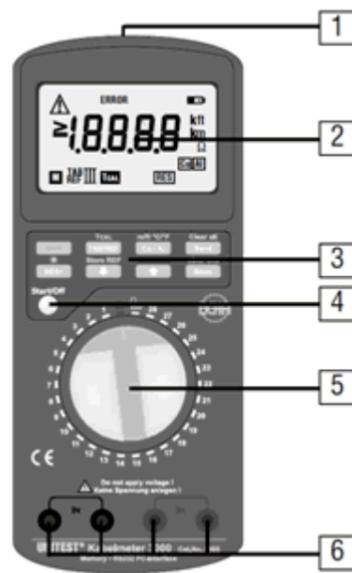
Кроме того, для кабелей с повивом жил наиболее корректно проводить расчеты по погонному сопротивлению. Такая функция полезна и для биметаллических проводов.

В рассмотренных приборах реализованы следующие способы расчета:

Модель	AWG (MCM)	Диаметр	Сечение	Погонное сопротивление
Unitest 3000	ДА	ДА Из таблицы	ДА Из таблицы	НЕТ
CLM100B	ДА	ДА Из таблицы	ДА Из таблицы	НЕТ
CLM33	ДА	ДА Из таблицы	ДА Из таблицы	НЕТ
MIT710	ДА	ДА Из таблицы	ДА Из таблицы	НЕТ
КТ-96	ДА	ДА Из таблицы	ДА Из таблицы	НЕТ
CableMeter ИРК-ПРО Альфа	ДА	ДА любой*	ДА любой*	ДА*

* В CableMeter диаметр, сечение или погонное сопротивление вводит пользователь

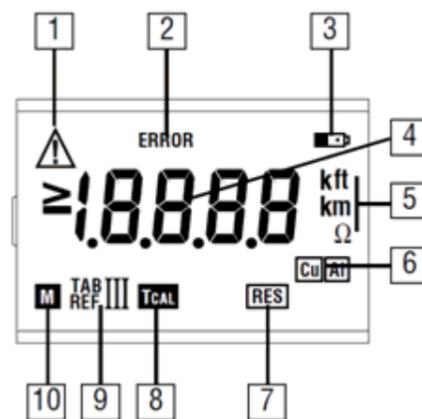
Удобство работы с прибором во многом определяется полнотой выводимой информации. Все зарубежные приборы имеют схожий внешний вид и вид экрана:



1. RS-232
2. LCD
3. Функциональные кнопки
4. Кнопка Старт/Стоп
5. Выбор типа кабеля (Надо смотреть таблицу и выставлять переключатель в соответствующее положение)
6. Разъемы для подключения кабеля

На экран выводится следующая информация:

1. Предупреждение
2. Сообщение об ошибке
3. Индикатор батареи
4. Измеренное значение
5. Единицы измерения
6. Индикатор Алюминий/Медь
7. Индикатор памяти



8. Указатель на компенсатор температуры (сама температура не выводится)
9. Указатель на таблицу в описании в соответствии с которой задается сечение кабеля
10. Память

В конструкции прибора **CableMeter (СВЯЗЬПРИБОР)** используется графический дисплей, что позволяет сделать управление более удобным.



TDR метод

Работа всех рефлектометров основана на посылке в кабель зондирующего сигнала и анализе возвратного эха. Принятый эхо-сигнал обычно сильно ослаблен и искажен по сравнению с зондирующим. На кабелях с большим затуханием эхо-сигнал становится очень малым. Возможность измерения связана с перекрываемым затуханием.

Модель	Перекрываемое затухание [дБ]	Наблюдение рефлектограммы	Коэффициент укорочения	Диапазон измерения [м]	Разрешение [м]	Точность
Unitest Echometer 3000	6	НЕТ	Определяется выбранным из таблицы кабелем	2000	0,1	$\pm(2\% + 3 \text{ м})$
900 TDR Cable Length Meter	?	НЕТ	1,000÷6,999	3700	0,5	$\pm(2\% + 0,5\text{м})$
Megger TDR900	?	НЕТ	1,00÷100	3700	0,5	$\pm(2\% + 0,5\text{м})$
CableMeter ИРК-ПРО Альфа	80	ДА	1,000÷6,999	5000	0,2	$\pm 1\%$

Конструкция приборов.

Рефлектометры 900TDR и TDR900 имеют практически одинаковый внешний вид: Unitest Echometer 3000 выглядит так:



Все рассмотренные рефлектометры имеют числовой вывод результатов измерений, что определяет их относительно низкую стоимость. CableMeter (СВЯЗЬПРИБОР) имеет возможность вывода графической информации, как у значительно более дорогих рефлектометров:



CableMeter (СВЯЗЬПРИБОР)