

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СИММЕТРИЧНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

электропроводности, полученное в серии 5 опытов, не превысило 0,8 МСм/м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев, С.Ф. Научные исследования: информация, анализ, прогноз: монография. – Кн. 28. // С.Ф. Дмитриев, А.В. Ишков, Д.Н. Лященко, А.В. Новоженев. – Воронеж: ВГПУ, 2010. С. 580-592.
2. Ишков, А.В. Современная концепция сопряжения измерительных приборов с ЭВМ. // А.В. Ишков, С.Ф. Дмитриев. – Измерение, контроль, информатизация: Материалы восьмой междунар. научн.-техн. конф. –Барнаул: АлтГТУ, 2007. С. 3-6.
3. Дмитриев, С.Ф. Виртуализированные приборы, использующие метод вихревых токов, для контроля параметров различных объектов и окружающей среды./ С.Ф. Дмитриев, С.Г. Панов, А.В. Ишков. // - Ползуновский альманах. № 2. 2008. С. 15-20.
4. Герасимов, В.Г. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий./

- В.Г. Герасимов, В.В. Ключев, В.Е. Шатерников. – М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1983.
5. Сагалаков, А.М. Контроль и измерение. /А.М. Сагалаков, С.Ф. Дмитриев, Д.Ю. Тарусин, А.В. Ишков // Вестник ТГУ. – Бюлл. опер. научн. инф. № 64, март, 2006. С. 25-29.
 6. Гинзбург, В.Л. Электродинамика / В.Л.Гинзбург. – М.: Наука. 2004.
 7. Vernon S.N. // Mater. Eval. 1988. V.46. №12. P.1581-1587.
 8. Неразрушающий контроль материалов и изделий. / Под ред. Г.С. Самойловича. – М.: Машиностроение, 1976.

К.т.н., доцент Дмитриев С.Ф., тел. (3852) 24-76-18, e-mail: dmitrlm@mail.ru, ст. преп., аспирант Лященко Д.Н., тел. (3852) 62-83-80, e-mail: LDN-ray@yandex.ru, к.х.н., д.т.н., профессор Ишков А.В., e-mail: olg168@rambler.ru, - Алтайский государственный аграрный университет; инженер, аспирант Новоженев А.В., тел (3852) 48-57-14, - Алтайский государственный университет. г. Барнаул.

УДК 621.317.7:621.372

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СИММЕТРИЧНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

А.С. Дюбов

Приведено описание прибора для оценки количественных и статистических характеристик внутренних неоднородностей симметричных кабелей связи. Работа прибора основана на импульсном методе и статистической обработке сигнала обратного потока неоднородной линии во временной области

Ключевые слова: кабель, неоднородность, волновое сопротивление, коэффициент отражения, импульсный метод, рефлектометр

Все симметричные кабели сетей доступа и структурированных кабельных систем (СКС) в той или иной мере неоднородны. Вследствие технологических процессов при производстве, прокладке и монтаже кабеля в нем имеются отклонения от идеальной конструкции. Это приводит к тому, что электрические параметры двухпроводных цепей (ДЦ) кабеля изменяются по его длине. В частности изменяется их волновое сопротивление. Изменение волнового сопротивления называют неоднородностью. Различают внутренние, концевые и стыковые неоднородности. [1]

Внутренними называют неоднородности вызванные отклонениями в конструкции кабеля. Их величина зависит от качества использованных при производстве заготовок, постоянства электрических характеристик

А.С. ДЮБОВ

диэлектрика, диаметра и формы проводников, их взаимного расположения, точности наложения изоляции проводников, точности выполнения шага скрутки.

Стыковыми называют неоднородности, возникающие в местах соединений кабелей.

Неоднородности в начале и конце ДЦ, вызванные несогласованностью входных сопротивлений аппаратуры или нагрузки с волновым сопротивлением ДЦ, называют концевыми.

В данной работе внимание уделено оценке внутренних неоднородностей ДЦ симметричных кабелей.

Неоднородности приводят к отражению сигнала, распространяющегося по ДЦ. При наличии нескольких неоднородностей происходит многократное отражение и образуется

обратный и попутный поток. Обратный и попутный поток накладывается на основной сигнал, затрудняет согласование с аппаратурой и проявляется в виде помех, что негативно сказывается на работе особенно при использовании линии для двусторонней передачи в дуплексном режиме.

Дуплексный режим используется в 4-х парных кабелях UTP для передачи сигналов Ethernet со скоростью 1 Гбит/с

Для симметричных кабелей структурированных кабельных систем категории 5е и выше в частотной области нормируется величина обратного потока, описываемая параметром Return Loss (**RL**, затухание несогласованности, возвратные потери) [2].

Определенные таким образом возвратные потери описывают суммарный эффект от внутренних, стыковых и концевых неоднородностей. Однако на практике при разных допущениях параметр возвратные потери **RL** применяется как для оценки степени согласования аппаратуры с линией, для оценки всего канала в целом, а так же и для оценки качества кабеля, что не совсем корректно.

Расчеты показывают [3], что величина возвратных потерь в основном определяется качеством согласования, т.е. концевыми и стыковыми неоднородностями.

В [3] показано, что количественная оценка внутренних (конструктивных) неоднородностей кабеля может быть выполнена во временной области импульсным методом [1] измерения параметров неоднородных ДЦ

Импульсный метод развивается с 1950-х годов. Простой в реализации, обладая высокой производительностью, данный метод позволяет определить место сосредоточенной неоднородности, различить несколько неоднородностей и расстояние до каждой из них. Опередить характер неоднородности или повреждения, определить величину отраженной энергии, влияющей на качество передачи.

Прототипом рассматриваемого прибора послужили рефлектометры. Работа рефлектометра основана на зондирование линии импульсами напряжения, создаваемыми генератором зондирующих импульсов, и регистрация приемником обратного потока (рефлектограммы). Обычно рефлектометры отображают временную зависимость обратного потока, и оператор по наибольшему отражению судит о месте повреждения.

Однако предназначенный для поиска повреждений, современный цифровой рефлектометр и прилагаемый стандартный пакет

программного обеспечения не пригоден для количественной оценки внутренних неоднородностей и требует серьезной доработки.

Целью настоящей работы является создание прибора для оценки количественных и статистических характеристик внутренних неоднородностей симметричных кабелей связи импульсным методом.

Описание работы прибора

На рисунке 1 приведена типичная рефлектограмма кабеля UTP 5е, зарегистрированная серийным цифровым рефлектометром «Рейс-205».

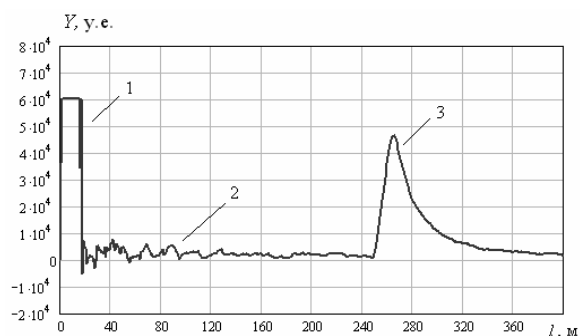


Рисунок 1 - Рефлектограмма

На рефлектограмме отмечены: 1- участок «мертвая зона», 2 - отражения от внутренних неоднородностей кабеля и 3 - отражение от дальнего конца кабеля. Интерес представляет участок 2, однако без дополнительной обработки рефлектограммы невозможно определить количественные и статистические характеристики внутренних неоднородностей, так как на нем проявляется искажение (подъем) нулевой линии зависящий от расстояния (эффект «лыжи»).

Для устранения влияния этого эффекта и других переходных процессов был разработан специальный программно-аппаратный комплекс (прибор). На рисунке 2 приведена структурная схема прибора оценки количественных и статистических характеристик внутренних неоднородностей электрических кабелей.

Работа прибора осуществляется следующим образом:

Генератор 1 зондирующих импульсов формирует импульс напряжения прямоугольной формы. Амплитуда импульса может задаваться оператором через клавиатуру 18 или посредством управляющих команд процессора 15.

Период следования импульсов определяется удвоенным временем распростране-

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СИММЕТРИЧНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

ния импульса от начала до конца исследуемого кабеля 5. Далее через блок 2 подключения импульсы поступают в двухпроводную цепь исследуемого кабеля 5.

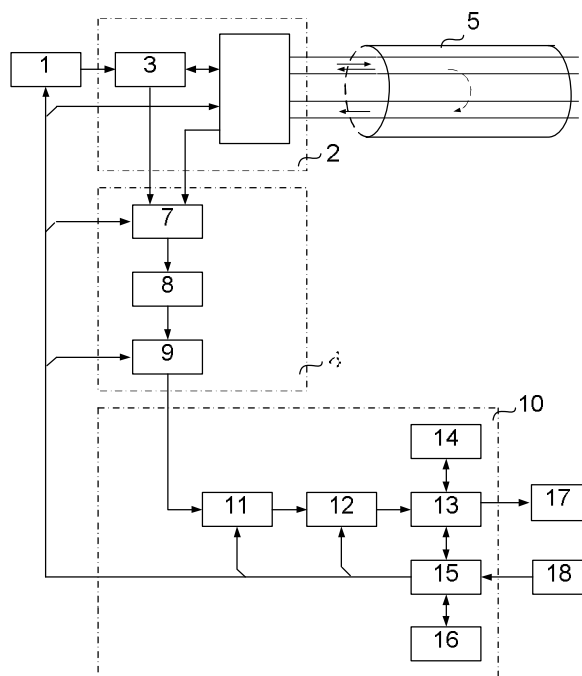


Рисунок 2 - Структурная схема прибора (пояснения в тексте)

Блок 2 подключения имеет в своем составе устройство 4 согласования, которое служит для согласования выходного сопротивления генератора 1 зондирующих импульсов и волнового сопротивления кабеля 5.

Согласование выполняется циклически и необходимо для исключения паразитных преотражений от стыка прибора и линии.

Блок подключения имеет два входа/выхода, что позволяет работать в режиме общего и раздельного входов. В режиме общего входа анализируется обратный поток одной цепи кабеля, а в режиме с раздельными входами принимается обратный поток, образованный переходом зондирующих импульсов между цепями исследуемого кабеля

Выполнение устройства 4 согласования симметрирующим дает возможность работы с симметричными кабелями и позволяет определить величину и местоположение вызванных неоднородностями сосредоточенных переходов энергии между соседними парами симметричных кабелей.

Входящее в блок 2 подключения дифференциальная система 3 обеспечивает разде-

ление зондирующих импульсов и обратного потока таким образом, что зондирующие импульсы не проходят в усилитель 7 приемника 6. В случае попадания зондирующих импульсов в усилитель 7 происходит его насыщение, что приводит к появлению «мертвой зоны» и искажениям рефлектограммы.

Необходимость использования дифференциальной системы 3 возникает при работе в режиме общего входа.

Распространяясь по кабелю 5 зондирующие импульсы частично отражаются от неоднородностей, образуя обратный поток, который через блок 2 подключения поступает в приемник 6, усилитель 7 которого усиливает сигнал обратного потока, а АЦП 8 преобразует его в цифровую форму. Отсчеты сигнала обратного потока записываются в блок 9 памяти рефлектограмм. Прибор осуществляет многократное зондирование кабеля 5, при этом блоком 9 памяти рефлектограмм выполняется накопление (усреднение) зарегистрированного потока, что увеличивает отношение сигнал/шум. В результате на выходе приемника формируется рефлектограмма кабеля аналогичная приведенной на рис 1.

Зарегистрированная рефлектोगрамма далее поступает в вычислительный блок 10 - на вход корректора 11 искажений. Корректор искажений предназначен для устранения искажений нулевой линии (рисунок 3).

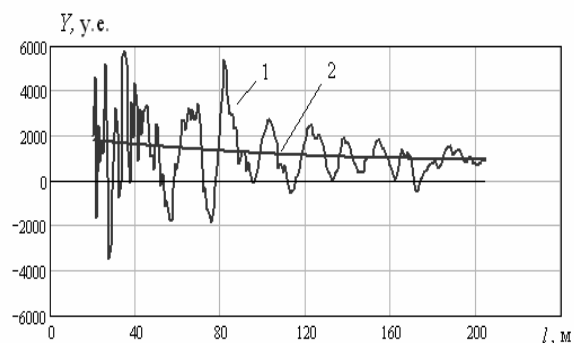


Рисунок 3 - Искажение эффект «лыжи»

Причина этого искажения – переходной процесс в кабеле и усилителе прибора, вызванный зондирующим импульсом.

Возможно устранить эффект ложки, если вычесть из рефлектограммы медленно спадающую составляющую переходного процесса. Отмечено, что эта составляющая изменяется при подключении и отключении кабеля, изменении согласования, зависит от длительности зондирующего импульса и различна для разных кабелей. Поэтому нельзя про-

РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

сто зарегистрировать нулевую линию один раз и вычитать из рефлектограмм. Каждая рефлектограмма имеет собственное искажение, хотя характер искажений общий для всех рефлектограмм

Корректор искажений 11 может быть выполнен таким образом, чтобы осуществлять устранение искажений либо на основе регрессионного анализа, либо методами аппроксимации. Ниже приведен вариант программы MathCAD реализующий коррекцию.

Программа коррекции искажений

```
// число расчетных точек
i = 0...250
// качество аппроксимации
span := 10
VXi := i
VYi := Ref0_31_18i
VS := loess(VX, VY, span)
// нулевая линия
ZerRef0_31_18(x) := interp(VS, VX, VY, x)
// смещенная рефлектограмма
R0_31_18i := Ref0_31_18i - ZerRef0_31_18(i)
```

Фрагмент рефлектограммы (рисунок 3) размером 250 отсчетов записывается в вектора VX и VY. Функция loess(VX, VY, span) возвращает вектор VX, требуемый interp, чтобы найти набор полиномов второго порядка, при этом выполняется локальное приближение в окрестностях точек определенных в векторах VX и VY. Параметр span определяет степень приближения, управляя размером окрестности, исследуемой при выполнении локального приближения. Функция interp(VS, VX, VY, x) - возвращает интерполируемое значение, соответствующее x. Полученная нулевая линия вычитается из исходной рефлектограммы.

Далее рефлектограмма поступает в амплитудный корректор 12, где осуществляется устранение искажений рефлектограммы, вызванных затуханием и дисперсией импульсов при распространении по кабельной цепи.

Коррекция затухания производится с учетом формы, длительности зондирующего импульса и импульсной характеристики кабеля 5.

В работе [3] показано, что в коаксиальных кабелях для затухания по амплитуде импульса, отраженного от обрыва или короткого замыкания можно записать:

$$a_u = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_1}{U_2} \right) = \frac{2 \cdot l / \sqrt{t_u}}{M + K \cdot 2 \cdot l / \sqrt{t_u}}, \quad (1)$$

где U₁, U₂ – амплитуды зондирующего и отраженного от обрыва (короткого замыкания) импульсов, соответственно, M, K – аппроксимирующие коэффициенты.

В работе [4] было показано, что это выражение можно использовать для отраженных сигналов и не только в коаксиальных, но и в симметричных КЦ.

Для этого в блок 16 памяти записываются не только коэффициенты укорочения (как это делается в обычных рефлектометрах), но и параметры импульсной характеристики исследуемого кабеля 5 и коэффициенты аппроксимации. Коррекция затухания поясняется рис. 4.

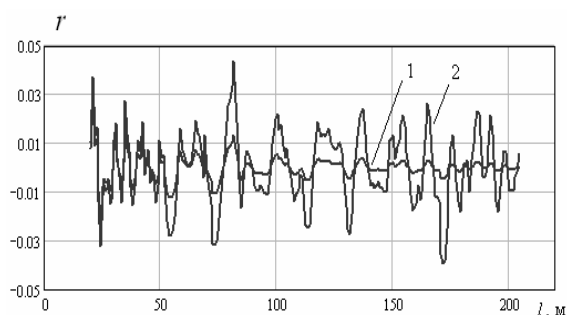


Рисунок 4 - Участок рефлектограммы:
1 – после коррекции искажений;
2 – после амплитудной коррекции

После амплитудной коррекции сигнал обратного потока поступает в блок 13 статистической обработки, в котором производится пересчет амплитуды рефлектограммы в коэффициент отражения.

Кроме того, из рефлектограммы исключаются начальный и конечный участки, поскольку в них присутствуют отражения несогласованности от концевых неоднородностей, и рефлектограмма представляется вариационным рядом коэффициентов отражения, по которому определяются статистические характеристики кабеля 5.

На рисунке 5. приведена гистограмма распределения коэффициентов отражения внутренних неоднородностей кабеля (1) и аппроксимирующая ее гауссова кривая (2).

Зарегистрированная рефлектограмма и результаты расчета (гистограмма распределения коэффициентов отражения, статистические характеристики, авто и взаимно корреляционные функции) выводятся на блок 17 индикации.

В корреляторе 14 вычисляются авто и взаимно корреляционные функции вариационных рядов коэффициентов отражения и коэффициентов переходов для выявления

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СИММЕТРИЧНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

зависимостей, характеризующих внутренние неоднородности кабеля 5.

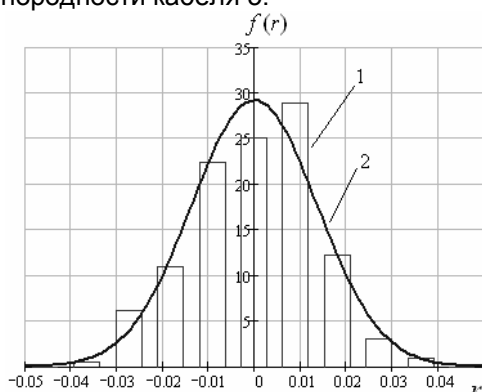


Рисунок 5 - Гистограмма и кривая распределения коэффициентов отражения

Функционирование устройства осуществляется процессором 15, под управлением программы, записанной в блоке 16 памяти.

Как уже было сказано выше, измерения могут производиться в многократном цикле для получения большей достоверности. При этом на основе результатов измерений процессор 15 задает параметры зондирующих импульсов (например, длительность или период следования), подбирает наилучшее согласование с линией, устанавливает оптимальный коэффициент усиления и коэффициенты коррекции, следит за отношением сигнал/шум зарегистрированной рефлектограммы.

Для ввода начальных установок и управления устройством может использоваться клавиатура 18. Кроме того устройство может иметь интерфейс для связи с внешним компьютером для передачи на него рефлектограмм и результатов обработки.

Программно-аппаратная реализация

Структурная схема прибора может быть реализована на основе серийно выпускаемых рефлектометров, например Рейс-205 (производитель НПО «Стэлл»), Ри-20м (производитель ЗАО «Эрстед»).

Рефлектометры подключаются к исследуемому кабелю через блок подключения 2 (рис. 2) и регистрируют рефлектограммы цепей исследуемого кабеля.

При такой реализации рефлектометр выполняет функции генератора 1, приемника 6 и часть функций вычислительного блока 10. Зарегистрированные рефлектограммы передаются в компьютер в виде файлов, содержащих последовательности их отсчетов. Затем компьютер под управлением программы

выполняет коррекцию искажений и амплитудную коррекцию, рассчитывает статистические характеристики неоднородностей, выполняет корреляционную обработку.

Результаты расчетов отображаются на мониторе и сохраняются в файле отчетов.

Блок подключения. При описанной реализации необходимо принять специальные меры для сохранения симметричности ДЦ.

Использование несимметричного входа-выхода приводит к недостоверным результатам. Например, рефлектометром Рейс-205 были зарегистрированы рефлектограммы ДЦ и рефлектограммы переходов между соседними цепями по схеме рис. 6.

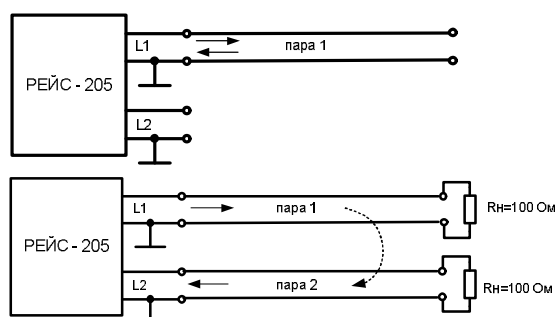


Рисунок 6 - Схема измерения рефлектограммы ДЦ (верхний) и сосредоточенных переходов между соседними ДЦ (нижний)

На рисунке 7 приведены четыре рефлектограммы пар кабеля (1;2;3;4 пара) и рефлектограммы четырех переходов между парами (1 пара ---> 2 пара; 2 пара ---> 1 пара; 3 пара ---> 4 пара; 4 пара ---> 3 пара). Несмотря на то, что при измерении переходов к дальним концам линии были подключены согласованная нагрузка (100 Ом) на рефлектограмме перехода имеется импульс отрицательной полярности.

Положение этого импульса не соответствует положению импульсов отраженных от конца линии ни для одной из пар кабеля.

Причиной этого является несимметричность входов-выходов рефлектометра, из-за чего схема измерения принимает вид, показанный на рис. 8.

Блок подключения 2 может быть выполнен на специализированных операционных усилителях, например AD815, AD8056 (производитель Analog Device) по схеме, приведенной на рисунке 9.

Подобные компенсационные схемы используются в выходных цепях модемов линий ADSL. Данная схема обеспечивает симметричный выход прибора, согласование вы-

РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

ходного сопротивления прибора с линией, разделение прямого и обратного потоков.

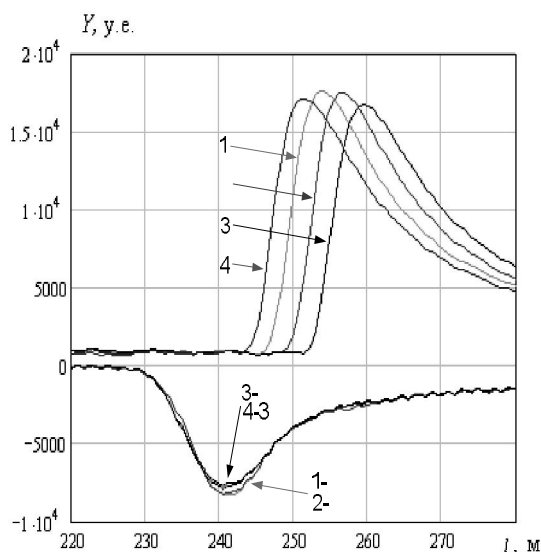


Рисунок 7 - Искажения из-за несимметричных входов рефлектометра

Программа коррекции искажения эффект «лыжи» в MathCAD. Для коррекции искажений «эффект лыжи» могут быть использованы функции полиномиальной регрессии, которые отрезками нескольких полиномов второго порядка создают аппроксимирующую кривую нулевой линии.

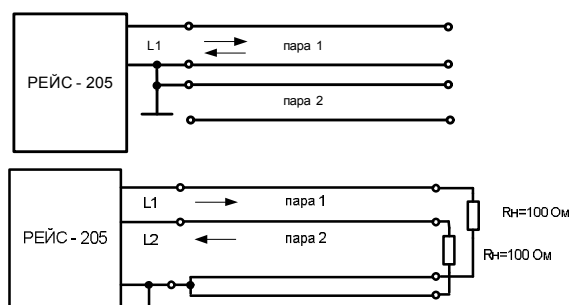


Рисунок 8 - Нарушение симметричности ДЦ

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены результаты измерений во временной области для трех симметричных кабелей. Как следует из приведенных данных, наиболее однородным является кабель PCnet ProNet UTP (patch). Среднеквадратические коэффициенты отражения (СКО) цепей кабеля PCnet ProNet UTP (patch) в 4-5 раз меньше чем в кабеле ТПП-0.4, и в 2-2.7 раза меньше чем в кабеле в MAXILAN UTP (solid).

Следует отметить, что полученные значения СКО не только различны для разных кабелей, но еще и зависят от длительности зондирующего импульса.

Результаты измерений в частотной области согласуются с результатами количественной оценкой неоднородностей во временной области.

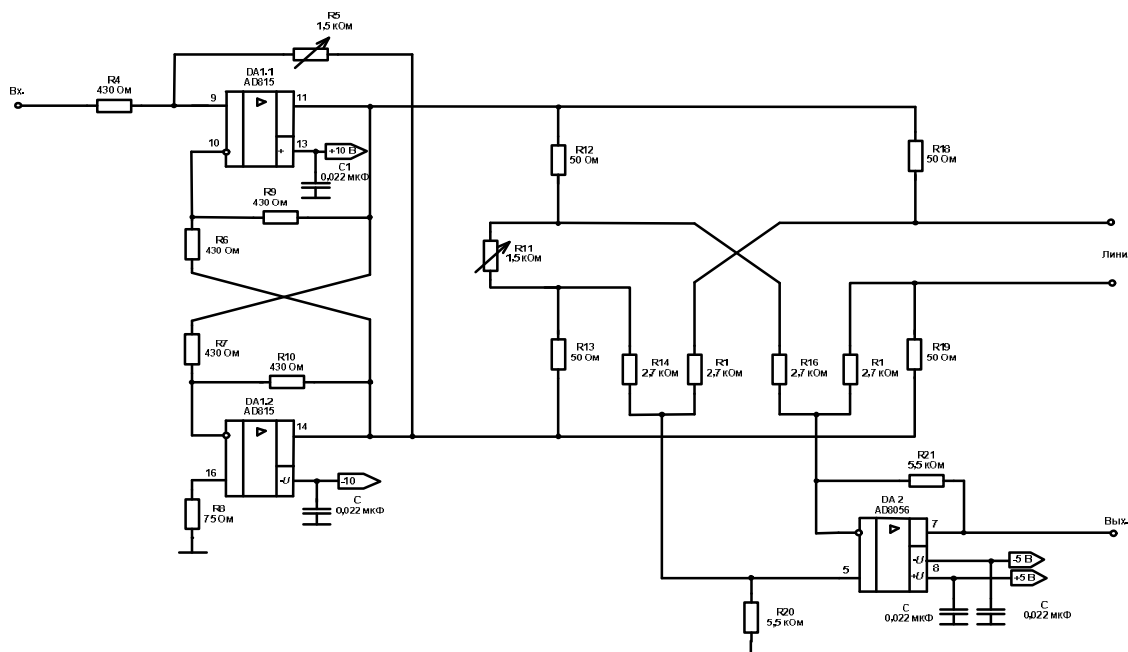


Рисунок 9 - Принципиальная схема блока подключения

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

Таблица 1. – Среднеквадратические значения коэффициентов отражения

Дли- тель- ность им- пуль- са, нс	Тип кабельной цепи		
	ТПП- 10×2×0.4	MAXILA N UTP CAT5e (solid) 4×2×24A WG	PCnet ProNet UTP CAT5e (patch) 4×2×24AWG
31.25	0.0148	0.00852	0.00346
62.5	0.0128	0.00487	0.0022
125	0.010	0.0047	0.0017

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронцов, А.С. Импульсные измерения коаксиальных кабелей связи. / А.С. Воронцов, П.А. Фролов. - М.: Радио и связь, 1985.
2. ISO/IEC 11801 Information technology –Generic cabling for customer premises Second edition 2002-09
3. Былина, М.С. Результаты экспериментальных исследований неоднородностей различных кабелей связи для широкополосного доступа и локальных сетей // М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, А.С. Дюбов. - Сб. докладов конф. «Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации линейно-кабельных сооружений – СТЛКС-2010», -СПб., 2010, С. 54–62
4. Былина, М.С., Теоретическое и экспериментальное исследование зависимости затухания импульсов по амплитуде в кабелях связи от расстояния, формы и длительности импульса. // М.С. Былина, С.Ф. Глаголев. - Труды учебных заведений связи. №174. СПбГУТ, СПб, 2006 С.34–38

Ст. преподаватель **Дюбов А.С.**, тел. +7-(952)- 226-03-11, e-mail: blip@bk.ru, Государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, кафедра линий связи (г. Санкт-Петербург).

УДК 620.179.14

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

А.В.Егоров, В.В.Поляков, С.В. Иваков

Предложен метод определения магнитной проницаемости и удельной электропроводности протяженных проводящих объектов с широким диапазоном изменений их диаметров на основе метода вихревых токов. Разработан измерительно-вычислительный комплекс и проведено его тестирование.

Ключевые слова: удельная электропроводность, магнитная проницаемость, метод вихревых токов

Для неразрушающей диагностики и оперативного выявления поверхностных и подповерхностных дефектов в проводящих объектах наиболее эффективны методы вихре-токового контроля [1]. Они основаны на резкой чувствительности удельной электропроводности, а для ферромагнетиков и магнитной проницаемости от параметров внутренней структуры проводника [2-4]. Существенное влияние на информативные параметры метода оказывают и геометрические размеры системы «вихретоковой датчик - контролируемый объект», что затрудняет интерпретацию полученных результатов.

В настоящей работе разработан измерительно-вычислительный комплекс, предназначенный для определения относительной магнитной проницаемости и удельной электропроводности сплошных цилиндрических

изделий с различным диаметром методом вихревых токов.

Постановка задачи

Метод бесконтактного измерения на переменном токе относительной магнитной проницаемости μ и удельной электропроводности σ сплошных цилиндрических изделий диаметром d с помощью проходного параметрического датчика рассмотрен в работе [5]. Этот метод основан на сопоставлении результатов измерений с рассчитанными зависимостями вносимых сопротивлений датчика.

При этом использовалось выражение для нормированного магнитного потока в образце Φ_{AH} , которое получалось из решения уравнений Максвелла и записывалось как: