



УДК 621.43.013.43, 53.082.534

**УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ  
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ***А.В. Еськов, alesc72@mail.ru, И.И. Кирюшин, kii22@rambler.ru*

Краснодарского университета МВД России, г. Краснодар

Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В данной статье рассматриваются возможности камер высокоскоростной съемки, которые позволяют использовать их для визуализации научных исследований и испытаний, а сравнительный анализ производится с помощью компьютерных программ. Повышение требований к современным двигателям внутреннего сгорания и развитие оптико-электронных измерительных технологий предопределяет разработку методов и средств диагностики параметров качества распыливания жидкого топлива.

**Ключевые слова:** аварийные режимы воздушных линий (ВЛ), мониторинг ВЛ, средства определения мест повреждений ВЛ, линии с распределенными параметрами, рефлектометры.

**AIRLINE MONITORING DEVICE ELECTRIC TRANSMISSIONS***A.V. Eskov, I.I. Kirushun*

Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Krasnodar

Altai State Technical University. I.I. Polzunova, Barnaul

This article discusses the capabilities of high-speed imaging cameras, which allow them to be used for visualization of scientific research and testing, and comparative analysis is performed using computer programs. Increasing requirements for modern internal combustion engines and the development of optoelectronic measurement technology predetermines the development of methods and tools for diagnosing the quality parameters of atomizing liquid fuel.

Разработанный прибор относится к измерительной технике и предназначен для определения расстояния до места аварии в линиях электропередачи. Принцип действия прибора: на вход контролируемого участка воздушной линии подаются зондирующие импульсы, затем осуществляется прием отраженных от места повреждения импульсов. Эти импульсы непрерывно во времени усиливаются по закону, обратному закону затухания импульсов. Затем определяется интервал времени между моментами зондирования и прихода импульсов. По интервалу времени и скорости прохождения импульса по линии определяется расстояние до места аварии. Поскольку скорость импульса в линии зависит от внешних факторов, то в приборе использована автоматическая коррекция скорости перемещения импульса. С помощью датчиков климатических факторов и компьютера определяется реальная скорость перемещения импульса и вычисляется расстояние до места повреждения. Коррекция методической погрешности от влияния внешних факторов позволяет повысить точность измерения расстояния до места аварии.

**ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день разработано довольно большое количество методов и средств определения мест повреждения, основанных на принципах локации линии. Координата аварии определяется по времени прохождения импульса от источника до места аварии и возврата к приемнику. Эти приборы отличаются простотой и минимальным временем контроля, и по этой причине по сей день выпускается большое количество таких приборов. Однако по точности определения координат аварии эти приборы не удовлетворяют заданным требованиям, а именно, погрешность может достигать сравнительно больших значений. Это связано с тем, что приборы



нормируются по инструментальным погрешностям, где не учитывается методическая составляющая.

## **I. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ**

Для мониторинга воздушных линий электропередачи широко используются рефлектометры, которые предназначены для определения расстояния до места обрыва и короткого замыкания.

Принцип действия прибора основан на локационном методе определения расстояния до места повреждения: в исследуемую линию посылаются зондирующие импульсные сигналы и принимаются отраженные от места повреждения сигналы, а затем и по временной задержке отраженных импульсов относительно зондирующих определяется расстояние до места повреждения. Скорость распространения импульса в линии зависит от внешних факторов и в существующих приборах учитывается коэффициентом укорочения, значение которого устанавливается приближенно. Приборы такого типа получили широкое распространение в энергетике из-за не сложной операции контроля и выпускаются различными отечественными и зарубежными фирмами. В настоящее время в России широко применяются приборы семейства Рейс фирмы «СТЭЛЛ» [1].

Приборам такого типа присущи следующие недостатки:

1. Низкая точность определения места повреждения, обусловленная большой погрешностью методической составляющей, а именно погрешностью задания коэффициента укорочения. Эта составляющая в отличие от инструментальной составляющей (0,2-2%) может достигать десятков процентов. Это связано с тем, что скорость распространения импульса в линии зависит от климатических факторов: влажности, температуры, гололеда и ветра и корректируется коэффициентом укорочения на основе опыта и, соответственно, не точно.

2. Сложность выделения на фоне помех полезной информации – отраженного от места повреждения импульса, поскольку в устройстве функциональный приемник представляет собой дифференциальный усилитель, на второй вход которого полагается экспоненциальный сигнал, т.е. выполняется аддитивная операция (сложение), а не мультипликативная – умножение коэффициента усиления усилителя на экспоненциальную функцию, как указано в описании устройства. Таким образом, в устройстве не корректируется коэффициент усиления сигнала по экспоненциальному закону в зависимости от времени возвращения отраженного сигнала и не повышается отношение сигнал/шум.

3. Логические операции в устройстве реализованы на элементной базе, что усложняет технологический процесс изготовления и ограничивает функциональные возможности устройства.

4. Устройство имеет сложную конструкцию для адаптации порога срабатывания формирователя импульсов. Это устройство позволяет постепенно итерационным методом подбирать уровень срабатывания. Однако при таком способе коррекции, измерение может осуществляться за несколько тактов работы устройства, что ограничивает время измерения. А также снижение надежности работы устройства.

Очевидно, что для повышения точности измерения расстояния до места аварии линий электропередачи необходимо более обоснованно выбирать значение коэффициента укорочения, который зависит от внешних факторов.



В разработанном рефлектометре выполняется автоматическая коррекция скорости прохождения локационного и отраженного импульсов по линии электропередачи. Коррекция выполняется по функциональным зависимостям параметров длинной линии, которые входят в выражение скорости, от внешних климатических факторов. Величины, характеризующие климатические факторы, измеряются датчиками. Техническая реализация коррекции фазовой скорости может осуществляться через блок обработки информации или с целью минимальной модернизации существующего прибора через блок задания коэффициента укорочения рефлектометра. В приборе также использован новый функциональный приемник, который непрерывно во времени усиливает импульсы по закону, обратному закону затухания импульсов в линии, что позволяет повысить точность регистрации отраженных импульсов за счет повышения отношения сигнал/шум. Все операции вычисления и управления выполняются с помощью цифрового устройства.

## II. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЛОК-СХЕМА ПРИБОРА

Функциональная блок-схема прибора изображена на рис. 1.

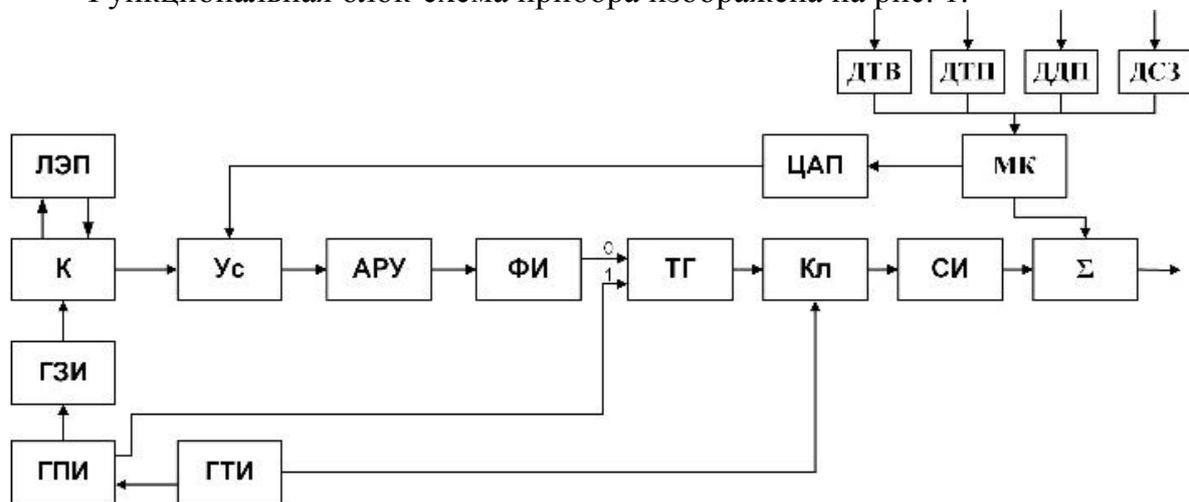
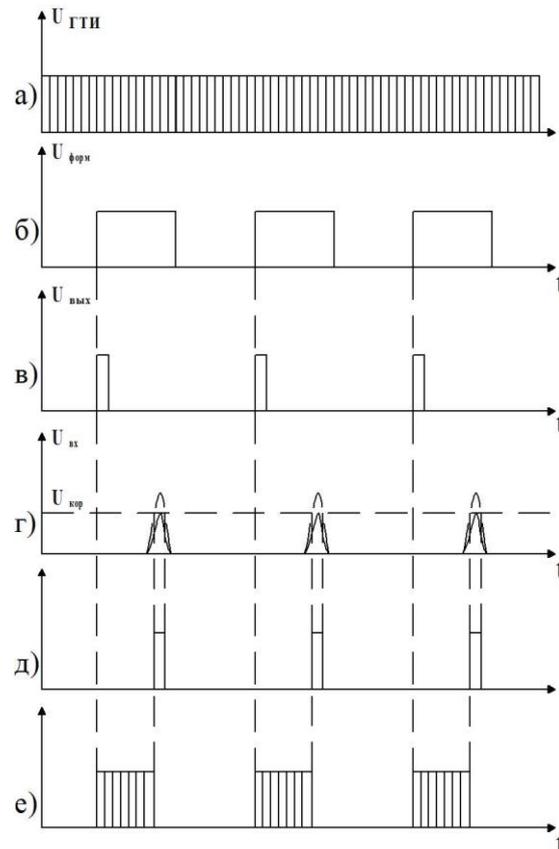


Рис. 1 - Функциональная блок-схема прибора

Она содержит генератор тактовых импульсов (ГТИ), генератор прямоугольных импульсов (ГПИ), генератор зондирующих импульсов (ГЗИ), коммутатор (К), адаптивный усилитель (Ус), блок стабилизации параметров (АРУ), формирователь импульсов (ФИ), выход которого соединен с «0» входом триггера (ТГ), вход «1» которого соединен с генератором прямоугольных импульсов, выход ТГ соединен с первым входом ключа (Кл), а второй вход соединен с генератором тактовых импульсов, выход ключа соединен с входом счетчика импульсов (СИ). Устройство содержит микроконтроллер (МК) к аналоговым входам которого подключены датчики температуры провода, температуры воздуха, диэлектрической проницаемости воздуха и удельной проводимости земли, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), сумматор (Σ), к входам которого подключены микроконтроллер и счетчик импульсов (СИ).

## III. ПРИНЦИП РАБОТЫ УСТРОЙСТВА

Устройство работает следующим образом (Рис. 2). ГЗИ на основе импульсов (рис 2.а) ГТИ вырабатывает зондирующие импульсы (рис 2.б) с заданными параметрами: длительность и периодом. К осуществляет коммутацию зондирующих и отраженных импульсов на объект измерения и вход Ус, а также коммутацию отраженных усиленных Ус импульсов на вход АРУ (рис. 2.в).

**Рис. 2 – Графики**

ФП формирует прямоугольный импульс, положение фронта и среза которого определяется по отраженному импульсу на уровне порога срабатывания  $U_{пор}$  (рис. 2.г). Переключение ТГ осуществляется за счет импульса от ФП и ГПИ. (рис.2.д). Кл открывается от импульса поступившего от ТГ и ГТИ, при совпадении импульсов начинает работу СИ (рис.2.е.), который считает импульсы сгенерированными ГТИ, пока открыт Кл.  $\Sigma$  суммирует данные СИ и поправочного коэффициента МК. Блок стабилизации параметров (АРУ) информационного сигнала (фиг.3), содержат усилитель информационного сигнала (1) с двумя контурами отрицательной обратной связи, первый контур стабилизации уровня шумов выполнен в виде подключенной к выходу усилителя информационного сигнала последовательной цепи из пикового детектора (4), подключенного общей точкой к положительной шине питания, и усилителя (2), соединенного через резистор с входом усилителя информационного сигнала, второй контур стабилизации амплитуды информационного сигнала выполнен в виде последовательной цепи из пикового детектора (4), подключенного общей точкой к нулевой шине питания, а выходом к инвертирующему входу дифференциального усилителя (3) через цепь пикового детектора подключенного общей точкой к общей шине (5), а к не инвертирующему входу которого подключен потенциометр  $R_{зад}$ , выполняющий функцию задающего устройства, выход дифференциального усилителя соединен с оптроном (6), включенным в цепь обратной связи усилителя информационного сигнала, которая управляет коэффициентом усиления, а выход усилителя соединен с входом ФИ, выход которого соединен с «0» входом ТГ, на «1» вход которого соединен с ГПИ, выход ТГ соединен с первым входом Кл, а второй вход соединен с ГТИ, выход Кл соединен с входом



СИ, выход которого соединен с первым входом  $\Sigma$ , на второй вход которого подключен первый выход МК.

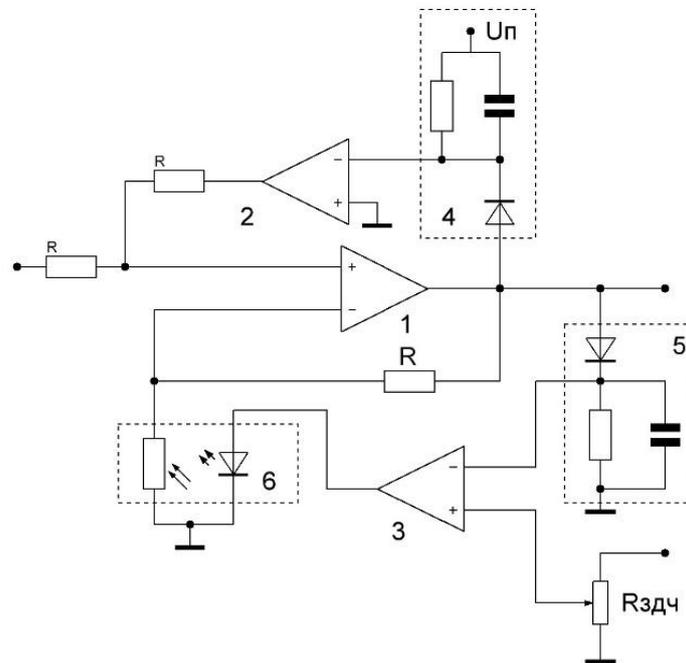


Рис. 3 - Блок стабилизации параметров

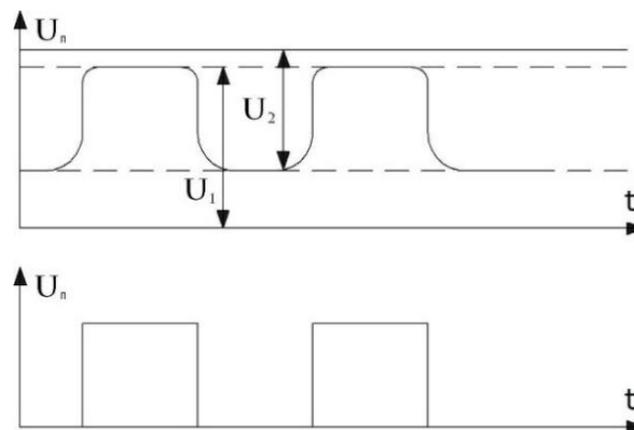


Рис. 4 – График стабилизации

При изменении амплитуды сигнала, поступающего с усилителя  $U_1$  (рис. 4) изменяется соответственно и разность напряжения между амплитудой импульса и падением на нелинейном элементе, которая в свою очередь преобразуется RC-цепью пикового детектора 5 в постоянное напряжение  $U_1$ . Изменение напряжения на выходе пикового детектора управляется при помощи оптрона 6 коэффициентом усилителя информационного сигнала 1 за счет шунтирования резистора в оптроне 6, таким образом, чтобы величина амплитуды импульса на выходе усилителя информационного сигнала 1 оставалась постоянной.

Сигнал с усилителя информационного сигнала 1 поступает на пиковый детектор 4, который «устраняет провалы» импульса относительно положительного напряжения питания, т.е. преобразует импульсы в постоянное напряжение  $U_2$  относительно  $U_n$  и напряжения  $U_n - U_2$  относительно нулевой точки. Сигнал обратной



связи изменяется через сопротивление оптрона. Коэффициент усиления определяется по формуле:

$$R = \frac{R}{R_{\text{оптр}}} + 1 \quad (1)$$

Коэффициент увеличивается до тех пор, пока напряжение импульса не будет равно напряжению задатчика с некоторой ошибкой. Поскольку система является статичной и зависит от элемента 3. Таким образом стабилизация напряжения уравнивается относительно напряжения питания ( $U_n$ ).

Пиковый детектор преобразует импульс напряжения в постоянное, и поскольку постоянная времени разрядки конденсатора превышает время импульса, то пикдетектор преобразует постоянное напряжение в постоянное напряжение, следовательно, равно максимальному значению импульса. Напряжение с конденсатора поступает на инвертирующий вход усилителя 3, а на неинвертирующий вход поступает значение с  $R_{\text{здч}}$ . Если максимальное значение не равно  $R_{\text{здч}}$ , то сигнал поступает на оптрон, который через сопротивление меняет коэффициент усиления таким образом, что бы максимальное напряжение было равно  $R_{\text{здч}}$  с некоторой ошибкой, поскольку система является статичной.

Контур с пикдетектором 4 осуществляет устранение «дрейфа нуля» и шумы. Сигнал с выхода поступает на пикдетектор, который преобразует и устраняет минимальный уровень сигнала в постоянное напряжение, которое поступает на вход усилителя и осуществляет вычитание этого сигнала из информационного сигнала, поскольку амплитуда с пикдетектора не сравнивается с задающим сигналом, то этот контур стремится к минимальному значению сигнала, таким образом на выходе усилителя получается сигнал с нулевой линией значения амплитуды и преобразуется в прямоугольный сигнал с минимальной погрешностью.

По измеренным с помощью датчиков параметрам: температуры провода, температуры воздуха, диэлектрической проницаемости воздуха и удельной проводимости земли, и заданным функциональным зависимостям с помощью МК вычисляются скорость распространения импульса в линии или коэффициент укорочения. МК вычисляет также значение сопротивления для коэффициента затухания линии, поступающее через ЦАП на вход  $U_c$ . Затем по вычисленным значениям определяется расстояние до места аварии. Указанное отличие позволяет повысить быстродействие, поскольку климатическая поправка изменяется и вычисляется во времени более медленно в отличие от времени преобразования длительности импульса в цифру и все расчеты выполняются за два такта работы устройства. Опрос датчиков происходит не каждую итерацию работы алгоритма, а только лишь в заданное время.

#### Список цитируемой литературы

1. Патент на изобретение РФ 2098838, Способ определения расстояния до места повреждения и длины проводов и кабелей линий электропередачи и связи и устройство для его осуществления, МПК G 01 R 31/11, 10.12.1997.
2. Бессонов, А. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи / А. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1978. – 528 с.
3. Шилин А.Н., Шилин А.А., Артющенко Н.С. Расчёт погрешностей рефлектометров для мониторинга линий электропередачи // Контроль. Диагностика. – 2015. – N 9. – С. 52-59.
4. Марголин Н.Ф. Сопротивление воздушных линий передачи / Н.Ф. Марголин – М.: Мособлполиграф, 1937. – 61с.