УДК 621.39:504

ГОРДЕЕВ БОРИС НИКОЛАЕВИЧ, к.т.н., директор Advanced Measuring Instruments Company (AMICO)

ЖУКОВ ЮРИЙ ДАНИЛОВИЧ, д.т.н., профессор НУК, генеральный директор Advanced Measuring Instruments Company (AMICO)

ИВАНЧЕНКО АЛЕКСАНДР ТИХОНОВВИЧ, инженер-программист Advanced Measuring Instruments Company (AMICO)

ИВАНЧЕНКО ТИХОН ВАСИЛЬЕВИЧ, главный специалист Украинского радиотехнического института (УРТИ)

СЛИВИНСКИЙ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ, к.ф.м.н., снс Украинского радиотехнического института

ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ УРОВНЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ЖИДКИХ И СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ

Разработан метод контроля уровней экологически опасных жидких и сыпучих веществ, в том числе в закрытых емкостях, с использованием уровнемеров на основе однопроводных линий. Рассматриваются принципы измерения уровней жидких и сыпучих веществ, приводятся результаты экспериментальных исследований характеристик однопроводных линий для коротких (наносекундных) импульсных сигналов. Описываются результаты практической отработки использования однопроводной линии для определения в реальных условиях границы раздела некоторых сыпучих и жидких сред.

The method of verification of levels of ecological dangerous fluid and free-flowing materials, including in closed capacitances, with usage of level gauges is designed on the basis of single-wire lines. The principles of measurement of levels of fluid and free-flowing materials are considered, the outcomes of experimental researches of the characteristics of single-wire lines for short (nanosecond) pulse signals are resulted. The outcomes of adjustment of practical usage of a single-wire line for definition in actual conditions a demarcation some fluid and

Постановка проблеми, її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Оперативный контроль уровней жидких и сыпучих веществ на экологически опасных объектах, таких как нефтехранилища, хранилища сжиженного газа, объекты атомной энергетики, водоемы и др., представляет собой важную задачу. Существует большое число задач по измерению уровня агрессивных, токсичных сред, находящихся в сосудах при высоких температурах и давлениях. В связи с этим, значительно повысились требования к надежности и конструктивной простоте датчика уровнемера, размещенного в сосуде. Датчик должен не только обеспечивать высокую точность измерения, но и сохранять свои выходные параметры в течение длительного времени, причем регламентные работы с его извлечением из сосуда подчас исключаются. Так как ассортимент контролируемых сред значительно расширился и эксплуатационные условия усложнились (наличие газовых включений в контролируемой среде, значительное изменение ее физико-химических свойств в процессе измерения, большие перепады температур и т. п.), традиционные методы измерения

– ультразвуковой, емкостный, радиоизотопный, оптический, буйковый, поплавковый, индукционный и другие – не всегда отвечают требованиям, предъявляемым к измерителям.

Мета дослідження

В значительной мере предъявляемым практикой требованиям отвечает высокочастотный метод измерения неэлектрических величин [1], использующий различные свойства электромагнитных систем с распределенными параметрами.

Викладення основного матеріалу

Наиболее широко данный метод используется в системе автоматизированного дистанционного контроля уровня жидких и сыпучих веществ “САДКО”, в которой в качестве датчика применяется двухпроводная линия передачи [2]. Указанная система имеет высокие точностные характеристики (погрешность измерения уровня не превышает 2-3 мм), проста и надежна в эксплуатации. Однако, в связи с громоздкостью двухпроводных линий, сложностью их конструкции и низкой прочностью, особенно при воздействии крутящих моментов сил, применение их в качестве датчика ограничено, а в ряде случаев, например, для измерения уровней сыпучих веществ практически невозможно. Отмеченных недостатков лишена однопроводная линия передачи, которая представляет собой металлический провод с диэлектрическим покрытием или без диэлектрического покрытия, вдоль которого распространяется поверхностная волна.

Из теории однопроводных линий [3-5] следует, что при пересечении поля поверхностной волны границы раздела двух сред, отличающихся диэлектрической проницаемостью, происходит отражение части электромагнитной энергии в обратном направлении. Коэффициент отражения зависит от градиента показателя преломления данных сред на границе раздела. Затухание поверхностной монохроматической волны вдоль однопроводной линии составляет 0,02…0,04 дБ/м в зависимости от типа однопроводной линии и используемого диэлектрического покрытия.

Расстояние S до границы раздела сред определяется по задержке времени прихода отраженной волны относительно момента излучения (t_c) в соответствии с выражением

$$S = V \cdot t_c / 2,$$

где V – скорость распространения поверхностной волны.

Согласно теории однопроводных линий фазовая скорость распространения поверхностной волны несколько меньше скорости света, т. е. поверхностные волны относятся к “медленным” волнам. Так, для однопроводной линии из меди диаметром

1 см фазовая скорость $V \approx c \cdot \{1 - 5{,}5 \cdot 10^{-6}\}$. Очевидно, что для практических целей замедлением поверхностных волн можно пренебречь и считать скорость распространения равной скорости света в среде (к примеру, погрешность для 20 м однопроводной линии будет составлять при этом ≈ 0,1 мм).

Для селекции прямой и отраженной волны вполне приемлемы принципы, используемые в радиолокации, т. е. для возбуждения поверхностной волны должны использоваться короткие импульсы с формой, близкой к прямоугольной (Рис. 1). Период повторения импульсов (Тп) должен быть больше задержки прихода отраженной волны от конца однопроводной линии.

На практике для получения приемлемой точности в определении границы раздела различных сред используются импульсные сигналы длительностью 1 нс. Некоторые измерительные

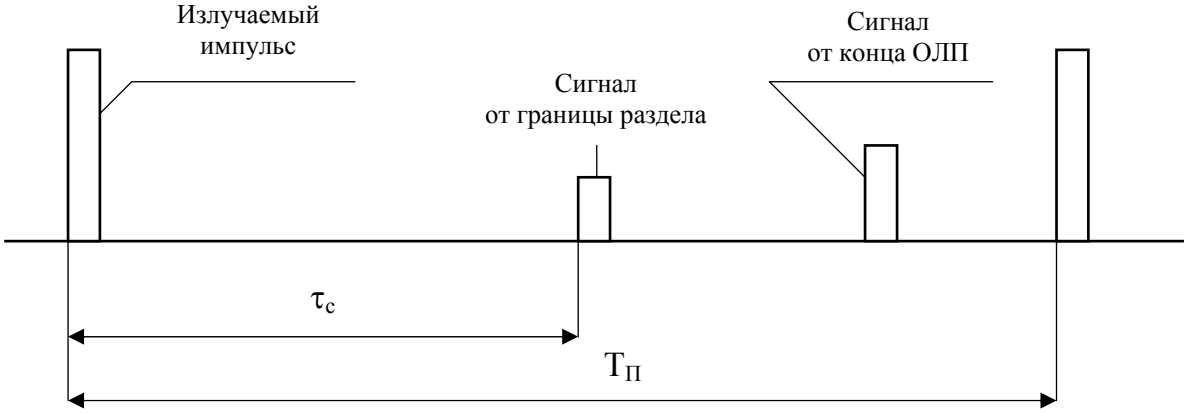

Рис. 1

В связи с этим, наиболее привлекательны для практического использования измерительные устройства, использующие короткие видеоимпульсы, поскольку задача формирования и приема (обработки) видеоимпульсов значительно проще и достаточно хорошо отработана на практике.

С другой стороны, такой подход потребовал более детального исследования характеристик возбуждения поля поверхностной волны коротким видеоимпульсом и распространения ее вдоль однопроводной линии передачи (ОЛП), поскольку, как известно, теория ОЛП даётся применительно к монохроматическому полю, а расчеты характеристик ОЛП для коротких импульсных (наносекундных) сигналов представляют достаточно сложную самостоятельную задачу и позволяют получить весьма приближенные оценки. В связи с этим, основной упор на решение вопросов возбуждения поверхностной волны наносекундным импульсом, распространения ее вдоль однопроводных линий различного типа, а также отражения от границы раздела сред был направлен на экспериментальные исследования.

В качестве однопроводной линии в экспериментах использовались:

- полый стальной трос диаметром 14 мм, такой трос целесообразно использовать для измерения уровня сыпучих веществ;
- отрезки кабеля РК75-9-13 различной длины (запитывалась внешняя оплетка кабеля);
- металлопластиковые водопроводные трубы диаметром 16 мм различной длины от 4 м до 20 м (подобные однопроводные линии могут использоваться для контроля уровня жидких веществ, в том числе, как химически агрессивных, так и экологически чистых).

Из теории однопроводных линий следует, что для возбуждения поля поверхностной волны вдоль однопроводной линии передачи могут использоваться излучатели различного типа. Наиболее эффективными из них являются следующие [4, 5, 8, 9]:

- антенна Бевереджа;
- щелевые излучатели на основе отрезков волновода (резонаторов) прямоугольного и круглого сечения;
- рупорные излучатели;

В связи с этим, для возбуждения поверхностной волны вдоль однопроводной линии (ОЛП) были изготовлены указанные излучатели и оценена их эффективность на различных частотах для монохроматических волн, а также эффективность возбуждения поля поверхностной волны коротким (наносекундным) импульсом.

Результаты экспериментальных исследований показали, что для возбуждения поверхностной волны монохроматическим полем наиболее эффективны щелевые излучатели на основе отрезков волноводов прямоугольного и круглого сечения, а также рупорные излучатели различной формы, причем эффективность их примерно одинакова при правильном подборе их размеров. Несколько хуже характеристики возбуждения поверхностной волны были получены с помощью излучателей в виде антенны Бевереджа.

При использовании коротких видеоимпульсов для возбуждения поверхностной волны вдоль ОЛП лучше всего подходят конические рупорные излучатели благодаря их простоте изготовления, а главное – их широкополосности. Это позволяет значительно варьировать размерами излучателя, не снижая существенно эффективность возбуждения поверхностной волны при использовании импульсных видеосигналов.

Затухание поля поверхностной волны для импульсных наносекундных сигналов незначительное (0,02-0,05 дБ/м в зависимости от типа используемой ОЛП), причем поле поверхностной волны сосредоточено вблизи ОЛП (в трубке радиусом 8…15 см относительно ОЛП) и убывает по экспоненте вдоль радиуса. Следует отметить, что такое низкое затухание поля поверхностной волны дает значительное преимущество в использовании однопроводных линий для измерения положения границы раздела различных сред, например, по сравнению с мини радиолокаторами, которые используют пространственную волну, имеющую затухание в сотни раз выше. Плавные изгибы однопроводной линии не нарушают распределения поля поверхностной волны вдоль линии. Этот факт позволяет использовать ОЛП для контроля уровней различных сред в емкостях сложной формы.

Полученный в экспериментах коэффициент отражения от границы раздела двух сред соответствует результатам теоретических расчетов в приближении геометрической оптики.

В экспериментах исследовано отражение поля поверхностной волны от границы раздела “воздух-вода”, “воздух-керосин” и “воздух-зерно”, при этом получено, что уровень отраженного от границы раздела веществ сигнала и принятого приемником составляет 10-20% от уровня зондирующего сигнала, погрешность определения границы раздела сред не превышает 3 мм.

В процессе экспериментальных исследований была полностью отработана схема измерительного комплекса определения границы раздела жидких и сыпучих веществ на основе однопроводных линий. Структурная схема данного комплекса приведена на рис. 2.

Датчик в составе однопроводной линии и устройства возбуждения и приема поверхностной волны (рупорной антенной) крепится в крышке или стенке резервуара (при необходимости герметично).

Приемо-передатчик обеспечивает формирование последовательности импульсных наносекундных сигналов амплитудой 10 в и прием отраженных от границы раздела и от конца

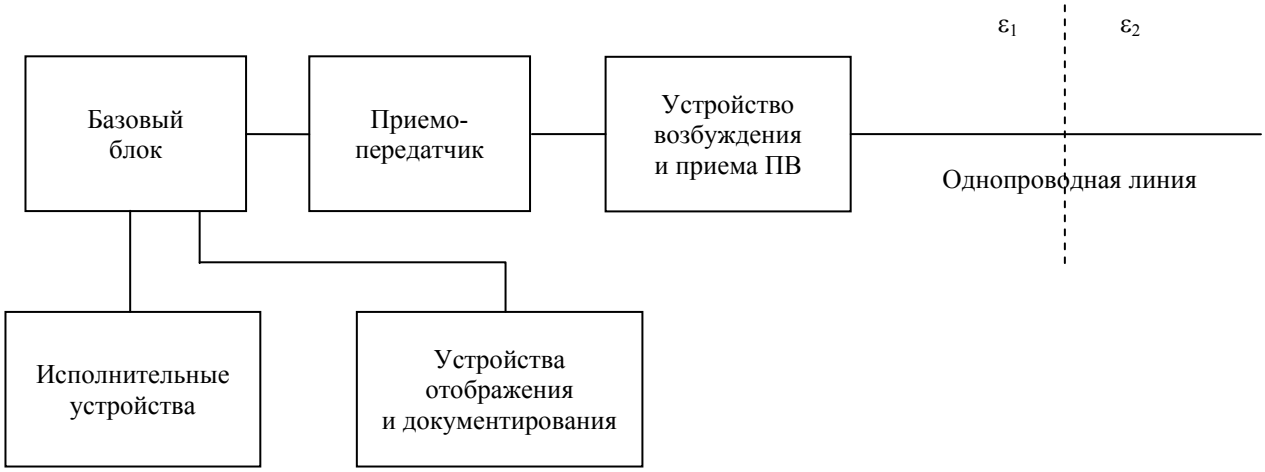

Рис. 2

однопроводной линии сигналов. Приемо-передатчик подключается к датчику и может быть при необходимости быстро заменен, не нарушая производственных процессов.

Базовый блок служит для управления работой приемо-передатчика и регистрации импульсных сигналов.

Как известно, при регистрации импульсных процессов пико- и наносекундной длительности возникают специфические трудности обусловленные тем, что современные электронные приборы не обладают достаточным быстродействием. Поэтому часто при регистрации таких процессов используют метод стробоскопического преобразования [10]. Для использования данного метода необходимо, чтобы регистрируемый сигнал был повторяющимся. В импульсной рефлектометрии это достигается многократным зондированием объекта и приеме отраженных сигналов [11].

Висновки

1. В используемой схеме измерений применяется метод импульсной рефлектометрии для выделения и регистрации зондирующего и отраженного от границы раздела сред и от конца ОЛП импульсов.
2. Входящий в базовый блок микроконтроллер или ПЭВМ служит для обработки сигнальной информации, принятия решений и выдачи команд на различные исполнительные устройства (сигнализация, задвижки, механизмы управления транспортерами и др.), а также для отображения и документирования результатов контроля.
3. Следует добавить, что внутри полых

Література

1. В. А. Викторов, Б. В. Лункин, А. С. Совлуков, Высокочастотный метод измерения неэлектрических величин. “Наука”, М., 1973.
2. Патент Украины № 31791.
3. Л. А. Вайнштейн, Электромагнитные волны. “Сов. Радио”, М., 1957.
4. Г. Т. Марков, Антенны, ГЭИ, М., 1960.
5. Г. И. Азаров, Г. И. Трошин, А. С. Ильинский, О. Ю. Перфилов и др. в сб. Актуальные вопросы проектирования антенно-фидерных устройств средств радиосвязи и радиовещания. “Сайенс пресс”, М., 2001.
6. В. А. Викторов. Принципы построения высокочатотных уровнемеров. Приборостроение № 16, 1966.
7. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов / Г. В. Глебович, А. В. Андриянов, Ю. В. Введенский и др.; Под редакцией Г. В. Глебовича. – М.: Радио и связь, 1984.
8. H. H. Beverage, C. W. Rice, E. W. Kellog, Trans. A. I. E. E., 42, 215, 1923.
9. Г.З. Айзенберг, В. Г. Ямпольский, О. Н. Терёшин, Антенны УКВ, ч. 1; 2, “Связь”, М., 1977.
10. Рябинин Ю. А. Стробоскопическое осциллографирование. Изд. 2-е, дополненное и переработанное. М.: Издательство “Советское радио”, 1972. – 272 с.
11. Применение метода импульсной рефлектометрии для измерения уровня и расстояния до раздела жидких сред / Б.Н. Гордеев, А.Ю. Грешнов, Ю.Д. Жуков, Е.О. Прищепов // Электромеханика. – 1995. – № 4.