

Волноводные радарные уровнемеры



В статье рассказано о технологии радарных уровнемеров и TDR-уровнемеров. Представлены TDR-уровнемеры волноводного типа УМВ-СЕНС.

НТППК «ПЛАЗВАК», г. Москва

Научно-технический и промышленно-производственный кооператив «ПЛАЗма и ВАКуум» (НТППК «ПЛАЗВАК») был основан в Советском Союзе для нужд атомной промышленности: предприятие должно было выпускать установки плазменно-ионной имплантации и безмасляные вакуумные насосы. Поскольку предприятие было основано в 1989 году, через несколько лет ему пришлось искать возможности для расширения своей сферы деятельности. Новым направлением работы стала поставка на российский рынок немецких высококачественных приборов контроля уровня «Кюблер», а со временем – и изготовление этого оборудования. Эти уровнемеры должны были выдерживать температуру до 400 °С и давление до 420 бар, в их производстве специалисты компании «ПЛАЗВАК» применяли собственные уникальные технологии высокоточной сварки и металлообработки. В настоящее время компания вошла в группу компаний КСР, где практически полностью локализовано производство данных уровнемеров, а также сигнализаторов и другого оборудования и выпускается линейка приборов контроля уровня, способных удовлетворить потребности практически любого промышленного предприятия. В статье мы расскажем о некоторых моделях линейки.

тронов (генераторов СВЧ-излучения) разработали бытовые микроволновые печи, а принципы радиолокации были положены в основу промышленных измерительных приборов: дальнометров, высотометров и уровнемеров.

Впервые измерительное оборудование, использующее радиолокацию, появилось в нефтяной отрасли. Этому способствовал нефтяной кризис 1973 года: нефть подорожала, и для ее погрузки, транспортировки танкерами и отгрузки потребовались датчики, способные с высокой точностью измерять количество продукта и обеспечивать надежный контроль его расхода. Такой прибор изготовила компания Saab, производитель радиолокационных станций для самолетов и морских судов. Первый радарный уровнемер ее разработки установили на танкер в 1976 году, а через десять лет эта компания, уже войдя в группу Emerson и выпуская приборы бренда Rosemount, стала лидером рынка уровнемеров как для морских, так и для стационарных применений.

Интересно, что адаптация радарного прибора для гражданских целей потребовала от компании повысить его характеристики. Так, в отличие от военной техники уровнемер должен был надежно работать на протяжении не нескольких часов, а нескольких лет, иметь возможность выдерживать экстремальные значения температуры и давления, быть устойчивым к агрессивным, коррозионным, взрывоопасным средам, при этом стоимость изделия должна была оставаться доступной для промышленных заказчиков.

Волноводные радарные уровнемеры (которые иначе называют микроволновыми, микроимпульсными, рефлекс-радарными или контактными) являются разновидностью радарных уровнемеров – приборов, использующих для определения уровня радиоволны, но оснащены волноводом для погружения в измеряемую среду. В отличие от других радарных уровнемеров им требуется контакт с измеряемой средой, что является своего рода недостатком. Однако он компенсируется такими достоинствами, как высокая точность и повторяемость измерений, минимальный размер «мертвых» (нечувствительных) зон, способность работать при экстремальных давлениях и температурах рабочей среды, а также определять границу раздела несмешивающихся жидкостей, нечувствитель-

ность как к конденсации насыщенных паров, так и к форме сосуда или технологического аппарата.

Первые радарные уровнемеры

Слово «радар», означающее радиолокационную станцию, было придумано в 1940 году в Военно-морских силах США и изначально представляло собой аббревиатуру от Radio Detecting And Ranging – «радиообнаружение и измерение дальности». В те годы – накануне и во время Второй мировой войны – системы радиолокации разрабатывались несколькими странами в военных целях. Позже слово радар перекочевало в общеупотребительную лексику и перестало восприниматься как аббревиатура, а военные технологии нашли общепромышленное применение. Например, на основе магне-

Уровнемеры TDR

В 1990-х годах появилась технология TDR (от Time Domain Reflectometry – рефлектометрия во временной области), использующая для контроля электрических линий отраженный электромагнитный сигнал. Данная технология позволяла находить место обрыва или неисправности подводных и подземных кабелей: электрических, телефонных, коммуникационных. По форме и времени прохождения отраженного электромагнитного сигнала можно было быстро определить и точно локализовать неисправность.

Немецкая компания KROHNE, известный производитель контрольно-измерительного оборудования, использовала эту технологию для приборов измерения уровня жидкости и в 1996 году выпустила первый рефлекс-радарный уровнемер.

TDR-уровнемеры оснащены волноводом, который погружается в измеряемую среду. По волноводу распространяется микроволновый электромагнитный импульс, отражающийся от поверхности измеряемой среды или границы раздела двух сред и возвращающийся в принимающее устройство. По времени, которое проходит от

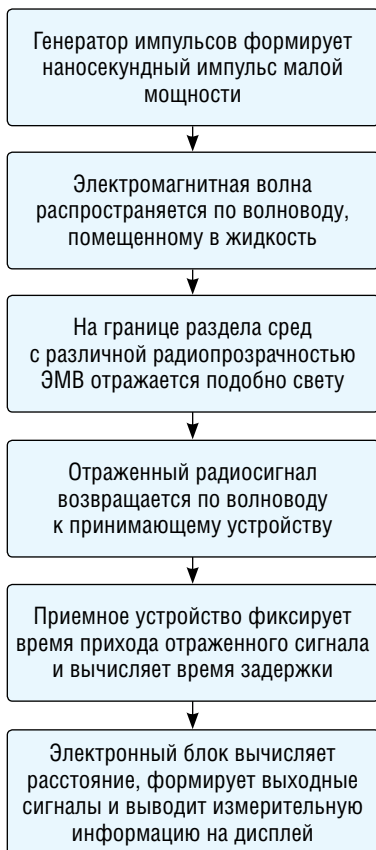


Рис. 1. Алгоритм работы TDR-уровнемера волноводного типа

момента излучения опорного импульса до приема обратного импульса, уровнемер вычисляет уровень среды. Алгоритм работы TDR-уровнемера волноводного типа представлен на рис. 1.

Отражение электромагнитного импульса происходит за счет разницы диэлектрической проницаемости сред. Амплитуда отраженного сигнала зависит только от физических свойств среды (характеристического сопротивления Z_i). Чем выше диэлектрическая проницаемость среды, тем выше коэффициент отражения и амплитуда отраженного сигнала A_2 .

$$Z_i = \sqrt{\frac{\mu_i}{\varepsilon_i}} - \text{характеристическое сопротивление,}$$

где ε – диэлектрическая проницаемость среды, μ – магнитная проницаемость среды.

$$A_2 = A_1 \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}} - \text{амплитуда отраженного сигнала,}$$

где A_1 – амплитуда опорного сигнала.

Для того чтобы показать преимущества волноводных радарных уровнемеров, перечислим требования, которые выдвигаются к бесконтактным радарным уровнемерам.

► Первое из них относится к длительности импульса. Излучаемый уровнемером сигнал должен закончиться прежде, чем в приемник поступит отраженный импульс. Эта характеристика зависит от такого параметра, как минимальное расстояние, которое требуется измерить. Типичная длительность импульсов радарного уровнемера составляет несколько наносекунд.

$$t_p < 2 \cdot \frac{R_{min}}{c},$$

где R_{min} – минимальное измеряемое расстояние, c – скорость распространения электромагнитных волн (скорость света).

► Второе требование относится к периоду следования импульсов. Он должен быть достаточно большим для того, чтобы следующий излучаемый импульс сформировался не раньше, чем в приемник поступит отраженный импульс предыдущего цикла. Эта характеристика зависит от максимального расстояния, которое требуется измерить.

$$T_p > 2 \cdot \frac{R_{max}}{c},$$

где R_{max} – максимальное измеряемое расстояние, c – скорость распространения электромагнитных волн (скорость света).

► Третье требование касается мощности импульса. Излучаемый импульс должен быть достаточно мощным, чтобы обеспечить в принятом сигнале требуемое соотношение сигнала и шума. Согласно основной формуле радара, мощность, отраженная от цели, и измеряемое расстояние находятся в обратной пропорциональной зависимости четвертой степени:

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_s \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{P_e \cdot (4\pi)^3}},$$

где P_s – мощность излучателя, P_e – минимальная чувствительность приемника, G – коэффициент усиления антенны, λ – длина волны, σ – эффективная площадь рассеивания.

В некоторых ситуациях, таких как низкая диэлектрическая проницаемость среды, большой диапазон измеряемых уровней, ограничение допустимой мощности (при двухпроводном подключении «токовая петля» 4–20 мА), третье требование становится трудновыполнимым.

► Наконец, необходимо упомянуть ограничения, вызванные малыми измеряемыми расстояниями. Когда время задержки отраженного сигнала находится в пикосекундном диапазоне, для измерения временного интервала необходимо применять специальные аппаратные и программные средства.

Применение волноводных уровнемеров TDR дает ряд несомненных преимуществ по сравнению с бес-

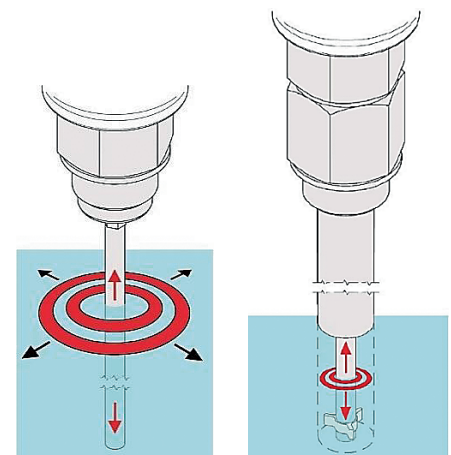
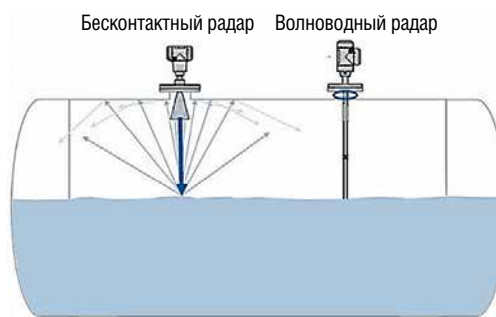


Рис. 2. Волновод TDR-уровнемеров обеспечивает низкий уровень шумов



Насыщенный пар и (или) конденсация на антенне вызывают дополнительную погрешность

Рис. 3. Влияние насыщенного пара и (или) конденсации влаги на показания бесконтактного и волноводного радарного уровнемеров



Отражения от стенок горизонтальной емкости нарушают работу уровнемера

Рис. 4. Влияние формы резервуара на сигналы бесконтактного и волноводного уровнемеров

контактными радарными уровнемерами:

- благодаря волноводу, внутри которого локализована электромагнитная энергия, TDR-уровнемеры отличаются низким уровнем шумов, а значит, более высокой точностью и повторяемостью измерений (рис. 2);

- данные приборы выдерживают экстремальные характеристики рабочей среды: давление до 30 МПа и температуру до 400 °С;

- если у бесконтактного радарного уровнемера насыщенные пары и конденсация влаги вызывают дополнительную погрешность измерений (так как они воздействуют на скорость распространения электромагнитной волны), то волноводный радарный уровнемер к ним нечувствителен (рис. 3);

- также на TDR-уровнемер неспособна повлиять форма резервуара, в то время как у бесконтактных радарных уровнемеров сигнал может отражаться от стенок горизонтальной емкости (рис. 4);

- возможность измерения границы раздела несмешивающихся жидкостей (рис. 5);

- радарные уровнемеры волноводного типа имеют минимальные зоны нечувствительности (так называемые мертвые зоны): всего 10...20 мм;

- благодаря волноводу TDR-уровнемер способен измерять уровень в узких сосудах и аппаратах, а также выносных (байпасных) камерах. При этом использование выносных камер является рекомендуемым решением, так как создается коаксиальный эффект (наличие защитного экранирования) и прибор более эффективно работает, особенно на средах с низкой диэлектрической постоянной. Именно такой принцип применен в байпасных по-

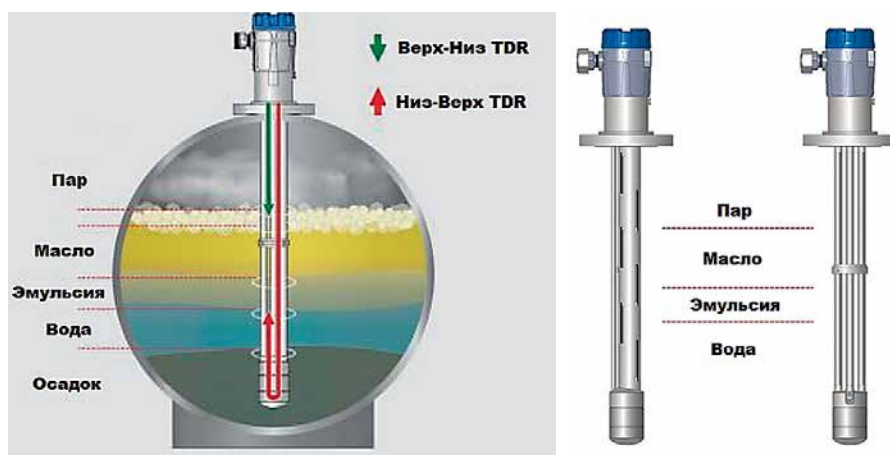


Рис. 5. Волноводный радарный уровнемер способен измерять границу раздела несмешивающихся жидкостей

плавковых указателей уровня УПБ 1015 производства ООО «КСП-2». Данное измерительное оборудование работает с применением волноводного TDR-

уровнемера УМВ-СЕНС производства ООО «НПП «Сенсор».

Предусмотрено несколько вариантов установки волноводного уровне-



Рис. 6. Варианты установки волноводного уровнемера УМВ-СЕНС в составе поплавкового указателя уровня УПБ 1015

ра УМВ-СЕНС в составе поплавкового указателя уровня УПБ 1015 (рис. 6):

▶ волновод расположен в уширенной камере и отделен отсеком от магнитного поплавка, управляющего роликовым индикатором, магнитострикционным или потенциометрическим преобразователем уровня и сигнализаторами уровня;

▶ уровнемер имеет двоякую камеру, в одной из них расположен волновод TDR-уровнемера, а в другой – магнитный поплавок;

▶ уровнемер имеет одну байпасную камеру, где находится волновод TDR-уровнемера вместе с магнитным

поплавком. Волновод выполнен в виде полой трубы и допускает передвижение по нему поплавок с магнитной системой. Данная конструкция, защищенная патентом РФ на полезную модель № 203670, повышает точность и надежность измерений уровня жидкости.

Волноводные уровнемеры УМВ-СЕНС имеют два исполнения по излучаемой мощности: стандартное мощностью 1,0 Вт для двухпроводной схемы подключения и мощностью 3,2 Вт для четырехпроводной схемы подключения, что очень важно для устойчивой работы устрой-

ства на средах с низкой диэлектрической проницаемостью и высоким уровнем помех.

Подобрать оборудование, подробно проконсультироваться и получить полную, исчерпывающую информацию можно в компании «ПЛАЗВАК», которая совместно с производителями ООО «КСР-2» и НПП «СЕНСОР» является поставщиком данной продукции.

НТППК «ПЛАЗВАК», г. Москва,
тел.: +7 (495) 730-4874,
e-mail: info@kuebler-rus.ru,
сайт: www.plazvak.ru



XXX МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА **ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

18–20 апреля 2023

Санкт-Петербург

Одновременно с выставкой

«Энергетика и электротехника – 2023» будут работать:

- Российский международный энергетический форум
- Петербургская Техническая Ярмарка
- Выставка инноваций «Hi-Tech»
- Выставка «ЖКХ России»

Организаторы:

EXPOFORUM

Тел.: +7 (812) 240 4040 (доб. 2626)
mn.fedorova@expoforum.ru



Тел.: +7 (812) 320 6363 (доб. 743)
lyapunova@restec.ru

www.energetika-restec.ru

