

Изобретение относится к уровнемеру, работающему на микроволнах.

В частности, для квазинепрерывного измерения уровня в емкостях, например в цистерне для жидкостей или в бункере для сыпучих материалов, часто используют уровнемеры, работающие на микроволнах. При измерении уровня с помощью такого уровнемера на основе принципа радиолокации в направлении измеряемого содержимого передают, как известно, электромагнитные волны, в частности, в среднечастотном диапазоне примерно от 0,5 до 30 ГГц, посредством антенны в виде свободной пространственной волны или посредством ПАВ-волновода в виде направленной волны. Из-за скачков электрического импеданса в пределах охватываемого содержимое диапазона измерения волны частично отражаются, в частности от поверхности содержимого, и через соответственно ПАВ-волновод или антенну подаются в виде эхо-сигнала к уровнемеру.

Определение уровня у подобных уровнемеров зачастую основано на импульсно-радиолокационном методе, при котором короткие микроволновые импульсы, так называемые "пакеты", с частотой повторения в диапазоне нескольких мегагерц излучают или направляют к содержимому, там, по меньшей мере частично, отражают и описанным выше образом снова подают в виде эхо-сигнала к уровнемеру. Время прохождения микроволновых импульсов, измеренное между моментом посылки переданного сигнала до момента приема эхо-сигнала, служит при этом мерой определяемого уровня.

Так, например, в US-A-5614911, EP-A-955527 и DE-A-4407369 описан работающий на микроволнах уровнемер, который определяет уровень импульсно-радиолокационным методом и который включает в себя

блок передачи/приема микроволн для выработки аналогового промежуточно-частотного сигнала, на который влияет уровень, посредством импульсных переданного и принятого сигналов;

преобразующий элемент, который с управлением при работе от переданного сигнала вводит в емкость передаваемые волны и преобразует отраженные от содержимого эхо-волны в принятый сигнал;

блок обработки огибающей с амплитудным модулятором для промежуточно-частотного сигнала с целью выработки аналогового сигнала огибающей.

Сигнал огибающей, как это описано в DE-A-4407369, может служить, например, для того, чтобы управлять ступенью счетчика с запуском порогового значения так, чтобы среднее значение двух показаний счетчика ступени счетчика представляло зависимое от уровня время прохождения. Аналоговый сигнал огибающей, как это описано в EP-A-955527, можно также сначала преобразовать в цифровую форму и при периодической модуляции с помощью прямоугольного окна отослать на промежуточное хранение его отдельных отрезков. С помощью созданной, таким образом, последовательности дискретизации огибающей можно посредством соответствующего, встроенного, в частности, в микрокомпьютер метода обработки определить как момент приема эхо-сигнала, так и соответственно рассчитать время прохождения.

Далее оказалось, что для высокоточного, в частности с точностью до миллиметра, определения уровня, как это описано, например, в EP-A-1069438 или DE-A-4407369, помимо отображенной в сигнале огибающей информации об амплитуде промежуточно-частотного сигнала может потребоваться также информация о положении фазы принятого сигнала по сравнению с переданным сигналом. Для получения такой дополнительной информации о фазе описанный в DE-A-4407369 уровнемер включает в себя, кроме того, блок оценки фазы с аналоговым квадратурным демодулятором промежуточно-частотного сигнала для выработки представляющего реальную составляющую промежуточно-частотного сигнала аналогового первого и представляющего воображаемую составляющую промежуточно-частотного сигнала аналогового второго квадратурно-модулированных сигналов.

Недостатками этого уровнемера оказались прежде всего дискретная конструкция как блока оценки огибающей, так и блока оценки фазы. Из-за этой конструкции, в частности также из-за высокой доли элементов для аналоговой обработки, повышение частоты повторения переданного сигнала и/или частота такта цикла измерения и обработки, например для повышения точности измерения и/или скорости обработки, можно осуществить только в очень малой степени. Кроме того, для обеспечения достаточной точности вычисленного времени прохождения каждый из используемых элементов должен относиться к одному типовому классу с малым рассеянием и высокой длительной стабильностью, а также должен быть соединен очень точно, что является соответственно сложным делом.

Одной задачей изобретения является поэтому создание уровнемера с точностью измерения до миллиметра, который для определения уровня использовал бы как информацию об амплитуде, так и информацию о фазе и который обеспечивал бы заметное повышение скорости обработки при измерении уровня. Далее уровнемер должен иметь также высокую степень интеграции.

Для решения этой задачи изобретение состоит, согласно первому варианту, в работающем на микроволнах, в частности на пакете микроволн, уровнемере для выработки измеряемого значения уровня, представляющего уровень в емкости, включающем в себя

блок передачи/приема для выработки промежуточно-частотного сигнала, на который влияет уровень, посредством переданного и принятого сигналов;

преобразующий элемент, который с управлением при работе от переданного сигнала вводит в емкость передаваемые, в частности импульсные, волны и преобразует отраженные от содержимого эховолны в принятый сигнал;

блок управления с энергозависимой памятью данных, в которой при работе, по меньшей мере, временно хранится представляющая промежуточно-частотный сигнал последовательность дискретизации.

Кроме того, согласно второму варианту, изобретение состоит в работающем на микроволнах, в частности на пакете микроволн, уровнемере для выработки значения уровня, представляющего уровень в емкости, включающем в себя

блок передачи/приема для выработки промежуточно-частотного сигнала, на который влияет уровень, посредством переданного и принятого сигналов;

преобразующий элемент, который с управлением при работе от переданного сигнала вводит в емкость передаваемые, в частности импульсные, волны и преобразует отраженные от содержимого эховолны в принятый сигнал;

блок управления с энергозависимой памятью данных, в которой при работе, по меньшей мере, временно хранится цифровая последовательность фаз, которая представляет нормирование промежуточно-частотного сигнала по амплитудной характеристике промежуточно-частотного сигнала и которая соответствует временной фазовой характеристике промежуточно-частотного сигнала.

Согласно первому предпочтительному выполнению обоих вариантов изобретения уровнемер включает в себя логарифматор для промежуточно-частотного сигнала.

Согласно второму предпочтительному выполнению первого варианта изобретения уровнемер определяет измеряемое значение уровня посредством полученной из последовательности дискретизации информации об амплитуде.

Согласно третьему предпочтительному выполнению первого варианта изобретения уровнемер определяет измеряемое значение уровня посредством полученной из последовательности дискретизации информации о фазе.

Согласно четвертому предпочтительному выполнению первого варианта изобретения в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится первая последовательность сигналов, которая представляет числовое умножение последовательности дискретизации на цифровую последовательность синусов, и/или в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится вторая последовательность сигналов, которая представляет числовое умножение последовательности дискретизации на цифровую последовательность косинусов.

Согласно пятому предпочтительному выполнению первого варианта изобретения в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится первая последовательность квадратурно-модулированных сигналов, которая представляет числовое смещение с понижением частоты, по меньшей мере, части первой последовательности сигналов, и/или в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится вторая последовательность квадратурно-модулированных сигналов, которая представляет числовое смещение с понижением частоты по меньшей мере части второй последовательности сигналов.

Согласно шестому предпочтительному выполнению первого варианта изобретения в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится служащая, в частности, для выработки первой последовательности квадратурно-модулированных сигналов первая последовательность средних значений, которая представляет характеристику временного среднего значения по меньшей мере одного диапазона первой последовательности сигналов, и/или в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится служащая, в частности, для выработки второй последовательности квадратурно-модулированных сигналов вторая последовательность средних значений, которая представляет характеристику временного среднего значения по меньшей мере одного диапазона второй последовательности сигналов.

Согласно седьмому предпочтительному выполнению первого варианта изобретения в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится соответствующий фазе блока данных последовательности дискретизации блок данных, который представляет числовое деление одного блока данных первой последовательности квадратурно-модулированных сигналов на, в основном, равный ему по месту блок данных второй последовательности квадратурно-модулированных сигналов.

Согласно восьмому предпочтительному выполнению первого варианта изобретения в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится первая цифровая последовательность фаз, соответствующая временной фазовой характеристике по меньшей мере части промежуточно-частотного сигнала.

Согласно девятому предпочтительному выполнению первого варианта изобретения в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится цифровая огибающая, которая представляет временную амплитудную характеристику промежуточно-частотного сигнала.

Согласно десятому предпочтительному выполнению первого варианта изобретения в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится соответствующий фазе блока данных после-

довательности дискретизации блок данных, который представляет числовое деление блока данных последовательности дискретизации на, в основном, равный ему по месту блок данных огибающей.

Согласно одиннадцатому предпочтительному выполнению первого варианта изобретения в энергозависимой памяти данных, по меньшей мере, временно хранится вторая цифровая последовательность фаз, соответствующая временной фазовой характеристике по меньшей мере части промежуточно-частотного сигнала.

Основной идеей изобретения является создание запомненных в цифровом виде исходных данных, т.е. данных с максимально возможной долей информации об измеряемом объеме, в частности об уровне, и с минимально возможной долей аналоговой предварительной обработки, на которых основаны последующие методы обработки, в частности методы определения уровня. При этом изобретение основано также на том неожиданном факте, что, несмотря на связанные с этим повышенные затраты на память, в целом, может быть достигнуто значительное повышение скорости обработки при одновременно высокой точности.

Одно преимущество изобретения состоит в том, что как преобразование промежуточно-частотного сигнала, так и обработку последовательности дискретизации для определения измеряемого значения уровня очень простым образом можно согласовать с изменяющимися рамочными условиями, например изменением частоты повторения импульсов, уводом средней частоты переданного сигнала или изменением частоты такта обработки.

Другое преимущество изобретения состоит в значительном снижении схемных затрат, необходимых для обеспечения достаточного хорошего отношения сигнал/шум преобразуемого в цифровую форму промежуточно-частотного сигнала.

Ниже изобретение и другие его преимущества поясняются на примерах его выполнения. Чертежи изображают

фиг. 1 - установленный на емкости уровнемер для измерения уровня в ней;

фиг. 2 - схематично по типу блок-схемы функциональные элементы работающего на микроволнах уровнемера;

фиг. 3 - схематично по типу блок-схемы функциональные элементы предпочтительного усовершенствования уровнемера из фиг. 2;

фиг. 4 - схематично и в очень упрощенном виде созданную посредством уровнемера из фиг. 2 цифровую последовательность дискретизации, представляющую находящийся под влиянием уровня промежуточно-частотный сигнал, а также согласно одному предпочтительному выполнению служащие для измерения уровня последовательности сигналов;

фиг. 5 - схематично предпочтительное выполнение применяемого в уровнемере из фиг. 2 способа обработки запомненной в цифровой форме последовательности дискретизации;

фиг. 6 - схематично и в очень упрощенном виде запомненную в цифровой форме последовательность дискретизации из фиг. 4, а также согласно другому предпочтительному выполнению другие цифровые последовательности сигналов.

На фиг. 1 изображен пример выполнения работающего на микроволнах уровнемера, установленного на заполняемой содержимым 201 емкости 200.

Уровнемер служит для того, чтобы на основе импульсно-радиолокационного метода измерить определяемый содержимым 201 уровень в емкости 200 и посредством соответствующего блока 3 управления выработать представляющее в данный момент этот уровень, например, цифровое измеряемое значение X_n уровня.

Для этого уровнемер на фиг. 1 содержит закрепленный, в частности, на корпусе 100 электронной схемы преобразующий элемент 1, посредством которого в окружающий содержимое 201 измеряемый объем вводят с высокой несущей частотой и по сравнению с ними более низкочастотные импульсные электромагнитные передаваемые волны S_1 и передают в виде свободной пространственной волны, в частности, в направлении содержимого 201. Средняя частота переданного сигнала S_2 лежит здесь, как в обычных, работающих на микроволнах уровнемерах, в частотном диапазоне несколько гигагерц, в частности в частотном диапазоне от 0,5 до 30 ГГц.

Преобразующий элемент 1 может быть, например, как показано, рупорной антенной, штыревой антенной, параболической антенной или плоской антенной, которая излучает служащие передаваемыми волнами S_1 электромагнитные микроволны. Вместо таких свободных пространственных волн для измерения уровня могут использоваться, например, как сказано выше, направленные по волноводам поверхностно-акустические волны.

Из-за скачков импеданса внутри измеряемого объема, в частности, на поверхности содержимого 201 передаваемые волны S_1 , по меньшей мере, частично отражаются и преобразуются, тем самым, в соответствующие эхо-волны E_1 , которые возвращаются к преобразующему элементу 1 и принимаются им.

Подключенная к преобразующему элементу 1 ступень 2 передачи/приема служит для выработки направляемых по линии и когерентных друг другу волновых пакетов с задаваемыми формой и шириной импульса, так называемых "пакетов", и для обработки, а также для генерирования посредством пакетов находящегося под влиянием уровня аналогового промежуточно-частотного сигнала ZF. Форма

импульса отдельного пакета обычно соответствует форме игольчатого или в виде полуволны импульса задаваемой ширины; здесь для пакетов могут использоваться также, в случае необходимости, другие подходящие формы импульса.

Блок 2 передачи/приема размещен в корпусе 100 и включает в себя на фиг. 2 электронный пакетный генератор 21 для выработки служящей в качестве переданного сигнала S_2 первой последовательности пакетов. Переданный сигнал S_2 , как обычно у подобных уровнемеров, имеет среднюю несущую частоту, лежащую в диапазоне 0,5-30 ГГц, и передается с частотой повторения, установленной на частотный диапазон несколько мегагерц, в частности частотный диапазон от 1 до 10 МГц; средняя частота и/или частота повторения могут также, в случае необходимости, лежать выше соответственно указанного частотного диапазона.

Возникающий на первом сигнальном выходе пакетного генератора 21 переданный сигнал S_2 посредством направленного ответвителя 22 блока 2 передачи/приема подается к подключенному к первому сигнальному выходу направленного ответвителя 22 преобразующему элементу 1 и преобразуется там в передаваемые волны S_1 . Практически одновременно переданный сигнал S_2 возникает, кроме того, на втором сигнальном выходе направленного ответвителя 22.

Полученные описанным выше образом в измеряемом объеме эхо-волны E_1 , как уже сказано, снова принимаются уровнемером посредством преобразующего элемента 1 и преобразуются в служящую принятым сигналом E_2 вторую последовательность пакетов, возникающую также на втором сигнальном выходе направленного ответвителя 22. В соответствии с этим на выходе направленного ответвителя 22 может быть снята сумма S_2+E_2 сигналов, образованная переданным S_2 и принятым E_2 сигналами.

Из-за того что средняя частота и/или частота повторения переданного сигнала S_2 , что обычно у таких уровнемеров, установлена настолько высокой, что непосредственная обработка возникающей на втором сигнальном выходе направленного ответвителя 22 суммы сигналов, в частности непосредственное изменение времени прохождения, была бы практически больше невозможной или возможной лишь с высокими техническими затратами, блок 2 передачи/приема включает в себя далее предпочтительно одну смесительную электронную схему 23. Одновременно с суммой сигналов на втором сигнальном входе смесительной электронной схемы 23 возникает служящая смешанным сигналом M_2 третья последовательность пакетов. Частота такта, с которой тактирован смешанный сигнал M_2 , установлена при этом немного меньше, чем частота повторения переданного сигнала S_2 . Смешанный сигнал M_2 имеет при этом, однако, практически ту же среднюю частоту, что и переданный сигнал S_2 . Смешанный сигнал M_2 также вырабатывается пакетным генератором 21 и, как показано на фиг. 2, может быть снят со второго сигнального выхода пакетного генератора 21.

Посредством смесительной электронной схемы 23 сумму сигналов со смешанным сигналом M_2 подвергают амплитудной модуляции, а затем фильтруют фильтром нижних частот. Таким образом, сумма S_2+E_2 сигналов отображается в сигнале, служащем промежуточно-частотным сигналом ZF, который растянут по времени относительно суммы сигналов на коэффициент растяжения по времени и в соответствии с этим является низкочастотным. Коэффициент растяжения по времени соответствует при этом частному от деления частоты повторения переданного сигнала S_2 на разность между частотой повторения переданного сигнала S_2 и частотой такта смешанного сигнала M_2 . Средняя частота выработанного таким образом промежуточно-частотного сигнала ZF лежит у подобных уровнемеров обычно в частотном диапазоне 50-200 кГц; в случае необходимости частотный диапазон может быть выбран также шире или уже.

Само собой, в случае необходимости промежуточно-частотный сигнал ZF перед его передачей блоком 2 передачи/приема может быть подходящим образом предварительно усилен и, тем самым, согласован по своей характеристике с последующими схемами.

Для управления блоком 2 передачи/приема и для выработки измеряемого значения X_n уровня из промежуточно-частотного сигнала ZF уровнемер включает в себя далее блок 3 управления, который также может быть размещен в корпусе 100.

Согласно изобретению блок 3 управления служит, в частности, также для того, чтобы преобразовать промежуточно-частотный сигнал ZF в цифровую форму и запомнить отдельные отрезки так, что для определения измеряемого значения X_n уровня в распоряжении имеется одновременно информация об амплитуде и фазе промежуточно-частотного сигнала ZF в цифровой форме.

Для этой цели промежуточно-частотный сигнал ZF подают к блоку 3 управления, как схематично показано на фиг. 2, предпочтительно через фильтр 31 нижних частот, например пассивный или активный резистивно-емкостный фильтр, с задаваемым расположением и регулируемой предельной частотой. Фильтр 31 нижних частот служит для ограничения полосы промежуточно-частотного сигнала ZF во избежание ошибки в результате наложения спектров и, тем самым, для соответствующей предварительной обработки с целью преобразования в цифровую форму. Предельная частота, согласно известной теореме Найквиста о дискретном представлении, установлена для этого менее чем на 0,5-кратное, в частности, однако, самое большее 0,2-кратное значение частоты дискретизации, с которой дискретизируют допущенную к прохождению составляющую промежуточно-частотного сигнала ZF. На случай, если проме-

жужоно-чостотный сигнал ZF уже ограничен по полосе требуемым образом, можно при необходимости также отказаться от фильтра 31 нижних частот.

На выходе фильтр 31 нижних частот связан с сигнальным входом аналого-цифрового преобразователя 32 блока 3 управления, который служит для преобразования подаваемого через фильтр 31 нижних частот, в частности непосредственно, промежуточно-частотного сигнала ZF в представляющий его цифровой промежуточно-частотный сигнал ZF_D. В качестве аналого-цифрового преобразователя 32 могут использоваться известные специалисту аналого-цифровые преобразователи, например с последовательным или параллельным преобразованием. Подходящим для этого типом аналого-цифрового преобразователя является, например, дискретизирующий аналого-цифровой преобразователь LTC 1415 фирмы «Линейр Текнолоджи Корп.» с разрешением 12 разрядов и допустимой частотой дискретизации ≤1,25 МГц.

На случай, если используемый аналого-цифровой преобразователь 32, например LTC 1415, предусмотрен для преобразования исключительно положительных значений сигналов, то опорное напряжение аналого-цифрового преобразователя 32 следует соответственно установить так, чтобы ожидаемое минимальное значение сигнала на входе преобразователя составляло один разряд, в частности старший разряд (MSB), промежуточно-частотного сигнала ZF_D. Иначе говоря, с возникающим на выходе фильтра 31 нижних частот сигналом следует сложить постоянную составляющую так, чтобы он действовал на аналого-цифровой преобразователь 32 практически как постоянный сигнал изменяемой амплитуды.

Согласно одному предпочтительному усовершенствованию изобретения фильтр 31 нижних частот, как показано на фиг. 3, связан с аналого-цифровым преобразователем 32 через логарифматор 37. Логарифматор 37, например типа AD637 или AD8307 фирмы «Аналог Дивайсиз», служит для уплотнения информации об амплитуде промежуточно-частотного сигнала ZF с сохранением информации о фазе таким образом, что вместо упомянутого выше 12-разрядного аналого-цифрового преобразователя можно использовать, например, также 8-разрядный аналого-цифровой преобразователь для достижения, в основном, такой же высокой точности. В случае необходимости логарифматор 37 может быть также непосредственно предвключен фильтру 31 нижних частот.

Возникающий на выходе аналого-цифрового преобразователя 32 цифровой промежуточно-частотный сигнал ZF_D загружается отдельными отрезками, например, через внутреннюю шину данных в энергозависимую память 33 данных блока 3 управления и хранится там с возможностью доступа в качестве представляющей в данный момент промежуточно-частотный сигнал ZF конечной последовательности AF дискретизации в виде группы запомненных в цифровой форме блоков данных, в частности для цифрового вычислителя 34 уровня блока 3 управления. В качестве памяти 33 данных может служить при этом, например, статическая и/или динамическая оперативная память.

Для получения измеряемого значения X_n уровня из последовательности AF дискретизации вычислитель 34 уровня может быть предпочтительным образом реализован, как схематично показано на фиг. 2, микропроцессором 30 и выполняемыми в нем программами вычислений.

Согласно одному предпочтительному выполнению изобретения, блок 3 управления включает в себя далее выполненную в виде отдельной подсистемы память-администратор 35, которая, будучи связана с микропроцессором 30, например, через внутреннюю шину данных, служит для управления памятью 33 данных, в частности для управления дискретизацией цифрового промежуточно-частотного сигнала ZF_D и созданием последовательности AF дискретизации, и, тем самым, для разгрузки микропроцессора 30. Для достижения достаточно высокой скорости вычислений память-администратор 35 во много раз, в частности в 8, 10 или 12 раз, быстрее тактирована, чем аналого-цифровой преобразователь 32.

Память-администратор 35 встроена предпочтительно в программируемую функциональную память, например PAL (programmable array logic) (программируемая матричная логика) или FPGA (field programmable gate array) (программируемая пользователем вентиляционная матрица). В случае необходимости память-администратор 35 может быть реализована также микропроцессором 30 или дополнительным микропроцессором (не показан) и соответствующими, выполняемыми в нем программами вычислений.

Посредством памяти-администратора 35 можно реализовать также обычное для подобных уровней образование среднего значения или медианы по нескольким последовательностям дискретизации.

Определение измеряемого значения X_n уровня импульсно-радиолокационным методом основано, как уже сказано, на оценке зависящего от мгновенного уровня времени прохождения эхо-волн E₁, которое можно с высокой точностью определить посредством последовательности AF дискретизации имеющейся в распоряжении в памяти 33 данных информации об амплитуде и фазе.

Для получения информации об амплитуде промежуточно-частотного сигнала ZF может служить, например, встроенное в вычислитель 34 уровня цифровое выпрямление последовательности AF дискретизации, т.е. простое формирование абсолютного значения всех наборов данных последовательности AF дискретизации с последующим обнаружением максимума, при котором выбранные наборы данных локальных максимумов используют для моделирования амплитудной характеристики промежуточно-частотного сигнала ZF в виде огибающей ENV. Применительно к такой полученной в цифровой форме огибающей вполне могут быть использованы известные специалисту для определения времени прохождения способы обработки, описанные, например, в EP-A-668488, EP-A-882957, EP-A-1069438, WO-A-

94/14037, WO-A-95/08780. В случае необходимости могут применяться и другие, известные специалистам способы цифровой амплитудной демодуляции.

Помимо огибающей ENV из последовательности АФ дискретизации могут быть созданы также обе уже упомянутые, представляющие реальную и воображаемую составляющие промежуточно-частотного сигнала ZF в цифровой форме последовательности соответственно Q и I квадратурно-модулированных сигналов для получения информации о фазе. Для этого, например, последовательность АФ дискретизации, по меньшей мере, отдельными отрезками, в частности в диапазоне предварительно детектированного в цифровой форме полезного эхо-сигнала, посредством вычислителя 34 уровня можно умножить, во-первых, на цифровую последовательность синусов, а во-вторых, на цифровую последовательность косинусов задаваемой частоты, приблизительно равной, в частности, средней частоте промежуточно-частотного сигнала ZF, и, тем самым, создать первую и вторую цифровые, например также хранящиеся в памяти 33 данных, последовательности SIN_{AF} и COS_{AF} сигналов (фиг. 4).

Здесь следует еще упомянуть, что последовательности Q, I квадратурно-модулированных сигналов с использованием известного отношения

$$ENV = \sqrt{Q^2 + I^2}$$

могут быть также использованы для создания упомянутой цифровой огибающей ENV, т.е. также для получения информации об амплитуде.

Для выработки цифровых последовательностей Q, I квадратурно-модулированных сигналов эти последовательности SIN_{AF} и COS_{AF} сигналов, например после цифровой низкочастотной фильтрации, могут быть затем в соответствии с известными тригонометрическими отношениями преобразованы в числовой форме в соответствующее амплитудное и фазовое значения, на основе чего измеряемое значение X_n уровня можно вычислить практически непосредственно, см. также DE-A-4407369, где описан этот метод, названный также квадратурным смещением с понижением частоты.

Согласно одному предпочтительному усовершенствованию изобретения, служащему для высокоточного, в частности с точностью до миллиметра, определения измеряемого значения X_n уровня, с помощью служащего в качестве опорной точки первого env_R блока данных и служащего в качестве эхо-сигнала уровня или полезного эхо-сигнала второго env_N блока данных цифровой огибающей ENV сначала осуществляют приблизительно точное определение времени прохождения, в частности в диапазоне до половины или четверти длины волны цифрового промежуточно-частотного сигнала ZF_D.

Как осуществить выбор обоих блоков env_R , env_N данных, частично представляющих имманентную в последовательности АФ дискретизации информацию об амплитуде в зоне опорной точки или полезного эхо-сигнала, из такой преобразованной в цифровую форму огибающей, известно специалисту для таких, работающих, в частности, по принципу импульсной радиолокации уровнемеров, что подробно описано, по меньшей мере, в DE-A-4407369 или EP-A-1069438, так что более подробное изложение этого этапа способа можно опустить. Далее следует указать, что блоки env_R , env_N данных, в случае необходимости, могут быть получены также непосредственно из последовательности АФ дискретизации.

Для окончательного определения уровня, представляющего время прохождения, теперь, преимущественно с помощью соответственно одного набора q_j/i_j данных (j = показатель актуально выбранных блоков квадратурных данных), образованного из отдельных блоков квадратурных данных обеих последовательностей Q, I квадратурно-модулированных сигналов, представляющих в цифровой форме практически смещение последовательности АФ дискретизации с понижением частоты, начиная с набора начальных данных, лежащего, например, в ожидаемом или уже определенном диапазоне показателя второго блока env_N данных, отдельными блоками данных определяют тот набор q_N/i_N данных полезного эхо-сигнала, который лучше всего совпадает с образованным в опорной точке набором q_R/i_R данных. Оба полученных таким образом набора q_R/i_R , q_N/i_N данных затем, например при повторном использовании преобразованной в числовую форму функции арктангенс, т.е. $\arctan(q_R/i_R)$, $\arctan(q_N/i_N)$, вполне могут быть преобразованы в фазовые значения, практически непосредственно соответствующие времени прохождения.

Согласно другому предпочтительному выполнению изобретения определение измеряемого значения X_n уровня осуществляют с помощью обеих последовательностей Q, I квадратурно-модулированных сигналов за счет того, что сначала образуют все или по меньшей мере одну, важную для измерения уровня составляющую набора q_j/i_j данных, создаваемого посредством последовательностей Q, I сигналов, и вводят в память 33 данных в виде фазовой последовательности Q/I, соответствующей временной характеристике фазы промежуточно-частотного сигнала. Затем, например, блоки env_R , env_N данных согласовывают между собой с учетом предварительно определяемой опорной точки или полезного эхо-сигнала так, чтобы их выведенные из соответствующих наборов q_R/i_R , q_N/i_N данных фазовые значения, как уже сказано, как можно более точно совпадали в этих диапазонах (фиг. 4).

Для усовершенствования названного метода определения последовательностей Q, I квадратурно-модулированных сигналов, согласно одному предпочтительному выполнению изобретения, служащий для обработки последовательностей SIN_{AF} , COS_{AF} сигналов и реализованный вычислителем 34 уровня цифровой фильтр нижних частот предпочтительно заменен следующим образом. Обе цифровые последовательности SIN_{AF} , COS_{AF} сигналов сначала также вводят, например, в память 33 данных. В отличие от

последующей обычным образом низкочастотной фильтрации, которая в данном случае цифровой обработки сигналов означала бы огромные затраты на вычисления и память, последовательности Q , I квадратурно-модулированных сигналов определяют с помощью характеристики периодически определяемого временного среднего значения последовательности SIN_{AF} сигналов и периодически определяемого временного среднего значения последовательности COS_{AF} сигналов, причем временные средние значения определяют лишь для представляющих интерес диапазонов опорной точки или полезного эхо-сигнала, т.е. в диапазоне первого env_R и/или второго env_N блока данных.

При этом неожиданным образом оказалось, что определяемую в числовой форме очень быстро и очень просто характеристику временного среднего значения обеих последовательностей SIN_{AF} , COS_{AF} сигналов можно определить значительно проще, в частности также с меньшими затратами на вычисление, за счет того, что для расчета временной характеристики средних значений привлекают лишь выбранные блоки данных последовательностей SIN_{AF} , COS_{AF} сигналов, преимущественно локальные максимумы и минимумы, соответствующие названному диапазону первого env_R и/или второго env_N блока данных.

Для создания такой хранящейся в памяти предпочтительным образом также в цифровой форме последовательности SIN_{AF} , COS_{AF} средних значений, которая представляет характеристику временного среднего значения по меньшей мере одного диапазона последовательности SIN_{AF} или COS_{AF} сигналов, с одной стороны, с помощью первой группы данных, представляющей по меньшей мере два выбранных или вычисленных максимума последовательности SIN_{AF} или COS_{AF} сигналов, а с другой стороны, с помощью второй группы данных, представляющей также по меньшей мере два выбранных или вычисленных минимума последовательности SIN_{AF} или COS_{AF} сигналов, осуществляют, в частности, линейную регрессию (фиг. 5). Будучи выведен из полученных таким образом двух наборов параметров для правил образования полученных путем регрессии функций, которые тогда описывают практически огибающие последовательностей SIN_{AF} или COS_{AF} сигналов, один набор параметров для правила образования, функционально описывающего временную характеристику среднего значения, например $a_0 \cdot x + b_0$, $a_u \cdot x + b_u$, можно легко определить за счет того, что образуют среднее значение двух соответствующих друг другу параметров обоих наборов параметров, представляющих огибающие последовательностей SIN_{AF} или COS_{AF} сигналов, т.е., например, $0,5 \cdot (a_0 + a_u)$, $0,5 \cdot (b_0 + b_u)$.

Этот метод основан, в частности, на том неожиданном факте, что даже при линейной регрессии, т.е. хотя определение среднего значения очень сильно упрощено, ошибка измерения, возникающая по сравнению с фактическими временными средними значениями обеих последовательностей SIN_{AF} или COS_{AF} сигналов в диапазоне первого env_R и/или второго env_N блока данных, практически пренебрежимо мала.

Сравнительные исследования метода, преобразующего цифровую низкочастотную фильтрацию, и метода, преобразующего образование среднего значения, показали, что с помощью последнего метода вполне может быть достигнуто снижение затрат на вычисление на коэффициент 10-50 при сопоставимой точности измерения. Здесь еще следует упомянуть, что для высокоточного определения локальных максимумов или минимумов последовательностей Q , I квадратурно-модулированных сигналов может применяться также описанный в собственной, неопубликованной заявке США № 60/264028 метод, служащий для определения локального экстремума цифровой последовательности данных.

Согласно другому предпочтительному усовершенствованию изобретения, которое служит, в частности, также для сокращения времени вычисления, необходимого для измерения времени прохождения из последовательности AF дискретизации, и для уменьшения требуемого места в памяти, при отказе от вырабатывания последовательностей Q , I квадратурно-модулированных сигналов информацию о фазе, необходимую для измерения уровня с точностью до миллиметра, получают практически непосредственно из последовательности AF дискретизации. Это происходит за счет того (фиг. 6), что сначала блок env_R данных выбирают из огибающей ENV или определяют из последовательности AF дискретизации, а затем в последовательности AF дискретизации определяют именно тот блок af_R данных, положение места или времени прохождения которого, представляемое, например, соответствующим показателем блока данных, лучше всего совпадает с положением места или времени прохождения блока env_R данных. Посредством простого деления числовых значений обоих блоков af_R , env_R данных можно очень просто и быстро определить набор af_R/env_R данных, соответствующий фазе блока af_R данных, в частности пропорциональный синусу этой фазы.

Предпочтительно, однако, и здесь сначала, как показано на фиг. 6, по всей огибающей ENV и всей последовательности AF дискретизации осуществляют поблочное деление и, тем самым, практически нормирование промежуточно-частотного сигнала ZF по представленной огибающей ENV амплитудной характеристике. Полученную таким образом цифровую фазовую последовательность AF/ENV вводят далее в память 33 данных для цифрового отображения фазовой характеристики по меньшей мере части промежуточно-частотного сигнала ZF.

Для определения представляющего уровень времени прохождения можно с помощью набора af_j/env_j данных (j = показатель актуально выбранных блоков квадратурных данных), образованного из блока af_j данных последовательности AF дискретизации и блока env_j данных цифровой огибающей ENV, также

преимущественно начиная с блока начальных данных, лежащего, например, в ожидаемом или заданном диапазоне блока env_N данных, и соответствующего ему, т.е. практически равнофазного блока af_N последовательности АФ дискретизации, определить путем поблочного сравнения тот набор af_N/env_N данных полезного эхо-сигнала, который лучше всего совпадает с набором af_R/env_R данных опорной точки. За счет использования преобразованной в числовую форму функции арксинус оба важных для измерения времени прохождения набора af_R/env_R , af_N/env_N данных можно вполне преобразовать в пропорциональные по фазе данные.

За счет описанного числового деления отдельных блоков данных последовательности дискретизации на соответственно равные по месту и, тем самым, также по фазе блоки данных огибающей ENV информацию о фазе, содержащуюся в последовательности АФ дискретизации практически в комбинации с информацией об амплитуде, отделяют от информации об амплитуде и практически выделяют из последовательности АФ дискретизации.

Другая возможность получения информации о фазе с использованием набора af_R/env_R данных состоит в том, чтобы из блока env_N данных и соответственно равного ему по месту блока af_N данных последовательности АФ дискретизации получить соответствующий набор af_N/env_N данных для полезного эхо-сигнала, преобразовать оба набора данных описанным выше образом в пропорциональные по фазе данные и образовать разность обоих полученных вычисленных значений. За счет умножения этой полученной разности фаз на мгновенную длину волны промежуточно-частотного сигнала ZF, которая у уровнемеров описанного типа вполне может быть предположена как имеющаяся в распоряжении в цифровой форме, можно получить соответствующую поправочную величину значения фазы, непосредственно выведенного из набора af_N/env_N данных.

В случае необходимости могут применяться также иные методы цифрового получения информации об амплитуде и/или фазе из последовательности АФ дискретизации.

Методы обработки, необходимые для определения измеряемого значения X_n уровня из последовательности АФ дискретизации, например посредством огибающей ENV и фазовой последовательности АФ/ENV или посредством полученных из последовательностей Q, I квадратурно-модулированных сигналов значений времени прохождения, могут быть реализованы известным специалисту образом, например в виде выполняемой в микропроцессоре 30 программы вычислений. Соответственно необходимые для этого программные коды могут быть вполне встроены в записываемой, в частности непрерывно, памяти 36 ступени 3 обработки, например СПЗУ, «быстром» ЭСПЗУ или ЭСПЗУ, к которой микропроцессор 30 обращается при работе для считывания данных.

Согласно одному предпочтительному выполнению, предусмотрена реализация микропроцессора 30 в виде цифрового сигнального процессора, например типа ADSP21065 фирмы «Аналог Дивайсиз». В случае необходимости в блоке 3 управления, например помимо микропроцессора 30, может быть предусмотрен дополнительный сигнальный процессор.

Уровнемер может быть подключен, например, к полевой шине (не показана) и соединен, таким образом, с удаленным контрольно-измерительным пунктом и с внешним источником энергоснабжения, который питает уровнемер через внутренний блок 4 питания. Для передачи данных измерительного прибора, в частности также измеряемого значения X_n уровня, к полевой шине уровнемер включает в себя также блок 5 связи с соответствующими интерфейсами 51 данных. Далее блок 5 связи может содержать также соответствующий блок 52 индикации и обслуживания, в частности для визуализации данных измерительного прибора и/или для обеспечения настройки уровнемера на месте.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Микроволновой уровнемер для определения уровня (X_n) содержимого (201) в емкости (200), включающий в себя

приемопередающий блок (2), обеспечивающий формирование промежуточно-частотного сигнала (ZF), несущего сведения о сигнале отражения (E_2);

преобразующий элемент (1) для передачи сигнала (S_2) в емкость (200) и преобразования отраженной от содержимого (201) эхо-волны (E_1) в сигнал отражения;

блок (3) управления и расчета уровня с энергозависимой памятью (33) данных, по меньшей мере, для временного хранения последовательности (АФ) дискретизации промежуточно-частотного сигнала (ZF).

2. Уровнемер по п.1, который определяет измеряемое значение (X_n) уровня посредством полученной из последовательности (АФ) дискретизации информации об амплитуде.

3. Уровнемер по п.1 или 2, который определяет измеряемое значение (X_n) уровня посредством полученной из последовательности (АФ) дискретизации информации о фазе.

4. Уровнемер по одному из пп.1-3, у которого в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится первая последовательность (SIN_{AF}) сигналов, которая представляет числовое умножение последовательности (АФ) дискретизации на цифровую последовательность синусов, и/или в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится вторая последовательность

(COS_{AF}) сигналов, которая представляет числовое умножение последовательности (AF) дискретизации на цифровую последовательность косинусов.

5. Уровнемер по п.4, у которого в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится первая последовательность (Q) квадратурно-модулированных сигналов, которая представляет числовое смещение с понижением частоты по меньшей мере части первой (SIN_{AF}) последовательности сигналов, и/или в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится вторая последовательность (I) квадратурно-модулированных сигналов, которая представляет числовое смещение с понижением частоты по меньшей мере части второй (COS_{AF}) последовательности сигналов.

6. Уровнемер по п.4 или 5, у которого в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится служащая, в частности, для выработки первой последовательности (Q) квадратурно-модулированных сигналов первая последовательность (SIN_{AF}) средних значений, которая представляет характеристику временного среднего значения по меньшей мере одного диапазона первой последовательности (SIN_{AF}) сигналов, и/или в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится служащая, в частности, для выработки второй последовательности (COS_{AF}) квадратурно-модулированных сигналов вторая последовательность (COS_{AF}) средних значений, которая представляет характеристику временного среднего значения по меньшей мере одного диапазона второй последовательности (COS_{AF}) сигналов.

7. Уровнемер по одному из пп.4-6, у которого в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится соответствующий фазе блока (af_j) данных последовательности дискретизации блок (q_j/i_j) данных, который представляет числовое деление одного блока (q_j) данных первой последовательности (Q) квадратурно-модулированных сигналов на, в основном, равный ему по месту блок (i_j) данных второй последовательности (I) квадратурно-модулированных сигналов.

8. Уровнемер по п.7, у которого в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится первая цифровая последовательность (Q/I) фаз, соответствующая временной фазовой характеристике по меньшей мере части промежуточно-частотного сигнала (ZF).

9. Уровнемер по одному из пп.1-3, у которого в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится цифровая огибающая (ENV), которая представляет временную амплитудную характеристику промежуточно-частотного сигнала (ZF).

10. Уровнемер по п.9, у которого в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится соответствующий фазе блока (af_j) данных последовательности (AF) дискретизации блок (af_j/env_j) данных, который представляет числовое деление блока (af_j) данных последовательности (AF) дискретизации на, в основном, равный ему по месту блок (env_j) данных огибающей (ENV).

11. Уровнемер по п.9 или 10, у которого в энергозависимой памяти (33) данных, по меньшей мере, временно хранится вторая цифровая последовательность (AF/ENV) фаз, соответствующая временной фазовой характеристике по меньшей мере части промежуточно-частотного сигнала (ZF).

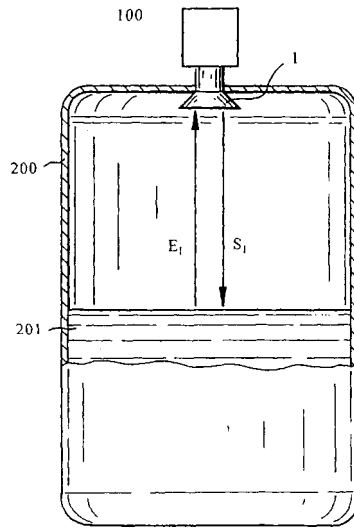
12. Микроволновой уровнемер для определения уровня (X_n) содержимого (201) в емкости (200), включающий в себя

приемопередающий блок (2), обеспечивающий формирование промежуточно-частотного сигнала (ZF), несущего сведения о сигнале отражения (E_2);

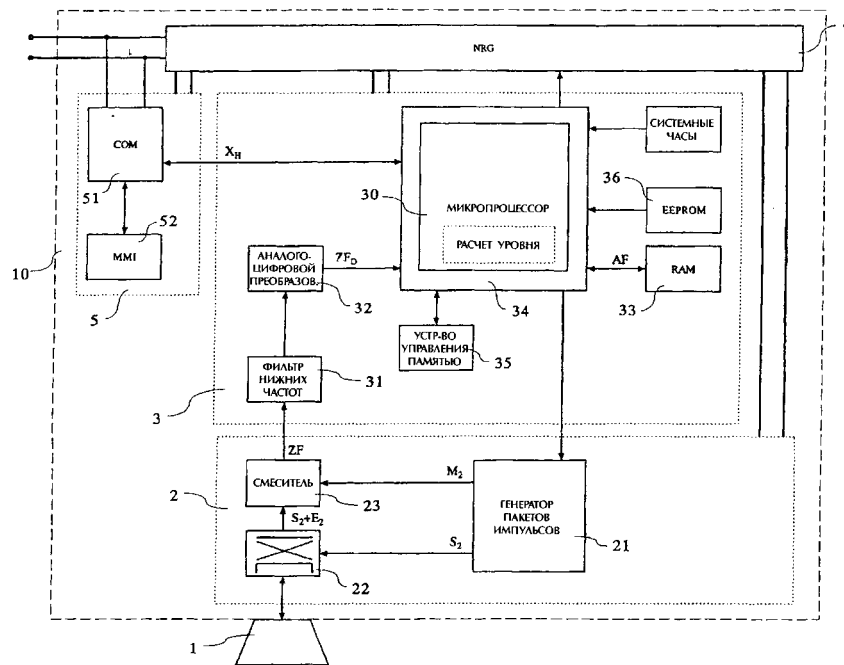
преобразующий элемент (1) для передачи сигнала (S_2) в емкость (200) и преобразования отраженной от содержимого (201) эхо-волны (E_1) в сигнал отражения (E_2);

блок (3) управления и расчета уровня с энергозависимой памятью (33) данных, по меньшей мере, для временного хранения цифровой последовательности (AF/ENV) фаз, которая представляет собой нормированный промежуточно-частотный сигнал (ZF) по амплитудной характеристике промежуточно-частотного сигнала (ZF) и которая соответствует временной фазовой характеристике промежуточно-частотного сигнала (ZF).

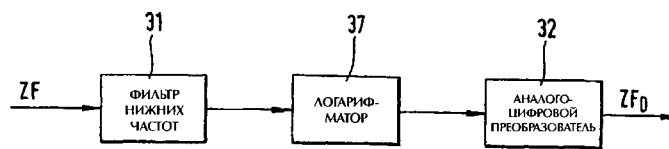
13. Уровнемер по п.1 или 12, включающий в себя логарифматор (37) для промежуточно-частотного сигнала (ZF).



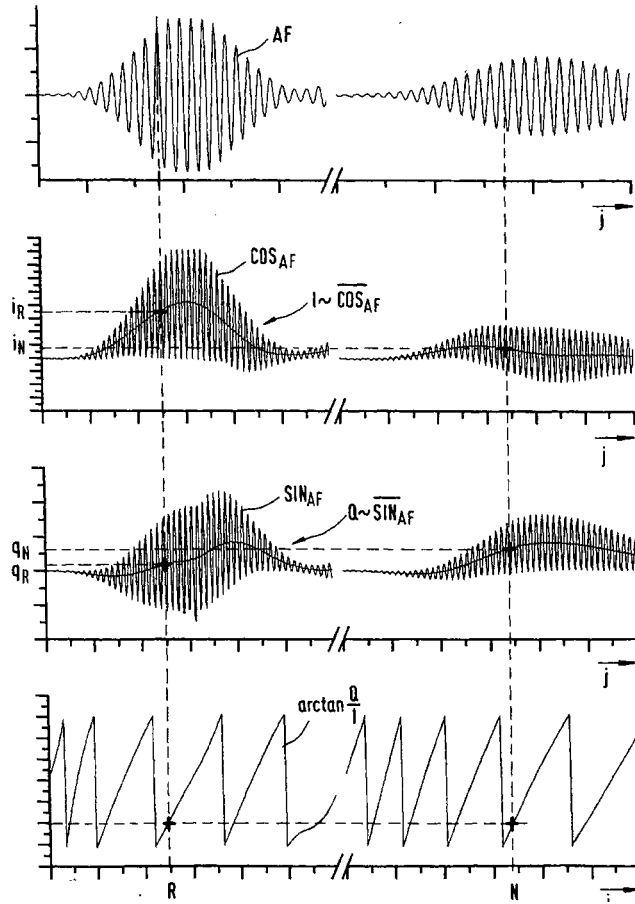
Фиг. 1



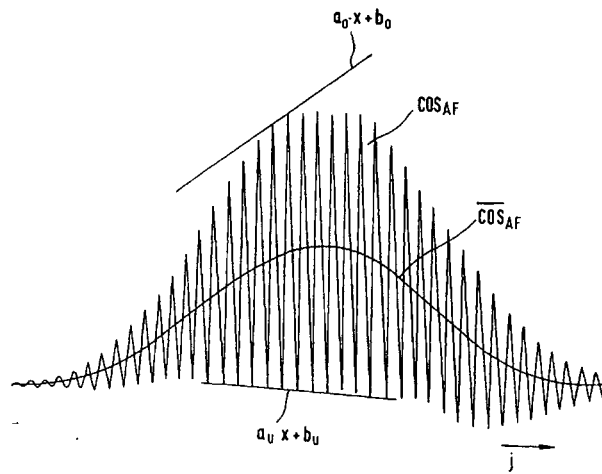
Фиг. 2



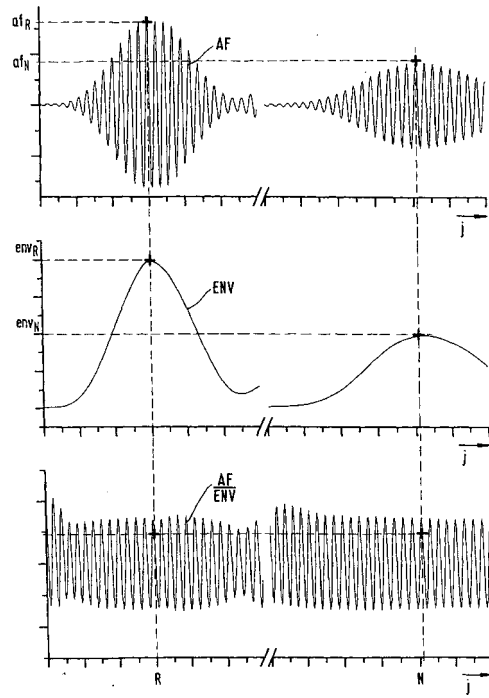
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

