

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**“САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ”**

Кафедра

Систем Управления и Информатики

Группа Р3340

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовому проекту

Устройство для измерения плотности жидкости

Автор курсового проекта	<u>Овчаров А. О.</u>	(подпись)
	(фамилия, и.о.)	
Руководитель	<u>Быстров С. В.</u>	(подпись)
	(фамилия, и.о.)	

"__" _____ 20__г.

Санкт-Петербург,

20__г.

Работа выполнена с оценкой _____

Дата защиты "__" _____ 20__г.

Содержание

Введение 5

1 Сравнительный анализ существующих решений 7

1.1 Поплавковый плотномер 7

1.2 Гидростатический плотномер 9

1.3 Вибрационный плотномер 11

1.4 Ультразвуковой плотномер 13

2 Функциональная схема устройства 15

3 Статический расчет и выбор элементов 16

3.1 Пьезоэлемент 16

3.2 Усилитель напряжения 18

3.3 Генератор зондирующих импульсов 19

3.4 Выбор приемопередатчика 20

3.5 Выбор микроконтроллера 20

3.6 Выбор блока питанияFR 20

4 Разработка принципиальной схемы устройства 21

Заключение 22

Список использованных источников 23

Приложение А 24

Приложение Б 26

Приложение В 28

Приложение Г 29

Приложение Д 31

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

					КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Устройство для измерения плотности жидкости				Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Овчаров А.О.									
Пров.		Быстров С.В.								4	32
									Университет ИТМО Кафедра СУиИ		
Н. контр.		Быстров С.В.									
Утв.											

Введение

Люди могли измерять плотность уже в древности. Так, например, Архимед в своем законе использует плотность жидкости. В настоящее время необходимость измерения плотности жидкости выросла до такой степени, что было выпущено множество статей и книг по способам и приборам измерения плотности.

Плотностью ρ однородного вещества называют отношение его массы m к объему V .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Для неоднородного вещества плотность определяется как предел отношения массы к объему, когда объем стягивается к точке, в которой определяется плотность:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (2)$$

где Δm - масса элементарного объема ΔV .

Также в ряде отраслей науки и техники для характеристики вещества применяют **относительную плотность**, представляющая собой отношение плотности рассматриваемого вещества к плотности другого, условного, вещества при определенных физических условиях. В качестве условного вещества обычно принимают дистиллированную воду.

Существует достаточно много методов измерения плотности, на которых основана работа большого количества приборов.

Большую группу методов называют **поплавковой-весовыми**, данные методы основаны на определении выталкивающей силы, действующее на испытуемое тело или вспомогательное тело (поплавок). Эта сила в соответствии с законом Архимеда прямо пропорциональная плотности среды, в которую погружено тело. Сюда можно отнести методы ареометра, гидростатического взвешивания, , флотационный.

Следующую группу образуют **гидростатические** методы измерения, которые базируются на зависимости статического давления столба жидкости или газа постоянной высоты от их плотности.

Выделяют также **гидродинамические** методы, основанные на зависимости от полусни таких физических величин, как скорость истечения струи жидкости или газа из отверстия, сила удара струи о преграду, скорость падения тела в жидкости, энергия потока вещества, динамическое давление и др.

На сегодняшний день развились также и новые методы определения жидкости. **Радиационный** метод основан на зависимости плотности от ослабления радиоактивного излучения облученного вещества. **Ультразвуковой** метод основан на скорости распространения ультразвуковых волн в веществе. **Вибрационный** метод основан на зависимости плотности от параметров упругих колебаний, сообщаемых сосуду с исследуемым веществом.

Приборы, осуществляющие измерение плотности называются **плотномерами**. Далее будут рассмотрены плотномеры, работающие по разным принципам.

Изн.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<p>работа большого количества приборов.</p> <p>Большую группу методов называют поплавково-весовыми, данные методы основаны на определении выталкивающей силы, действующее на испытываемое тело или вспомогательное тело (поплавков). Эта сила в соответствии с законом Архимеда прямо пропорциональная плотности среды, в которую погружено тело. Сюда можно отнести методы ареометра, гидростатического взвешивания, , флотационный.</p> <p>Следующую группу образуют гидростатические методы измерения, которые базируются на зависимости статического давления столба жидкости или газа постоянной высоты от их плотности.</p> <p>Выделяют также гидродинамические методы, основанные на зависимости от полусни таких физических величин, как скорость истечения струи жидкости или газа из отверстия, сила удара струи о преграду, скорость падения тела в жидкости, энергия потока вещества, динамическое давление и др.</p> <p>На сегодняшний день развились также и новые методы определения плотности. Радиационный метод основан на зависимости плотности от ослабления радиоактивного излучения облученного вещества. Ультразвуковой метод основан на скорости распространения ультразвуковых волн в веществе. Вибрационный метод основан на зависимости плотности от параметров упругих колебаний, сообщаемых сосуду с исследуемым веществом.</p> <p>Приборы, осуществляющие измерение плотности называются плотномерами. Далее будут рассмотрены плотномеры, работающие по разным принципам.</p>
										<div style="text-align: center;">КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ</div>

В работе требуется разработать систему, позволяющую измерять плотность жидкости в соответствии с условиями, описанными в таблице 1.

Таблица 1 – Данные для проектирования

Диапазон измерения плотности	от 600 до 1800 кг/м ³
Температура измерений	20 °С
Допустимая погрешность измерения	5 %
Напряжение питания	220 В 50 Гц
Выходной сигнал устройства	8-ми разрядный параллельный код
Линия связи для выходного сигнала устройства	RS-485

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
КСУИ.124.P3340.001 ПЗ				

1 Сравнительный анализ существующих решений

Далее мы сравним четыре различных по методу измерения плотномер. Из них выберем один метод измерения, при котором измерительные прибор будет соответствовать основным критериям.

Главным критерием выбора плотмера является малость габаритов измерительного устройства, соответствии заданным данным и малая инерционность измерений.

1.1 Поплавковый плотномер

Действие поплавковых плотномеров основано на зависимости плотности от перемещения поплавка от нейтрального положения или наоборот, перемещения жидкости при неподвижном поплавке.

На рисунке 1 представлена схема плотмера с плавающим поплавком. Жидкость по трубке 6 поступает в переливной сосуд 5, а оттуда по проводящей трубке 4 поступает в измерительный сосуд 2, который также снабжен переливным устройством. Требуемая скорость потока устанавливается диафрагмой 10. Для отвода излишков воды имеется трубка 9. В результате действия выталкивающей силы поплавки перемещаются по вертикали, тем самым сердечник совершает те же перемещения вдоль индуктивного датчика 7, включенный в схему измерительного моста 1. Для коррекции показаний изменение температуры, используется датчик температуры 3.

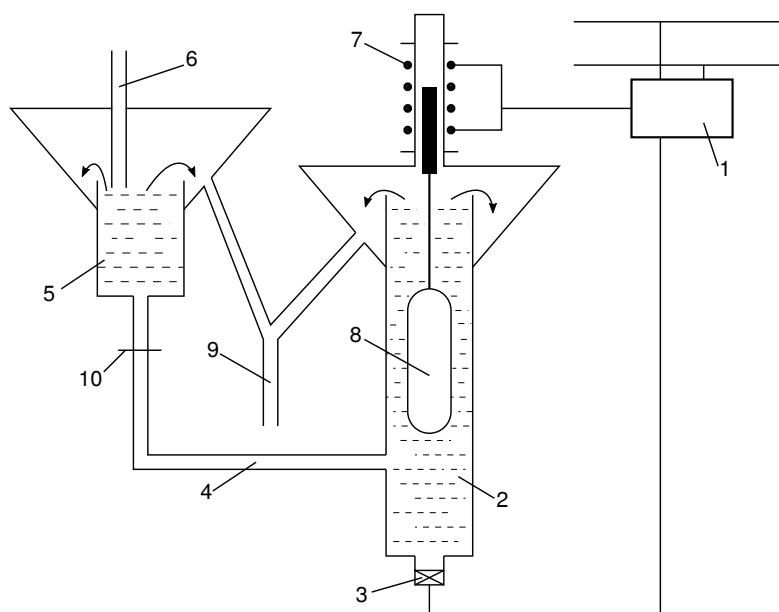


Рисунок 1 – Схема плотметра с плавающим поплавком

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ					Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						7	

На поплавков действует выталкивающая сила по закону Архимеда, эта сила компенсирует вес тела поплавок и вес миниска. В силу малости выталкивающей силы миниска в воздухе, она не учитывается. Таким образом сила Архимеда включает в себя две части:

$$P_a = (v + lS)\rho g \quad (3)$$

$$P_c = (V - v - lS)D \quad (4)$$

где выражение (1) характеризует вес жидкости в объеме погруженной части стержня, а выражение (2) вес воздуха в объеме погруженной части стержня.

Тогда можем записать закон Архимеда, с учетом того, что поплавков не тонет:

$$m + La\rho = (v + lS)\rho + (V - v - lS)D \quad (5)$$

или

$$m - VD + La\rho = (v + lS)\rho - (v + lS)D \quad (6)$$

здесь v - объем нижней части поплавок без стержня; l - длина погруженной части стержня; L - длина окружности сечения стержня; M - масса поплавок в воздухе; m - масса поплавок; D - плотность воздуха; a - капиллярная постоянная. Выражение $La\rho$ характеризует массу миниска, обволакивающего стержень.

Учитывая, что $m - VD$ есть масса M поплавок в воздухе, получим итоговое выражение для плотности.

$$\rho = \frac{M + (v + lS)D}{v + lS - La} \quad (7)$$

Объем поплавок определяют из пределов цены деления шкалы прибора.

Данный прибор имеет довольно простую и не дорогостоящую конструкцию, при том он позволяет измерять плотность с большой точностью (0.2 - 2%) и с учетом температурных изменений. Также прибор довольно инертный, из-за чего процесс измерения плотности становится довольно длительным.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<div style="text-align: center;"> <h2>КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ</h2> </div>					Лист				
										8				
										Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

1.2 Гидростатический плотномер

Гидростатический метод измерения плотности основан на зависимости давления P столба жидкости высотой H от плотности ρ жидкости. Эта зависимость определяется формулой:

$$P = \rho g H$$
 (8)

Но на практике, чтобы исключить влияние колебаний уровня жидкости, применяют дифференциальный метод при измерении разности давлений ΔP двух столбов жидкости разной высоты:

$$\Delta P = \rho g h$$
 (9)

где h - разность высот столбов жидкости.

Давайте рассмотрим патент RU 2 589 773 C1. Ниже, на рисунке 2, представлен разработанный прибор измеряющий расход и плотность пульпы в напорных трубопроводах.

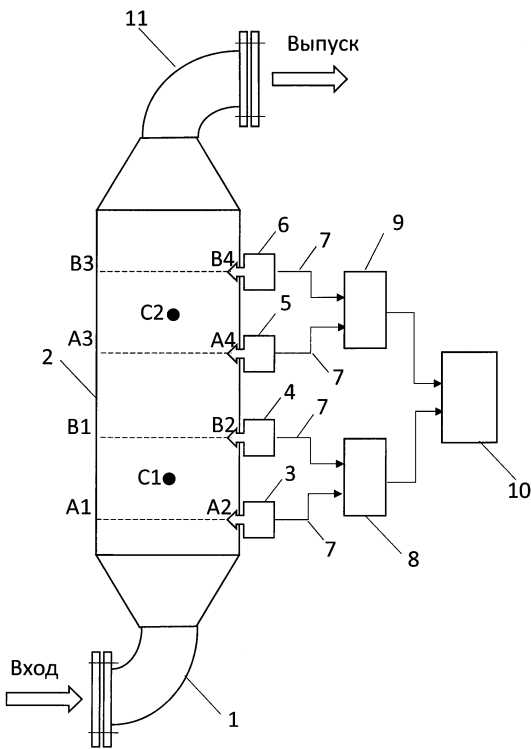


Рисунок 2 – Устройство для измерения плотности и расхода жидкости

Инов. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инов. № дубл.
Подп. и дата	
Инов. № подл.	

Данное устройство содержит впускной патрубок 1, напорный трубопровод 2, устройства 3, 4, 5 и 6 отбора давления, импульсные линии 7, датчики перепада давления 8 и 9, вычислительное устройство 10, выпускной патрубок 11.

Измерив при помощи датчиков давления 3 - 6 мы можем найти разность давления:

$$\Delta P_1 = P_2 - P_1 \quad (10)$$

$$\Delta P_2 = P_4 - P_3 \quad (11)$$

где P_1 и P_2 - величины давлений пульпы, измеренных на нижней и верхней границах 1-го участка; ΔP_1 - величина перепада давления на первом участке. Аналогично для второго участка.

Теперь воспользовавшись выражением (9) можем найти значение плотности данной жидкости.

$$\rho = \frac{\Delta P_1}{gh} \quad (12)$$

Хочется также дополнить, что расстояние между двумя точками измерения давления определяется из пределов измерения плотности и давления:

$$\begin{cases} \Delta P_{max} = gh\rho_{max} \\ \Delta P_{min} = gh\rho_{min} \end{cases} \quad (13)$$

Данный прибор обладает высокой погрешностью - $\pm 1\%$ диапазона шкалы. Таки-ми плотномерами можно измерять плотность вязких, загрязненных, кристаллизующихся и агрессивных жедкостей, они пригодны как для открытых, так и для закрытых резервуаров. Их показания не зависят от скорости потока жидкости и ее поверхностного натяжения.

Из недостатков хочется отметить, что для высокой точности требуется большая вы-сота столба, что делает прибор довольно громоздким.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<div style="text-align: center; font-size: 1.2em; font-weight: bold;">КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ</div>					Лист				
										10				
										Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

1.3 Вибрационный плотномер

На рисунке 3 представлена упрощенная схема вибрационного плотномера. Данный прибор относится к частотному типу вибрационных плотномеров, в которых измеряют функционально связанную с плотностью вещества частоту собственных колебаний резонатора.

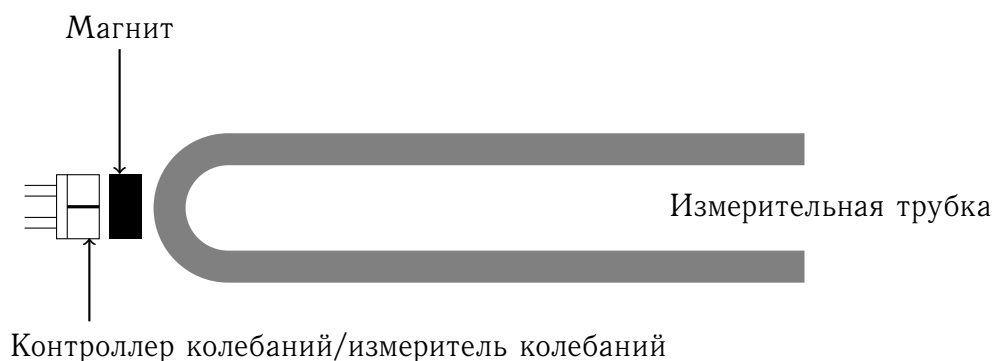


Рисунок 3 – Упрощенная схема плотномера DE40/DE45

Здесь контроллер колебаний, переставляющий собой катушку индуктивности с переменным напряжением определенной частоты, изменение магнитного поля катушки заставляет магнит, то отталкиваться, то притягиваться, что вызывает колебания измерительной трубки с измеряемой жидкостью.

Период колебаний T системы определяется следующим выражением:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\rho V_c + m_c}{K}} \quad (14)$$

здесь ρ - плотность содержимого трубки, V_c - объем внутренней части трубки, m_c - масса трубки, K - коэффициент жёсткости трубки.

Теперь можем получить выражение для плотности:

$$\rho = \frac{K}{4\pi^2 V_c} T^2 - \frac{m_c}{V_c} = AT^2 + B$$

Далее измерения можно упростить, введя ρ_W - плотность воды, ρ_A - плотность воздуха. Найдем их разность, пользуясь выражением (15), получим:

$$\rho_A - \rho_W = A(T_A^2 - T_W^2)$$

Тогда можем найти коэффициент A :

$$A = \frac{\rho_A - \rho_W}{T_A^2 - T_W^2}$$

данную процедуру также называют калибровкой плотномера.

И поскольку плотность воздуха ρ_A является табличной величиной, его можно использовать при измерении искомой плотности жидкости ρ_S .

$$A(T_A^2 - T_S^2) = \rho_A - \rho_S$$

В итоге получим искомое значение плотности жидкости:

$$\rho_S = \rho_A - A(T_A^2 - T_S^2) \tag{15}$$

Как видно из выражения (15) пределы измерения зависит от жесткости и объема трубки, а также от частоты колебаний контроллера.

Основным достоинством данных плотномеров является высокая точность, чувствительность и надежность.

Вместе с тем частотные плотномеры обладают и недостатками, к которым относятся ограниченность допускаемого расхода вещества определяемого площадью сечения канала, нелинейность шкалы.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ		Лист		
							12		

1.4 Ультразвуковой плотномер

Принцип работы ультразвуковых плотномеров основан на распространении ультразвуковых колебаний (частота колебаний $f > 20$ кГц) в исследуемой среде. По принципу работы УЗ-плотномеры разделяют на:

- скоростное
- импедансные
- импедансно-скоростные

Ниже на рисунке представлен прибор для измерения плотности в экстремальных условиях.

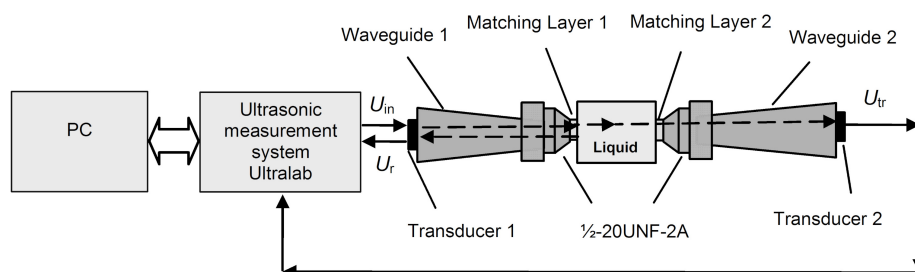


Рисунок 4 – Схема плотнометра с плавающим поплавком

Принцип работы данного прибора основан на определении акустического импеданса Z_3 жидкости и скорости распространения УЗ колебаний c_3 в данной среде. С плотностью эти две величины связывает следующее выражение:

$$Z_3 = \rho_3 c_3 \quad (16)$$

Система измерения плотности состоит из ультразвукового преобразователя (Ultrasonic Transducer 1), пьезоэлемента, который выполняет функции, как генератора колебаний, так и приемника; ультразвукового датчика (Ultrasonic Transducer 2); волноводов 1 и 2 (waveguides) с акустическими импедансами Z_1 ; двух смеживающих слоев (Matching Layer) с импедансами Z_2 , соединяющих жидкость (Liquid) с импедансом Z_3 и волноводы.

Ультразвуковой преобразователь 1 генерирует УЗ колебания, которые проходят через измеряемую жидкость и доходят до УЗ-приемника. Передаваемый импульс U_{tr} используется для измерения скорости ультразвука c_3 измеряемой жидкости. Часть УЗ волны будет отражаться от границы раздела двух сред из-за несоответствия акустических импедансов Z_2 и Z_3 между волноводом и измеряемой жидкостью. Из принимаемого сигнала используется максимальное значение U_r для определения плотности ρ_3 .

Измерение плотности достигается измерением коэффициента отражения R_3 ультразвуковой волны от раздела жидкость/волновод. Данный коэффициент находится из отноше-

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
					КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ				
					Лист				
					13				

ния между амплитудами принимаемого и передаваемого сигнала.

$$R_3 = \frac{U_{in}}{U_r} \quad (17)$$

Коэффициент $R_3(\omega)$ зависит от частоты сигнала и может быть найден из следующего из следующего выражения:

$$R_3(\omega) = \frac{Z_{IN}(\omega) - Z_1}{Z_{IN}(\omega) + Z_1} \quad (18)$$

где $Z_{IN}(\omega)$ входной акустический импеданс смеживающего слоя который определяется (при определенных условиях) следующим выражением :

$$Z_{IN} = \frac{Z_2^2}{Z_3} \quad (19)$$

где Z_2 - акустический импеданс смеживающего слоя.

Подставляя (18) в (19) можем выразить импеданс жидкости Z_3 .

$$Z_3 = \frac{Z_2^2(1 - R_3(\omega))}{Z_1(1 + R_3(\omega))} \quad (20)$$

Поскольку пьезоэлемент 1 не может одновременно излучать и измерять, амплитуду U_{in} нельзя измерить, в противном случае нужны дополнительные датчики для ее измерения. Чтобы это нивелировать можно измерить коэффициент отражения R_{3w} дистиллированной воды через амплитуду отраженного сигнала U_{rw} . И через отношение этих величин мы можем найти коэффициент отражения исследуемой жидкости.

$$R_3(\omega) = \frac{U_r}{U_{rw}} R_{3w}(\omega) \quad (21)$$

Подставляя полученные выражения (20), (21) в (16) можем найти плотность исследуемой жидкости.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<div style="text-align: center; font-size: 1.2em; font-weight: bold;">КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ</div>					Лист				
										14				
										Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

2 Функциональная схема устройства

Разберем функциональную схему ультразвукового плотнoмера.

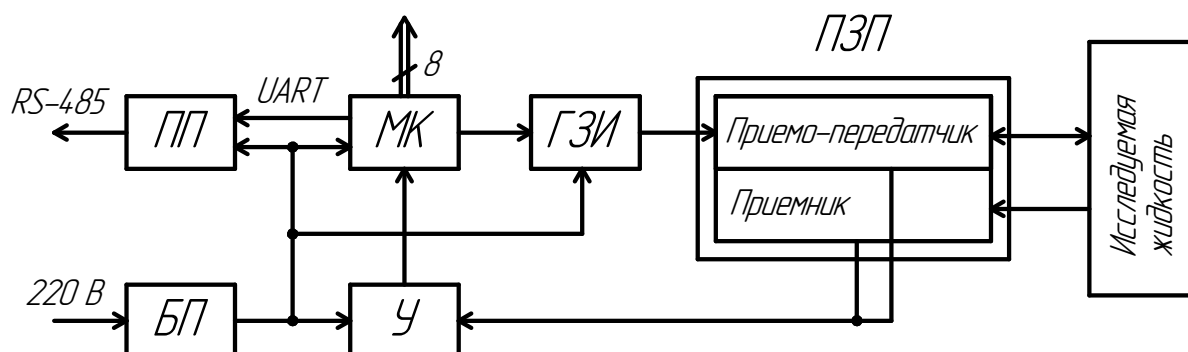


Рисунок 5 – Функциональная схема: ПП - приемопередатчик, МК - микроконтроллер, ГЗИ - генератор зондирующих импульсов, ПЗП - пьезоэлектрический преобразователь, ПД - пиковый детектор, У - усилитель, БП - блок питания

Блок питания мощностью в 5 Ватт преобразует 220 вольт переменного напряжения в 5 вольт постоянного. Это питание подается на микроконтроллер, приемопередатчик, усилитель и генератор зондирующих импульсов. Как только приходит сигнал по RS-485 на микроконтроллер о том, что необходимо измерить плотность. Микроконтроллер подает сигнал на генератор зондирующих импульсов. Генератор формирует сигнал, в результате чего вызываются ультразвуковые колебания приемо-передатчика ПЗП. В результате отражения/прохождения колебаний в среде измерителя на приемник поступает сигнал, который фиксируется микроконтроллером и используется для измерения скорости звука измеряемой жидкости. На приемопередатчик же возвращается ультразвуковая волна, благодаря которой подсчитывается импеданс. Выходные сигналы поступаю с ПЗП на усилитель для анализа микроконтроллером с десяти-разрядного порта АЦП.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ				
				Лист
				15

3 Статический расчет и выбор элементов

3.1 Пьезоэлемент

Рассчитаем пьезоэлемент, представленный на рисунке ниже. Частота собственных колебаний $f_0 = 1$ МГц. Материал ЦТС-19.

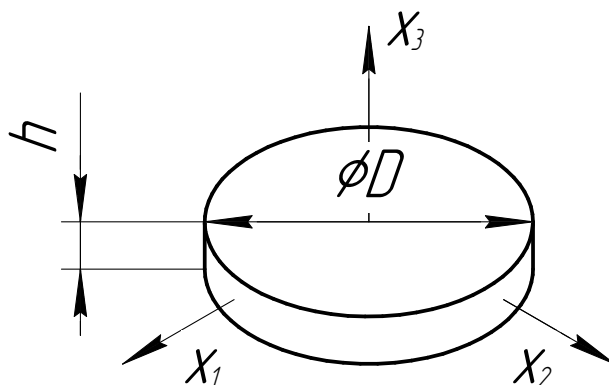


Рисунок 6 – Пьезоэлектрик: h - ширина, D - диаметр

Для соблюдения резонансной частоты, необходимо, чтобы ширина пьезоэлемента была равна половине длины волны. Из этого условия выведена формула для частоты собственных колебаний:

$$f_0 = \frac{c}{2h} \quad (22)$$

где c - скорость звука в материале. По данной формуле можем найти ширину пьезоэлектрика:

$$h = \frac{v_1}{2f_0} = \frac{3 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^6} = 0.0015 \text{ м} = 1.5 \text{ мм} \quad (23)$$

Теперь можем найти диаметр диска, для упрощения расчетов, возьмем его на порядок больше толщины:

$$D = 10h = 15 \text{ мм} \quad (24)$$

Запишем выражения для обратного пьезоэффекта:

$$u = d_{33}U_{\text{ПЭП}} \quad (25)$$

где u - деформация, м, d_{33} - пьезомодуль.

Разложим подаваемое напряжение в ряд Фурье и оставим только первую гармонику. Она имеет вид:

$$U_{\text{ПЭП}} = U_m \sin(\omega_0 t), \quad t \in [0, \tau] \quad (26)$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ				Лист
				16

здесь $\omega_0 = 2\pi f_0$ - круговая частота, $\tau = \frac{1}{2f_0}$ - длительность импульса, U_m - амплитуда напряжения. Подставим выражение (26) в выражение (25).

$$u = d_{33}U_m \sin (\omega_0t), \; t \in [0, \tau]$$
(27)

Учитывая, что $v = \frac{du}{dt}$ - амплитуда колебаний скорости частиц, а генерируемая волна - синусоидальная бегущая. Запишем выражение для интенсивности ультразвука I .

$$I = \frac{v^2 \rho c}{2} = \frac{d_{33}^2 U_m^2 \omega_0^2 \rho c}{2} \cos^2 (\omega_0t) = I_0 \cos^2 (\omega_0t)$$
(28)

Акустический импеданс пьезокерамики ЦТС-19.

$$Z_0 = \rho c = 7.6 \cdot 3 \cdot 10^6 = 22.8 \cdot 10^6 \; \text{Па} \cdot \text{с/м}$$
(29)

Средний импеданс измеряемой жидкости.

$$Z_{ж.ср} = 1.3 \cdot 10^6 \; \text{Па} \cdot \text{с/м}$$
(30)

Обычно пьезоэлектрический материал с высоким коэффициентом электромеханической связи имеет большое волновое сопротивление по сравнению с водой и воздухом. Поэтому, полоса пропускания частотной характеристики диска ниже. Неподходящее волновое сопротивление можно преодолеть, используя передний (согласующий) и задний (демпфер) слои между пьезоэлектрическим диском и жидкой средой.

На основании импедансов (29) и (30) выберем импеданс согласующего слоя, толщина которого $h_{\text{согл.}} = \lambda/4 = 0.75 \; \text{мм}$.

$$Z_{\text{согл.}} = \frac{Z_{\text{пэ}} + Z_{\text{ж.ср}}}{2} = 12 \cdot 10^6 \; \text{Па} \cdot \text{с/м}$$
(31)

Таким импедансом обладает керамика SiO_2 , чей импеданс равен $Z_2 = 5.8 \cdot 2.65 \cdot 10^6 = 15 \cdot 10^6 \; \text{Па} \cdot \text{с/м}$

В качестве демпфера возьмем эпоксидную смолу, смешанную с наполнителем из мелкодисперсного порошка вольфрама. Толщина демпфера равна 6 мм. В итоге получим систему слоев для движения ультразвуковой волны (рисунок ниже).

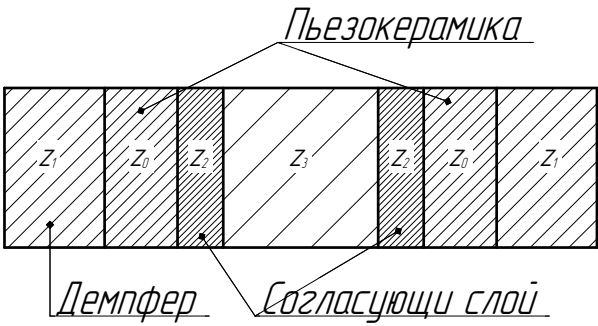


Рисунок 7 – Схема слоев ультразвукового плотномера

Инт. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	
Инт. № подл.	

3.2 Усилитель напряжения

Усилитель включен в нашу цепь с целью поднять напряжение, получаемое с пьезоэлемента, до уровня логической единицы микроконтроллера, то есть до уровня 2,6—5 В. Для этого нам необходимо знать параметры электрического сигнала, возбуждаемые в пьезоэлементе ультразвуковой волной.

Пронализируем, насколько уменьшится амплитуда акустического давления когда она пройдет через второй пьезоэлемент. Коэффициент затухания в воде при 1 МГц $\alpha \approx 0.5$.

$$I_1 = I_0 e^{-\alpha L} = \frac{d_{33} U_m \omega_0 \rho c}{2} e^{-2\alpha L} \quad (32)$$

здесь $L = 40$ мм - длинна полости для жидкости. Амплитуда интенсивности изменится в $e^{-2\alpha L} \approx 0.67$ раза. Напряжение, подаваемое на первый пьезоэлемент примем равным $U_m = 5$ В. В итоге интенсивность будет равна.

$$I_1 = \frac{3 \cdot 7.6 \cdot 6.28 \cdot 350 \cdot 5}{2} \cdot 0.67 = 8354 \text{ Вт/м} \quad (33)$$

Оценим вернувшуюся на первый преобразователь отраженную волну.

$$I_2 = I_0 R_{32} e^{-4\alpha L} = I_1 R_{32} e^{-2\alpha L} \quad (34)$$

Амплитуда интенсивности зменитьв следующим образом.

$$R_{32} e^{-4\alpha L} = \left(\frac{z_3 - z_2}{z_3 + z_2} \right)^2 \cdot e^{-4\alpha L} = 0.71 \cdot 0.45 = 0.32 \quad (35)$$

Как можно заметить амплитуда интенсивности упадет в 3 раза по сравнению с I_0 . Таким образом, необходимо усилить напряжение в 2.5 раза.

В качестве усилителя будем использовать неинвертирующий усилитель на операционном усилителе, схема которого представлена на рисунке 7.

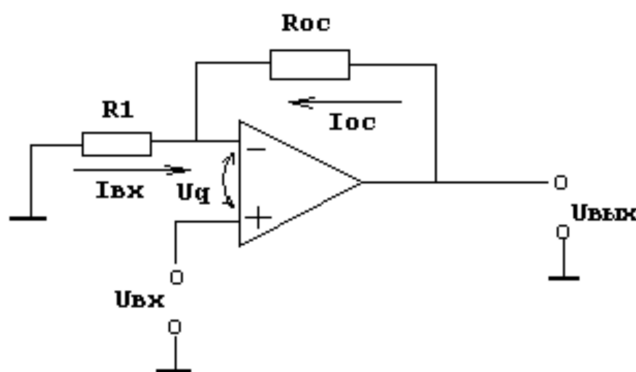


Рисунок 8 – Усилитель напряжения

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ					Лист
										18
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						Формат А4

Коэффициент усиления данной схемы равен:

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{R_{\text{OC}} + R_1}{R_1} = 2.5 \quad (36)$$

Примем $R_1 = 1 \text{ кОм}$, тогда не трудно найти $R_{\text{OC}} = 1.5 \text{ кОм}$.

Операционный усилитель представлен на микросхеме ОРА341 и имеет следующие параметры.

- Напряжение питания 5В
- Ток питания - 0.2 мА
- Потребляемая мощность - 1мВт

3.3 Генератор зондирующих импульсов

Для создания ультразвуковой волны на пьезоэлементе на него следует подать сигнал, который как можно быстрее увеличивается до своего максимального значения, а затем, как можно быстрее, угасает.

Поскольку в нашем устройстве микроконтроллер проводит замер времени, который должен начинаться одновременно с созданием ультразвуковой волны, то генератор должен работать в ждущем режиме, в ждущем режиме и управляться импульсом, подаваемым с микроконтроллера.

Схема генератора зондирующих импульсов представлена на рисунке ниже.

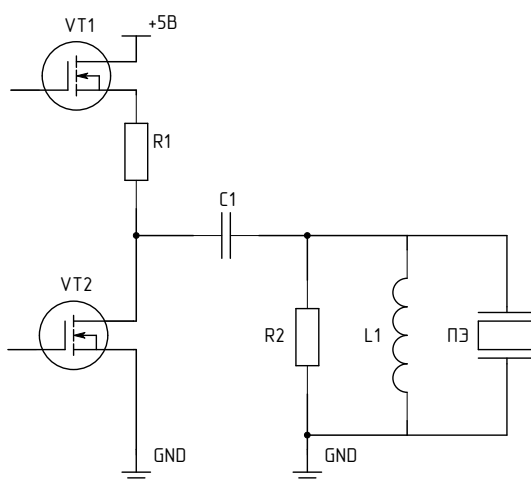


Рисунок 9 – Генератор зондирующих импульсов

Инв. № подл.	Подп. и дата				
	Инв. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подп. и дата				
КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
				Лист 19	

работать в ждущем режиме, в ждущем режиме и управляться импульсом, подаваемым с микроконтроллера.

Схема генератора зондирующих импульсов представлена на рисунке ниже.

Рисунок 9 – Генератор зондирующих импульсов

3.4 Выбор приемопередатчика

В качестве приемопередатчика выберем схему ADM1485JNZ фирмы Analog Devices, который будет подсоединяться к микроконтроллеру по протоколу UART.

- Напряжение питания 5 В
- Ток питания - 1.35 мА
- Потребляемая мощность - 6.75 мВт

3.5 Выбор микроконтроллера

Для обработки сигналов с датчиков был выбран микроконтроллер ATtiny8303 фирмы Atmel. Микроконтроллер имеет встроенный АЦП, необходимый для обработки сигнала с усилителя, а так же поддерживает UART, необходимый для работы с приемопередатчиком RS-485.

- Напряжение питания - 5 В
- Ток питания - 10 мА
- Потребляемая мощность - 50 мВт

3.6 Выбор блока питанияFR

Для питания логических схем и генератора зондирующих импульсов необходимо получить напряжение 5В. Исходя из суммы полученных выше мощностей подходит блок питания AC Adapter pro-power со следующими характеристиками:

- Выходное напряжение - 5 В
- Минимальный ток - 0.01 А
- Выходная мощность - 5 Вт

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата							
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ	Лист
											20

4 Разработка принципиальной схемы устройства

Произведём разработку принципиальной электрической схемы устройства, приняв за основу функциональную схему. Через разъем X1 подается преобразованное питание +5 вольт.

Через разъем X2 осуществляется прием и передача через интерфейс RS-485. Данный интерфейс переводится логическим устройством в интерфейс UART, понятный микроконтроллеру.

Порты X3 и X4 служат для снятия/подачи сигнала на пьезоэлектрический преобразователь.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ					Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Копировал

Формат А4

Заключение

В ходе выполнения курсового проекта был показан процесс разработки преобразователя информации по заданному техническому заданию.

Результатом работы является спроектированное устройство для измерения плотности жидкости. Используется ультразвуковой импедансно-временной метод. В качестве излучателей/приемников используются пьезоэлементы.

Спроектированное устройство обладает малыми габаритами, высоким быстродействием и точностью. Данный прибор приспособен для лабораторных условий. Для промышленных целей он не годится.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ		Лист		
							22		

Список использованных источников

1. Stewart Sherrit, Binu K. Mukherjee. Characterization of Piezoelectric Materials for Transducers
2. Бархатов В.А. Электромеханическая модель пьезопреобразователя.
3. Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. Ш25 Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. - Москва: Техносфера, 2006. - 632 с.
4. Кивилис С. С. Плотномеры.-М.:Энергия, 1980.-с., ил.
5. Rymantas Kazys, Reimondas Sliteris, Regina Rekuviene, Egidijus Zukauskas and Liudas Mazeika. Ultrasonic Technique for Density Measurement of Liquids in Extreme Conditions
6. Блинников А.А, Бойков В.И., Быстров С.В., Николаев Н.А., Нуйя О. С. Правила оформления пояснительной записки и конструкторской документации.–СПб: Университет ИТМО, 2014.–55 с.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата					
					<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> Изм. Лист № докум. Подп. Дата </div> <div style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ</div> <div> Лист 23 </div> </div>				

Приложение А

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 589 773** (13) **C1**
(51) МПК
G01F 1/05 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015122362/28, 10.06.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.06.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.06.2015

(45) Опубликовано: 10.07.2016 Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2378638 C2, 10.01.2010. RU 15787
U1, 10.11.2000. RU 58698 U1, 27.11.2006. RU
2183267 C1, 10.06.2002.

Адрес для переписки:

199155, Санкт-Петербург, ул. Железноводская,
11, литер А, генеральный директор СП ЗАО
"ИВС" Зимин А.В.

(72) Автор(ы):

Зимин Алексей Владимирович (RU),
Трушин Алексей Алексеевич (RU),
Бондаренко Александр Владимирович (RU),
Седов Алексей Викторович (RU),
Щербаков Максим Олегович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Совместное предприятие в форме закрытого
акционерного общества "ИЗГОТОВЛЕНИЕ,
ВНЕДРЕНИЕ, СЕРВИС" (RU)

(54) СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАСХОДА И ПЛОТНОСТИ ПУЛЬПЫ В
НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

(57) Резюме:

Изобретение относится к способам контроля
объемного расхода и плотности пульпы в
напорных трубопроводах и может быть
использовано в области обогащения руд
полезных ископаемых, а также в горно-
металлургической, строительной и других
областях промышленности. Способ
автоматического контроля расхода и плотности
пульпы в напорных трубопроводах включает
измерение плотности по перепаду давления в
восходящем потоке материала. Согласно
изобретению на восходящей части напорного
трубопровода выделяют два равновеликих
участка, геометрические центры которых
разнесены по ходу потока на величину, не
превышающую 3 расстояния между нижней и
верхней границами первого по ходу потока
участка измерения. На нижней и верхней границах
выделенных участков осуществляют отбор
давления, для каждой пары границ участков

измеряют перепады давлений, вычисляют
взаимнокорреляционную функцию случайных
сигналов, характеризующих изменение величин
измеренных перепадов давлений во времени,
находят абсциссу t максимума
взаимнокорреляционной функции, определяющую
время взаимного сдвига по фазе полученных
случайных сигналов. По величине расстояния
между геометрическими центрами участков и
времени t определяют скорость потока и по
известной площади внутреннего сечения
трубопровода и найденной скорости потока
вычисляют его расход. Технический результат -
повышение надежности и точности измерений
расхода пульпы в закрытых трубопроводах за
счет устранения влияния на результаты измерений
абразивного воздействия пульпы, физических
свойств измеряемого материала и осуществления
прямого измерения скорости потока. 3 ил.

Стр.: 1

RU 2 589 773 C1

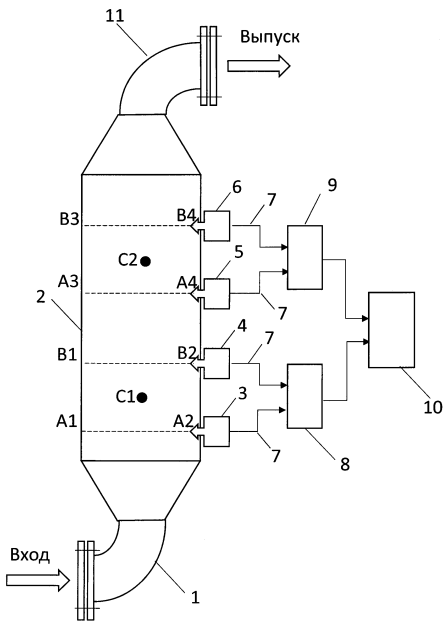
RU 2 589 773 C1

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ	Лист
						24

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

RU 2589773 C1



Фиг.1

RU 2589773 C1

КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ



8-bit Atmel tinyAVR Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash

ATtiny1634

Summary

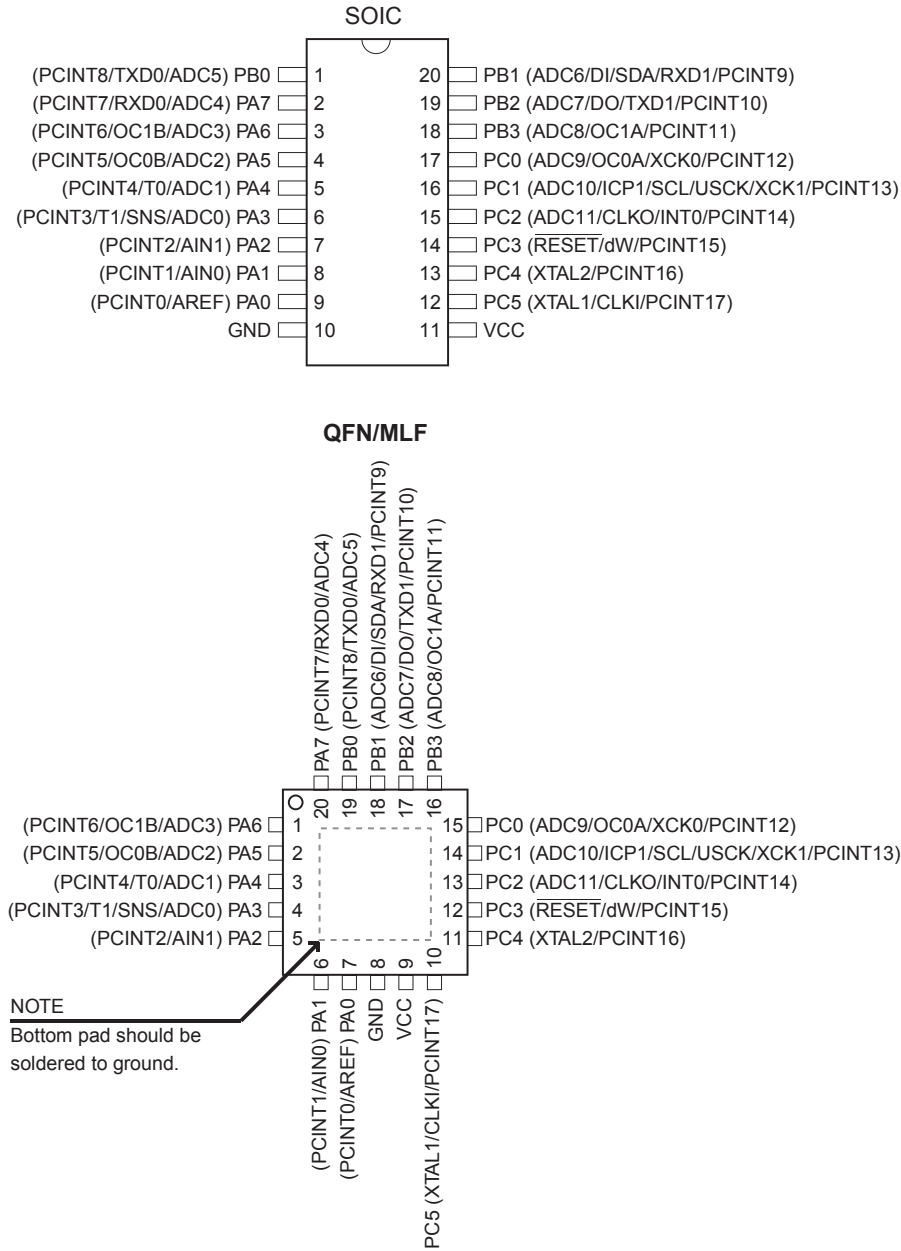
Features

- High Performance, Low Power AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 125 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
- High Endurance, Non-volatile Memory Segments
 - 16K Bytes of In-System, Self-Programmable Flash Program Memory
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - 256 Bytes of In-System Programmable EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 1K Byte of Internal SRAM
 - Data retention: 20 years at 85 C / 100 years at 25 C
 - Programming Lock for Self-Programming Flash & EEPROM Data Security
- Peripheral Features
 - Dedicated Hardware and QTouch® Library Support for Capacitive Touch Sensing
 - One 8-bit and One 16-bit Timer/Counter with Two PWM Channels, Each
 - 12-channel, 10-bit ADC
 - Programmable Ultra Low Power Watchdog Timer
 - On-chip Analog Comparator
 - Two Full Duplex USARTs with Start Frame Detection
 - Universal Serial Interface
 - Slave I²C Serial Interface
- Special Microcontroller Features
 - debugWIRE On-chip Debug System
 - In-System Programmable via SPI Port
 - Internal and External Interrupt Sources
 - Pin Change Interrupt on 18 Pins
 - Low Power Idle, ADC Noise Reduction, Standby and Power-down Modes
 - Enhanced Power-on Reset Circuit
 - Programmable Brown-out Detection Circuit with Supply Voltage Sampling
 - Calibrated 8MHz Oscillator with Temperature Calibration Option
 - Calibrated 32kHz Ultra Low Power Oscillator
 - On-chip Temperature Sensor
- I/O and Packages
 - 18 Programmable I/O Lines
 - 20-pad QFN/MLF, and 20-pin SOIC
- Operating Voltage:
 - 1.8 – 5.5V
- Speed Grade:
 - 0 – 2MHz @ 1.8 – 5.5V
 - 0 – 8MHz @ 2.7 – 5.5V
 - 0 – 12MHz @ 4.5 – 5.5V
- Temperature Range: -40 C to +105 C
- Low Power Consumption
 - Active Mode: 0.2mA at 1.8V and 1MHz
 - Idle Mode: 30µA at 1.8V and 1MHz
 - Power-Down Mode (WDT Enabled): 1µA at 1.8V
 - Power-Down Mode (WDT Disabled): 100nA at 1.8V

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ					Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						26	

1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout of ATtiny1634



Приложение В

5V Low Power EIA RS-485 Transceiver

ADM1485

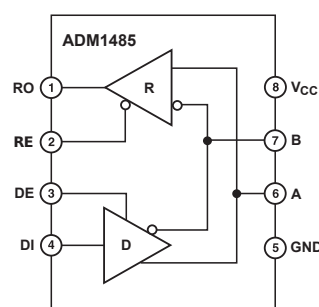
FEATURES

Meets EIA RS-485 Standard
30 Mbps Data Rate
Single 5 V Supply
-7 V to +12 V Bus Common-Mode Range
High Speed, Low Power BiCMOS
Thermal Shutdown Protection
Short-Circuit Protection
Driver Propagation Delay: 10 ns
Receiver Propagation Delay: 15 ns
High-Z Outputs with Power Off
Superior Upgrade for LTC1485

APPLICATIONS

Low Power RS-485 Systems
DTE-DCE Interface
Packet Switching
Local Area Networks
Data Concentration
Data Multiplexers
Integrated Services Digital Network (ISDN)

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM 8-Lead



GENERAL DESCRIPTION

The ADM 1485 is a differential line transceiver suitable for high speed bidirectional data communication on multipoint bus transmission lines. It is designed for balanced data transmission and complies with both RS-485 and RS-422 EIA Standards. The part contains a differential line driver and a differential line receiver. Both the driver and the receiver may be enabled independently. When disabled, the outputs are three-stated.

The ADM 1485 operates from a single 5 V power supply. Excessive power dissipation caused by bus contention or by output shorting is prevented by a thermal shutdown circuit. This feature forces the driver output into a high impedance state if, during fault conditions, a significant temperature increase is detected in the internal driver circuitry.

Up to 32 transceivers may be connected simultaneously on a bus, but only one driver should be enabled at any time. It is important, therefore, that the remaining disabled drivers do not load the bus. To ensure this, the ADM 1485 driver features high output impedance when disabled and also when powered down.

This minimizes the loading effect when the transceiver is not being used. The high impedance driver output is maintained over the entire common-mode voltage range from -7 V to +12 V.

The receiver contains a fail-safe feature that results in a logic high output state if the inputs are unconnected (floating).

The ADM 1485 is fabricated on BiCMOS, an advanced mixed technology process combining low power CMOS with fast switching bipolar technology. All inputs and outputs contain protection against ESD; all driver outputs feature high source and sink current capability. An epitaxial layer is used to guard against latch-up.

The ADM1485 features extremely fast switching speeds. Minimal driver propagation delays permit transmission at typical data rates of 30 Mbps while low skew minimizes EMI interference.

The part is fully specified over the commercial and industrial temperature range and is available in PDIP, SOIC, and small MSOP packages.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ					Лист
										28
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Приложение Г



Burr-Brown Products
from Texas Instruments

OPA341
OPA2341



SBOS202A – AUGUST 2001

SINGLE-SUPPLY, RAIL-TO-RAIL OPERATIONAL AMPLIFIER WITH SHUTDOWN *microAmplifier™* Series

FEATURES

- RAIL-TO-RAIL INPUT AND OUTPUT SWING
- *Micro*SIZE PACKAGES
- BANDWIDTH: 5.5MHz
- SLEW RATE: 6V/μs
- QUIESCENT CURRENT: 750μA/Chan
- POWER SHUTDOWN MODE

APPLICATIONS

- SENSOR BIASING
- SIGNAL CONDITIONING
- DATA ACQUISITION
- PROCESS CONTROL
- ACTIVE FILTERS
- TEST EQUIPMENT

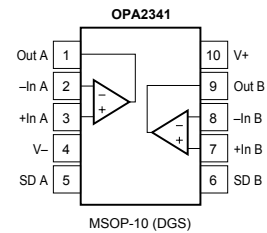
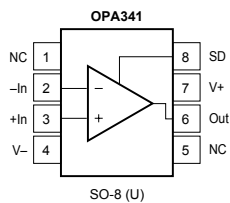
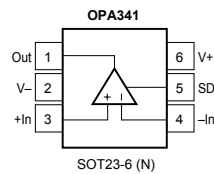
DESCRIPTION

The OPA341 series rail-to-rail CMOS operational amplifiers are designed for low-cost, miniature applications. They are optimized for low-voltage, single-supply operation. Rail-to-rail input and output and high-speed operation make them ideal for driving sampling Analog-to-Digital (A/D) converters.

The power-saving shutdown feature makes the OPA341 ideal for portable low-power applications. The OPA341 series is also well suited for general-purpose and audio applications as well as providing I/V conversion at the output of Digital-to-Analog (D/A) converters. Single and dual versions have identical specifications for design flexibility.

The OPA341 series operate on a single supply as low as 2.5V, and input common-mode voltage range extends 300mV beyond the supply rails. Output voltage swings to within 1mV of the supply rails with a 100kΩ load. The OPA341 series offers excellent dynamic response (BW = 5.5MHz, SR = 6V/μs) with a quiescent current of only 750μA. The dual design features completely independent circuitry for lowest crosstalk and freedom from interaction.

The single (OPA341) packages are the tiny SOT23-6 surface mount and SO-8 surface mount. The dual (OPA2341) comes in the miniature MSOP-10 surface mount. All are specified from –55°C to +125°C and operate from –55°C to +150°C. The OPA343 provides similar performance without shutdown capability.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 2001, Texas Instruments Incorporated

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата	<div><p>are designed for low-cost, miniature applications. They are optimized for low-voltage, single-supply operation. Rail-to-rail input and output and high-speed operation make them ideal for driving sampling Analog-to-Digital (A/D) converters.</p><p>The power-saving shutdown feature makes the OPA341 ideal for portable low-power applications. The OPA341 series is also well suited for general-purpose and audio applications as well as providing I/V conversion at the output of Digital-to-Analog (D/A) converters. Single and dual versions have identical specifications for design flexibility.</p><div><div><p>OPA341</p><p>SOT23-6 (N)</p></div><div><p>OPA341</p><p>SO-8 (U)</p></div><div><p>OPA2341</p><p>MSOP-10 (DGS)</p></div><p>The single (OPA341) packages are the tiny SOT23-6 surface mount and SO-8 surface mount. The dual (OPA2341) comes in the miniature MSOP-10 surface mount. All are specified from -55°C to +125°C and operate from -55°C to +150°C. The OPA343 provides similar performance without shutdown capability.</p></div></div>	
Изн. № подл.	Подп. и дата	<div><div></div><div><p>Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.</p></div></div>			<div><div></div><div><p>TEXAS INSTRUMENTS</p><p>www.ti.com</p></div></div>	Copyright © 2001, Texas Instruments Incorporated
<div><p>PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.</p></div>						
<div><div><div>КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ</div><div>Лист</div><div>29</div></div></div>						
Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата	<div><div><div>Изм.</div><div>Лист</div><div>№ докум.</div><div>Подп.</div><div>Дата</div></div></div>	

Интв. № подл.

Подп. и дата

Взам. инв. №

Интв. № дубл.

Подп. и дата

Интв. №

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: V_S = 2.7V to 5.5V

Boldface limits apply over the specified temperature range, T_A = –55°C to +125°C.

At T_A = +25°C, R_L = 10kΩ connected to V_S/2 and V_{OUT} = V_S/2, V_{ENABLE} = V_{DD}, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITION	OPA341NA, UA OPA2341DGSA			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
OFFSET VOLTAGE Input Offset Voltage Drift vs Power Supply Over Temperature Channel Separation, dc	V _S = 5V V _S = 2.7V to 5.5V, V _{CM} = 0V V_S = 2.7V to 5.5V, V_{CM} = 0V		±2 ±2 40 0.2	±6 200 200	mV μV/°C μV/V μV/V
INPUT BIAS CURRENT Input Bias Current Over Temperature Input Offset Current	I _B I _{OS}		±0.6 ±0.2	±10 ±10	pA pA pA
NOISE Input Voltage Noise, f = 0.1Hz to 50kHz Input Voltage Noise Density, f = 1kHz Input Current Noise Density, f = 1kHz	e _n i _n		8 25 3		μVrms nV/√Hz fA/√Hz
INPUT VOLTAGE RANGE Common-Mode Voltage Range Common-Mode Rejection Ratio Over Temperature Over Temperature Over Temperature	V _{CM} CMRR V _S = 5V, (V–) – 0.3V < V _{CM} < (V+) – 1.8V V_S = 5V, (V–) – 0.1V < V_{CM} < (V+) – 1.8V V _S = 5V, (V–) – 0.3V < V _{CM} < (V+) + 0.3V V_S = 5V, (V–) – 0.1V < V_{CM} < (V+) + 0.1V V _S = 2.7V, (V–) – 0.3V < V _{CM} < (V+) + 0.3V V_S = 2.7V, (V–) – 0.1V < V_{CM} < (V+) + 0.1V	(V–) – 0.3 (V–) – 0.1 76 74 60 58 57 55	90 74 70	(V+) + 0.3 (V+) + 0.1	V V dB dB dB dB dB
INPUT IMPEDANCE Differential Common-Mode			10 ¹³ 3 10 ¹³ 6		Ω pF Ω pF
OPEN-LOOP GAIN Open-Loop Voltage Gain Over Temperature Over Temperature	A _{OL} R _L = 100kΩ, (V–) + 5mV < V _O < (V+) – 5mV R_L = 100kΩ, (V–) + 5mV < V_O < (V+) – 5mV R _L = 2kΩ, (V–) + 200mV < V _O < (V+) – 200mV R_L = 2kΩ, (V–) + 200mV < V_O < (V+) – 200mV	100 100 96 94	120 110		dB dB dB dB
FREQUENCY RESPONSE Gain-Bandwidth Product Slew Rate Settling Time, 0.1% 0.01% Overload Recovery Time Total Harmonic Distortion + Noise	GBW SR t _S THD+N	V _S = 5V G = +1, C _L = 100pF V _S = 5V, 2V Step, G = +1, C _L = 100pF V _S = 5V, 2V Step, G = +1, C _L = 100pF V _{IN} • Gain ≤ V _S V _S = 5V, V _O = 3Vp-p ⁽¹⁾ , G = +1, f = 1kHz	5.5 6 1 1.6 0.2 0.0007		MHz V/μs μs μs μs %
OUTPUT Voltage Output Swing from Rail Over Temperature Over Temperature Short-Circuit Current Capacitive Load Drive	I _{SC} C _{LOAD}	R _L = 100kΩ, A _{OL} > 100dB R_L = 100kΩ, A_{OL} > 100dB R _L = 2kΩ, A _{OL} > 96dB R_L = 2kΩ, A_{OL} > 94dB	1 40 ±50	5 5 200 200	mV mV mV mV mA
SHUTDOWN t _{OFF} t _{ON} V _L (Shutdown) V _H (Amplifier is Active) I _{QSD}		V– (V–) + 2	1 3 10	(V–) + 0.8 V+	μs μs V V nA
POWER SUPPLY Specified Voltage Range Operating Voltage Range Quiescent Current (per amplifier) Over Temperature	V _S I _Q	2.7 I _Q = 0, V _S = 5V	2.5 to 5.5 0.75	5.5 1.0 1.2	V V mA mA
TEMPERATURE RANGE Specified Range Operating Range Storage Range Thermal Resistance SOT-23-6 Surface Mount MSOP-10 Surface Mount SO-8 Surface Mount	θ _{JA}	–55 –55 –65	200 150 150	125 150 150	°C °C °C °C/W °C/W °C/W °C/W

NOTE: (1) V_{OUT} = 0.25V to 3.25V.

OPA341, 2341
SBOS202A



Изм

Лист

№ докум.

Подп.

Дата

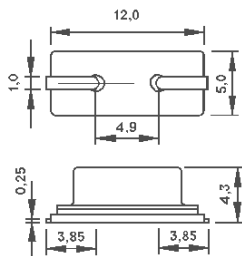
КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ

Лист

30

Приложение Д

HC-49/S SMD



Поверхностный

TKD

12 x 5 x 4,3 мм

3- 30 МГц

±10~±50ppm

12 пФ~∞

/±30/±50ppm

- 20 +70°C

- 40 +85°C

7 пФ макс.

100 мкВт макс.

±5ppm

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.124.Р3340.001 ПЗ