

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиотехники и электродинамики

**Разработка понижающего высокотемпературного преобразователя  
напряжения для ультразвукового расходомера на базе микросхемы -  
TPS54060DGQ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4071 группы

направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

института физики

Ходаковского Серафима Андреевича

Научный руководитель

ассистент

Д. А. Колосов

\_\_\_\_\_  
должность, уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_  
личная подпись, дата

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

О.Е. Глухова

\_\_\_\_\_  
уч. ст., уч. зв.

\_\_\_\_\_  
личная подпись, дата

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Саратов 2021 г.

## Введение

**Актуальность темы исследования.** В наше время существует большое количество расходомеров, в которые закладываются различные методы измерения расхода жидкости и газа, расходомеры отличаются областью применения и метрологическими параметрами. Методы с использованием акустических волн являются наиболее перспективными. Это связано с тем, что акустические волны являются универсальными носителями информации о том или ином состоянии объектов. Их способность беспрепятственно распространяться в различных средах, а также простота излучения и приема дает толчок к созданию новых эффективных расходомеров. За последние 20 лет ультразвуковые датчики нефтедобывающей промышленности прошли путь от инженерно-технической лаборатории до серийного производства и использования в качестве основных приборов измерения параметров ресурсов для коммерческого учета.

Ультразвуковая технология обладает высокой применимостью и точностью и имеет и другие характерные особенности : широкие пределы измерений, способность работать с реверсивными потоками, устойчивость к загрязнению и широкие возможности самодиагностики.

**Целью работы** является разработка понижающего высокотемпературного преобразователя напряжения для ультразвукового расходомера на базе микросхемы — TPS54060DGQ.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие основные **задачи**:

1. Выбор оптимального метода измерения расхода для ультразвукового расходомера.
2. Расчет требуемой точности измерения времени пробега волны, от излучателя к приемнику на основе время - измерительной микросхемы.
3. Выбор микросхемы понижающего высокотемпературного «DC-DC» преобразователя.

4. Моделирование преобразователя.
5. Численный расчет параметров схемы преобразователя.
6. Сборка конструкции.

**Объект исследования.** Ультразвуковые расходомеры, измеряющие расход жидкости или газа в различных средах.

**Предметом исследования** является разработка понижающего высокотемпературного «DC-DC» преобразователя от (24-36В) до 11В для ультразвукового расходомера, основанного на время - импульсном методе.

**Методы исследования.** В работе использованы методы разработки и проектирования платы в программе Altium Designer понижающего преобразователя напряжения. Методы численного расчета компонентов схемы в программе Maxima. Методы электродинамики и цифровой обработки сигналов.

**Объем и структура ВКР.** Бакалаврская работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Материал изложен на 50 страницах, включает 1 таблицу, 35 рисунков и схем. Названия глав ВКР:

1. Глава 1. Ультразвуковые расходомеры и их методы.
2. Глава 2. Расчет требуемой точности измерения времени пробега волны, от излучателя к приемнику при использовании время - импульсного метода.
3. Глава 3. Расчет понижающего высокотемпературного «DC-DC» преобразователя напряжения на базе микросхемы - TPS54060DGQ.
4. Глава 4. Конструкция ультразвукового расходомера.

## Содержание работы

Важной задачей в нефтяной отрасли является измерение расхода газа и нефти. Добыча и транспортировка топлива невозможны без устройств, в основе которых лежат разные методы измерения расхода.

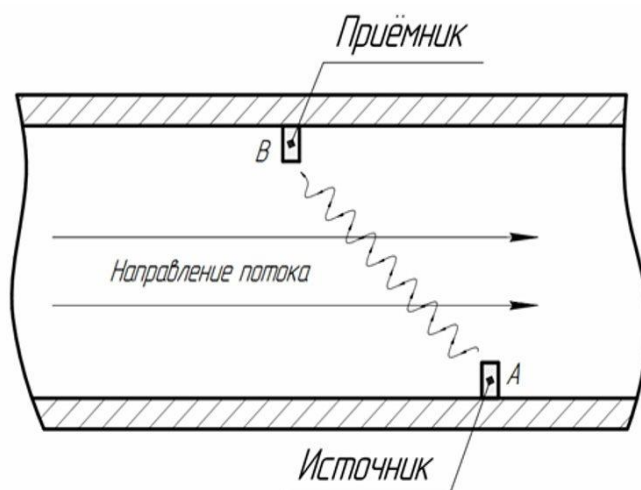


Рис.1. Принципиальная схема режима работы ультразвукового расходомера.

Данный тип расходомеров состоит из приемника и передатчика (см.рис.1), которые регистрируют ультразвуковые сигналы. Существуют жидкости с различными параметрами, в зависимости от прохождения потока жидкости скорость передачи УЗ-сигнала меняется. В случае распространения сигнала по направлению движения потока время передачи сигнала будет уменьшаться, а против направления движения потока увеличиваться. За счет разницы времени прохождения сигнала против потока и по потоку осуществляется расчет расхода жидкости. Расходомеры такого типа включают в себя аналоговый выход и микропроцессорный блок управления, а все отображаемые данные выводятся на геофизическую станцию для обработки полученных значений.

Частотно-импульсный метод. Импульсы, приходящие от источника к приемнику возбуждают генерацию новых импульсов. При измерении частоты повторения импульсов против движения потока жидкости и по потоку производится расчет расхода. Важным преимуществом данного метода является независимость результатов измерений от скорости ультразвуковой волны.

Доплеровский метод. Ультразвуковые волны от излучателя вводятся в жидкость, отраженные УЗ-волны с приемника поступают на анализатор сдвига частот. Сдвиг частот пропорционален скорости движения жидкости. Частота отраженного сигнала отличается от исходной из-за движения жидкости (эффект Доплера).

Фазовый метод. Суть данного метода заключается в том, чтобы вычислить зависимость фазовых сдвигов ультразвуковых колебаний, возникающих на приемнике, от разности времени прохождения этими колебаниями одинакового расстояния, по потоку движения жидкости и против потока.

Время-импульсный метод. Данный метод является основным в работе при разработке ультразвукового расходомера. Принцип вычислений расхода схож с фазовым методом. Время распространения ультразвуковой волны от излучателя к приемнику по направлению потока жидкости  $T1$  и время распространения ультразвуковой волны против потока жидкости  $T2$ , а также расстояние  $L$  между излучателем и приемником позволяют вычислить расход жидкости  $Q$ .

Для расчета расхода жидкости ультразвуковым расходомером выбран время-импульсный метод (п.2 ВКР). Важным параметром при использовании данного метода является подсчет времени пробега волны от излучателя к приемнику. Проведён, расчет в программе Maxima в ходе, которого, становится ясно, что измерение времени с помощью микроконтроллера не сможет обеспечить требуемую точность измерения скорости потока. Микроконтроллер не может измерить время меньше чем период его тактовой частоты.

```
(%i17) T12:L/(C+Umins);T21:L/(C-Umins);
(T12) 1.0666548149465 10-4
(T21) 1.066678518650207 10-4
(%i18) deltaT:T21-T12;
(deltaT) 2.370370370661677 10-9
```

Рис.2.Фрагмент расчета 1.

```
(%i25) T_tact:1/(F_tact) ,numer;
(T_tact) 5.555555555555556 10-9
☑ Требуемая точность измерения времени
(%i26) delta;
(%o26) 2.370370371474828 10-10
```

Рис.3.Фрагмент расчета 2.

В данной работе для подсчета времени выбрана микросхема TDC-GP 22 (рис.4). TDC - это time to-digital converter, переводя на русский : время - измерительная система. Это универсальный 2-канальный преобразователь времени в цифру (код) применяемый для ультразвуковых счетчиков тепла и воды. Важным моментом является то, что точность вычислений, которую могут позволить себе «стандартные счетчики», осуществляющие расчет времени за счет микроконтроллеров, тут не подходят, так как требуется многоканальность и «большая пропускная способность событий». Точность данной микросхемы 22 пс.

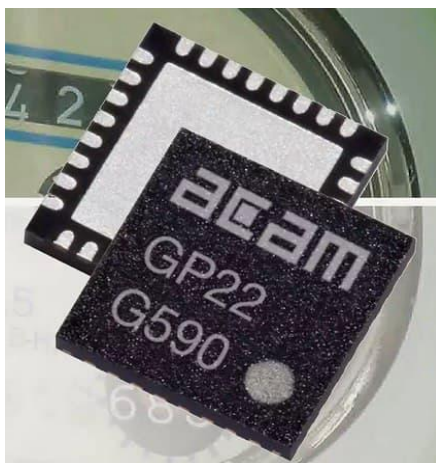


Рис.4. Микросхема TDC-GP 22.

Основная задача, которую решают время-цифровые преобразователи это определение временного интервала между событиями в нашем случае: определение времени пробега ультразвуковой волны между излучателем и приемником.

Проведен расчет понижающего высокотемпературного «DC-DC» преобразователя напряжения на базе микросхемы — TPS54060DGQ. Выбрана микросхема для данного преобразователя, и описан режим его работы. Проведен расчет каждого компонента схемы. На основе полученных данных промоделирована плата понижающего преобразователя напряжения в программе Altium Designer (п.3).

Принцип работы понижающих преобразователей импульсного типа основан на явлении самоиндукции. При прерывании тока, идущего через катушку индуктивности, в магнитном поле, которое индуцировано вокруг нее, возникает ЭДС, а на ее клеммах - напряжение обратной полярности. Управляя током и временем переключения схемы с помощью «ШИМ», можно выполнять регулировку напряжения самоиндукции.

Так как данный преобразователь напряжения «DC-DC» будет работать в скважинном расходомере, он должен сохранять работоспособность при входном напряжении от 24-36В, в широком диапазоне внешних температур от 40С до +150С. Выбрана микросхема - TPS54060DGQ(D2), у которой температура срабатывания тепловой защиты +175С, на базе которой мной рассчитан источник питания.

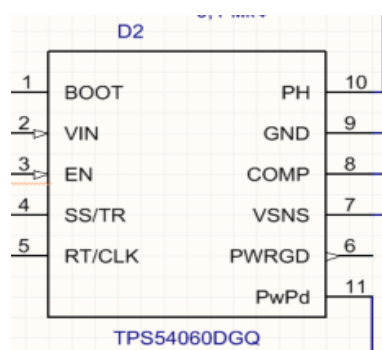


Рис.5.Микросхема TPS54060DGQ(D2).

Преимущества данной микросхемы : Быстрый отклик, отличная стабилизация по нагрузке, высокий КПД во всех режимах, мягкая работа в пограничном режиме, фиксированная частота в стабильном режиме, отсутствие компенсации ЧХ, малый размер компонентов.

Схема источника приведена на картинке ниже. Расчет и выбор каждого элемента схемы состоит из 10 пунктов ВКР (3.3.1-3.3.10). Численный расчет вычислений проведен в программе Maxima.

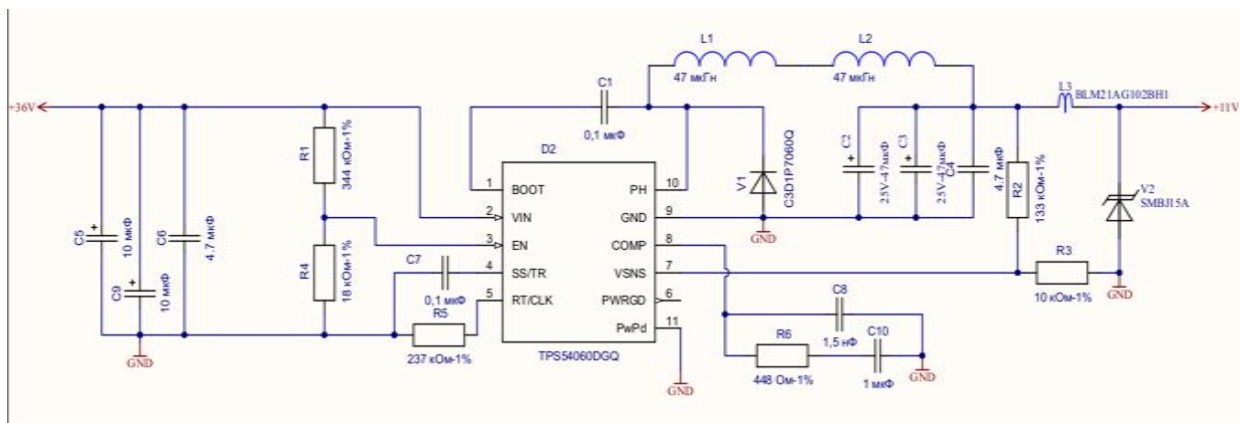


Рис.6.Схема понижающего преобразователя.

Таблица 1.- Рассчитанные компоненты платы.

Название	Полученные значения в ходе расчета
Входные фильтрующие конденсаторы	C5-10 мкФ, C9-10 мкФ, C6-4.7 мкФ
Входной делитель напряжения	R4-18кОм , R1-344 кОм
Конденсатор плавного запуска микросхемы	C7-0.1 мкФ
Конденсатор вольт-добавки	C1-0.1 мкФ
Составной дроссель	L1-47 мкГн , L2-47 мкГн
Разрядный диод	V1-C3D1P7060Q SiC
Цепь коррекции	C8-1.5 нФ, R6-448Ом, C10-1 мкФ
Выходные фильтрующие конденсаторы	C3-25V-47мкФ, C4-25V-47мкФ, C5-4.7мкФ
Делитель обратной связи	R2-133 кОм, R3-10 кОм
Резистор, задающий частоту коммутации микросхемы	R5-237 кОм-1%
Интегрированный транзистор-внутри микросхемы	200-мОм
Защитный диод	SMBJ15A

Промоделируем расчет индуктивности в зависимости от частоты коммутации (График 1).



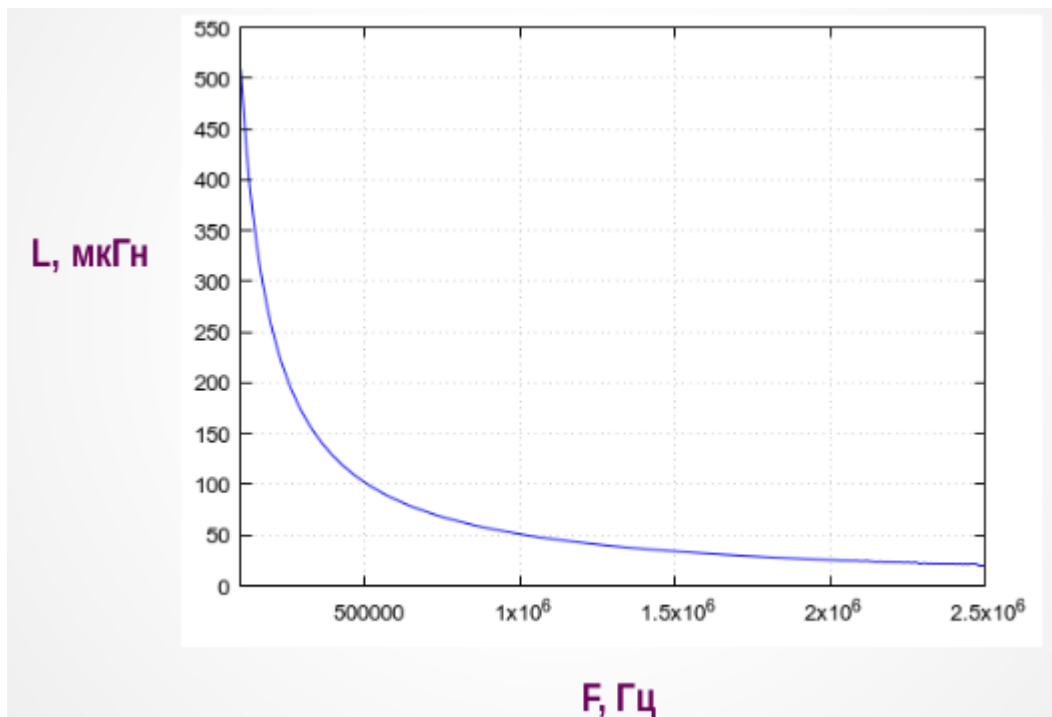


График 1.

В качестве катушки индуктивности выбраны два дросселя типа «INLP-4040DZ»-5А с индуктивностью 47мкГн каждый. Для катушки индуктивности, важно, чтобы среднеквадратичное значение номинальные значения тока и тока насыщения не были превышены.

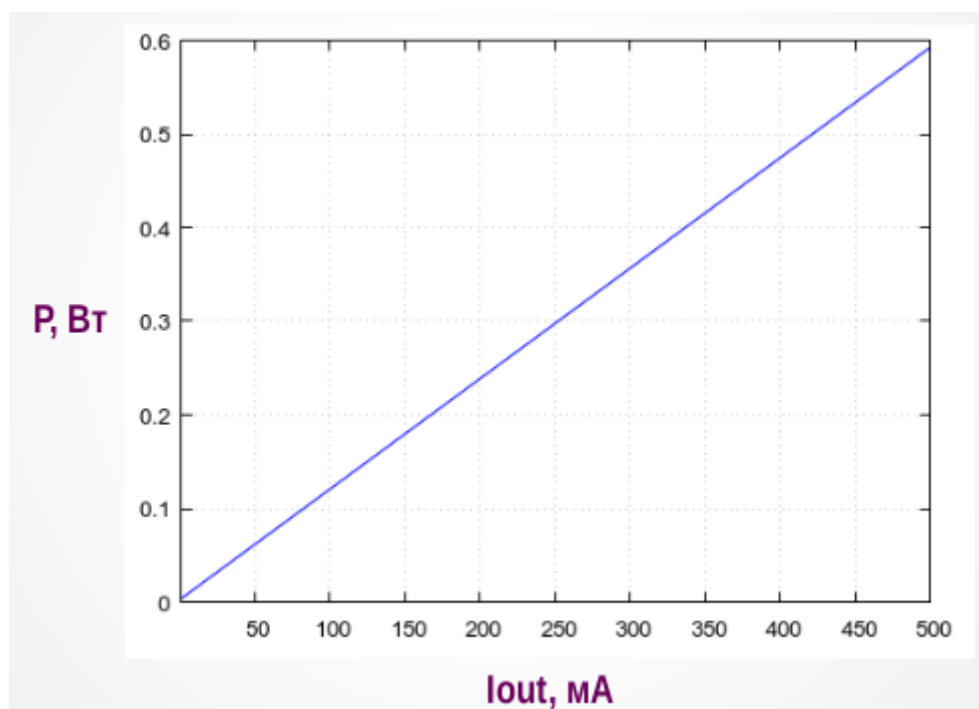


График 2.

Также в (п.3.3.8 ВКР) промоделирована мощность, рассеиваемая на диоде, в зависимости от выходного тока и получен график 2. Выбран диод на карбиде кремния (Silicon Carbide Schottky Diode C3D1P7060Q), так как данный диод имеет маленькую емкость перехода, что позволяет работать на высокой частоте. Промоделирована зависимость температуры корпуса микросхемы TPS54060DGQ от выходного тока при максимальной нагрузке (п.3.3.10 ВКР). При максимальной нагрузке температура корпуса микросхемы не превышает порога срабатывания защиты от перегрева 182С, максимальный выдаваемый ток 0.5А.

Представлена конструкция ультразвукового расходомера и описаны ее основные модули. Приведена плата понижающего преобразователя напряжения в 2D и 3D (п.4 ВКР).

Конструктивно модуль разделен на следующие сборочные единицы: отклонитель, блок датчиков, наконечник, плата УЗ-расходомера, устройство контактное. Данные составные части сделаны из титана.

Работа модуля основана на измерении скорости распространения ультразвуковых импульсов и их затухания в среде. Для определения скорости измеряется время прохождения импульса между излучателем и приемником акустических импульсов, причем для определения скорости потока измеряется разность времен пробега импульсов вдоль потока в противоположных направлениях. В главе 4 ВКР конструкция описана более подробно.

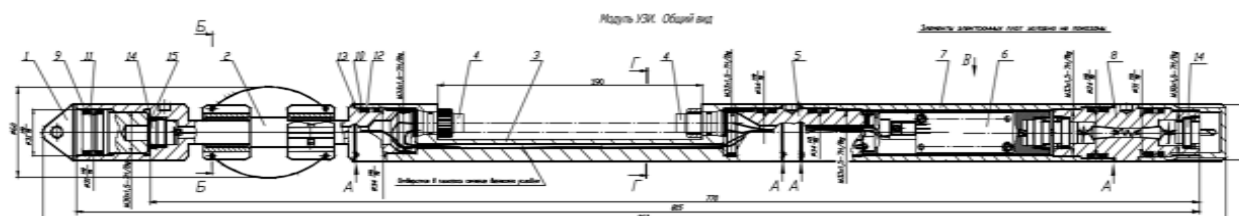


Рис.4.1.Общий вид модулей

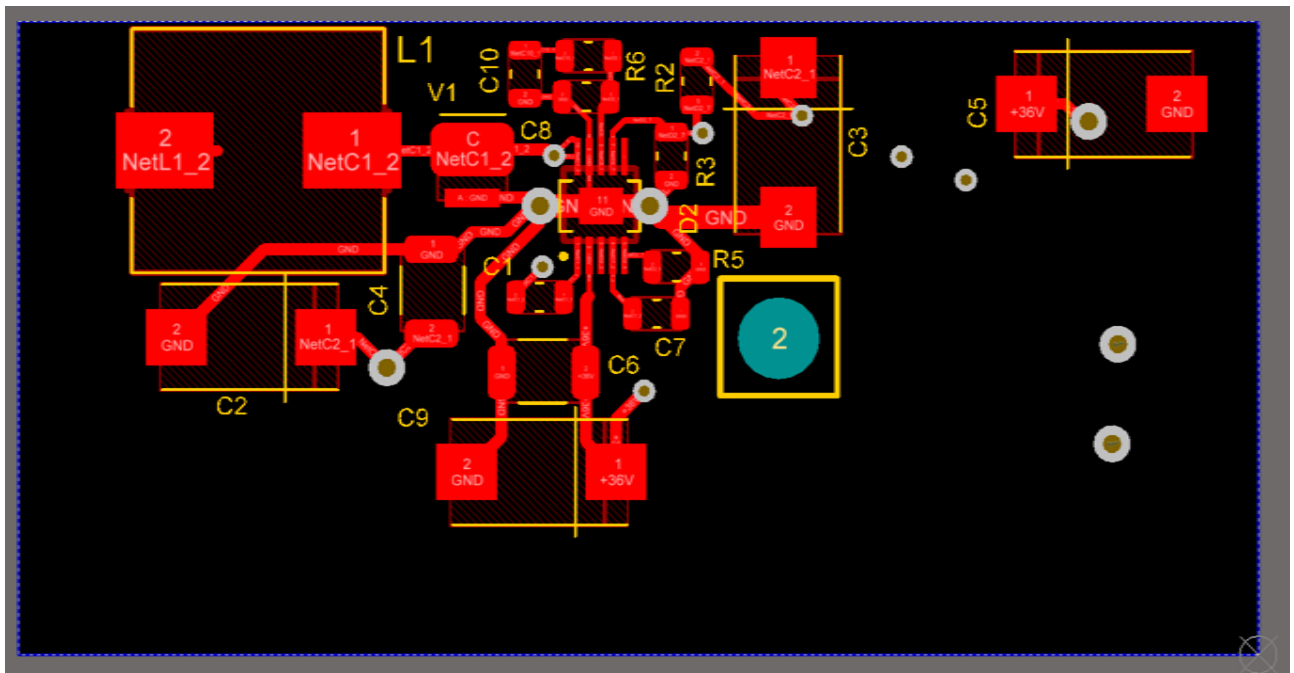


Рис.7.Плата в 2D

### Заключение

В ходе проделанной работы, проведен анализ методов измерения расхода ультразвуковых расходомеров, таких как, доплеровский, время-импульсный, частотный и фазовый, на основе выбранного метода (время-импульсный), проведен расчет в программе Maxima, в ходе которого выбрана время - измерительная микросхема (time to digital converter – TDC GP 22), которая играет первичную роль при измерениях. Исходя из расчета, сделан вывод, что стандартный микроконтроллер не может измерить время пролета импульса от источника к приемнику с заданной точностью, так как точность микроконтроллера ( $5.555 \cdot 10^{(-9)}$ (нс)) не может быть больше чем период его тактовой частоты. Данная микросхема измеряет время пролета ультразвуковой волны от источника к приемнику с точностью 22 пс.

Так как, от точности работы источника питания зависит точность измерения микросхемы, для данной микросхемы разработан понижающий высокотемпературный «DC-DC» преобразователь ( $U_{вх}=24-36V$ ,  $U_{вых}=11V$ ,

$I_{Lmax}=0.5A$ ), на базе микросхемы TPS5460DGQ, способный работать при температурах  $+150C$ . Порог срабатывания тепловой защиты микросхемы  $+182C$ . Для данного преобразователя выбраны компоненты схемы, способные сохранять режим стабильной работы при высоких температурах. Промоделирован график зависимости индуктивности составного дросселя от частоты коммутации в ходе, которого выбраны параметры для составного дросселя  $(47+47)$  мкГн, также рассмотрена зависимость мощности рассеиваемой на диоде в зависимости от выходного тока. Рассчитан каждый элемент схемы (п.3.ВКР), основой для выбора элементов в первую очередь был температурный режим стабильной работы  $+150C$ . Проведена проверка прибора на стабильную работу при максимальной нагрузке. С учетом полученных значений смоделирована схема в программе «Altium Designer» и описан режим работы платы понижающего преобразователя. В ходе моделирования получены реальные модели платы в 2D и 3D. Компоненты платы безвыводные, фирмы – Texas Instruments, данные компоненты обладают высокой надежностью и простотой монтажа (с помощью робота). Описана конструкция прибора – ультразвукового расходомера, и ее основные модули. Проведена сборка преобразователя напряжения в конструкцию расходомера.

Разработанный понижающий «DC-DC» преобразователь напряжения, предназначен для установки в корпуса ультразвуковых расходомеров для стабильной работы данных приборов (измерения расхода) в условиях акустической помехи, так как режим работы данных приборов условлен высокими температурами и высокими давлениями (внутри скважины). Преобразователь напряжения способен сохранять режим стабильной работы при высокой температуре  $+150C$  с максимальной токовой нагрузкой.