

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников

**Разработка на программируемом микроконтроллере регулятора
температуры для сверхвысокочастотных генераторов с частотоподающими
элементами на поверхностных акустических волнах**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 202 группы
направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»
факультета нано- и биомедицинских технологий
Алексеевко Артёма Сергеевича

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

Караваяев А.С.

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

Михайлов А.И.

инициалы, фамилия

Саратов 2018

ВВЕДЕНИЕ. Управление технологическими процессами при помощи регуляторов, функционирующих по пропорционально-интегрально-дифференциальному закону, дает возможность поддерживать необходимую технологическую величину с высокой точностью и приемлемой помехоустойчивостью к внешним возмущающим воздействиям. В качестве базовых элементов обработки информации и управления часто используются микропроцессорные устройства с ограниченными функциональными возможностями.

В соответствии с характеристикой профессиональной деятельности специальности электроника и нанoeлектроника цель данной дипломной работы является обзор принципов построения линейных регуляторов, проектирование и конструирование программируемого электронного прибора на основе электронных компонентов твердотельной электроники предназначенного для термостатирования сверхвысокочастотных генераторов с частотоподающими элементами на поверхностных акустических волнах, работающих в широком диапазоне температур окружающей среды для жестких условий эксплуатации..

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Проведен аналитический обзор ПИД-регуляторов и рассмотрены общие вопросы создания и настройки ПИД-регуляторов.
- Проведен аналитический обзор частотоподающих устройств твердотельной СВЧ электроники на ПАВ.
- Разработана прецизионная подсистема измерения температуры.
- Доработана система термостабилизации СВЧ генератора.
- Создан и опробован в действии алгоритм реализующий линейный регулятор.
- Разработан тестовый макет системы термостатирования.
- Произведена сборка, настройка и отладка подсистемы выдачи регулирующего воздействия.

Разработка аналого-цифровых систем регулирования является актуальной

и внедряется повсеместно, одно из таких применений - термостатирование.

Трудно привести отрасль, для управления процессами и автоматизации в которой не использовались бы ПИД-регуляторы. Это и стекловарение, теплоэнергетика, горная промышленность и т.д. Основной проблемой, толчком к модернизации и применению различных модификаций ПИД-регуляторов служит необходимость настройки их для управления определенным объектом, со специфическими заданными условиями. Несмотря на большое количество коммерческих продуктов, остается много нерешенных проблем, связанных с качеством настройки, влиянием нелинейностей объекта управления и внешних возмущений, возникающих при жёстких условиях эксплуатации в широком диапазоне рабочих температур, это приводит к необходимости разработки алгоритма коррекции настроек применительно к условиям области, в которой осуществляется регулирование.

Актуальность данной работы обусловлена – необходимостью разработки специализированных решений для жёстких условий эксплуатации в широком диапазоне рабочих температур.

Новизна и техническая значимость работы определяется необходимостью создания прецизионной быстродействующей системы термостатирования частото задающего элемента малогабаритного высокостабильного сверхмалошумящего СВЧ генератора с резонатором на поверхностных акустических волнах с малым временем выхода на режим (менее 3-х минут) для жёстких условий эксплуатации в широком диапазоне рабочих температур.

Положение, выносимое на защиту. Разработанная система термостабилизации частото-задающего элемента генератора, реализованная на базе микроконтроллера, обеспечивает выход на режим температурной стабилизации на 71 секунду быстрее, чем штатная система термостабилизации, благодаря гибкости цифровой схемы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ. Использование термостатированных кварцевых генераторов в навигационном оборудовании, а

также в космической радиоаппаратуре и авионике предъявляет особенно высокие требования не только к температурной стабильности частоты генераторов, но и к массогабаритным характеристикам и энергопотреблению, то есть современные конструкции термостатированных кварцевых генераторов должны иметь минимальные массогабаритные характеристики и энергопотребление.

Учитывая это, одной из главных проблем, возникающих при разработке конструкций термостатированных кварцевых генераторов, является устранение технического противоречия между требованиями к уменьшению массогабаритных характеристик и энергопотребления таких генераторов, с одной стороны, и обеспечению высокой температурной стабильности частоты и относительно небольшого времени готовности этих генераторов, с другой стороны. Следует отметить, что стабильность частоты кварцевых генераторов зависит от температурного режима чувствительных элементов, входящих в состав кварцевых генераторов, в особенности резонатора, поэтому для обеспечения стабильной работы кварцевых генераторов необходимо путем нагрева поддерживать заданную температуру чувствительных элементов генератора при изменении температуры окружающей среды.

Зависимость выходной частоты генератора от внешней температуры окружающей среды называется температурной стабильностью генератора. В свою очередь на температурную стабильность генератора превалирующее оказывает зависимость резонансной частоты резонатора от температуры окружающей среды, называемой температурно-частотной характеристикой резонатора. В зависимости от используемого метода обеспечения температурной стабильности, кварцевые генераторы могут быть: простыми и термокомпенсированными, с аналоговой или микроконтроллерной стабилизацией температурного ухода частоты. Прецизионные кварцевые генераторы, как правило, имеют два независимых контура термостатирования (выпускаются компаниями «Морион» (РФ, г. Санкт-Петербург), «Racon» (Франция), «Pascal» (Англия)). Среди перечисленных видов кварцевых

генераторов наибольшей температурной стабильностью обладают термостатированные генераторы, а также генераторы с двойным термостатированием. Однако они наиболее дороги, потребляют больше энергии по сравнению с более простыми моделями и требуют некоторого времени для установления своей частоты (выхода на режим). ТЧХ резонатора определяет температурную стабильность генератора и возможный рабочий диапазон температур и зависит от типа среза пластины кристалла кварца.

Исследование штатной системы термостатирования генератора с резонатором на поверхностных акустических волнах (ПАВ) («2» рисунок 1) проводилось в нормальных условиях окружающей среды с естественным охлаждением за счёт теплоотдачи с поверхности исследуемого образца.

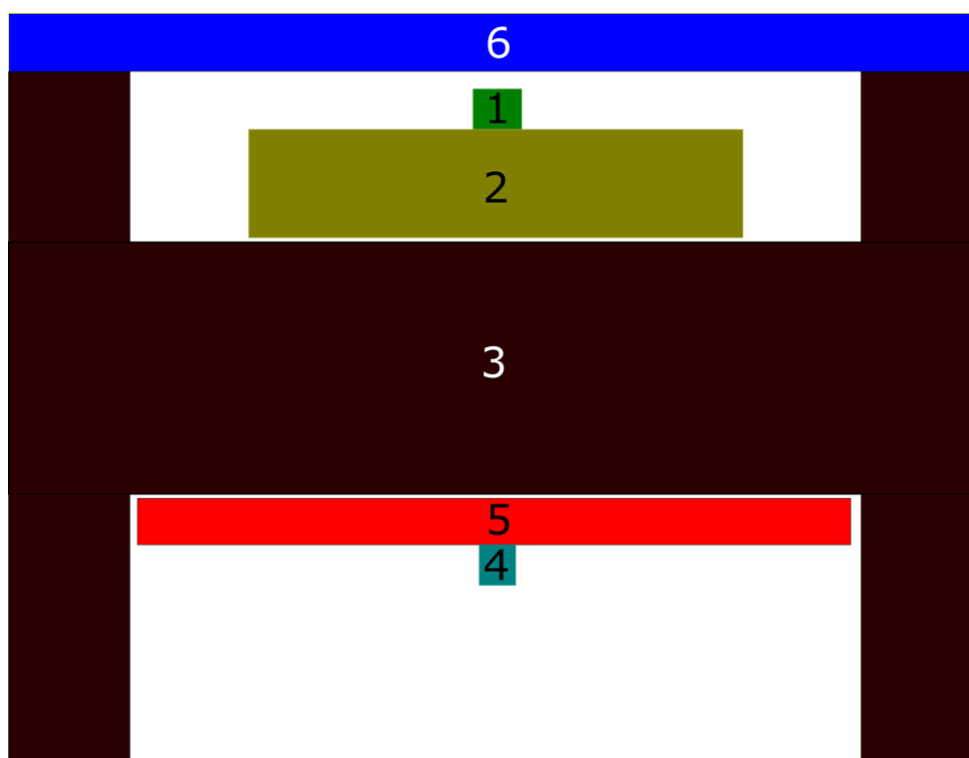


Рисунок 1 – Схематическое изображение термостатированного генератора с резонатором на ПАВ.

Контроль потребляемого тока, проводился с помощью встроенного в источник питания Agilent E3620A амперметра, контроль управляющего напряжения транзисторов проводился вольтметром APPA 98II, контроль температуры исследуемого объекта проводился путём измерения температуры на поверхности ПАВ резонатора с помощью прецизионного платинового

терморезистора 701-101ВАА-В00 с линейной характеристикой сопротивления от температуры в диапазоне температур от минус 70 °С до +500 °С с положительным температурным коэффициентом сопротивления 0,385 Ом/ °С. Сопротивление данного терморезистора при температуре 0 °С составляет 100 Ом±0,06 %. В этом эксперименте данный терморезистор («1» рисунок 1) используется только для определения температуры на внешней поверхности крышки резонатора, габаритные размеры которого 0,7x0,7x0,5 мм, что максимально снижает погрешность измерения температуры.

Основным нагревательным элемент конструкции термостата является тонкоплёночный резистор на керамической подложке («5» рисунок 1) (нижний нагреватель), смонтированный на корпусе исследуемого объекта («3» рисунок 1) и совместно с аналоговой системой регулирования образует самостоятельный термостат. Датчик температуры данного термостата («4» рисунок 1) приклеен с помощью теплопроводящего клея непосредственно на поверхность нагревателя, таким образом, достигается максимальная устойчивость работы термостата, несмотря на тепловую инерционность системы. Электрическая схема штатной системы термостатирования приведена на рисунке 2.

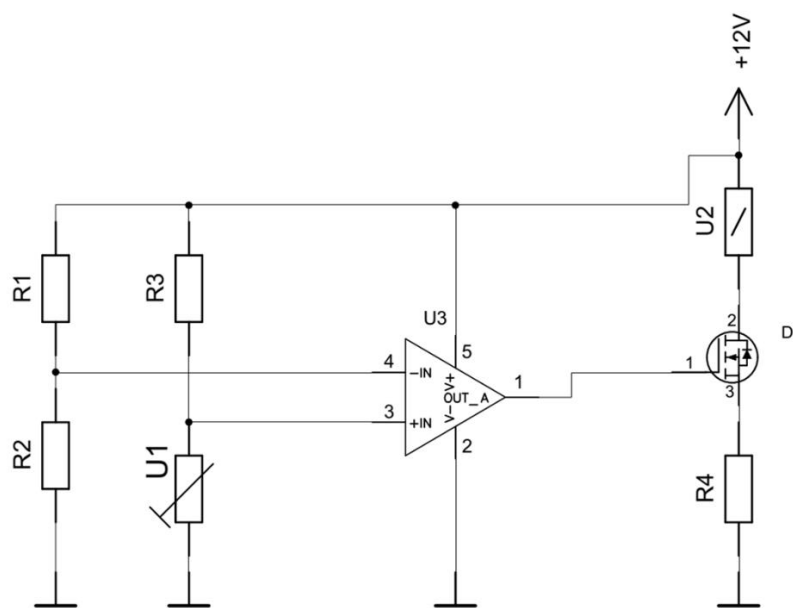


Рисунок 2 – Схема электрическая-принципиальная штатной системы термостатированного генератора с резонатором на ПАВ.

На рисунке 3 (кривая 1) показан график изменения выделяющейся в процессе нагрева мощности в течение 10 минут с момента подачи напряжения питания +12 В. Из данного графика следует, что в режиме потребления максимальной мощности от источника питания в процессе нагрева выделяется 1428 Дж тепловой энергии, после чего наступает снижение общего тепловыделения, так как температура на поверхности нагревателя (в точке крепления датчика температуры «4») достигла требуемой величины. Однако, это не означает, что все элементы конструкции генератора достигли требуемой температуры, более того, это не означает, что и термостатируемый элемент «2» достиг температуры термостатирования.

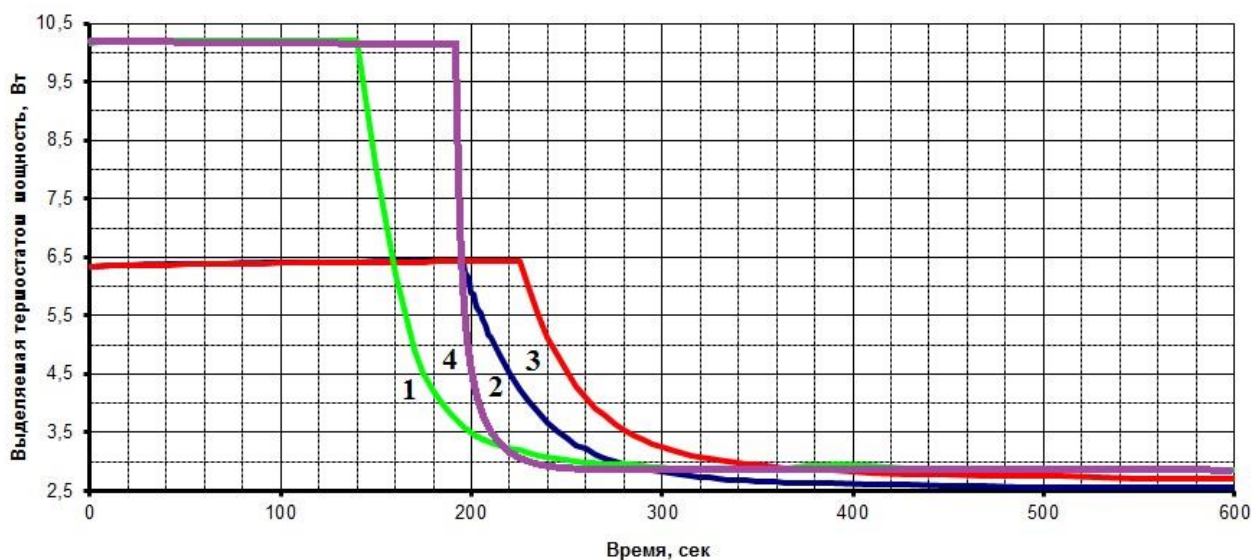


Рисунок 3 – Мощность, выделяемая в различных конструкциях термостата генератора на ПАВ:

кривая 1 – штатная система;

кривая 2 – штатная система без верхнего нагревателя;

3 – модернизированная система термостатирования с 2-мя датчиками без верхнего нагревателя;

4 – модернизированная система термостатирования с ПИД регулированием.

Затем была проведена модернизация рассматриваемой системы аналогового пропорционального термостата, заключающаяся в том, что в силу конструктивных особенностей, отключили верхний нагреватель «б» (рисунок 1). Соответствующий график выделяющейся в процессе нагрева мощности показан на рисунке 3 кривые 2.

Очевидно, что общее количество тепла (1249 Дж), затраченное на нагрев по-прежнему остаётся приблизительно одинаковым с учётом погрешности, несмотря на увеличение времени нагрева, по сравнению с основной схемой.

Далее провели модернизацию системы термостатирования, путём введения в контур термостата второго датчика «б», соединенного параллельно, так как их эквивалентное сопротивление определяется величиной наименьшего из них сопротивления (то есть более «холодным» датчиком), это позволило дольше поддерживать работу термостата в режиме выделения максимальной мощности, что в целом сократит время выхода на режим генератора на ПАВ. Из данного графика (кривые 3 рисунок 3) следует, что в режиме потребления максимальной мощности от источника питания в процессе нагрева выделяется 1443 Дж тепловой энергии.

Как известно, устройство регулирования или поддержания постоянной температуры может быть выполнено по аналоговой или цифровой схеме. Цифровая схема имеет многие преимущества, главное из которых в нашем случае – гибкость. Даже в уже смонтированной системе можно оперативно менять параметры регулирования и даже алгоритм работы, добиваясь устойчивости работы системы и требуемой точности поддержания температуры.

В задачах управления всегда есть два объекта – управляемый и управляющий. Управляемый объект обычно называют объектом управления или просто объектом, а управляющий объект – регулятором.

Чтобы регулятор мог «видеть», что фактически происходит с объектом, нужны датчики. С помощью датчиков чаще всего измеряются те характеристики объекта, которыми нужно управлять. Кроме того, качество управления можно улучшить, если получать дополнительную информацию – измерять внутренние свойства объекта.

В типичную систему управления входят объект, регулятор, привод и датчики.

Основная задача управления связана с тем, что на объект действует

окружающая среда – внешние возмущения, которые «мешают» регулятору выполнять поставленную задачу. Большинство возмущений заранее непредсказуемы, то есть носят случайный характер.

Кроме того, датчики измеряют параметры не точно, а с некоторой ошибкой, пусть и малой. В этом случае говорят о «шумах измерений» по аналогии с шумами в радиотехнике, которые искажают сигналы.

В соответствии с рисунком 4, представлена структурная схема системы управления:

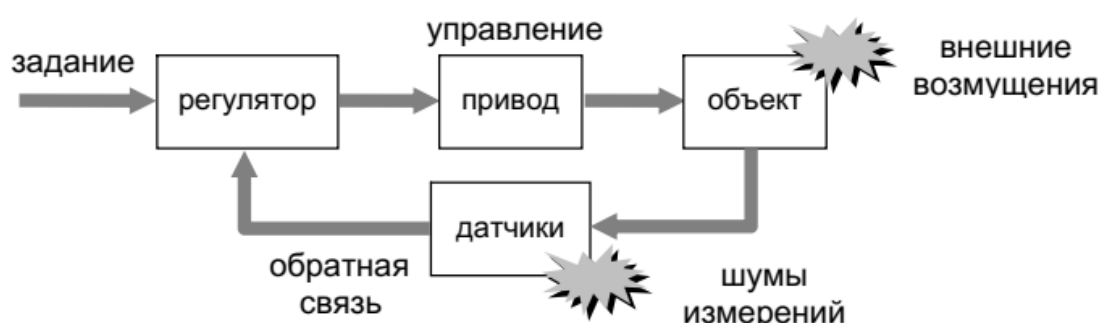


Рисунок 4 – Блок-схема регулятора.

После этого был разработан и апробирован макет, максимально приближенный к существующей системе. На котором были отработаны принципы ПИД регулирования.

Работа системы затрудняется тем обстоятельством, что генератор предназначен для работы в широком диапазоне температур (от минус 60 °С до +70 °С) и необходимо обеспечить температурную стабилизацию всех его узлов, особенно ПАВ резонатора.

На рисунке 5 представлена принципиальная электрическая схема модернизированной системы термостатирования с ПИД регулированием.

На рисунке 6 показан график изменения температуры на внешней поверхности крышки исследуемого объекта, измеренной с помощью терморезистора.

Особенностью разработанной схемы, является то, что по сравнению со штатной системой наблюдается более высокий темп нагрева (более длительный период выделения максимальной мощности), после достижения требуемой температуры на поверхности ПАВ резонатора наблюдается плавное регулирование температуры, так как наступает тепловое равновесие и медленно происходит выравнивание температуры по поверхности всего изделия, что в целом сокращает время нагрева, при этом система становится более гибкой, а как следствие и более эффективной во всем диапазоне рабочих температур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В результате выполнения магистерской были получены следующие результаты:

- 1) Проведен аналитический обзор ПИД-регуляторов и рассмотрены общие вопросы создания и настройки ПИД-регуляторов.
- 2) Проведен аналитический обзор частотоподающих устройств твердотельной СВЧ электроники на ПАВ.
- 3) Проведено численное моделирование ПИД регулирования.
- 4) Разработана прецизионная подсистема измерения температуры.
- 5) Доработана система термостабилизации СВЧ генератора.
- 6) Создан и опробован в действии алгоритм реализующий линейный регулятор.
- 7) Разработан тестовый макет системы термостатирования.
- 8) Произведена сборка, настройка и отладка подсистемы выдачи регулирующего воздействия.