Разработка электронного устройства для бесконтактного измерения температуры плазмы. Выпускная квалификационная работа 134 с.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

4

АННОТАЦИЯ

Целью данной работы является разработка устройства для измерения истинной температуры низкотемпературной плазмы методом относительных интенсивностей спектральных линий. В работе описаны различные методы бесконтактной пирометрии, приведен их сравнительный анализ. Приводятся расчетные формулы.

Разработаны структурная, функциональная и электрическая принципиальная схемы устройства, алгоритм работы однокристальной микроЭВМ. Проведен расчет относительной погрешности устройства.

Содержание

Ведомость документации 7

#### Техническое задание 9

#### Введение 10

#### 1 Расчетно-теоретическая часть 12

 1.1 Обзор существующих методов бесконтактного определения температуры 12

 1.2 Выбор и описание структурной схемы30

 1.3 Выбор и расчет элементов схемы 34

 1.3.1 Выбор оптической системы 34

 1.3.2 Выбор спектрографа 35

 1.3.3 Выбор и расчет фотоэлектронного умножителя 37

 1.3.4 Выбор и расчет инвертирующего усилителя 46

 1.3.5 Выбор и описание микроконтроллера 47

 1.3.6 Расчет датчика положения диска 51

 1.3.7 Устройство индикации 51

 1.4 Описание работы устройства 52

 1.5 Расчет надежности 55

 1.6 Расчет погрешности 57

#### 2 Конструкторская часть 61

 2.1 Общие принципы конструирования печатных плат 61

 2.2 Способы изготовления печатных плат 63

 2.3 Технологические процессы сборки печатных плат 71

#### 3 Экономическая часть 81

 3.1 Маркетинговые исследование 81

 3.2 Определение технического уровня устройства и его конкурентоспособности 81

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

5

4062.060086.000 ПЗ

 Разраб.

Никонов А.А.

 Провер.

Шарфштейн А.Х.

 Реценз.

Еникеева Г.У.

 Н. Контр.

Данилин О.Е.

 Утверд.

Гусев Ю.М.

Устройство для бесконтактного измерения температуры плазмы

Пояснительная записка

Лит.

Листов

134

УГАТУ ПЭ-516

 3.3 Стандарты ИСО 87

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

6

 3.4 Составление калькуляции на разработку в УГАТУ 91

 3.5 Составление калькуляции на изготовление 94

 3.6 Определение экономического эффекта 96

 3.7 Моделирование рынка 103

 3.8 Распределение прибыли 104

#### 4 Безопасность и экологичность проекта 107

#### Заключение 122

#### Список литературы 123

Приложение А – Структурная схема 125

Приложение Б – Стоимость комплектующих 126

Приложение В – Программа микроконтроллера 128

Приложение Г – Патентная справка 132

Приложение Д – Перечень элементов 133

Техническое задание

Разработать устройство для бесконтактного измерения температуры плазмы в интервале температур Т=7000÷20000К. Относительная погрешность измерения не более 2%.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

9

Условия размещения измерительного прибора +10°С ÷ +40°С. Время измерения 5секунд.

## Введение

Использование в практике приборов, осуществляющих точное измерение высоких температур и автоматический контроль над ними, является одной из важнейших проблем ведущих областей современной промышленности.

Ежегодно создается большое количество новой аппаратуры, отличающейся от старой высокой точностью, чувствительностью и воспроизводимостью измерений. Совсем не так давно были затронуты проблемы измерения температур вблизи абсолютного нуля и весьма высоких температур (выше 10000ºС, температуры плазмы). В настоящее бремя одна из основных задач – измерение температур в пределах 1000-3000°С с точностью порядка нескольких градусов. Измерение температур выше 1000° с высокой точностью сложная задача.

Технологические процессы, характеризующиеся широким температурным диапазоном, непрерывностью и высокой скоростью, ограничивают применение наиболее распространенных в настоящее время приборов, осуществляющих температурный контроль, например термопар. В связи с этим все большее значение приобретают пирометры, измеряющие температуру по тепловому излучению, испускаемому телом. Методами пирометрии в промышленных и лабораторных условиях определяют температуру в печах и др. нагревательных установках, температуру расплавленных металлов и изделий из них, температуру пламён, нагретых газов, плазмы. Методы пирометрии не требуют контакта датчика измерительного прибора с телом, температура которого измеряется, и поэтому могут применяться для измерения очень высоких температур.

Преимущества применения приборов для бесконтактного измерения температуры при измерении достаточно высоких температур очевидны: температуру объектов определяют по излучаемому ими теплу, не подвергая при этом приборы нагреву до измеряемой температуры. Кроме того, при использовании таких приборов температура определяется исключительно по излучению данного объекта, благодаря чему температурное поле последнего не искажается.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

10

В данном дипломном проекте предлагается разработать прибор, предназначенный для бесконтактного измерения температуры плазмы в интервале температур от 7000 до 20000 К. Относительная погрешность измерения не должна превышать 2%.

При разработке данного прибора используется оригинальный метод, имеющий ничтожно малую методическую погрешность, поскольку расчет температуры плазмы ведется через отношение интенсивности спектральных линий с помощью формулы, полученной на основании точной формулы Планка.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

11

Разрабатываемый прибор может быть использован для измерения температуры плазмы при нанесении износостойких и коррозионно-стойких покрытий плазматроном.

# 1 РАСЧЕТНО – ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

12

Любое реальное физическое тело поглощает (излучает), отражает, и пропускает электромагнитное излучение. Излучение реальных нагретых тел, как правило, является тепловым. Это излучение системы, находящейся в термическом равновесии. /6/

1.1 Обзор существующих методов бесконтактного определения температуры

Почти все оптические методы измерения температуры основаны на измерении интенсивности теплового излучения тел. Интенсивность теплового излучения сильно зависит от температуры тел и очень резко убывает с её уменьшением. Поэтому методы пирометрии применяют для измерения относительно высоких температур. При Т ≤ 1000 °С методы пирометрии играют в целом второстепенную роль, но при Т > 1000 °С они становятся главными, а при Т > 3000 °С — практически единственными методами измерения температуры.

Основное условие применимости методов пирометрии— излучение тела должно быть чисто тепловым, т. е. оно должно подчиняться закону излучения Кирхгофа. Твёрдые тела и жидкости при высоких температурах обычно удовлетворяют этому требованию, в случае же газов и плазмы необходима специальная проверка для каждого нового объекта или новых физических условий. Так, излучение однородного слоя плазмы подчиняется закону Кирхгофа, если распределения молекул, атомов, ионов и электронов плазмы по скоростям соответствуют распределению Максвелла, заселённости возбуждённых уровней энергии соответствуют закону Больцмана, причём во все эти соотношения входит одно и то же значение Т. Такое состояние плазмы называется термически равновесным. Интенсивность излучения однородной равновесной плазмы и в линейчатом, и в сплошном спектрах однозначно определяется её химическим составом, давлением, атомными константами и равновесной температурой. Если плазма неоднородна, то даже при повсеместном выполнении условий термического равновесия её излучение не подчиняется закону Кирхгофа. В этом случае методы пирометрии применимы лишь к источникам света, обладающим осевой симметрией.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

13

Измерения наиболее просты для твёрдых тел и жидкостей, спектр излучения которых чисто сплошной. В этом случае измерения температуры осуществляют пирометрами, действие которых основано на законах излучения абсолютно чёрного тела. Обычно поверхности исследуемого тела придают форму полости, чтобы коэффициент поглощения был близок к единице (оптические свойства такого тела близки к свойствам абсолютно чёрного тела).

Наиболее универсальны методы пирометрии, основанные на измерении интенсивностей спектральных линий. Они обеспечивают максимальную точность, если известны абсолютная вероятность соответствующего перехода и концентрация атомов данного сорта. Если же концентрация атомов не известна с достаточной точностью, применяют метод относительных интенсивностей, в котором температуру вычисляют по отношению интенсивностей двух (или нескольких) спектральных линий. Варианты этих методов разработаны для измерения температуры как оптически тонких слоев плазмы, так и оптически толстых.

В другой группе методов пирометрии температура определяется по форме или ширине спектральных линий, которые зависят от температуры либо непосредственно благодаря эффекту Доплера, либо косвенно — благодаря эффекту Штарка и зависимости плотности плазмы от температуры. В некоторых методах температура определяется по абсолютной или относительной интенсивности сплошного спектра. Особое значение имеют методы определения температуры по спектру рассеянного плазмой излучения лазера, позволяющие исследовать неоднородную плазму. К недостаткам методов пирометрии следует отнести трудоёмкость измерений, сложность интерпретации результатов, невысокую точность (например, погрешности измерений температуры плазмы в лучших случаях оказываются не ниже 3—10%). /5/

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

14

Тепловое излучение – это переход внутренней тепловой энергии объекта в лучистую, распространяемую в окружающее пространство по законам распространения электромагнитных колебаний. Тепловое излучение любых тел подчиняется закону Кирхгофа, закону Стефана – Больцмана и ряду других законам.

Закон Кирхгофа

Тепловое излучение любых тел подчиняется закону Кирхгофа, согласно которому отношение яркости монохроматического излучения любого тела к коэффициенту монохроматического поглощения величина, не зависящая от излучающего тела, но зависящая от длины волны и температуры. Этот закон Кирхгофа можно выразить в виде:

 (1.1)

где IλT – яркость монохроматического излучения;

αλT – монохроматический коэффициент поглощения;

IλTdλ - это поток энергии, излученный в единичный телесный. угол в интервале длин волн, лежащих между λ и λ + dλ, в единицу времени с единицы поверхности излучающего тела;

αλT - часть падающего на единицу поверхности монохроматического излучения, которая поглощается телом. Для того чтобы, зная αλT, определить IλT для любого тела, нужно найти эту функцию. С этой целью вводится понятие абсолютно черного тела, т.е. такого тела, которое полностью поглощает любое падающее на него излучение.

Закон Кирхгофа для абсолютно черного тела будет выглядеть следующим образом:

, (1.2)

где I0λT — яркость монохроматического излучения абсолютно черного тела.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

15

Таким образом, определив универсальную функцию, закон Кирхгофа можно написать в виде

. (1.3)

Следовательно, для того чтобы, пользуясь законом Кирхгофа, по известному коэффициенту поглощения определить яркость монохроматического излучения любого тела как функцию температуры и длины волны, необходимо знать аналогичную функцию для абсолютно черного тела.

Также существуют и другие термодинамические законы, такие как закон Стефана – Больцмана, закон смещения Вина, формула Планка.

Закон Стефана – Больцмана.

Этот закон связывает яркость суммарного излучения абсолютно черного тела I0T (т.е. потока энергии, излученного в единичный телесный угол на всех длинах волн в единицу времени с единицы поверхности излучающего тела) с его температурой:

, (1.4)

где σ – постоянная величина; σ = 5,735 • 10-12 вт/см2 • град4 по определению

, (1.5)

т.е. суммарная яркость равна сумме монохроматических яркостей.

Закон смещения Вина.

IλT как функция λ представляет собой кривую с максимумом (при длине волны λm). Положение максимума зависит от температуры и может быть определено законом смещения Вина:

λmT=b, (1.6)

где b=0,2884 см•град.

Следовательно, чем ниже температура, тем больше λm и тем в более длинноволновой области лежит максимум излучения, а следовательно, и основная часть излучения.

При температурах 1000—2000°К максимум кривой излучения абсолютно черного тела и основная часть излучения лежат в инфракрасной области спектра. Лишь при температурах выше 3000°К максимум кривой излучения лежит в видимой области спектра (т.е. в интервале 0,4—0,8 мк).

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

16

Формула Планка.

Она определяет распределение энергии по спектру для абсолютно черного тела. При выводе этой формулы учитывается квантовый характер процесса излучения и поглощения света атомами, т.е. то, что атом может излучать и поглощать лишь целое число порций (квантов) энергии. Величина кванта равна *hν*. Тогда яркость монохроматического излучения абсолютно черного тела будет

, (1.7)



 где *с*1 = 3,7•10-5 эрг•сек-1•см-2;

*с*2= hν = 14380 мк•град;

*ν* – частота излучения;

*k* – постоянная Больцмана; k=1,37•10-18 эрг/град;

*с* – скорость света;

*h* – постоянная Планка; h=6,65•10-27 эрг•сек.

Рисунок 1.1. Распределение энергии

 по длин нам волн для абсолютно

 черного тела.

Эта формула справедлива при *λ*<0,8 мк и *Т*<3000° К, т.е. при обычных видах пламени и работе в видимой или ультрафиолетовой области спектра. В случае больших температур и малых частот формула Планка имеет такой вид

. (1.8)

Поскольку законы Стефана—Больцмана, Планка, Вина верны только для абсолютно черного тела, то путем измерения полной или монохроматической яркости истинная температура может быть определена также только для этого тела.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

17

Излучение реальных тел всегда меньше, чем абсолютно чер­ного тела при той же температуре. Это следует из закона Кирхгофа. Действительно, излучение реального тела можно харак­теризовать при помощи монохроматического коэффициента испускательной способности *ε*λТ, равного отношению яркостей мо­нохроматических излучений реального и абсолютно черного тела при одной и той же температуре и одной и тойже длине волны

. (1.9)

**Методы определения температуры.**

В настоящее время для измерения высоких температур можно использовать различные методы.

Яркостные и цветовые температуры излучающих тел можно определять фотографическим методом, поскольку почернение фотопластинки пропорционально интенсивности падающего на нее излучения. Необходимо, однако, предварительно отградуировать пластинку при помощи эталонного источника с известной температурой, находящегося на том же расстоянии от фотопластинки, что и тело, температуру которого мы измеряем. Если предварительно выделить, например, при помощи спектрографа, узкий спектральный интервал, то после фотометрирования можно определить яркостную температуру тела и даже отдельных его участков. Подобные методы применялись, в частности, для измерений температуры как неподвижных, так и быстродвижущихся твердых тел. Если же при помощи фотопластинки определять интенсивность монохроматического излучения, например для двух длин волн, или распределение энергии в спектре излучения, то по отношению интенсивностей можно определить цветовую температуру.

Методы инфракрасной пирометрии, т.е. методы, использующие инфракрасное излучение, позволяют резко расширить диапазон измеряемых температур и сторону низких температур, поскольку по закону Планка с уменьшением температуры максимум излучения перемещается в сторону более длинных волн.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

18

Кроме описанного выше, существуют и другие оптические методы определения температуры пламени по его излучению. Температуру пламени можно определять по отношению интенсивностей спектральных линий одних и тех же атомов, введенных в пламя или находящихся в пламени элементов, по распределению энергии во вращательном или колебательном молекулярном спектре продуктов горения в пламени и по уширению спектральной линии (эффект Допплера).

Измерение температуры по вращательному молекулярному спектру.

Температуру пламени можно также определять по распределению интенсивности между линиями тонкой вращательной структуры полосатого спектра. Соответствующие вероятности переходов могут быть найдены теоретически. Так как линии вращательного спектра обычно находятся очень близко друг к другу, необходимо применение спектрографов, обладающих большой дисперсией.

В этих случаях чаще всего используют лежащую в ультрафиолетовой области спектра вращательную полосу гидроксила ОН.

Существуют различные модификации рассматриваемого метода, позволяющие исключить ошибки, связанные с реабсирбцией излучения в пламени. Например, применяется так называемый метод равных интенсивностей, при котором температура определяется по двум линиям данной полосы, обладающим одинаковой интенсивностью (при данной температуре пламени), а в связи с этим и одинаковой реабсорбцией, которая в этом случае не повлияет на окончательные результаты измерения. Но это верно лишь в том случае, когда распределение температуры по сечению пламени можно считать равномерным; при наличии градиента температуры по сечению пламени реабсорбция при применении и этого метода вызовет погрешности измерения.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

19

Для внешних областей пламени значения температур, измеренных описанным методом, совпадают со значениями, получаемыми другими методами.

Для зоны реакции значения температур, полученных этим методом, зачастую сильно завышены, особенно для разреженного пламени. В некоторых случаях зависимость между логарифмом относительной интенсивности и обратным значением температуры не является линейной. Все это говорит о неравновесном характере излучения в зоне реакции, о задержке возбуждения, при которой по вращательному спектру определяют не истинную температуру, а вращательную, а также, в ряде случаев, о наличии хемилюминесценции.

Описанный метод может быть использован для установления степени равновесности исследуемых процессов горения. /6/

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

20

# *Измерение температуры по колебательному молекулярному спектру*

Температуру пламени можно определять также по распределению интенсивности колебательных полос внутри системы полос. При этом измеряется или суммарная интенсивность всей полосы, или максимальная интенсивность передней части каждой полосы; это позволяет (в отличие от измерения температуры по вращательному спектру) использовать спектральные приборы со сравнительно небольшой дисперсией.

Относительные вероятности переходов для полос могут быть вычислены или определены экспериментально при помощи источника излучения с известной температурой, излучающего те же самые колебательные полосы. Экспериментальный способ определения вероятностей переходов обеспечивает более высокую точность измерения температуры.

Так же как и при измерении температуры по вращательному спектру, данный способ измерения позволяет определить истинную температуру пламени лишь при наличии термодинамического равновесия. Наличие хемилюминесценции делает этот метод неприменимым для измерения температуры пламени, а пря наличии задержки возбуждения он позволяет определить не истинную, а колебательную температуру, которая может заметно отличаться от истинной температуры пламени. /11/

*Измерение температуры по Допплеровскому уширению спектральной линии.*

Если излучающие атомы движутся от наблюдателя или к нему, то спектральная линия смещается соответственно в сторону более длинных или более коротких волн. Это явление называется эффектом Допплера. Излучающие атомы совершают в пламени хаотическое движение, которое приводит к уширению спектральной линии в сторону как больших, так и меньших длин волн. Это уширение зависит от скорости молекул и, следовательно, от температуры.

## Полуширина линии Δλ определяется выражением

, (1.10)

где М—молекулярный вес излучающих атомов или молекул;

T— температура;

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

21

ν—волновое число спектральной линии;

R—газовая постоянная;

С—скорость света.

Измерение температуры сильно разреженных пламен при малой концентрации излучающих атомов практически возможно путем измерения полуширины спектральной линии, но это требует применения специальной аппаратуры – интерферометра Фабри – Перо в сочетании со спектрографом, обладающим высокой разрешающей способностью.

По мере увеличения давления газа уширение спектральной линии, вызванное столкновением излучающих атомов между собой и с другими атомами и молекулами (так называемое лоренцовское уширение), все усиливается. Это уширение уже при атмосферном давлении и Т=2000-3000 К сравнимо с уширением, вызванным эффектом Допплера.

Кроме этого, в результате реабсорции, ширина линии увеличивается с ростом концентрации излучающих атомов.

Таким образом, описываемый метод практически не может быть применен для измерения температуры неразреженной плазмы, поскольку в этом случае все три эффекта, приводящие к уширению линии, имеют приблизительно одинаковую величину и выделить уширение, вызванное эффектом Допплера, практически невозможно.

# *Метод обращения спектральных линий*

Для измерения температуры прозрачного пламени широко применяется метод обращения спектральных линий. При использовании метода обращения спектральных линий используется обычно самая яркая резонансная линия. Метод обращения спектральных линий (рисунок 1.2) заключается в следующем: пламя просвечивается источником сравнения таким образом, чтобы в спектроскоп, расположенный с другой стороны пламени, попадало как собственное излучение пламени, так и излучение источника сравнения (в качестве такового обычно применяется лампа накаливания с плоской нитью), прошедшее через пламя. В спектроскопе мы будем наблюдать полосу сплошного спектра от источника сравнения, на фоне которой будет выделяться линия, появляющаяся в результате введения в пламя щелочного металла. Эта линия будет светлее или темнее близлежащих областей сплошного спектра в зависимости от того, будет ли энергия, излученная пламенем, в той области спектра, в которой расположена спектральная линия, больше или меньше энергии, поглощенной пламенем из излучения источника сравнения в этой же области спектра.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

22

Из закона Кирхгофа следует, что при равенстве истинной температуры пламени и яркостной температуры источника сравнения названные величины будут равны, и линия не будет выделяться на фоне сплошного спектра. Это исчезновение (обращение) спектральных линий достигается изменением температуры источника сравнения.



Рисунок 1.2. Оптическая схема измерения температуры пламени методом обращения спектральных липни

Исходяиз определения методических и приборных погрешностей, данных во введении, можно утверждать, что метод обращения спектральных линий позволяет измерять температуру пламени с методической погрешностью, равной нулю. Но только в оптически чистых средах, так как в промышленных условиях линии спектра будут ослабляться.

Температура частичной радиации

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

23

В системах частичной радиации со спектральной полосой от 0 до λ зависимость суммарной энергии, воспринимаемой пирометром, от температуры более сильная, а зависимость от излучательной способности более слабая, чем в системах полной радиации.

Предположим, что характеристика спектральной чувствительности пирометра частичной радиации является прямоугольной. Для величины энергии излучения, воспринимаемой пирометром, можно написать выражение:

. (1.11)

Через Тq обозначим температуру, измеряемую по энергии радиации. В данном случае при измерении температуры поверхности с излучательной различие между Т и Тq за счет неполноты излучения можно записать в виде относительной методической погрешности:

δTq = ( Т – Тq )/ Т = 1 – εq1/n (Т). (1.12)

В пирометрии полного излучения n = 4 и Т/Т = 1 – ε1/4 (Т).

Для пирометра частичной радиации величина n будет увеличиваться не только при уменьшении λq, но и при понижении температуры. Чем ниже значения последней, тем слабее величина ε(Т) влияет на результаты измерения пирометром.

## *Яркостная температура*

Зависимость интенсивности теплового излучения определенной длины волны от температуры, лежащая в основе методов монохроматической пирометрии, полностью описывается законом Планка.

Графиком этой зависимости от температуры является изохромата (λ=соnst). В пределах применимости приближения Вина удобна логарифмическая форма записи уравнения изохроматы излучения:

. (1.13)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

24

Таким образом, логарифм интенсивности излучения связан с обратным значением температуры линейной зависимостью.

Зависимость яркости от температуры тем сильнее, чем короче длина волны. Дифференцируя уравнение, описывающее в приближении Вина изохромату излучения, и переходя к конечным приращениям, получим выражение для относительной чувствительности метода монохроматической пирометрии:

. (1.14)

Относительная чувствительность метода обратно пропорциональна величине . Таким образом, чем выше измеряемая температура и чем больше применяемая длина волны, тем ниже точность метода монохроматической пирометрии.

При больших значениях произведения  для монохроматической пирометрии используется уравнение Рэлея - Джинса, которое относительно Т можно записать так:

. (1.15)

С точностью порядка 1% это уравнение справедливо лишь при значениях > 50. Таким образом, для яркостной пирометрии в видимой области спектра приближение Рэлея - Джинса может быть использовано лишь для температур выше 25000°С. Однако, если для измерения температуры использовать излучение в диапазоне микрорадиоволн, то уравнение справедливо во всем температурном диапазоне, начиная с нескольких градусов Кельвина.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

25

Абсолютная чувствительность метода в области Рэлея - Джинса вследствие линейной зависимости силы излучения от температуры существенно ниже. Относительная чувствительность метода монохроматической пирометрии в области Рэлея - Джинса постоянна и от температуры не зависит:

. (1.16)

В монохроматическом методе пирометрии температура измеряется по величине спектральной яркости. За яркостную температуру тела , имеющего спектральную излучательную способность , принимается температура черного тела, имеющего при выбранном значении длины волны ту же величину спектральной яркости. Таким образом,

. (1.17)

Для пирометра частичной радиации яркостную температуру нечерного тела можно также определить как температуру черного тела Т, имеющего в выбранном спектральном интервале то же значение эффективной длины волны и ту же величину энергии излучения.

Для монохроматического метода пирометрии зависимость между яркостной  и истинной  температурами при эффективной длине волны  и излучательной способности  получим из равенства

. (1.18)

При узком спектральном интервале, обеспечивающем достаточную степень монохроматичности в пределах приближения Вина, имеем:

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

26

. (1.19)

Метод пирометрии по отношению потоков суммарной радиации

На изменении распределения плотности лучистой энергии по спектру в зависимости от температуры основан предложенный метод пирометрии излучения по отношению потоков суммарной радиации.

Метод основан на измерении отношения F(Т) суммарных потоков исследуемого излучения, прошедших через две системы с различными частотными (спектральными) характеристиками ξ 1 (λ) и ξ 2 (λ), соответственно

. (1.20)

Подбором  и  указанное отношение может быть сделано простой функцией температуры.

Если  и  одночлены вида , где А = const, а N – любое целое число, то для получения линейной температурной зависимости следует выбирать  и  такими, чтобы .

В общем случае отношение потоков суммарной радиации

. (1.21)

зависит от степени температуры m, где m = p·q, причем p и q – целые числа. Если же в качестве одного из потоков использовать поток полного излучения, то выражение (1.20) можно записать так:

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

27

. (1.22)

Нетрудно заметить, что суммарный поток лучистой энергии, в котором каждая компонента спектра уменьшена в λm раз, зависит от температуры сильнее, чем поток полной радиации.

В основе цветовой пирометрии лежит известный закон изменения спектрального состава излучения тела в зависимости от изменения температуры.

Если физическое тело является серым излучателем, то есть таким, у которого коэффициент лучеиспускательной способности для всех длин волн одинаков, то цветовая температура его будет равна истинной температуре тела.

Так как практически излучение большого количества веществ в раскаленном состоянии близко к серому, то отличие от температуры, обусловленное неполнотой излучения, при измерении цветовым пирометром мало.

Существует несколько методов измерения цветовой температуры. Метод относительных интенсивностей спектральных интервалов для автоматического непрерывного контроля температуры производственных процессов является наиболее простым и перспективным.

Заключается он в выделении двух спектральных яркостей соответствующими светофильтрами, например, в красной и желтой частях спектра, и определении их отношения.

Цветовой пирометр имеет следующие преимущества перед яркостным:

– показания приборов в меньшей степени зависят от состояния поверхности тела, так как отношения спектральных характеристик значительно меньше зависят от состояния поверхности источника излучения, чем их абсолютные значения;

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

28

– поглощение окружающей средой значительно снижается, так как воздух, газы и пары не обладают резко выраженным избирательным поглощением в видимой области спектра и одинаково ослабляют монохроматическую энергию излучения обеих длин волн (это меньше относится к инфракрасным цветовым пирометрам, так как в спектральном интервале 0,9 – 1,8 мкм находятся интенсивные полосы поглощения водяного пара и углекислоты).

Разработанные в последнее время цветовые пирометры (ЦЭП-3 м, ЦЭПИР-010 и др.) в качестве чувствительного элемента имеют один фотоэлемент (фотодиод), а излучение поступает на него после прохождения через светофильтры. Использование одного чувствительного элемента значительно снижает погрешности приборов, так как нестабильность характеристик чувствительных элементов весьма высока. /6/

*Измерения температуры по относительной интенсивности спектральных линий*.

Интенсивность спектральной линии в случае термодинамического равновесия определяется выражением, являющимся следствием распределения Максвелла—Больцмана для числа молекул, обладающих энергией возбуждения Еi:

, (1.23)

где Еi, и Еk — энергии начального и конечного уровня возбуждения атомов (при переходе электрона с уровня i на уровень k происходит излучение);

gi и gk — статистические веса этих уровней;

Ai — вероятность данного перехода;

Nk; — число атомов, у которых электроны находятся на уровне k;

h — постоянная Планка;

ν —частота излучения;

Т — истинная температура.

Излученный квант энергии

hν=Ei – Ek. (1.24)

Орнштейн предложил определять температуру дуги и искры путем измерения отношения излучаемых данным атомом интенсивностей двух линий. Это отношение не будет зависеть от числа излучающих атомов. Оно зависит от температуры пламени и входящих в уравнение констант. Эти константы могут быть получены путем измерений относительных интенсивностей этих же линий в излучении источника с известной температурой.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

29

Интенсивность спектральных линий определяется путем фотографирования спектра пламени при помощи спектрографа с последующим фотометрированием фотопластинки.

Этот метод не требует предварительной градуировки или наличия источника сравнения, температура которого равна температуре пламени, поэтому он может быть применен для измерения сколь угодно высоких температур. Однако этот метод обладает рядом серьезных недостатков, имеющих особенно существенное значение при его применении для измерения температуры пламени.

В наших предыдущих рассуждениях мы пренебрегли реабсорбцией – поглощением излучения одних атомов другими атомами того же элемента при прохождении излучения через пламя. Чтобы реабсорбцией для обеих линий можно было пренебречь, необходима очень малая концентрация атомов излучающего элемента. Только в этом случае интенсивность линий пропорциональна концентрации атомов данного элемента.

Остается весьма узкий интервал концентраций, при котором еще возможно измерение температуры пламени методом относительных интенсивностей спектральных линий без реабсорбции. /7/

**1.2 Выбор и описание структурной схемы**

На рисунке 1.3 приведена структурная схема пирометра спектрального отношения. Пирометры спектрального отношения (цветовые пирометры) используют в качестве параметра отношение энергетических яркостей излучающего тела в двух спектральных интервалах (двух длин волн).

Рисунок 1.3 – Структурная схема пирометра спектрального отношения

Излучение от объекта измерения 1 попадает на фотоэлемент 4 через оптическую систему 2 (объектив с регулятором угла визирования) и обтюратор 3. Диск обтюратора имеет два отверстия, закрытые одно красным, а другое синим светофильтром. Амплитуды импульсов фототока, проходящего через фотоэлемент 4, пропорциональны интенсивности излучения в красной и синей частях спектра. После предварительного усиления (усилитель 6) импульсы попадают в электронно-решающую схему (преобразователь импульсов 7 и выходной каскад 8), где после ряда преобразований формируются в виде прямоугольных импульсов одинаковой амплитуды, но разной длительности. Длительности импульсов пропорциональны логарифмам амплитуд исходных импульсов фототока. С помощью коллекторного переключателя 5 прямоугольным импульсам (соответствующим красному и синему световым потокам) сообщается разная полярность. Тогда постоянная составляющая пропорциональна разности средних значений этих прямоугольных импульсов и, следовательно, пропорциональна логарифму отношения амплитуд исходных импульсов фототока. Обратная величина пропорциональна цветовой температуре. Постоянная составляющая напряжения, пройдя фильтр, с выхода электронного блока попадает на вход автоматического электронного потенциометра 9. На нем имеется шкала в условных делениях, и поэтому связь потенциометра и цветовой температуры устанавливается при градуировке прибора. На рисунке 1.3 блок 10 – стабилизатор напряжения, блок питания – 11.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

30

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

31

Устройство, построенное по этой схеме, имеет следующие недостатки:

- низкое быстродействие;

- отображение температуры в условных единицах на школе потенциометра, а представление данного параметра лучше воспринимается человеком в форме цифр;

- большая сложность по сравнению с термометрами и, как следствие, - меньшая надежность.

Но основной недостаток всех пирометров в том, что пирометры в общем случае измеряют не истинную, а некоторую условную температуру./12/

В данной работе я предлагаю структурную схему устройства для бесконтактного измерения действительной температуры низкотемпературной плазмы, изображенную на рисунке 1.4.

Схема включает в себя источник сравнения – лампочка СИ-10-300 (1), обтюратор (2), микродвигатель (3),оптическая система и источник излучения – плазма (4), спектрограф (5), фотоэлектронный умножитель (6), микроконтроллер (7), блок индикации (8), блок уточнения данных (9).

Устройство питается от стабилизированных источников питания.



Рисунок 1.4 - Структурная схема прибора для бесконтактного измерения температуры плазмы

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

32

Лампочка СИ-10-300 используется в устройстве в качестве источника сравнения, интенсивность которой используется в расчетах температуры по заданной формуле.

Обтюратор выполнен в виде вращающегося диска с двумя отверстиями. Одно отверстие, большего диаметра, предназначено для пропускания света от источника сравнения, а второе отверстие, меньшего диаметра, для регистрации сигнала оптопарой. Диск вращается микро-электродвигателем с постоянной скоростью 50 об/сек (400 Гц), который питается от источника питания постоянного тока. В качестве микродвигателя используется ДИД – 01. Обтюратор прерывает световой поток от источника сравнения, попеременно освещая спектрограф излучением плазмы и излучением плазмы с лампочкой. Отверстия в обтюраторе, микродвигатель и оптопара (блок уточнения данных) представляют собой блок синхронизации.

Излучение от источника сравнения 1 попадает на щель спектрографа через оптическую систему и поток плазмы 4.

Спектрограф (ИСП-30) с подвижной оптической системой в данном устройстве используется для разложения светового потока в спектр, чтобы можно было выделить нужную спектральную линию для данной плазмы, исходя из эталонного спектра (железо).

Для исследования отдельных спектральных линий из всех существующих фотоприемников только фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) способен обеспечить требуемую чувствительность. Чувствительность этого прибора такова, что он способен принимать излучение на уровне отдельных квантов. ФЭУ также является усилителем фототока.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

33

Сигнал с ФЭУ инвертируется и поступает на микроконтроллер фирмы Motorola MC68HC705B16 со встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Микроконтроллер запоминает оцифрованные данные и по заложенной программе вычисляет температуру.

Блок индикации предназначен для выдачи действительного значения температуры на индикаторы. В этом блоке сигнал от микроконтроллера, представленный в двоично-десятичном коде, дешифрируется и поступает на семисегментные индикаторы. Выводимое на индикаторы значение температуры представляет собой трехзначное число, поэтому, чтобы получить реальную температуру плазмы, умножаем полученный результат на 100.

Устройство, построенное по данной структурной схеме, лишено недостатков, присущих пирометру, реализованному по схеме на рисунке 1.3, и обладает следующими достоинствами. Обработка информации и вычисление температуры производится на одном микроконтроллере, что увеличивает скорость, обеспечивает необходимую точность и надежность измерения. Небольшое количество элементов схемы способствует повышению надежности прибора. Применение микроконтроллера облегчает вывод результата измерения на цифровой индикатор. И, наконец, главное достоинство - вычисляется истинная температура плазмы, а не какая-то условная.

Структурная схема устройства приведена в Приложении А.

1.3.5 Выбор и описание микроконтроллера

Так как в разрабатываемом устройстве необходимо измерять аналоговый сигнал, и в зависимости от этого регулировать ширину импульсов, воспользуемся микроконтроллером фирмы Motorola MC68HC705B16 (DD1). Структурная схема этого микроконтроллера приведена на рисунке 1.3, в своем составе он имеет встроенный восьми канальный аналого–цифровой преобразователь и двухканальный ШИМ-контроллер.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

48

Данный микроконтроллер имеет следующие параметры

Таблица 1.3 – параметры микроконтроллера

|  |  |
| --- | --- |
| ОЗУ | 352 бит |
| ПЗУ | 15 Кбит |
| EEPROM  | 256 бит |
| таймер  | 16 разрядов |
| линий ввода/вывода  | 32 |
| последовательный интерфейс  | SCI |
| АЦП  | 8 разрядов, 8 каналов |
| ШИМ  | 8 разрядов, 2 канала |
| напряжение питания  | +5 В |
| частота системной шины  | 2,1 МГц |
| корпус | 64-QFP 52-PLC C |
| средства отладки | M68ICS05B |

Микроконтроллеры данного семейства (НС05) содержат на кристалле память, которую по функциональному назначению можно разделить на пять типов.

ПЗУ программ. Используется для размещения прикладных программ пользователя.

Статическое ОЗУ. Используется для хранения промежуточных данных прикладных программ.

Регистры специальных функций служат для задания режимов работы и обмена информацией между центральным процессором и периферийными модулями микроконтроллера.

ПЗУ с электрическим стиранием (EEPROM). Используется для хранения изменяемых в процессе эксплуатации конечного изделия настроек пользователя.

ПЗУ программы встроенного монитора. Используется для предпродажного тестирования работы микроконтроллера, для загрузки исполняемого кода программы в ОЗУ микроконтроллера по последовательному порту.

Все микроконтроллеры этого семейства имеют объединенное адресное пространство. /1/

регистры специальных функций – 0000Н…001FH;

ОЗУ – 0050H…00FFH 0250H…02FFH;

ПЗУ – 0300H…3DFD;

EEPROM – 0100H…01FFH;

программа монитора – 0200H…024FH 3E00…3EFF;

сегмент вектора прерываний – 3FF2H…3FFFH.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

49

Рисунок 1.13 – структурная схема микроконтроллера MC68HC705B16

Выходы OSC1 и OSC2 предназначены для подключения кварцевого резонатора. Согласно рекомендациям /1/ в качестве дополнительных конденсаторов *С*1,*С*2 выбираем конденсаторы К21-9а-25В-22пФ±2%, а в качестве резистора *R*28 используем резистор МЛТ- 0,25-1МОм±5% .

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

50

На второй канал АЦП будем подавать ток лампочки.

Описание работы микроконтроллера

В момент включения устройства микроконтроллер MC68HC705B16 уходит на подпрограмму инициализации прерываний портов, АЦП. Затем производится считывание в ОЗУ сигнала от лампы. Этот сигнал «Интенсивность IЛ» сначала поступает на АЦП, затем оцифровывается. После этого приходит сигнал с фотоэлектронного умножителя. Вместе с этим сигналом приходит сигнал с блока уточнения данных и МК считывает с АЦП оцифрованные данные, если сигнал не равен 0,то он запоминается в ячейке памяти, переключается в положение приема данных, и ждет сигнал «запрос прерывания».

С приходом сигнала «запрос прерывания», МК считывает с АЦП оцифрованные данные «Интенсивность IЛП», если сигнал не равен 0,то он запоминается в ячейке памяти. Получив все необходимые данные, МК сравнивает сигналы. Получив сигналы «Интенсивность IП» и «Интенсивность IЛП», МК сразу же идет на подпрограмму вычисления температуры.

Вычислив температуру, МК переходит в подпрограмму вывода на индикатор.

После выполнения подпрограммы вывода на индикатор полученное значение температуры выводится через порты РА, РВ, РС на дешифратор, а затем на индикаторы.

Программа обработки данных и вывода значения температуры на индикатор приведена в программной части (Приложение В).

**1.4 Описание работы устройства**

В качестве источника сравнения используется лампа СИ-10-300 с вольфрамовой нитью. Она излучает свет определенной интенсивности IЛ, которая измеряется и заносится в микроконтроллер перед началом измерения температуры плазмы.

Свет от источника сравнения, проходя через обтюратор, проходит через собирающую линзу и просвечивает плазму. Излучение плазмы, интенсивностью IП, совместно с излучением лампочки, интенсивностью IЛ, проходят через вторую собирающую линзу, фокусируется на щели спектрографа. Для выделения нужной спектральной линии, исходя из эталонного спектра (железо), в данном устройстве используется спектрограф с подвижной оптической системой (ИСП-30). Сигнал, который поступает в спектрограф, необходимо разделять на два световых потока с интенсивностью IЛ+ IП и IП . Для этого в устройстве используется вращающийся диск с двумя отверстиями (обтюратор), большого и малого диаметра, расположенными у края диска. Диск приводится во вращение микродвигателемДИД-01. Отверстие большого диаметра предназначено для пропускания светового потока от источника сравнения. Отверстие малого диаметра необходимо для датчика положения диска Д1, представляющий собой оптопару с открытым оптическим каналом щелевого типа. Эта оптопара работает на просвет. Отверстие малого диаметра на краю диска расположено таким образом, чтобы, в момент прохождения оптического сигнала от источника сравнения через отверстие большого диаметра, на микроконтроллер уже поступил сигнал от датчика, подтверждающий, что на спектрограф попадает оптический сигнал интенсивностью IЛ+IП. Перекрывание обтюратором светового потока оптопары служит для микроконтроллера сигналом о приходе оптического сигнала интенсивностью IП.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

53

Излучение спектральной линии, проходя через спектрограф, попадает на фотокатод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ-19А). Фотоэлектронный умножитель преобразует световой поток в фототок и усиливает его в 1013 раз. С помощью делителя с выхода ФЭУ снимается напряжение, имеющее отрицательную полярность. АЦП, встроенный в МП предназначен для преобразования аналоговых сигналов напряжения с датчиков физических величин в диапазоне от 0 до +5 В. Следовательно необходимо инвертировать напряжение. Для этого используется инвертирующий операционный усилитель. Инвертированное напряжение положительной полярности подается на аналоговый вход микропроцессора фирмы Motorolla. АЦП оцифровывает аналоговый сигнал и на МП поступает сигнал запроса прерывания на обработку цифрового двоичного кода.

Микроконтроллер фирмы Motorolla DD1 производит расчет температуры по формуле (1.31) приведенной ниже, исходя из данных полученных из АЦП (интенсивности плазмы и интенсивности плазмы и лампочки).

, (1.31)

где =const

 =const

 Jп – интенсивность плазмы

 Jл – интенсивность лампочки

 Jпл – интенсивность плазмы и лампочки

Рассчитав температуру, МП выводит полученное значение на дешифраторы DD2-DD4. Здесь это значение температуры преобразуется в семисегментный код и выдается на цифровые индикаторы HG1-HG3 . Полученное истинное значение температуры низкотемпературной плазмы (в пределах от 7000 до 20000 К) высвечивается на индикаторах в десятичной форме.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

54

Через последовательный порт микроконтроллера организован стандартный интерфейс персональным компьютером для отладки программного обеспечения в реальном времени в процессе проектирования и наладки системы.

В качестве источников питания используются готовые стабилизированные источники питания.

Полученное значение температуры имеет относительную погрешность не более 2%.

**1.6 Расчет погрешности**

Относительная погрешность измерения вычисляется как среднеквадратическое значение от инструментальной и методической погрешности.

Рассчитаем методическую погрешность

,

,

**,**

**,**

**,**

,

,

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

58





Подставив в последнюю формулу соответствующее значение величин IП, IЛ, IПЛ, ТИ, С2, λ, учитывая что С2=const и λ=const, получим следующее значение относительной методической погрешности:

.

Погрешность 8 – разрядного АЦП равна ±2 МЗР /1/. Ошибка полной шкалы вычисляется по формуле:

,

.

Погрешность 8 – разрядного микроконтроллера лежит в пределах ±1 МЗР /1/.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

60

Полученное значение относительной погрешности не привышает заданное в техническом задании.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

122

Заключение

Задачей проекта является разработка устройства, предназначенного для измерения истиной температуры низкотемпературной плазмы бесконтактным методом.

Разработанное устройство соответствует следующим условиям:

диапазон измерения температуры от 7000К до 20000К;

 относительная погрешность не более 2%;

 непрерывное измерение температуры.

 Согласно техническому заданию были произведены соответствующие расчеты и выбор элементов. Обработка информации и вычисление температуры по формуле производится 8-разрядным микроконтроллером фирмы Motorolla со встроенным АЦП, что увеличивает скорость, обеспечивает необходимую точность и надежность измерения , предоставляет возможность индикации выводимых параметров. Предусмотрен интерфейс с системой верхнего уровня.

Разработаны структурная и принципиальная схемы устройства, алгоритм работы микроконтроллера. В конструкторской части разработана конструкция печатной платы. По всем параметрам устройство отвечает требованиям технологичности.

Организационно – экономическая часть содержит обоснование экономической целесообразности разработки устройства. В разделе «Безопасность и экологичность проекта» проведен анализ опасных и вредных факторов при эксплуатации устройства.

Список литературы

1. Ремизевич Т.В. Микроконтроллеры для встраиваемых приложений: от общих подходов – к семействам НС05 и НС08 фирмы Motorola. /под ред. Кирюхина И.С. – М.: ДОДЭКА, 2000. – 272 с.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

123

1. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова и др.; Под ред. С.В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1989. – 496 с., ил.
2. В помощь радиолюбителю: Сборник. Вып. 104 / Сост. В.А. Никитин. – М.: ДОСААФ, 1989. – 79 с., ил.
3. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Резисторы. Конденсаторы. Справочное пособие. – М.: СОЛОН-Р, 2000. – 240 с.
4. Оптическая пирометрия плазмы: сб. статей, [пер. с англ.], под ред. Н. Н. Соболева. – М., 1960
5. Свет Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур. – М.: Наука, 1982. – 296с.
6. http://lud.bmstu.ru - описание метода расчета температуры по относительной интенсивности спектральных линий
7. http://dealine.tomsk.fio.ru - описание ФЭУ
8. http://lab2.phys.spbu.ru - описание ФЭУ
9. http://sasoft.qrz.ru - описание преобразователя напряжения для ФЭУ
10. Кадышевич А.Е. Измерение температуры пламени. Физические основы и методы. – М.: Металлургиздат, 1961. – 218с.
11. Гордов А.Н. Основы температурных измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 304с.: ил.
12. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: учебник для вузов. – М.: Высш. Школа, 1982. – 496с.: ил.
13. Нагибина И.М., Прокофьев В.К. Спектральные приборы и техника спектроскопии. Изд-е 2-е, доп. и перераб. – Л.: Машиностроение, 1967. – 324с.: ил.
14. www.labotech.ru - описание спектрографа.
15. Электровакуумные электронные и газоразрядные приборы: Справочник/ Кацнельсон Б.В, Калугин А.М., Ларионов А.С. Под ред. Ларионова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1985. – 864с.: ил.
16. Котлер Ф. Основы маркетинга. Пер. с англ.- 2-е Европ. Изд..- М.; СПб; - К.: ВИЛЬЯМС, 2001. – 944с.: ил.;
17. Разевиг В.Д. Система проектирования печатных плат ACCEL EDA 15 (P-CAD 2000). – М.: Солон-Р. – 2000. – 418с.;

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

124

1. Русак О.Н. Охрана труда в машиностроении. Справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1989. – 541с.
2. Основы менеджмента: Учебник для вузов/ под ред. Вачугова Д.Д. – М.: Высшая школа 2001. – 367с.
3. Новые главы курса "Экономика": Учеб. пособие/ Зайнашев Н.К., Ильин С.В., Ильина Л.А., Сандомирский Е.М. и др. – Уфа: УГАТУ, 1994. – 91с.
4. Сандомирский Е.М. Методические указания по организационно – экономической части дипломных проектов для специальности ПЭ. – Уфа: УАИ, 1985. – 42с.
5. ГОСТ Р ИСО 9000 – 2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
6. ГОСТ Р ИСО 9001 – 2001. Системы менеджмента качества. Принципы процессного и системного подхода к управлению качеством.
7. ГОСТ Р ИСО 9004 – 2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности.