МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

1. Факультет \_\_\_\_\_Інформаційних технологій та електроніки

(повне найменування факультету)

1. Кафедра Електронних апаратів

(повна назва кафедри)

* 1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_бакалавр\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальность 171 «Електроніка»

(шифр і назва напряму підготовки)

на тему

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| |  | | --- | | **Проектування і розрахунок двохвідвідної лінії затримки на поверхневих акустичних хвилях** | |  | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Виконав: студент групи ЕПС-15з | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | М.В. Борисов |
| Керівник | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | В.М. Смолій |
| Завідувач кафедри | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | В.М. Смолій |
| Рецензент | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | О.М. Іванов |

Сєвєродонецьк – 2019

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Формат | Зона | Поз. | | Обозначение | | | | Наименование | Кол. | | Примечание | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
| А 4 |  | 1 | | ДПБ 171.07 ПЗ | | | | Пояснювальна записка | 1 | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
| А4 |  |  | | ДПБ 171.07 ГЧ | | | | Графічна частина | 19 | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | | . |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | |  | |  |  | ДПБ 171.07 ВП | | | | | | | |
|  |  | |  | |  |  |
| Изм | Лист | | № докум. | | Подпись | Дата |
| Разраб. | | | Борисов | |  |  | Проектування і розрахунок двохвідвідної лінії затримки на поверхневих акустичних хвилях | | | Лит. | | | Лист | Листов |
| Провер. | | | Смолій | |  |  |  |  |  | 2 | 74 |
| Реценз. | | | Іванов | |  |  | СНУ гр. ЕПС-15з | | | | |
| Н. контр | | |  | |  |  |
| Утв. | | | Смолій | |  |  |

**СХІДНОУКРАІНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Інститут, факультет, відділення **інформаційних технологій та електроніки**

Кафедра **електронних апаратів\_\_\_**

Освітньо-кваліфікаційний рівень \_**бакалавр**\_\_\_\_\_\_

Спеціальность 171 «Електроніка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ЕА

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_2019 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

**Борисов Максим Валерійович**

1. **Тема проекту: Проектування і розрахунок двохвідвідної лінії затримки на поверхневих акустичних хвилях**
2. **Керівник проекту:** д.т.н. проф. В.М. Смолій

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 8.04.2019 р. №\_\_55/15.14

1. **Строк подання студентом проекту \_\_**10 червня 2019 р.**\_**
2. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Введення

2. Класифікація акустоелектронних приладів

3. Фізичні принципи функціонування акустоелектронних приладів

4. Проектування і розрахунок лінії затримки на ПАВ

5. Технологія виготовлення лінії затримки на ПАВ

6. Охорона праці

7. Висновки

1. **Консультанти розділів проекту**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
| Завдання видав | Завдання прийняв |
| Охорона праці | Асс. каф. ЕА. Купина О. А. |  |  |

6. Дата видачі завдання\_\_\_\_\_\_\_\_26 квітня 2019 року\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №  з/п | Назва етапів дипломного  Проекту (роботи) | Строк виконання  етапів проекту  (роботи) | | Примітка |
| 1 | Введення | 30.04.19 | |  |
| 2 | Класифікація акустоелектронних приладів | 5.05. 19 | |  |
| 3 | Фізичні принципи функціонування акустоелектронних приладів | 10.05.19 | |  |
| 4 | Проектування і розрахунок лінії затримки на ПАВ | 15.05.19 | |  |
| 5 | Технологія виготовлення лінії затримки на ПАВ | 25.05.19 | |  |
| 6 | Охорона праці | 1.06.19 |  | |
| 7 | Висновки | 5.06.19 |  | |
|  | Оформлення пояснювальної записки дипломного проекту | 10.06.19 |  | |

**Студент\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** **М.В. Борисов**

**Керівник проекту\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** **В.М. Смолій**

**РЕФЕРАТ**

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

5

ДПБ 171.07 ВП

Разраб.

Борисов

Провер.

Смолий

Реценз.

Иванов

Н. Контр.

Утверд.

Смолий

Проектирование и расчет двухотводной линии задержки на поверхностных акустических волнах.

Лит.

Листов

74

ВНУ гр.ЭПС-15з

Пояснительная записка к дипломному проекту содержит:

Страниц - 74 , рисунков – 16, таблиц – 2, источников литературы – 16 .

**Объект исследования** – многоотводная линия задержки на поверхностных акустических волнах.

**Цель работы –**  исследование современного состояния и перспективы практического использования линий задержки на ПАВ. Расчет многоотводной линии задержки на поверхностных акустических волнах.

**В данной работе** было проведено исследование современного состояния и перспективы развития акустоэлектронных линий задержки, отмечены их особенности, преимущества и возможности, рассмотрены области их применения. Исследованы физические принципы функционирования линий задержки на ПАВ и других акустоэлектронных устройств и виды акустоэлектронного взаимодействия. Проведены проектирование и расчет двухотводной линии задержки на ПАВ.

**ПОВЕРХНОСТНЫЕ-АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ, МНОГООТВОДНАЯ ЛИНИЯ ЗАДЕРЖКИ, ВСТРЕЧНО-ШТЫРЕВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.**

СОДЕРЖАНИЕ

Список условных сокращений………………………………………………..7

Введение………………………………………………………………………..8

1. Ультразвуковые линии задержки…………………………………………10

1.1. Классификация линий задержки. Основные понятия и положения.….10

1.2. Линии задержки на объёмных акустических волнах.…………………..14

1.3. Линии задержки на поверхностных акустических волнах..……………22

2. Дисперсионные линии задержки на ПАВ…………………………………29

3. Основы конструирования и расчета ЛЗ на ПАВ………………………….34

4. Разработка двухотводной линии задержки..………………………………37

5. Технология изготовления ЛЗ на поверхностно-акустических волнах ….48

5.1. Конструирование и технология изготовления звукопроводов ЛЗ……..48

5.2. Очистка и металлизация звукопроводов…………………………………51

5.3. Сборка и герметизация ЛЗ на ПАВ………………………………………53

6. Разработка мероприятий по охране труда…………………………………59

6.1. Правовые основы охраны труда.………………………………………….59

6.2.Классификация причин производственного травматизма и профзаболеваний……………………………………………………………….60

6.3. Расчет искусственного освещенности помещения…………………..…64

6.4. Расчет искусственной вентиляции производственного помещения…...66

6.5. Рекомендации по пожарной безопасности………………………………69

Выводы………………………………………………………………………….72

Список литературы …………………………………………………………….73

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ЛЗ – линия задержки;

МЛЗ – многоотводная линия задержки;

ОАВ – объемные акустические волны;

МДМ – металл-диэлектрик-металл;

ПАВ – поверхностные акустические волны;

ДЛЗ – дисперсионная линия задержки;

АЭВ – акустоэлектронное взаимодействие;

ВЧ – высокочастотный;

ВШП – встречно - штыревой преобразователь;

АЧХ - амплитудно-частотная характеристика;

ТКЛР – температурный коэффициент линейного расширения.

КЭМС – коэффициент электромеханической связи;

ТКЗ – температурный коэффициент задержки.

Введение

В настоящее время широкое применение получили акустические линии задержки (ЛЗ), осуществляющие задержку электромагнитных сигналов во времени. В этих устройствах высокочастотные электромагнитные сигналы вначале преобразуются в акустические волны которые распространяются в звукопроводе, а затем вновь преобразуются в электрические сигналы. Время задержки зависит от длины пути, проходимого акустическими волнами в звукопроводе, и скорости их распространения. Для возбуждения и приёма акустических волн в ЛЗ применяются в основном пьезоэлектрические преобразователи: пьезоэлектрические пластины, а также тонкие пластинки и плёнки из пьезополупроводника. В качестве материалов звукопровода используются материалы с малым поглощением акустических волн: сапфир, алюмоиттриевый гранат и различные неорганические стекла. Иногда для получения больших временных задержек используют ЛЗ с многократным отражением акустических волн от торцов звукопровода или со звукопроводом, выполненным в виде многогранника. Разработаны ЛЗ, работающие на частотах до десятков гигагерц с задержками до десятков микросекунд и на частотах до десятков мегагерц с задержками порядка десятков миллисекунд. ЛЗ на акустических волнах применяются в радиолокационной и навигационной аппаратуре, телевизионных приёмниках и др. Наряду с объёмными упругими волнами существует особый вид акустических волн, называемых поверхностными, которые распространяются вдоль плоской свободной границы изотропного твёрдого тела, оставаясь локализованными вблизи этой границы. Наиболее распространённым, хорошо изученным и максимально используемым типом поверхностных акустических волн (ПАВ) являются волны Рэлея. Из всех типов акустических волн, с точки зрения практических применений, наибольший интерес вызывают ПАВ, которые распространяются вдоль поверхности твердых тел в относительно тонком приповерхностном слое. Этот интерес обусловлен, во-первых, возможностью создания приборов с самыми разнообразными частотными и фазовыми характеристиками; во-вторых он вызван тем, что поверхностные волны до-ступны на всем пути распространения, что позволяет создать значительно более широкий класс функциональных устройств по сравнению с теми, где используются объемные волны, и , в третьих, немаловажную роль играет то , что технология изготовления ПАВ-устройств в принципе совместна со стандартной планарной технологией интегральных схем. Этими обстоятельствами и объясняется та быстрота, с которой ПАВ-устройства внедряются в настоящее время в различные области современной техники- радио- электронику, автоматику, телевидение, связь.

Одним из основных направлений создания ПАВ-устройств является разработка различных линий задержки на ПАВ. Основное преимущество ЛЗ на ПАВ по сравнению с другими физическими реализациями – низкая скорость распространения волны и, малые габаритные размеры этих элементов.

В технике обработки сигналов имеется потребность как в фиксированной, так и в переменной (регулируемой) задержке сигнала (например, в измерителях временных интервалов, фазометрах и т.д.). В устройствах согласованной фильтрации частотно-модулированных сигналов, спекроанализаторах, дальнометрах широко используются дисперсионные ЛЗ с линейной или другой зависимостью от частоты сигнала.

В данном дипломном проекте работе проведено исследование современного состояния и перспективы развития акустоэлектронных линий задержки, а также проведен расчет многоотводной линии задержки на поверхностных акустических волнах.

1. Ультразвуковые линии задержки.

* 1. Классификация линий задержки. Основные понятия и положения.

Линии задержки представляют собой пассивные линейные устройства, основным функциональным назначением которых является задержка электрических сигналов во времени с минимальными искажениями их формы.

Основными параметрами линий задержки, исходя из их назначения, считают [1]:

* время задержки;
* величина вносимых потерь ВП;
* средняя частота полосы пропускания;
* ширина частоты пропускания, которая определяется по разности частот, при которых выходной сигнал в 1,41 раза меньше максимального уровня;
* уровень подавления ложных сигналов - это отношение максимальной величины полезно используемого сигнала к наибольшему из не основных (ложных сигналов в интересующем диапазоне частот
* динамический диапазон;
* амплитудно-частотная характеристика;
* фазочастотная характеристика;
* температурный коэффициент задержки;
* временная стабильность характеристик ЛЗ.

Существуют следующие виды линий задержки:

электрические линии задержки;

электромагнитные линии задержки;

ультразвуковые линии задержки;

линии задержки на поверхностных акустических волнах;

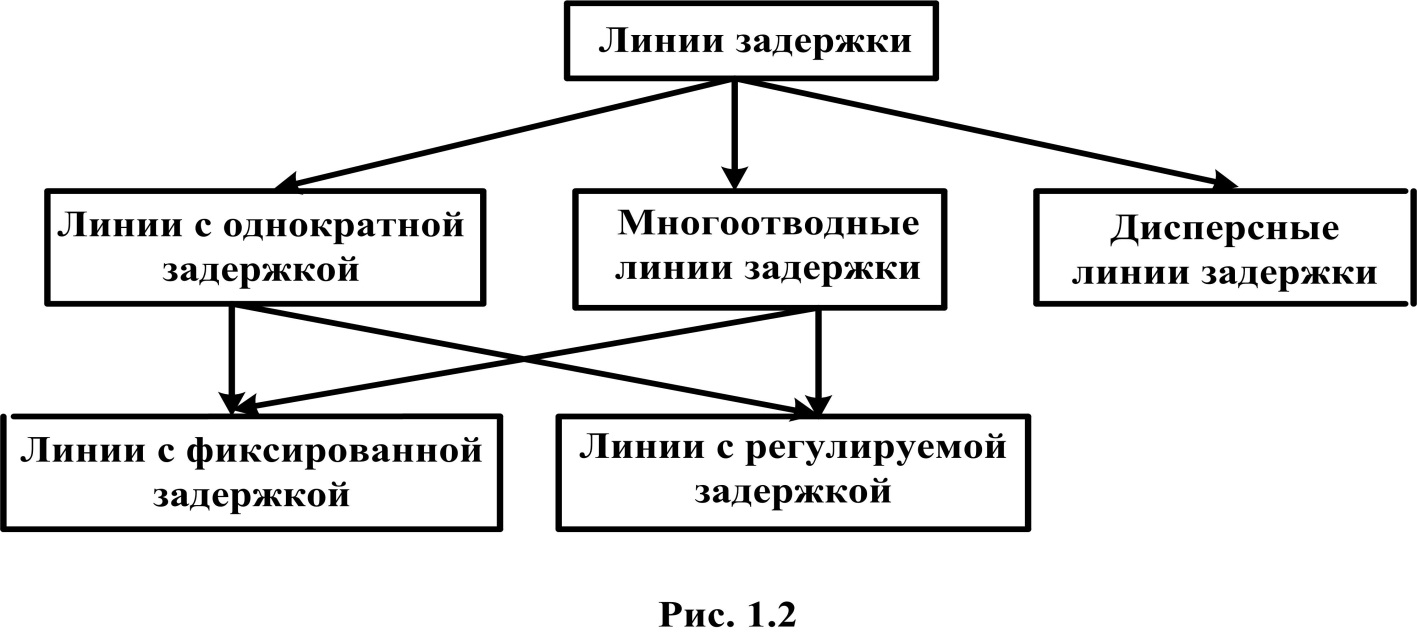
Электрические линии задержки. Так как электрические сигналы распространяются по проводнику с конечной скоростью  м/с, то очевидно что если взять проводник определенной длинны то можно получить линию задержки время задержки которой определяется следующим образом: t =L/C . Но из за больших габаритов и небольших времен задержки электрические линии задержки, несмотря на их прекрасные характеристики, в настоящее время практически не применяются.

Электромагнитные линии задержки*.* Для получения t=1..10 мкс используется электромагнитная линия задержки, она представляет собой ряд звеньев соединенных последовательно. Каждое звено - это индуктивность и ёмкость. Задержка электрического сигнала в этом случае происходит за счёт зарядки и разрядки емкостей через индуктивности, на что требуется определённое время. Время задержки одного звена определяется следующим образом: . Для всей линии задержки время задержки равно: , где *n -* число звеньев.

Акустоэлектронными называют такие линии задержки, в которых задержка сигнала достигается за счет малой скорости распространения акустической волны, полученной преобразованием электромагнитной волны. Поскольку частота задержанных таким образом сигналов лежит за пределами звукового диапазона (10 МГц … 1,5 ГГц), то акустоэлектронные линии задержки получили еще другое название — ультразвуковые линии задержки (УЛЗ).

Назначение**.** УЛЗ предназначены для задержки электрических сигналов частотой 10 МГц … 1,5 ГГц.

УЛЗ классифицируют по виду акустических волн. Различают УЛЗ на объемных и поверхностных акустических волнах. Каждый из этих видов делится на подвиды. Объемные акустические волны могут быть продольными, поперечными, гибочные и крутильными. Поверхностные акустические волны (ПАВ) могут быть двух типов: Рэлея — волны, которые имеют продольные и поперечные компоненты смещения, и Гуляева-Блюстейна, которые по своей природе есть сдвижными. УЛЗ на объемных акустических волнах еще классифицируют по виду преобразователей. Разделяют УЛЗ на магнитострикционные и пьезоэлектрические. Преобразователи последних могут изготавливаться в виде МДМ-, МНМ- структур или на *р-n*-переходах. УЛЗ на ПАВ тоже классифицируют по виду преобразователей. Разделяют УЛЗ на ПАВ с однофазными и двухфазными (встречно-штырьковыми) преобразователямиэквидистантными и неэквидистантными (с одинаковым и разным расстоянием между штырьками), аподизоваными и неаподизоваными (с разным и одинаковым перекрытием контактный (электродов) и др. Возможна классификация УЛЗ по материалу звукопровода (стеклянные, кварцевые, металлические, керамические и другие), при наличии отводов (безотводные и многоотводные) и по некоторым другим признакам (рис. 1.1) [1].

Рис. 1.1. Классификация ЛЗ. 

Условные обозначения и изображения**.**В текстовой документации УЛЗ обозначают индексом «ЛЗА», цифрой, равной времени задержки в мкс, и второй цифрой, равной волновому сопротивлению в омах. Например, условное обозначение ЛЗА-0,5-1200 означает линию задержки акустическую, которая имеет время задержки Безымянный = 0,5 мкс и волновое сопротивление Безымянный = 1200Ом.  
Аналогичное условное обозначение ставится на корпусе. В схемах ЛЗ условно изображают символами, которые приведены на рис. 1.2.

Условные изображения ЛС в схемах: а - общее изображения; б - электромагнитная нерегулируемая; в - электромагнитная регулируемая; г -ультразвуковая пьезоэлектрическая; д -ультразвуковая магнитострикционная

Рис. 1.2. Условные изображения ЛЗ в схемах: а — общее изображения; б — электромагнитная нерегулируемая; в — электромагнитная регулируемая; г -ультразвуковая пьезоэлектрическая; д -ультразвуковая магнитострикционная

К линейным пассивным акустоэлектронным устройствам относят устройства частотной фильтрации (фильтры), акустические линии задержки, согласованные (оптимальные) фильтры, или дисперсионные линии задержки, кодирующие и декодирующие устройства. Наибольшее распространение получили акустические фильтры (пьезоэлектрические, электромеханические, фильтры на объемных волнах и ПАВ). Они применяются в различных системах связи от радиовещания и телевидения до космической связи и радиолокации для выделения полезного сигнала на фоне помех, для интегрирования (накапливания) сигнала с определенными характеристиками, для изменения частотного спектра сигнала. Акустические линии задержки изготавливаются на времена задержки от нескольких нс до десятков мс с рабочими частотами от нескольких МГц до нескольких ГГц. Дисперсионные линии задержки, в которых время задержки зависит от частоты, применяются в качестве оптимальных фильтров для обработки линейно частотно-модулированных сигналов. Включение активных элементов в акустические линии задержки позволяет усиливать акустические сигналы и превращает их в активные устройства. Усиление УЗ-сигнала может осуществляться сверхзвуковым дрейфом носителей. Режим усиления при определенных условиях может быть переведен в режим генерации УЗ-волны. Этот эффект используется для создания акустоэлектронных генераторов монохроматических сигналов и сигналов со сложным спектром [2].

Акустические ЛЗ можно условно разделить на три группы в зависимости от вида используемых упругих волн и от соотношения между длиной волны 2551-94.jpg упругих колебаний, распространяющихся в звукопроводе, и его размерами.

* 1. Линии задержки на объёмных акустических волнах.

К этой группе можно отнести УЛЗ, где объёмные волны (продольные пли поперечные) распространяются по звукопроводу, размеры сечения которогорого существенно превышают 2551-95.jpgЭлектроакустическими преобразователями здесь служат одно-полуволновые пластины из пьезоэлектриков (кристаллический кварц, ниобат лития и др.). Звукопроводы для них изготавливаются из [плавленого](http://femto.com.ua/articles/part_2/2841.html) кварца, монокристаллов кварца и солей NaCl, KC1 и др., а также магниевого сплава. Соответственно эти УЛЗ называются кварцевыми, стеклянными, монокристаллическими и магниевыми. Увеличение времени задержки в пределах заданного размера звукопровода может быть достигнуто за счёт многократных отражений упругих волн на пути от входа до выхода УЛЗ (рис. 2). Эти УЛЗ работают в основном на частотах от единиц до 100 МГц и более и обеспечивают время задержки до 3-4 мс. У таких УЛЗ 2551-96.jpgобычно лежит в пределах от 0,1 до 0,5 и уровень ложных сигналов составляет от -26 дБ до -40 дБ. Вносимые потери D в зависимости от параметров преобразователей длительности задержки и материала звукопровода могут варьироваться в значит. интервале от 20 дБ до 70 дБ. Применение этих УЛЗ, в особенности магниевых, а частично и УЛЗ на основе солей монокристаллов, быстро сокращается благодаря развитию микроэлектроники и, в частности, цифровой техники, позволяющей реализовать широкий диапазон задержек, не прибегая к использованию сравнительно громоздких акустоэлектронных аналоговых устройств [2].

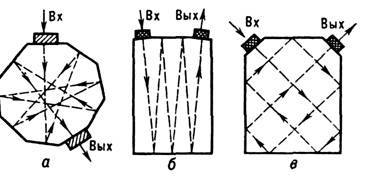


Рис. 1.3. Направления распространения ультразвукового пучка в ультразвуковых линиях задержки с звукопроводами различной формы: а - многоугольной; б - прямоугольной с малыми углами отражения; в- прямоугольной с углами отражения 45°.

Основными конструктивными элементами УЛЗ как на объемных, так и на ПАВ является входной и выходной преобразователи и звукопровод. Дополнительными конструктивными элементами являются корпус, внешние выводы, перемычки, которые соединяют внешние выводы с электродами, демпфирующие прокладки и тому подобное. Конструкция УЛЗ приведена на рис. 1.4.

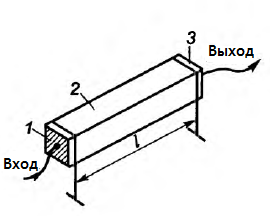


Рис. 1.4. Пьезоэлектрическая УЛЗ: 1 — входной преобразователь; 2 — звукопровод; 3 — выходной преобразователь.

Звукопровод этой УЛЗ имеет форму стержня. Он может быть изготовлен из металла, плавленого кварца и других материалов. В таблице 1.1. представлены характеристики материалов для звукопроводов УЛЗ.

Таблица 1.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Скорость продольной волны, м/с | Скорость сдвиговой волны, м/с | ТКЗ⋅ 0-6К-1 | Коэффи-циент поглощения дБ/см,  F = 5МГц |
| Кварцевое стекло  Стекло С79-2  Стекло Ф-2  Стекло К-8  Стекло ТСМ-700  Стекло СК  Стекло состава  Na2O⋅CaO⋅Al2O3⋅PbO⋅SiO2  (свинцово-силикатное)  Стекло состава  Na2O⋅AL2O3⋅SiO2  Стекло состава  Na2O⋅AL2O3⋅CuO2⋅SiO2  Стекло состава  Na2O⋅B2O3⋅CuO2⋅SiO2  Ситалл | 5960  5080  3945  5920  5724  5635  4990  5438  5491  5556  4880 | 3760  2720  2510  3695  3514  3424  2930  3249  3195  3210  3009 | -70⋅10-6  3⋅10-6  2⋅10-6  4⋅10-6  -30⋅10-6  8⋅10-6  -3⋅10-6  43⋅10-6  18⋅10-6  43⋅10-6  24⋅10-6 | 0,05  0,4  0,6  0,2  0,6  0,5  0,75  0,3  0,8  0,45  0,9 |

К концам звукопровода крепятся пьезоэлектрические преобразователи МДМ, МНМ-структуры или на p-n-переходе. МДМ- и МНМ-преобразователи имеют вид конденсаторов (рис. 1.5) и отличаются друг от друга только между обкладочныv материалом. В первом случае это пьезоэлектрик, а во втором — пьезополупроводник. Конструкция преобразователя на p-n-переходе приведена на рис. 1.6. В ней обедненный слой арсенида галлия играет роль пьезоэлектрического диэлектрика, а золотая пленка и слой арсенида

галлия n-типа выполняют функции обкладок.

Работа пьезоэлектрических преобразователей основана на пьезоэффекте: появление электрических зарядов на поверхности пьезоэлектриков при их механической деформации (прямой пьезоэффект) и изменении геометрических размеров пьезоэлектриков при приложении к электродам, размещенных на их поверхности, электрического напряжения (обратный пьезоэффект). На обратном пьезоэффекте работает входной пьезоэлектрический преобразователь УЛЗ, а на прямом — выходной. В таблице 1.2. представлены характеристики пьезоматериалов используемых в УЛЗ.

При технической реализации УЛЗ на объемных акустических волнах пьезоэлектрические преобразователи приходится крепить к торцам звукопроводу клеем или припоем. Переходные слои между преобразователем и звукопроводом смещают резонансную частоту, на которой эффективно работают резонаторы, в сторону ее увеличения. Для ослабления этого нежелательного явления уменьшают толщину переходного слоя. Лучшие результаты дает полное устранение клея или припоя с помощью замены склеивания или пайки вакуумным напылением МДМ- или МНМ-структур.

Примером этого могут быть преобразователи из сульфида кадмия, изготовленные методом вакуумного напыления, которые имеют толщину переходного слоя ≈ 1 мкм (рис. 1.5). Если в килогерцовом диапазоне частот можно использовать магнитострикционные преобразователи, а в м егагерцовом — пьезоэлектрические преобразователи МДМ- или МНМ-структуры, то в гигагерцовый диапазоне как преобразователи используют обедненный слой смещенного в обратном направлении p-n-перехода (Рис. 1.6).

Таблица 1.2. Свойства пьезоэлектрических материалов

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | S,  103кг/м3 | Срез | Тип волны | К | ε | υ, м/с |
| LiNbO3  LiTaO3  LiIO3  PbTiO3  SiO2  (кварц)  Пьезоке-рамика  Р2т-7А  Пьезоке-рамика  ЦТС  Пьезоке-рамика  Р2Т-5 | 4,64  7,45  4,5  7,95  2,65  7600  7300  7750 | 35°y  x  163°y  47°y  x  27°y  y  [001]  [100]  x  y  0°  90°  0°  90°  0°  90° | П  С  С  П  С  П  С  П  С  П  С  П  С  П  С  П  С | 0,49  0,68  0,62  0,29  0,44  0,65  0,61  0,78  0,43  0,098  0,137  0,5  0,67  0,54  0,68  0,49  0,685 | 38,6  44,3  42,9  42,7  42,6  6,6  8,4  126  210  4,58  4,7  235  460  330  445  830  916 | 7400  4790  4480  7400  4220  4230  2570  4170  2705  5720  3850  4800  2500  3800  2200  4350  2260 |

Выбором напряжения смещения толщину обедненного слоя доводят до десятых долей мкм и модулируют ВЧ-напряжением.

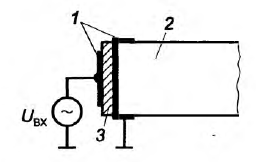
к.

Рис. 1.5. Типичная конструкция МНМ-преобразователя с напыленной пленкой сульфида кадмия: 1 — металлические пленки; 2 — звукопровод; 3 — напыленная пленка сульфида кадмия.

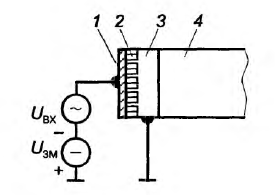


Рис. 1.6. Конструкция преобразователя на р-n-переходе: 1 — золотая пленка; 2 — обедненный слой; 3 — арсенид галлия n-типа; 4 — звукопровод.

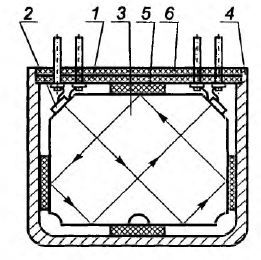


Рис. 1.7. Акустоэлектронная (ультразвуковая) линия задержки электрических сигналов на объемных акустических волнах, которые многократно отражаются от граней звукопровода: 1 — крышка; 2 — пьезопреобразователи; 3 — звукопровод; 4 — корпус; 5 — резиновая прокладка; 6 — эпоксидный компаунд

Задержки сигнала в УЛЗ на объемных акустических волнах достигают за счет малой скорости распространения акустических волн в материале звукопровода. Если необходимо увеличение времени задержки сигнала, акустическую волну можно заставить многократно отражаться (рис. 1.7). В таком случае берут звукопровод призматической формы.

Специфические свойства УЛЗ на объемных акустических волнах заключаются в том, что они высококачественные электрические и конструктивные параметры. Поскольку скорость распространения акустических волн примерно в 105 раз меньше скорости распространения электромагнитных волн, то необходимую величину задержки сигнала в них можно получить при геометрических размерах звукопровода, значительно меньших электрическую ЛС. В УЛЗ время задержки сигнала зависит не только от длины звукопровода, но и от его материала, поскольку от материала зависит скорость распространение акустических волн:



где Е — модуль Юнга; — плотность материала звукопровода.

Дальнейшее увеличение времени задержки может быть достигнуто увеличением акустического пути при неизменных размерах звукопровода, которое можно получить многократным отражением акустических волн от краев звукопровода (рис. 1.7). В твердых телах могут распространяться как продольные, так и поперечные акустические волны. Последние имеют скорость распространения, на 30-40% меньше, поэтому они дают возможность задержать электрический сигнал на еще большее время, или позволяют при неизменном времени задержки на 30-40% уменьшить весогабаритные показатели УЛЗ.

Величина затухания, а, следовательно, и частотный диапазон работы УЛЗ зависит от материала звукопровода. Поэтому УЛЗ с звукопровода с магниевых сплавов, которые имеют больше затухания, работающих на частотах 10-20 МГц, а из плавленого кварца, который имеет на 20-30 дБ меньше затухания — на частотах 30-40 МГц. Поэтому УЛЗ с малым временем задержки работают на высоких частотах (≈ 100 МГц). УЛЗ на объемных акустических волнах преимущественно применяют для задержки ВЧ-сигналов, частота которых совпадает с собственной резонансной частотой или лежит в пределах полосы пропускания. Если этого выдержать не удается, то приходится превращать частоту сигнала на входе УЛЗ с последующим восстановлением ее на выходе.

Важным параметром УЛЗ является температурная стабильность времени задержки, которая существенно зависит от материала звукопровода. Для магниевых звукопроводов температурный коэффициент времени задержки Безымянный

Типичные параметры пьезоэлектрических УЛЗ на объемных акустических волнах приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Типичные параметры пьезоэлектрических УЛЗ на объемных акустических волнах

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| тип линии задержки | система цветного телевид. (примен.) | средняя номинальн. частота,МГц (Fmin-Fmax) | время задержки, в мкс.(по ур.-3дб) | затухание ложного канала в дб. | Rвx.= Rвых в Омах | Lвx./Lвых.в мкГ |
| УЛ3-64-5 | SECAM (CTV) | 4,433619  (3,9 ... 4,75) | 63943 +30 | -26 | 390 | 4,3/8,3 |
| DL63 | PAL-Braal (CTV) | 3.575611 (2,8...4,5) | 63486 ±5 | -30 | 560 | 18 |
| DL680 | PAL  (VLP) | 7,00000 (5,5.. 8.5) | 64400 ±50 | -30 | 150 | 2,2 |
| DL701 | PAL-Europe (CTV/VCR) | 4.433619 (3,43...5,23) | 6394315 | -33 | 390 | 10 |
| DL703 | PAL-Europe (VCR) | 4.433619 (3,03.. 5,43) | 63935 ±5 | -26 | 390 | 18 |
| DL711 | PAL-SECAM (CTV) | 4.433619  (3,43 5,23) | 63943 ±5 | -33 | 390 | 10 |
| DL720 | PAL-Argent. (CTV) | 3,582056 (2,8...4,5) | 63929 ±5 | -28 | 560 | 18 |
| DL722 | PAL-Argent. (CTV) | 3,582056  (2,8 ..4,5) | 64069 ±5 | -28 | 390 | 10 |
| DL750 | NTSC (CTV/VCR) | 3.579545 (2,8...4,5) | 63555 ±5 | -28 | 560 | 18 |

* 1. Линии задержки на поверхностных акустических волнах.

УЛЗ на объемных акустических волнах имеют существенные недостатки.

1. Они имеют ограничения на частоты сигналов, преимущественно вследствие конструктивных особенностей преобразователей. УЛЗ магнитострикционные используют на частотах до 1 МГц, а пьезоэлектрические (пьезокерамические и пьезокварца) на частотах до 30-40 МГц.

2. Конструкция линий требует изготовления звукопровода из материалов с высокой однородностью и стабильностью.

3. В УЛЗ на объемных акустических волнах трудно получить отводы.

Этих недостатков лишены УЛЗ на ПАВ (рис.1.8). Во-первых, их технология совместима с микроэлектронной технологией. Во-вторых, их параметры удовлетворяют требования, которые предъявляют к ним ЭА. Диапазон времени задержки этих УЛЗ составляет 0,0001 … 1 мс, диапазон рабочих частот 10 … 1000 МГц, ширина полосы пропусканий — до 0,4 , потери — 10 … 30 дБ. В третьих, от УЛЗ на ПАВ легко можно получить любое количество отводов, обеспечив таким образом разное время задержки [4].

Она представляет собой монокристалл пьезоэлектрического материала (обычно ниобат лития - LiNbO3, пьезокварц – SiO2, германий висмута -Bi12GeO20), используемый в качестве звукопровода с нанесенными на его поверхность так называемыми встречно-штыревыми преобразователями (ВШП) (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Конструкция ЛЗ на ПАВ.

1-входной ВШП; 2-выходной ВШП; 3-пьезоэлектрический звукопровод; 4-генератор электрических сигналов; 5-нагрузка.

Входной ВШП подключается к источнику электрического сигнала (генератору) и создает на поверхности пьезоэлектрического материала (звукопровода) знакопеременное электрическое поле. За счет обратного пьезоэффекта под действием электрического поля в звукопроводе возникают упругие деформации, распространяющиеся в обе стороны от преобразователя. В данном случае (рисунок 1.8) рассматривается ЛЗ с одним выходным преобразователем, взаимодействующим лишь с волной, излучаемой в одном направлении. Благодаря уже прямомупьезоэффекту упругие деформации, распространяющиеся вдоль поверхности звукопровода, сопровождаются возникновением электрического поля, воспринимаемого электрический сигнал в нагрузке ЛЗ. Эффективность электромеханического преобразователя определяется коэффициентом электромеханической связи, который в значительной степени зависит от параметров (вида) материала звукопровода и направления распространения ПАВ (ориентации звукопровода относительно кристаллографических осей пьезоматериала). Наибольшим к2 обладает ниобат лития, однако у него очень высокий ТКЗ = (77÷96)⋅10-6к-1 в зависимости от типа среза. Кварц SТ –среза (yz) обладает нулевым ТКЗ, но у него почти на порядок меньше к2, чем у ниобата лития. Поэтому в зависимости от того какие требования выдвигаются на первый план (малые потери или стабильность времени задержки) используют тот или иной материал.

Основными элементами конструкции УЛЗ на ПАВ является подложка, входящий и выходной преобразователи. Подложка выполняет двойную функцию, она является звукопроводом и участвует в преобразовании сигнала. Поэтому она должна иметь пьезоэлектрические свойства. Сейчас выявлено более 1500 веществ, которые имеют пьезоэлектрические свойства. Свойства самых известных из них приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Ориентация | Скорость ПАВ  υ, км/с | Коэффициент электромеха-нической связи, К2% | ТКЗ⋅ 10-6 | Коэффициент поглощения дБ/мкс |
| LiNbO3  SiO2  LiTaO3  Bi 12GeO20 | y, z  z 41,5o,x  x, z  z, x  y, x  st, x  y20o,x  x, z  z, y  y, z  [111]  [110]  [001] | 3,488  4,000  3,483  3,798  3,159  3,158  3,2  3,22  3,329  3,230  1,708  1,624  1,681 | 4,5  5,7  4,8  0,62  0,23  0,16  0,24  0,69  0,93  0,74  1,7  0,85  1,5 | 94  72  93  77  -24  0  -32  36  69  35  128  -140  130 | 0,88  0,75  0,69  0,94  2,15  2,62  2,4  0,77  0,94  0,85  1,45  1,56  1,45 |

Сегодня большинство разработок УЛЗ на ПАВ выполнен на пьезокварце, ниобата лития, германат висмута, пьезокерамики. Допускается также использование непьезоэлектрических подложек, но в таком случае их необходимо наносить пьезоэлектрическую пленку, поверх которой можно формировать преобразователи.

ВШП могут быть представлены одной из двух эквивалентных схем: последовательной, которая используется для описания ВШП, изготовленных на слабых пьезоэлектриках (кварц, сульфид кадмия и т.д.) и параллельной, которая лучше описывает ВШП, изготовленные на сильных пьезоэлектриках (титанат бария, пьезокерамика и т.п.) (рис. 1.9).

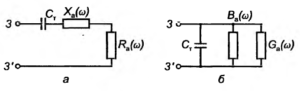
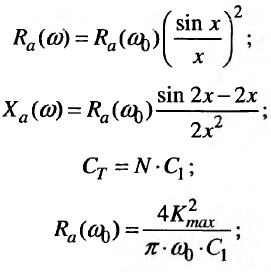
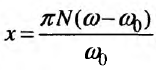
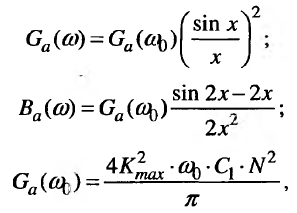
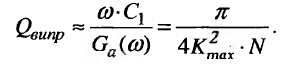


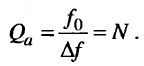
Рис. 1.9. Эквивалентные схемы ВШП: а — последовательная; б — параллельная

Параметрами последовательной эквивалентной схемы являются: активное сопротивление излучения Ra , реактивное сопротивление излучения Xa и статическая емкостьС. Определяют их с выражений:



где Безымянный — емкость одной пары электродов; Безымянный— максимальное значение коэффициента электромеханической связи; Безымянный и Безымянный резонансная и текущая частоты; Безымянный — 3.14. Параметрами параллельной эквивалентной схемы является активная проводимость излучения Безымянный, реактивная проводимость излучения Безымянный и статическая емкость Безымянный. Определяют их с выражений:

Безымянный определяют по выражению Безымянный.  
Добротность электрической цепи (добротность излучения) можно рассчитать по формуле 

Акустическую добротность ВШП можно определить по выражению:

Это значит, что для каждого пьезоэлектрического материала существует оптимальное количество пар электродов, при котором обеспечивается высокая эффективность работы ВШП.

Если ставят строгие требования к форме сигналов на одном или обоих концах звукопровода устанавливают поглотители, которые имеют форму треугольника или сегмента. Изготавливают их из окислов металлов. Изображенные на рис. 1.8 преобразователи относятся к типу встречно штыревых (ВШП) (двухфазных), эквидистантных, неаподизованых. Они предназначены для задержки немодулированных сигналов определенной частоты (рис. 1.10, а). Такие сигналы можно превращать также, но с меньшей эффективностью с помощью однофазных штырьковых преобразователей (рис. 1.10,б). В них роль второго штырька играет металлическая пластинка, размещенная на противоположной стороне подложки. Для преобразования частотно-модулированных сигналов используют неэквидистантные ВШП, штырьки которых размещены на неодинаковых расстояниях друг от друга (рис. 1.10, в). Такие ВШП используют для изготовления дисперсионных УЛЗ на ПАВ. В них входной и выходной преобразователи включают один навстречу друг другу (рис.1.10).

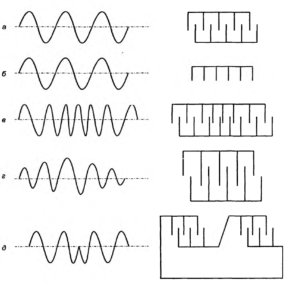


Рис. 1.10. Формы сигналов и соответствующие им конструкции преобразователей

Амплитудно-модулированные сигналы превращают аподизованые ВШП, в которых штырьки имеют сменные по размеру перекрытия (рис. 1.10, г), а фазомодулированые сигналы превращают ВШП, изображены на рис. 1.10, д.

Изготавливают ВШП преимущественно из алюминия, никеля, тантала и других проводящих материалов. Для защиты от внешних условий для ЛЗ на

ПАВ применяют металлостеклянные корпуса, подобные тем, которые используются для герметизации ИМС.

1. Дисперсионные линии задержки на ПАВ.

Дисперсионной линией задержки (ДЛЗ) называется ЛЗ у которой время задержки зависит от частоты сигнала. Существует два пути создания ДЛЗ: использование или физической дисперсии некоторых типов акустических волн, или дисперсионных (неэквидистантных) преобразователей ПАВ. В данном разделе будет рассмотрены ДЛЗ, использующие неэквидистантые преобразователи и не дисперсионный тип волн на ПАВ (волны Рэлея).

В предыдущих разделах мы рассмотрели связь между шагом электродов преобразователя и центральной частотой; расстоянием между преобразователями и задержкой сигнала. На базе этих зависимостей и строятся ДЛЗ (рисунок 2.1).



Рис. 2.1. ДЛЗ несимметричной конструкции

На пьезоэлектрическом звукопроводе 1 в общем акустическом потоке расположены неэквидистантный многоэлектродный преобразователь 2 и широкополосный преобразователь 3. Требуемая дисперсионная зависимость задержки от частоты сигнала достигается в результате соответствующего размещения (по отношению к выходному преобразователю) участков многоэлектродного преобразователя, настроенных на различную частоту. Шаг электродов неэквидистантного ВШП меняется от hmax= до hmin=, где fmin и fmax – нижняя и верхняя частоты диапазона девиации ДЛЗ. Шаг электродов широкополосного преобразователя выбирается обычно как среднее арифметическое значение шага электродов неэквидистантного преобразователя h3 = (ƒmin + ƒmax)/2.

Число электродов широкополосного преобразователя выбирается исходя из обеспечения минимальных искажений спектра, т.е. Δƒз>>Δƒ (Δƒ = ƒmax - ƒmin).

Наибольшее распространение получили ЛДЗ, имеющие линейную дисперсионную характеристику (рисунок 2.1.б):

T(ƒ) = - (ƒ - ƒo)γ + To,

где ƒo = ; γ = ; То =

γ - называется крутизной дисперсионной характеристики.

Существует также ДЛЗ симметричной конструкции (рисунок 2.2) и ДЛЗ использующие явление отражения ПАВ от специально созданных неоднородностей на поверхности звукопровода (отражательные решетки). В качестве отражательных структур наиболее часто используется периодическая решетка металлических электродов (рисунок 2.2).

2

lo

1

Рис. 2.2. ДЛЗ симметричной конструкции.

Для формирования и сжатия более длинных и широкополосных сигналов используются ДЛЗ с отражательными структурами (ОС) в виде канавок, изготовленных ионно-химическим травлением на поверхности пьезоэлектрика. Конструкция ДЛЗ с ОС приведена на рис. 2.3. Принцип работы ДАЛЗ с ОС подобен принципу работы ДЛЗ на ВШП. Волны с различными частотами отражаются в той части ОС, где их частоты близки к частоте синхронизма соседних канавок. Выбирая определенный закон изменения периода ОС, можно получить требуемую частотную зависимость задержки различных спектральных составляющих входного короткого радиоимпульса.

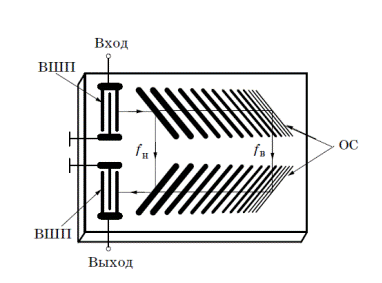


Рис. 2.3. ДЛЗ для формирования и сжатия с ОС.

## ЛЗ на ПАВ на непьезоэлектрических звукопроводах.

Использование пьезоэлектриков в ПАВ, устройствах имеет ряд недостатков, обусловленных высокой стоимостью монокристаллов, а также наличием определенных требований к материалам звукопровода (термостабильность, акустические потери и т.д.). В связи с этим, в настоящее время, особый интерес вызывает разработка ЛЗ на пьезоэлектрических подложках, в частности на термостабильных неорганических стеклах.

Основными достоинствами подобных устройств являются:

* высокая стабильность, что особенно важно при изготовлении прецизионных ЛЗ;
* возможность использования подложек больших размеров, что необходимо для получения больших времен задержки;
* низкая стоимость.

Для возбуждения ПАВ в пьезоэлектрических звукопроводах на поверхность последних дополнительно напыляют пьезоэлектрическую пленку, под которой предварительно формируется система ВШП. Наиболее оптимальным материалом для пьезоэлектрической пленки является окись цинка. В ряде случаев для повышения эффективности преобразования противоположная поверхность пленки в области ВШП металлизируется.

1. Основы конструирования и расчета ЛЗ на ПАВ

Основными исходными данными для расчета являются:

- время задержки электрических сигналов;

- частота;

- относительная ширина полосы пропускания;

- допустимые вносимые потери;

- температурный коэффициент задержки;

- допустимые отклонения времени задержки от заданного значения;

- активная составляющая сопротивления излучения;

- сопротивление нагрузки;

- амплитудно-частотная характеристика.

Перед разработкой ЛЗ следует ознакомиться с их принципом действия, основными особенностями, областями применения, выявить достоинства и недостатки [6,7].

Приведем алгоритм расчета конструктивных параметров ЛЗ на ПАВ.

1. Выбирают пьезоэлектрический материал для звукопровода ЛЗ. Критериями выбора являются: скорость распространения ПАВ, коэффициент электромеханической связи. Коэффициент поглощения ПАВ, стоимость. При выборе материала руководствоваться таблицей 1.4.
2. Разрабатывают топологию встречно-штыревых преобразователей (ВШП). При этом рассчитывают период ВШП (Т), его шаг (h), ширину электродов (d), апертуру (w). Разрабатывают конфигурацию ВШП. В том числе размер и положение контактных площадок.

 (3.7)

 (3.8)

где  - скорость распространения ПАВ;

f0 – центральная частота.

Ширина электродов d выбирается обычно равной половине шага электродов.

Минимальное значение апертуры ВШП определяется из условия:

 (3.9)

где tmiax- максимальное время задержки;

- длина ПАВ.

Максимальное значение апертуры Wmax обычно ограничивается конечной шириной звукопровода.

Обычно оптимальное значение апертуры лежит в пределах W = (100÷200).

1. Рассчитывают расстояние между излучающим и принимающим ВШП, а также их расположение на поверхности звукопровода.

 (3.10)

1. Рассчитывают габариты звукопровода.
2. Определяют потери на омическом сопротивлении электродов [7].
3. Определяют коэффициенты отражения, прохождения и поглощения ПАВ [7].
4. Оцениваю суммарные вносимые потери ЛЗ на ПАВ. Сравнивают полученное значение потерь с заданным в ТЗ. В случае превышения расчетных значений вносимых потерь с заданными, необходимо использовать в качестве материала звукопровода другой пьезоматериал с более высоким коэффициентом электромеханической связи.
5. Разрабатывают конструкцию корпуса ЛЗ на ПАВ.
6. Разрабатывают технологию изготовления ЛЗ на ПАВ, которая включает :

* технологию изготовления корпуса;
* технологию изготовления звукопровода;
* технологию нанесения на поверхность звукопровода ВШП;
* сборку ЛЗ на ПАВ.

1. Разработка двухотводной линии задержки.

Исходными данными для разработки и расчёта линии задержки на поверхностных акустических волнах является двухотводная линия задержки с частотой f=70 мГц, временем задержки t1=4 мкс и t2=8 мкс,относительной шириной полосы пропускания **** и температурным коэффициентом задержки ТКЗ=10-4 К-1. Основное назначение данного электро- радио- элемента состоит в задержке электрического сигнала заданной частоты на определенное время с наименьшими потерями.

Основным элементом разрабатываемой ЛЗ на ПАВ является звукопровод, основными критериями для выбора материала звукопровода являются температурный коэффициент задержки и коэффициент поглощения. Исходя из вышеперечисленных условий, выбираем пьезокварц SiO2. Данный материал имеет ТКЗ = 0 К-1 и коэффициент поглощения = 2,62 дБ/мкс. У данного материала скорость распространения акустических волн достаточно большая, что удовлетворяет условию при малом времени задержки.

Рассчитаем двухотводную линию задержки (МЛЗ) при следующих исходных данных:

частота f0=70MГц;

время задержки t1=4мкс, t2=8мкс;

температурный коэффициент задержки ТКЗ=10-6К-1;

относительная ширена полосы пропускания ****

Из-за того что дана очень высокая частота и два времени задержки то в качестве конструкции выберем многоотводную ЛЗ на поверхностных акустических волнах.

По значению ТКЗ выбираем монокристалл звукопровода **** (табл. 1.4.)

Его характеристики:

ориентация st, x;

скорость ПАВ ****

коэффициент электромеханической связи 0,16 %;

ТКЗ=0;

коэффициент поглощения 2,62 дБ/мкс.

1. Разрабатываем топологию встречно штыревых преобразователей (ВШП).

Тогда необходимо рассчитывать период ВШП, его шаг, ширину электродов, апертуру, количество электродов.

Рассчитаем количество пар электродов:

****;(4.1)

где **** коэффициент учитывающий сужение полосы пропускания ЛЗ;

**.**

Рассчитаем период:

****; (4.2)

где V-скорость распространения ПАВ;

****

Рассчитаем шаг ВШП:

****; (4.3)

****

Рассчитаем ширину электродов ВШП:

****; (4.4)

****

Рассчитаем апертуру ВШП:

; (4.5)

где  - длина волны ПАВ, tmax - максимальное время задержки;

; (4.6)





Выберем 



2. Рассчитаем расстояние между излучающим и принимающим ВШП:

; (4.7)

3. Рассчитаем габариты звукопровода:

Определим длину звукопровода:

 (4.8)

Так как выходные и входные ВШП имеют одинаковую конструкцию, то

 (4.9)

где -длина преобразователя;

 - расстояние между торцевой гранью и крайним электродом преобразователя (находим с учетом оборудования предприятия и допустимым переотражением);

=8…10 мм - расстояние между преобразователями(выбираем из условия минимальной электромагнитной связи);

Определим ширину звукопровода:

 (4.10)

где  - расстояние между общей шиной ВШП и продольной гранью звукопровода;

 (4.11)



Определим толщину звукопровода:

 (4.12)



Возьмем 

4. Определим потери на омическом сопротивлении электродов:

 (4.13)

где  (4.14)

 (4.15)

- удельное сопротивление материала электродов;

t – толщина электродов.

В качестве материала электродов выбираем алюминий.

 (4.16)



Дб

5. Определим мощность на отражение энергии от выходного преобразователя Рот, прохождение Рпр и поглощения Рпог.

 (4.17)

 (4.18)  (4.19)

где -коэффициент рассогласования преобразователя с сопротивлением нагрузки.

Число электродов встречно-штыревого преобразователя выбираем из зависимости акустической и электрической добротностей преобразователя:Np=19 [5].

 (4.20)

;

дБ;

 дБ;

 дБ;

6. Определим мощность ложного сигнала:

 (4.21)

дБ;

Для защиты от внешних воздействий пьезоэлектрические подлож­ки, на которых размещена структура устройств на ПАВ, помещают в корпус. К корпусам предъявляются следующие требования [5]:

* корпус должен быть изготовлен из высокопроводящих металлов (медь, латунь, алюминий) для электромагнитной развязки между вхо­дом и выходом устройства;
* выводы должны быть высокочастотными герметичными и должны быть расположены вблизи контактных площадок устройства на ПАВ;
* герметичность;
* внутри корпуса должен быть вакуум либо инертный газ.

При конструировании корпусов для высокочастотных полосовых фильтров на ПАВ основное внимание необходимо уде­лять электромагнитной развязке между входом и выходом, для чего необходимы максимальное приближение металличе­ской крышки к поверхности подложки, минимальная ширина кор­пуса, минимальные расстояния между контактными площадками и траверсой ВЧ разъема, надежное заземление корпуса.

Для выбора материала корпуса воспользуемся данными табл. 4.1. [5]. Исходя из представленных в таблице материалов, выбираем ковар.

Таблица 4.1. Параметры материалов, применяемых для изготовления металлостеклянных корпусов.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Материал | Состав, % | ТКЛР, 10-6°С-1 | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м \* °С) |
| Алюминиевая паста пастакерамика | 94.. .96А12О3, 6.. .4MgOn Si02 | 6,4... 7,9 | 19,6 |
| Бериллиевая паста пппастакерамика | 97.. .99 BeO | 7,0 | 208 |
| Боросиликатное стекло | — | 4,6 | 1,1 |
| Припайное стекло | 58РbO, 12Ва2О3, 20SiO2, 8ZnO, 2 - прочие окислы | 4,0... 12,0 | — |
| Ковар | 18Co,28Ni, 54Fe | 4,7...5,5 | 16,7 |
| Керамвар | 25Co, 27Ni, 48Fe | 8,1 | — |
| Припой | 61 Sn, 39Pb | 21,5 | — |
| Пластмассы | — | 20...200 | 0,3.. .2,0 |

Таким образом корпус МЛЗ изготавливается из ковара**, -**  сплав на основе железа, содержит 18% Со и 29% Ni. Характеризуется низким коэффициентом теплового расширения [(4,5—5,2)10-6 1/°C — в интервале 20—400 °C], близким к коэффициенту теплового расширения стекла. Температура плавления ковара 1450 °C, удельное электрическое сопротивление*,* температура Кюри 420 °С. Во влажной среде сплав подвержен коррозии, требует защитных покрытий. При впайке в стекло ковар образует прочное вакуумно-плотное сцепление, что используется в электровакуумной технике при изготовлении корпусов и токовыводов различных ламп, приборов. Общий вид корпуса МЛЗ представлен на рис. 4.1.

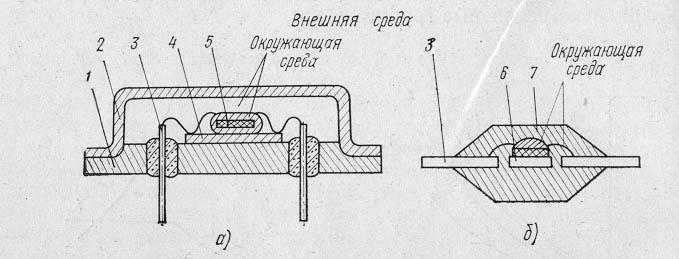


Рис. 4.1. Металлостеклянный корпус.

1 – основание; 2 – крышка; 3 – выводы; 4 – подложка; 5 – навесной компонент с герметизирующим покрытием.

Для устройств на ПАВ применяют метод герметиза­ции холодной сваркой. Холодная сварка **-** это процесс получения не­разъемного соединения в результате пластической деформации двух деталей (металлостеклянный корпус). При сближении свариваемых деталей на расстоя­ние действия межатомных сил между поверхностными атомами образуются металлические связи. Степень деформации сваривае­мых деталей должна быть 75—85 %,т.е. их суммарная толщина после сварки составляет 15—25% от первоначальной. Усилие сжатия при холодной сварке зависит от пластичности материалов соединяемых деталей и контактной площади рабочего инстру­мента (пуансона), обычно выполняемого из инструменталь­ной стали Х12, ХВГ, ШХ13 или твердого сплава ВК20. Так, для соединения деталей из меди МБ или М1 удельное давление должно быть 1500—1800 Н/мм2, а деталей из меди с коваровыми, стальными или из сплава 47НД составлять 2000—2500 Н/мм2. В зависимости от свойств свариваемых материалов приме­няют дву- или одностороннюю холодную сварку. Двусторонней соединяют детали из материалов примерно одинаковой пластичности, а односторонней — различной пластичности. Причем в первом случае пуансоны одновременно деформируют фланцы крышки и корпуса и поэтому во избежание подрезки более пластичного фланца крышки воздействующий на него верхний пуансон должен иметь плоскую широкую торцевую поверхность. Холодная сварка проста, доступна и применяется в основном для герметизации металлостеклянных корпусов.

Сборка устройств проводится обычно по следующей схеме: приклейка пьезоэлектрической пластины в корпус; разварка золотой проволо­кой электрических выводов и заземлений; укрепление лаком или токопроводящим клеем золотых выводов на контактных площадках; гер­метизация опайкой крышки; проверка герметичности гелиевым течеискателем через штенгель; откачка и наполнение инертным газом; гер­метизация штенгеля.

Приклейка пластины должна обеспечить механическую прочность  
при вибрации и ударах. Клюющий слой должен быть достаточно элас­тичным, чтобы при температурных расширениях корпусов не разрывалась пластина. Кроме того, клей не должен выделять газообразные вещества, взаимодействующие с подложкой и металлической пленкой  
ВШП на ее поверхности. Наиболее подходящими являются кремнийорганические компаунды. Хорошо себя зарекомендовали компаунды КЛТ-30, ВГО.

Разварка выводов производится золотой проволокой диаметром 30...40 мкм методом термокомпрессии. Так как толщина пленки алю­миния не превышает 0,2...0,4 мкм, а для высокочастотных устройств 0,1 мкм, сварное соединение не совсем надежно, место сварки необхо­димо укрепить лаком или еще лучше токопроводящим клеем.

На рисунке (4.2.) представлен сборочный чертеж разработанной МЛЗ.

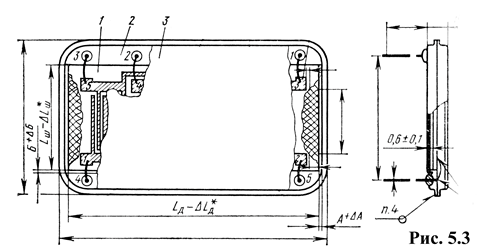


Рис. 4.2. Сборочный чертеж разработанной МЛЗ.

1-монокристалл пьезоэлектрика (плата); 2-осно­вание корпуса; 3-крышка корпуса.

Заключительным технологическим этапом изготовления МЛЗ на ПАВ является контроль, как визуальный , так и проверка на герметичность и контроль основных электрических параметров.

5. Технология изготовления ЛЗ на поверхностно-акустических волнах

5.1. Конструирование и технология изготовления звукопроводов ЛЗ.

Наиболее распространенная общая схема изготовления ЛЗ на ПАВ включает в себя следующие основные технологические операции: изготовление пьезоэлектрического звукопровода, изготовление фотооригинала и фотошаблона, металлизация звукопровода, формирование встречно-штыревых структур преобразователей и контактных шин, монтаж, сборка и герметизация фильтра.

Основные параметры ЛЗ ПАВ: рабочая частота, полоса пропускания, вносимое затухание, температурная стабильность, искажения из-за эффектов второго порядка и т.п. - определяются, в первую очередь, характеристиками материала звукопровода. Поэтому для каждой конструкции выбор материала звукопровода необходимо проводить, исходя из конкретных заданных характеристик фильтра. Для звукопровода могут быть использованы как монокристаллические, так и поликристаллические (пьезокерамические) материалы. Монокристаллы отличаются совершенством структуры, обеспечивающей малые потери на распространение ПАВ (около 0,1...0,5 дБ/см на частотах до 2 ГГц). Кроме того, они стабильны во времени, при серийном изготовлении имеют высокую воспроизводимость параметров.

В ЛЗ с полосой до ∆f /f = 2…5 % наиболее широко используется кварц SiO2 различных срезов, так как малый коэффициент электромеханической связи позволяет получить низкий уровень отраженных сигналов даже при числе электродов более 200 - 300. Кроме того, кварц отличается высокой температурной стабильностью, и поэтому могут быть получены кристаллы, позволяющие создать звукопроводы длиной 100...200 мм.

Для звукопроводов ЛЗ с полосой до ∆f /f 0 = 50…60 % применяется в основном ниобат лития LiNbO3, который благодаря большому коэффициенту электромеханической связи ks позволяет уменьшить затухание в фильтре при числе электродов не более 10. Из монокристаллических материалов к числу перспективных для использования вЛЗ ПАВ можно отнести танталата лития LiTaO3 , германат висмута Bi13 GeО20 , парателлурид ТеО2, селен Se, а также пленки окиси цинка ZnO и нитрида алюминия AlN на сапфире и некоторые другие. Танталат лития LiTaO3 является пока единственным материалом, в котором высокая пьезоэлектрическая активность сочетается с хорошей термостабильностью. Поэтому LiТаО3 в первую очередь представляет интерес для термостабильных фильтров. Германат висмута Bi2 GeO20 является подходящим материалом для линий задержки на большие длительности из-за очень низкой скорости распространения ПАВ и для лз со сложной встречно штыревой структурой благодаря относительно большим размерам выпускаемых кристаллов. Недостатком Bi2 GeO20 является высокий ТКЗ. Сочетание низкой скорости и хорошей термостабильности парателлурита ТеО2 делает его перспективным материалом для малогабаритных термостабильных устройств на ПАВ. Интересным для использования в устройствах, управляемых светом, является селен Se, который наряду с высокими пьезоэлектрическими свойствами обладает полупроводниковыми свойствами и фотопроводимостью. Пленки окиси цинка ZnO и нитрида алюминия AlN н асапфире дают возможность использовать не пьезоэлектрическийматериал (сапфир) как в качестве собственно звукопровода ЛЗ, так и подложки для формирования структуры усилительных каскадов, например, в частотно избирательных микросборках на основе ЛЗ ПАВ. Благодаря высокой скорости ПАВ пленки AlN перспективны для высокочастотных ЛЗ.

Кроме монокристаллических пьезоэлектриков, для изготовления звукопроводов ЛЗ ПАВ могут найти применение поликристаллические материалы. Пьезокерамики почти на порядок дешевле монокристаллов, их свойства легко управляются путем изменения химического состава и введения модификаторов. Кроме того, из пьезокерамики возможно изготовление заготовок для звукопроводов различной конфигурации, в том числе и крупногабаритных.

Принципиальными недостатками пьезокерамик, по сравнению с монокристаллами, является значительное затухание распространяющихся ПАВ, резко увеличивающееся счастотой, и пористость поверхности, приводящая к замыканию электродов преобразователей фильтра после металлизации фотолитографии. Оба эти недостатка объясняются зернистостью структуры пьезокерамик. Технологический процесс изготовления звукопроводов ЛЗ ПАВ в случае использования монокристаллических материалов состоит из следующих основных операций: ориентировки кристаллов и распиловки, предварительной шлифовки заготовок по контуру и по плоскости, точной шлифовки по плоскости, полировки рабочей плоскости. Звукопроводы из пьезокерамики перед распиловкой или шлифовкой поляризуются. При необходимости на нерабочей плоскости звукопроводов выполняются скосы, насечки, канавки и т.д., а торцевые ребра звукопроводов закругляются по радиусу или на них также наносятся насечки. Пазы, прорези, насечки выполняются алмазными дисками с внешней режущей кромкой или ультразвуком.

После ориентировки монокристаллы распиливаются сначала на параллельные секции, положения главных плоскостей которых относительно кристаллографических осей определяются необходимым направлением среза. Затем секции разрезаются на заготовки по габаритам, соответствующим отдельным звукопроводам. К качеству обработки рабочей поверхности звукопровода предъявляются высокие требования. Например, на ней должны отсутствовать царапины, сколы, раковины; чистота рабочей поверхности должна соответствоватьклассу∇13 - ∇14 при неплоскостности не более 0,1…0,5 мкм. Эти требования объясняются рядом причин. Хорошая плоскостность поверхности обеспечивает плотное прилегание фотошаблона в процессе фотолитографии. Это, в свою очередь, позволяет повысить воспроизводимость мелких деталей структур фильтров. Качество поверхности звукопровода не только определяет разрешающую способность при формировании структур ЛЗ посредством фотолитографии, но и существенно влияет на затухания ПАВ, особенно в пьезокерамических материалах, имеющих пористую структуру.

Толщина звукопровода выбирается около 20λпов для уменьшения влияния объемныхволн. 

5.2. Очистка и металлизация звукопроводов.

Независимо от выбранного метода последующего формирования встречноштыревых структур преобразователей, на поверхность звукопроводов должно быть нанесено проводящее покрытие, к которому предъявляются требования минимального электрического сопротивления, высокой адгезии, однородности по структуре, составу, толщине, отсутствия проколов, наплывов, царапин и т.п., коррозионной стойкости, хорошей растворимости в травителе, технологичности, стабильности основных физико-химических свойств пленки от партии к партии и др. Дополнительными требованиями являются: малое различие акустических сопротивлений материала металлизации Zм и звукопровода Z , низкая удельная плотность во избежание сильных отражений и слабые дисперсионные свойства.

Для получения хорошей адгезии воспроизводимости электрофизических свойств нанесенных металлических пленок поверхность звукопровода должна быть хорошо очищена, причем способ очистки в большей степени зависит от метода последующей металлизации. Процедуру очистки можно разделить на этапы предварительной и окончательной очистки. Способ предварительной очистки зависит от характера загрязнений и химических свойств подложки. Основными загрязнениями обычно являются следы масел, жира, отпечатки пальцев, пушинки, разнообразные пылевые частицы. Последовательность операций предварительной очистки может изменяться в широких пределах, а для окончательной, наоборот, должна оставаться неизменной.

Химическая окончательная очистка предусматривает ультразвуковую мойку в горячей воде с растворенным в ней моющим средством, а затем длительное промывание в горячей воде наивысшей достижимой чистоты.

Наиболее широко при изготовлении ЛЗ ПАВ используются алюминий, серебро, золото, иногда медь с защитой никелем. Некоторые электрофизические, акустические и дисперсионные свойства материалов приведены в табл. П2. Учитывая, что алюминий дешев и позволяет получить сравнительно низкое сопротивление пленочных проводников, в ЛЗ ПАВ как со звукопроводами из кварца, так и ниобата лития и пьезокерамики, наиболее часто используется алюминиевое покрытие. Медное или золотое покрытие с подслоем хрома хорошо сочетается с германатом висмута.

С целью получения хорошей электропроводности при незначительных дисперсионных искажениях и для надежности присоединения золотых проводников, например, методом сварки со сдвоенным электродом толщину пленки контактных шин следует выбирать в пределах 250…300 нм. Толщина электродов ВШП может быть уменьшена до 100…200 нм. Для улучшения адгезии алюминия целесообразно использовать подслой ванадия толщиной 30 нм, что позволяет обойтись одним травителем и проводить только одноэтапную фотолитографию.

Для осаждения пленок из алюминия, меди, золота, серебра наиболее часто используется термовакуумное напыление. Применение электроннолучевого испарения из тигля этих материалов, например алюминия, позволяет существенно улучшить адгезию к поверхности звукопровода и отказаться от адгезионного подслоя. Катодное и магнетронное распыление обычно используется для получения пленок тугоплавких металлов и диэлектриков. Химическое осаждение применяется, главным образом, для металлизации крупногабаритных звукопроводов длиной свыше 100…180 мм.

При термовакуумном напылении, например, алюминии янаниобат лития или кварц, очищенные звукопроводы сначала прогреваются при температуре 250 ±10°Свтечение 10 ±1 мин для удаления мономолекулярных загрязнений, а так же для снятия механических напряжений и выравнивания потенциального рельефа поверхности. Дл ябольшинства пьезокерамик недопустим перегрев выше 100…430 °С.

После этого звукопроводы охлаждаются до температуры 130 ±10 °С с целью получения малого удельного сопротивления на пыляемых слоев ванадия и алюминия и производится распыление указанных материалов.

Для изготовления ЛЗ на ПАВ применяется прямой метод контактной фотолитографии. В качестве фоторезиста применяется следующие позитивные фоторезисты – ФП-348, ФП-РН-7, ФП-333, которые тщательно фильтруются и подвергаются скоростному центрифугированию. Толщина наносимого слоя фоторезиста должна составлять не более 0,4-0,8 мкм. После осажденные пленки фоторезиста подвергаются сушке в термокамере типа ТК-1 или сушильном шкафу. При совмещении фотошаблона со звукопроводом при экспонировании применяется метод контактного совмещения, в качестве источника излучения используется ртутно-кварцевые лампы высокого и сверхвысокого давления типов ДРШ-100, ДРШ-250, ДРШ-500. Проявление участка фоторезиста ФП-383 и ФП-РН-7 осуществляется в 2-3% водном растворе тринатрифосфата с глицерином. Щелочи пригодные для проявления фоторезиста ФП-383.

Звукопровод с проявленным фоторезистом тщательно промывается водой и потом сушится на центрифуге, время сушки при температуре 900С-115 минут, затем при 1400С-30 минут. Затем проводится травление открытых участков металлической пленки, в результате чего формируются структура ВШП фильтра. В заключении, остатки фоторезиста смываются с помощью органических растворителей, после чего проводится промывка и сушка готового звукопровода фильтра на ПАВ.

5.3. Сборка и герметизация ЛЗ на ПАВ**.**

Заключительным этапом изготовления ПАВ – устройств является помещение звукопровода с нанесенными на него ВШП в корпус и его герметизация. Корпуса предназначены для защиты элементов и компонентов ПАВ - устройства от климати­ческих (влага, газы) и механических воздействий и светового облучения. Корпус обес­печивает эффективный отвод тепла от тепловыделяющих элементов и компонентов. Металлический корпус осуществляет также экранирование от воздейст­вия электростатических, а в некоторых случаях и магнитных полей. Корпус имеет вы­воды, с помощью которых микросхему монтируют на печатную плату. Контактные площадки звукопровода электрически соединены с выводами корпуса. В зависимости от материалов корпуса делятся на следующие типы: металлостеклянные, стеклянные, керамические, металлополимерные, пластмассовые, полимер­ные.

Основные требования, предъявляемые к корпусу, следующие:

1. механическая прочность и герметичность, обеспечивающие надежную защиту микросхемы от воздействия окружающей среды и механических повреждений;
2. высокая теплопроводность;
3. возможность надежного электрического соединения контактных площадок мик­росхем с выводами корпуса;
4. возможность надежного крепления микросхемы при монтаже в аппаратуре;
5. простота изготовления и герметизации;
6. низкая стоимость.

Первые два требования обычно находятся в противоречии с двумя последними: пока не разработаны простые и дешевые корпуса, способные надежно защищать схему в тяжелых условиях эксплуатации. Испытания показывают, что интенсивность отказав в трудоемких и дорогостоящих керамических корпусах в 3 -10 раз ниже, чем в са­мых дешевых полимерных корпусах. Высокая интенсивность отказов ПАВ - устройств в по­лимерных корпусах объясняется их низкой влагостойкостью. Молекулы воды, размеры которых порядка 3А, проникают внутрь корпуса не только по границам раздела корпус - вывод, но и через толщу полимера.

**Обеспечение герметичности корпуса.** Элементы и компоненты, предна­значенных для работы в условиях повышенной влажности и в атмосфере различных газовых сред, следует помещать в корпуса, обеспечивающие полную герметизацию. Герметичность корпуса достигается применением непроницаемых для влаги и газов материалов и вакуумплотным соединением этих материалов.

В конструкциях корпусов широко используются соединения металлов с метал­лами, стеклом, керамикой и полимерами, керамики с керамикой и стеклом, стекла со стеклом и др. Высокотемпературные стекла и керамику обычно соединяют с помощью промежуточного слоя легкоплавкого стекла. Определенные трудности возникают при образовании вакуумплотных соединений металлов с керамикой и стеклом. Они обу­словлены различными ТКЛР и коэффициентами теплопроводности. Дело в том, что при изготовлении корпуса, сборке микросхемы, эксплуатации детали конструкции подвергаются большим перепадам температуры. Из-за разницы ТКЛР и коэффициентов теплопроводности (разная скорость нагрева деталей) в элементах конструкции возни­кают большие механические напряжения, приводящие к растрескиванию соединений и нарушению герметичности. Опыт показывает, что разница ТКЛР соединяемых мате­риалов должна составлять 1•10-6°С-1.

В зависимости от конструкции корпуса в практике производства находят приме­нение следующие способы герметизации: холодная сварка давлением, электроконтакт­ная конденсаторная сварка, пайка, заливка компаундами, склеивание, опрессовка ком­паундами.

В зависимости от применяемых материалов и конструктивных особенностей ПАВ - устройства используют следующие методы соединений:

1. Cварка
   1. Холодная сварка
   2. Электроконтактная конденсаторная сварка
   3. Аргонно-дуговая сварка
   4. Микроплазменная сварка
   5. Термокомпрессионная сварка
   6. Сварка давлением с косвенным импульсным нагревом
   7. Сварка сдвоенным (расщепленным) электродом
   8. Ультразвуковая сварка
   9. Роликовая сварка
   10. Электроннолучевая сварка
2. Пайка
   1. Пайка припоями
   2. Пайка стеклом

Наиболее широко используется термоомпрессонная и ультразвуковая сварки.

**Термокомпрессионная сварка** представляет собой сварку давлением с подог­ревом. Необходимое давление прикладывают к инструменту, а рабочая тем­пература обеспечивается нагревом либо инструмента, либо рабочего стола с изделием, либо того и другого одновременно. Рабочая температура поддерживается постоянной в течение всего времени работы установки.

Пластические, деформации, возникающие в зоне контакта соединяемых деталей, способствуют вытеснению адсорбированных газов и загрязнений. В результате обна­жения чистых поверхностей становится возможным электронное взаимодействие со­единяемых материалов (образование межатомных связей). Получению прочного соеди­нения способствует также ограниченная взаимная диффузия материалов и образование твердого раствора в тонкой приграничной области. Во избежание разрушения соединения вследствие остаточных напряжений мате­риал проволоки должен быть пластичным. С этой целью проволоку предварительно подвергают рекристаллизационному отжигу.

Наилучшей свариваемостью обладают пары Ag - Аu и Аu - Сu, так как им при­суща высокая взаимная диффузия. При сварке Аи и А1 взаимная диффузия приводит к образованию интерметаллических соединений, некоторые из которых обладают хрупкостью или рыхлостью. Удовлетворительной сварки не уда­ется достичь на кремниевых подложках вследствие каталитического влияния кремния. Термокомпрессионную сварку выполняют при невысоких удельных давлениях и температурах. Поэтому для получения больших пластических деформаций диаметр вы­вода не должен превышать 100 -130 мкм. Важным условием выполнения качественно­го соединения является тщательная подготовка поверхности соединяемых деталей (травление, обезжиривание), а также защита их от окисления в процессе сварки (применение защитной среды азота, аргона, и т.д.).

**Ультразвуковая сварка** является разновидностью сварки давлением (холод­ной или с косвенным нагревом).

Ультразвуковые колебания возбуждаются в магнитострикционном преобразо­вателе и с помощью волновода (концентратора), служащего для увели­чения амплитуды, и сварочного инструмента передаются свариваемым деталям. Энер­гия колебаний преобразуется в сложные напряжения растяжения, сжатия и среза. При превышении предела упругости материала в зоне контакта возникают пластические деформации, и плёнка окисла разрушается, обнажая чистую поверхность. При этом ма­териалы схватываются за счет электронного взаимодействия. Косвенный нагрев инструмента облегчает пластические деформации и улучшает качество соединения. Вначале осуществляется сдавливание соединяемых деталей, да­лее пропускается импульс тока через инструмент, а затем (или одновременно) создают­ся ультразвуковые колебания. К преимуществам ультразвуковой сварки можно отнести: невысокую температу­ру в зоне контакта, возможность соединения трудносвариваемых разнородных мате­риалов (и даже диэлектриков) и невысокие требования к состоянию поверхности. Ограничением метода является требование высокой пластичности материала проводника, так как деформация должна достигать 50 - 60%. Удельные давления долж­ны составлять несколько килограммов на 1 мм2.

Основными параметрами процесса являются амплитуда колебаний (порядка 5 -10 мкм при частоте 40 - 60 кГц) и удельное давление. Время сварки должно быть опти­мальным: при малом времени физический контакт соединяемых поверхностей может оказаться малым, при большом времени наблюдается разрушение узлов схватывания.

6. Разработка мероприятий по охране труда.

Охрана труда - система законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических, лечебно профилактических мероприятий, обеспечивающих безопасность, здоровье и работоспособность человека в процессе труда [11].

6.1. Правовые основы охраны труда.

Служба охраны труда на предприятии и финансирование охраны труда.На предприятии с количеством работающих 50 и более человек работодатель создает службу охраны труда в соответствии с типовым положением, утверждаемым государственным органом исполнительной власти по надзору за охраной труда.  На предприятии с количеством работающих менее 50 человек функции службы охраны труда могут выполнять в порядке совместительства лица, имеющие соответствующую подготовку.  На предприятии с количеством работающих менее 20 человек для выполнения функций службы охраны труда могут привлекаться посторонние специалисты на договорных началах, имеющие соответствующую подготовку.  Служба охраны труда подчиняется непосредственно работодателю. Руководители и специалисты службы охраны труда по своей должности и заработной плате приравниваются к руководителям и специалистам основных производственно-технических служб. Предписание специалиста по охране труда может отменить лишь работодатель.  Ликвидация службы охраны труда допускается только в случае ликвидации предприятия или прекращения использования наемного труда физическим лицом. Финансирование охраны труда осуществляется работодателем. Финансирование профилактических мероприятий по охране труда, выполнению общегосударственной, отраслевых и региональных программ улучшения состояния безопасности, гигиены труда и производственной среды, других государственных программ, направленных на предупреждение несчастных случаев и профессиональных заболеваний, предусматривается, наряду с другими источниками финансирования, определенными законодательством, в государственном и местных бюджетах, которые выделяются отдельной строкой. Для предприятий, независимо от форм собственности, или физических лиц, использующих наемный труд, расходы на охрану труда составляют не менее 0,5 процента суммы реализованной продукции. (Действие части четвертой статьи 19 остановлено на 2004 год согласно Закону № 1344-IV от 27.11.2003) На предприятиях, содержащихся за счет бюджета, расходы на охрану труда предусматриваются в государственном или местных бюджетах и ​​составляют не менее 0,2 процента от фонда оплаты труда. Суммы расходов по охране труда, относящиеся к валовым расходам юридического или физического лица, которое в соответствии с законодательством использует наемный труд, определяются согласно перечню мер и средств по охране труда, который утверждается Кабинетом Министров Украины.

6.2. Классификация причин производственного травматизма и профзаболеваний.

Методы анализа производственного травматизма. Несоблюдение правил техники безопасности в конечном итоге приводит к травматизму и несчастным случаям на производстве, и, как правило, пострадавшими от этих несчастных случаев являются сами сотрудники предприятия.

Несчастный случай — непредвиденное событие, неожиданное стечение обстоятельств, повлекшее [телесное повреждение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%BD%D0%B0) или [смерть](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%82%D1%8C).

Профессиональные болезни – это группа заболеваний, возникающих исключительно или преимущественно в результате воздействия на организм неблагоприятных условий труда профессиональных вредностей.

Анализ производственного травматизма проводится с целью установления закономерностей возникновения травм на производстве и разработке эффективных профилактических мероприятий. В процессе анализа травматизма должны быть выяснены причины несчастных случаев и разработаны мероприятия по их предупреждению. Для анализа производственного травматизма применяют четыре основных метода: статистический, монографический, экономический, метод физического и математического моделирования [9].

Статистический метод основан на изучении причин травматизма по документам, которые регистрируют несчастные случаи, за определенный период времени (квартал, полугодие, год), в случае профессиональных заболеваний анализируются данные карт учета профессиональных заболеваний, которые составляются на основании актов расследования случаев профзаболеваний. Для оценки уровней травматизма пользуются относительными показателями (коэффициентами) частоты, тяжести. Коэффициент частоты травматизма.

Кч =N·1000/С, (6.1)

где N - количество несчастных случаев;

С - среднесписочный состав предприятия.

Коэффициент тяжести травматизма

Кт = Д / N , (6.2)

где Д - количество дней нетрудоспособности вследствие несчастного случая.

К разновидностям статистического анализа относят групповой и топографический. Групповой метод анализа травматизма основывается на повторяемости несчастных случаев, независимо от тяжести повреждений наличии материалов расследования распределяется по группам с целью выявления часто повторяющихся случаев (одинаковых по обстоятельствам). Топографический метод заключается в изучении причин несчастных случаев по месту их возникновения; эти места систематически наносятся условными знаками на планы участка, цеха, предприятия. Метод дает наглядные представления о местах сосредоточения травматизма, которые требуют соответствующих профилактических мероприятий.

Монографический метод включает детальное исследование всего комплекса условий, при которых произошел несчастный случай: процессы, оборудование, материалы, защитные средства, условия производственной обстановки и др. В результате и исследования оказываются не только причины несчастных случаев, но и скрытые (потенциальные) опасные и вредные факторы, которые могут привести к травматизму.

Экономический метод заключается в определении экономического ущерба от производственного травматизма, а также в оценке эффективности затрат, направленных на предупреждение несчастных случаев с целью оптимального разделения средств на мероприятия по охраны труда.

Метод физического и математического моделирования применяется на сложных образцах техники. Наряду с традиционными методами анализа травматизма можно отметить некоторые новые направления, характерные для исследования условий безопасности труда и предупреждения травматизма: комплекс методов математической статистики, например, методы дисперсионного и корреляционного анализа; метод научного прогнозирования безопасности труда. Он служит для вероятностной оценки динамики травматизма, предсказания образования неблагоприятных факторов в новых производствах или технологиях и разработки для них соответствующих требований техники безопасности.

В производственном помещении на организм человека и его работоспособность влияют микроклиматические факторы. Микроклимат производственных помещений определяется сочетанием температуры, окружающих поверхностей.

Для предупреждения утомления пользователя предусмотрено создание окружающей обстановки, ограждающей его от воздействия постоянных раздражителей.

Для работ категории 1а, в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 [8], обеспечиваются следующие метеорологические условия:

- в холодный период года: температура воздуха 22-24 С°, относительная влажность воздуха 40 – 60 %, скорость движения воздуха не более 0,1 м/с;

- в теплый период года: температура воздуха 23-25 С°, относительная влажность воздуха 40 – 60 %, скорость движения воздуха не более 0,1 м/с.

Для создания и поддержания оптимальных микроклиматических условий, при отсутствии избыточного тепла, влаги, вредных веществ достаточно естественной организованной вентиляции. В жаркое время года проектом предусматривается использование кондиционера БК – 1500 в количестве 1 шт., в холодное — системы централизованного отопления.

В разрабатываемом проекте предполагается использовать совмещенное освещение. В светлое время суток помещение будет освещаться через оконные проемы, в остальное время будет использоваться искусственное освещение.

Искусственное освещение в рабочем помещении предполагается осуществлять с использованиемлюминесцентных источников света в светильниках общего освещения, поскольку люминесцентные лампы обладают высокой световой отдачей (до 75 лм/Вт и более), продолжительным сроком службы (до 10000 часов), спектральным составом излучаемого света, близкого к солнечному. При эксплуатации ЭВМ производится зрительная работа IV разряда. При этом нормируемая освещенность на рабочем месте (Ен) равна 200 лк. Источником естественного освещения является солнечный свет. В помещении, где расположены ЭВМ, предусматривается естественное боковое освещение, уровень которого соответствует СниП 11-4-79 [8].

6.3. Расчет искусственного освещенности помещения.

Исходые данные: длинна ***а = 14*** (м), ширина ***b*** = 5,8 (м), высота ***Н*** = 4,2 (м). Помещение имеет светлый окрас: Коэффициент отражения ***ρстелі*** = 50 (%), ***ρстін*** = 30 (%), ***ρпідлоги*** = 10 (%). Высота рабочих мест ***hp*** = 0,7 м. Для освещен я выбираем светильники типу ЛПО 02, (тип КСС Г-2), которые крепятся к потолку; расстояние от светильника до потолка ***hc*** = 0,15 м. Минимальная освещенность согласно нормам ***Енорм.*** = 300 лк.

**Решение:**

1. Определяется высота светильников относительно пола:

***h0 = Η – hc*** *= 4,2 – 0,15 = 4,05 (м).*

Высота подвеса светильников над рабочей поверхностью равна:

***h = h0 – hр*** *= 4,05 – 0,7 =3,35 (м).*

Определяем оптимальное расстояние между светильниками:

***Lопт. = λ · h*** *= 0,77 ·3,35 = 2,5* *(м),*

Где: ***λ*** – коэффициент, который учитывает распределение светового потока в пространстве (для КСС Г-2 ***λ*** = 0,77).

1. Определяем необходимое количество светильников:

* =  = 12 шт.*

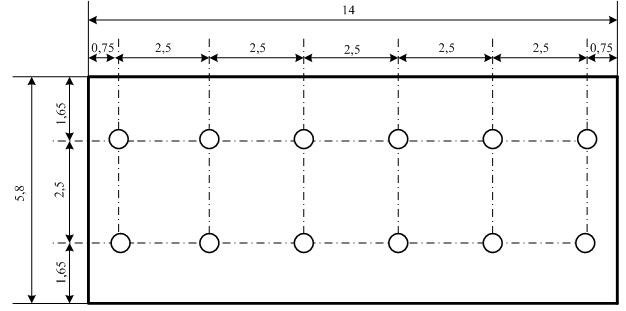
**

Рис. 6.1 Схема распределения светильников в помещении

1. Определим показатель помещения:

= = 1,18.

1. Определяем коэффициент светового потока ***η = 69,8*** (%) в зависимотсти от типа светильников:

***ρстелі*** (%), ***ρстін*** (%), ***ρпідлоги*** (%).

1. Определяем световой поток одного светильника:

=  = 657 (лм),

1. По определенной величине ***Fрозр*** выбираем существующую лампу с наиболее близким световым потоком ***Fфакт.***. Это лампа типа ЛХБ15 (675 лм)
2. Определяем фактический уровень освещенности с учетом выбранной ламы ***ЕФАКТ***:

 =  = 51,3 (лк).

1. Определяем коэффициент превышения между ***ЕНОРМ*** и фактическим ***ЕФАКТ*** значениями:

 = = -8,3%

6.4. Расчет искусственной вентиляции производственного помещения.

Вентиляция является наиболее эффективным средством для снижения концентрации вредных веществ (газов, паров, пыли), а также снижение тепла и влаги, выделяемых при выполнении ТП и от оборудования.

Основное назначение вентиляции - осуществление воздухообмена, которое обеспечивает удаление из рабочего помещения загрязненного воздуха и подачу чистого воздуха.

Таблица 6.1 – Оптимальные норма температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Период года | Категория работ | Температура, | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с |
| Холодный и переходной | Легкая | 23-25 | 40-60 | 0,1 |
| Теплый | 22-24 | 40-60 | 0,1 |

В производственном помещении, воздухообмен реализуется с помощью естественной и искусственной (механической) вентиляции и кондиционера. Этот метод обеспечивает приток необходимого количества свежего воздуха, который определяется согласно СНиП.

Искусственная вентиляция может быть приточной, вытяжной, приточно-вытяжной, а по месту действия - общеобменной и местной. Поскольку наш цех не имеет окон, то есть нет естественного проветривания, поэтому нужно уделить внимание искусственной вентиляции [10].

Вентиляционные системы и их производительность выбирают и проектируют на основе расчета необходимого воздухообмена.

Согласно СН 245-71 и СНиП 2.04.05-91, количество воздуха, которое обеспечивает необходимые параметры воздушной среды в производственном помещении, определяют расчетом, исходя из объема газо-паро-выделения, выделений пыли, избыточного тепла и влаги (их принято называть собирательным термином «вредности»). За окончательное нужное количество воздуха принимают большее, полученное из расчетов для каждого вида вредности.

Объем V () свежего воздуха, подаваемого в помещение, необходимого для разбавления вредных веществ (в нашем случае свинца), выделяемых в рабочем помещении, до предельно допустимых концентраций, определяется из следующего соотношения:

где – масса вредных веществ, которые выделяются в рабочем помещении в единицу времени ; – предельно допустимая концентрация вредных веществ, ; – содержание вредных веществ в водухе, .

Согласно СН 245-71 , величина не должна превышать 30% ПДК.

Наибольшую сложность представляет определение величины . Для этой цели на основе натурных наблюдений определены средние удельные газо-паро-выделения для различных видов оборудования, устройств уплотнителей, арматуры и других источников выделений при различных эксплуатационных условиях [10].

Предельно допустимые выделения вредных веществ не должны превышать:

где – объем помещения, .

Объем V (м3/ч) свежего воздуха, подаваемого в помещение, необходимого для удаления избыточного тепла рассчитывают по формуле:

где – излишки тепла в помещении, принимается 90 Вт; – массовая удельная теплоемкость, равная ; – плотность воздуха, которая поступает в помещение, принимается ; и –температура воздуха, которая удаляется и подается (перепад температур), составляет 11 °С.

Объем воздуха (м3/ч), удаляемого при расчете местной вытяжной вентиляции принимается в зависимости от характера вредных выделений, а также от скорости и направления их движения:

где – площадь открытого сечения вытяжного устройства, ;

– скорость движения всасываемого воздуха в этом отверстии (принимается от 0,5 до 1,5 м/с в зависимости от токсичности и летучести газов и паров).

Кратность воздухообмена показывает сколько раз в течение часа воздух в помещении должно быть заменено полностью:

где – кратность воздухообмена, ; – объем воздуха для вентиляции помещения ; – объем помещения, .

Укажем, что в цеху работают 70 работников.

6.5. Рекомендации по пожарной безопасности.

Пожары в помещениях, где используется электронная техника, представляют особую опасность, так как сопряжены как с угрозой жизни и здоровью людей, так и с отказом средств вычислительной техники, что в свою очередь влечет за собой нарушение хода работ.

Пожар может возникать при внесении источника зажигания в горючую среду. Горючими материалами в помещении, где расположенны электронные приборы, являются:

- полиамид — материал корпуса микросхемы, горючее вещество, температура воспламенения 420 С°;

- поливинилхлорид — изоляционный материал, горючее вещество, температура самовоспламенения 335 С°, температура самовоспламенения 335 С°, удельная теплота сгорания 18000-20700 кДж/кг;

- стеклотекстолит ДЦ — материал печатных плат, трудно горючий материал, показатель горючести 1.74, не склонен к температурному самовоспламенению;

- пластик кабельный №.489 — материал изоляции кабеля, горючий материал, показатель горючести более 2.1;

- древесина — строительный и отделочный материал, материал, из которого изготовлена мебель, горючий материал, показатель горючести более 2.1, удельная теплота сгорания 18731 – 20853 кДж/кг, температура воспламенения 399 С°, склонна к самовозгоранию [10].

Возможными источниками зажигания при работе с электронными приборами могут быть:

- искры при замыкании и размыкании цепей;

- искры и дуги коротких замыканий;

- перегрев проводников, резисторов и других радиодеталей ПЭВМ.

Причинами возможного загорания и пожара могут быть:

- неисправность электроустановки;

- конструктивные недостатки оборудования.

Пожарная безопасность объектов народного хозяйства, в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91, обеспечиваются:

- системой предотвращения пожара;

- системой противопожарной защиты;

- организационно – техническими мероприятиями.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91, для предотвращения образования в горючей среде источников зажигания предусматривается:

- применение оборудования, удовлетворяющего требованиям электростатической безопасности;

- применение в конструкции быстродействующих средств защитного отключения возможных источников зажигания;

- исключение возможности появления искрового заряда статического электричества в горючей среде с энергией, равной и выше минимальнной энергии зажигания [9].

В качестве организационно – технических мер рекомендуется проводить обучение рабочего персонала правилам пожарной безопасности.

Для успешного тушения пожаров решающее значение имеет быстрое обнаружение пожара и своевременный вызов пожарных подразделений к месту пожара. Для снижения пожарной опасности в помещении используются первичные средства тушения пожаров, а также система автоматической пожарной сигнализации, которая позволяет обнаружить начальную стадию загорания, быстро и точно оповестить службу пожарной охраны о времени и месте возникновения пожара.

Для предотвращения пожара в вычислительных центрах выполняются следующие требования:

- электропитание ЭВМ имеет автоматическую блокировку отключения электроэнергии на случай остановки системы охлаждения и кондиционирования;

- после окончания работы, перед закрытием помещения, все электроустановки и персональные компьютеры отключаются от сети электропитания.

Для того чтобы прервать реакцию горения, нарушают условия её возникновения и поддержания. Обычно для тушения используют нарушение двух основных условий устойчивого состояния — понижение температуры и режим движения газов [10].

Понижение температуры может быть достигнуто путем введения веществ, которые поглощают много тепла в результате испарения и диссоциации (например, вода, порошки).

В связи с вышесказанным, для снижения пожарной опасности на вычислительном центре предусматривается использовать первичные средства пожаротушения, а также систему автоматической пожарной сигнализации с применением датчиков-извещателей типа ИДФ-1М (в количестве 1 шт.), которые рассчитаны для контроля площади до 100 м2 при высоте потолка до 4 м. В качестве первичных средств пожаротушения, в соответствии с примерными нормами из источника, предлагается использовать:

- ручной огнетушитель ОУ-5;

- воздушно – пенный огнетушитель ОВП-5;

- асбестовое полотно 2х2 м.

Выводы

При выполнении данной работы были рассмотрены классификация и принципы действия различных акустоэлектронных устройств. Исследованы физические принципы функционирования ультразвуковых линий задержки на объемных акустических волнах, линий задержки на ПАВ и других акустоэлектронных устройств, а также виды акустоэлектронного взаимодействия. Рассмотрены основные параметры и характеристики ЛЗ на ПАВ. Проведены проектирование и расчет двухотводной линии задержки на ПАВ. Разработана конструкция такой ЛЗ на ПАВ. Предложена технология изготовления устройств на поверхностных акустических волнах.

Разработаны мероприятия по охране труда и техники безопасности.

Список литературы

1. Речицкий В.И. Акустоэлектронные радиокомпоненты: элементы и устройства на поверхностных акустических волнах, М., Сов.радио, 1980.

2. Речицкий В.И. Радиоэлементы на поверхностных акустических волнах, М., Радио и связь 1984.

3. Каринский С. С. Устройства обработки сигналов на ультразвуковых поверхностных волнах. М., 1975;

4. Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах: Применение для обработки сигналов. М., 1982;

5. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах. М., 1990;

6. Гуляев Ю. В., Мансфельд Г. Д. Резонаторы и фильтры сверхвысоких частот на объемных акустических волнах: современное состояние и тенденции развития // Радиотехника. 2003. № 8.

7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория упругости, 3 изд., М., 1985.

8.Викторов И. А. «Звуковые поверхностные волны в твердых телах», М.Радио и Связь, 1991.

9.Дмитриев В.М. Устройства интегральной электроники: Акустоэлектроника. Основы теории, расчета и проектирования / В.М. Дмитриев. ГУАП. СПб. 2006. 169 с.

10.Зеленка И. Пьезоэлектрические резонаторы на объемных и поверхностных акустических волнах / И.Зеленка. М.: Мир. 1990. 584 с.

11. Багдасарян А.С. Узкополосные фильтры на поверхностных акустических волнах в системах радиочастотной идентификации / А.С. Багдасарян, Ю.В. Гуляев, С.А. Никитов, С.А. Багдасарян, Т.В. Синицына, В.В. Бутенко, О.В. Машинин, В.В. Прапорщиков. Радиотехника и электроника. 2008. Т. 53, № 7. С. 887-896.

12. Дементий Л.В., Юсина А.Л. Охрана труда: рекомендации по выполнению раздела в дипломном проекте бакалавра для студентов технических специальностей.

13. Дементий Л.В., Юсина А.Л. Охрана труда: рекомендации по выполнению раздела в дипломном проекте бакалавра для студентов технических специальностей.

14. Методичные указанияя к самостоятельной работе по дисциплинам «Основы охраны труда», «БЖД и охрана труда», «Охрана труда в отрасли» по теме: «Законодательство об охране труда» (часть вторая) (для студентов всех специальностей) / Сост. М.А. Касьянов, В.О. Медяник, В.И. Сало, О.М. Гунченко, В.А. Малов – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2008. – 50 с

15. Научно-методичный комплекс дисциплины «Основы охраны труда» (НМКДКД). (Эл. вид.). Луганск. ВНУ им. В. Даля, кафедра «ОП та БЖД», 2006 г.

16. Методичные указанияя к самостоятельной работе по дисциплинам «Основы охраны труда», «БЖД и охрана труда», «Охрана труда в отрасли» по теме: «Законодательство об охране труда» (часть вторая) (для студентов всех специальностей) / Сост. М.А. Касьянов, В.О. Медяник, В.И. Сало, О.М. Гунченко, В.А. Малов – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2008