

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ
АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ (ПАВ)

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе
для студентов

Куйбышев 1987

УДК 621.373

Изложены краткие теоретические сведения о принципе работы устройств на поверхностных акустических волнах. Приведены сведения об экспериментальной установке для выполнения лабораторной работы, цель и содержание работы, порядок выполнения, содержание отчета.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 0705.

Составитель Г.В.У в а р о в

Рецензенты: В.Ф.С о к о л о в, П.В.Б у р е н и н

Ц е л ь р а б о т ы - изучение устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ), анализ конструктивных и электрических характеристик, экспериментальное определение основных характеристик.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с теоретическими основами функционирования устройств на ПАВ, изучить реальные линии задержки (ЛЗ) и фильтры на ПАВ по макетам и чертежам. Получить задание у преподавателя по работе с конкретными устройствами: линиями задержки или фильтрами.

2. При работе с линиями задержки необходимо с помощью инструментального микроскопа снять геометрическую топологию конкретного типа ЛЗ или использовать данные из рабочих чертежей.

По топологии рассчитать ожидаемое время задержки, зависимость времени задержки от частоты для дисперсионной ЛЗ. Построить график $T_{зод(расч)} = f(F)$.

Экспериментально определить низшую и высшую частоты ЛЧМ сигнала, время задержки, зависимость задержки от частоты для дисперсионной ЛЗ, построить график $T_{зод(экон)} = f(F)$.

Используя экспериментальное значение времени задержки и экспериментально определенное расстояние между входным и выходным преобразователями, рассчитать скорость распространения ПАВ, сравнить с паспортным значением.

3. Для фильтров на ПАВ экспериментально определить рабочую частоту фильтра, добротность, время задержки выходного сигнала относительно входного. Расчетным путем определить полосу пропускания.

По экспериментальным данным выполнить теоретическую топологию фильтра.

4. Оформить отчет.

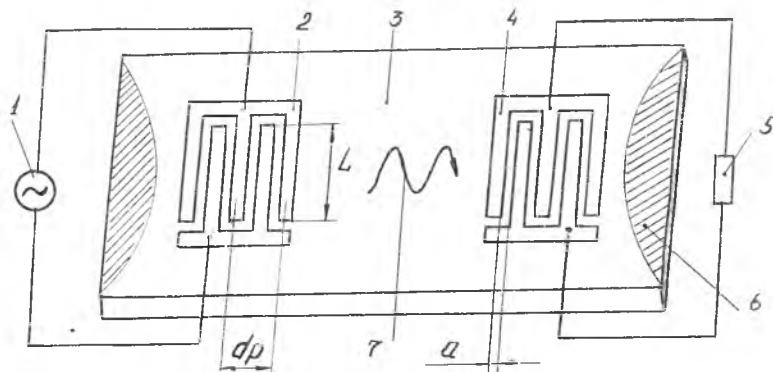
КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Развитие микроэлектроники вызвали потребность в разработке новых элементов, обладающих электрическими и конструктивными параметрами, зачастую недостижимыми при применении классических элементов. Одним из таких являются устройства с использованием акустических ультразвуковых колебаний для задержки и оптимальной фильтрации радиосигналов, кодирования, запоминания информации и т.д. Наибольшее

применение находят поверхностные акустические волны (ПАВ), распространяющиеся в тонком приповерхностном слое толщиной около длины волны. С точки зрения применения в радиоэлектронике ПАВ имеют определенные особенности: скорость распространения подобных волн на пять порядков меньше скорости электромагнитных волн в той же среде, поэтому объем и масса устройств на ПАВ значительно меньше, чем у обычных электромагнитных устройств, кроме этого, устройства на ПАВ обладают высокой стабильностью.

Принцип действия устройств на ПАВ

Чаще всего устройства на ПАВ представляют собой пьезокристаллическую пластину, на поверхность которой наносится (например, методом напыления в вакууме или методами фотолитографии) два или несколько встречно-штыревых преобразователя подводимой к ним электрической энергии в энергию поверхностных акустических волн и наоборот (рис.1).



Р и с. 1. Структура простейшего устройства на ПАВ: 1 - источник переменного напряжения; 2 - излучающий преобразователь; 3 - пластина пьезокристалла; 4 - приемный преобразователь; 5 - нагрузка; 6 - акустический поглотитель; 7 - поверхностная акустическая волна

При подаче на вход встречно-штыревого преобразователя сигнала с частотой F на поверхности пьезоэлектрической пластины создается пространственно-периодическая система деформации, распространяющаяся в обе стороны от преобразователя. При равенстве длины волны ПАВ двум периодам решетки, т.е. $\lambda = 2d\rho$, происходит квазирезонанс, т.е. синфазное сложение упругих колебаний. Это явление получило название акустического синхронизма. Резонансная частота преобразователя в этом случае будет равна:

$$F_0 = v/2d\rho, \text{ Гц}, \quad (1)$$

где v - скорость ПАВ, м/с; $d\rho$ - период решетки, м.

Отсюда видно, что верхняя граничная частота ПАВ определяется выбранным материалом пьезокристалла (скоростью распространения ПАВ) и разрешающей способностью получения зазора "а" (см.рис.1) между электродами преобразователя. В настоящее время пленочная технология позволяет изготавливать преобразователи на частоте до 5...10 ГГц.

Нижняя частота работы преобразователя определяется ограничениями, накладываемыми на размер площадки, занимаемой преобразователем и равна 1...3 МГц.

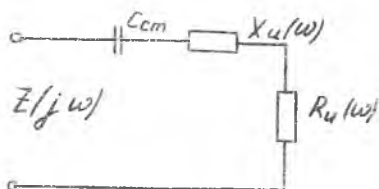
Рассмотрим последовательную эквивалентную схему преобразователя (рис.2).

Активное $R_u(\omega)$, реактивное $X_u(\omega)$ сопротивления и статическая емкость $C_{ст}$ равны

$$R_u(\omega) = R_u(\omega_0) \left(\frac{\sin x}{x} \right)^2, \quad (2)$$

$$X_u(\omega) = R_u(\omega_0) \frac{\sin 2x - 2x}{x^2}, \quad (3)$$

$$C_{ст} = C_1 N_3, \quad (4)$$



Р и с.2. Эквивалентная схема ПАВ-преобразователя

где $R_u(\omega)$ - активная составляющая сопротивления излучения на частоте акустического синхронизма $\omega_0, x = \frac{N_3 T(\omega - \omega_0)}{\omega_0}$ - относительная расстройка; N_3 - число пар электронов преобразователя; C_1 - статистическая емкость одной пары электродов.

Активную составляющую сопротивления излучения на частоте акустического синхронизма можно определить как:

$$R_u(\omega_0) = 4K_m^2 / \pi \omega_0 C_{em}, \quad (5)$$

где K_m - коэффициент электромеханической связи пьезоэлектрического материала, значения которого приведены в приложении к /I/ и в табл. 3 /3/.

Для согласования преобразователя с нагрузкой необходимо выполнить условие

$$Z(j\omega) = Z_H(\omega),$$

где $Z(j\omega) = R_u(\omega) + j[X_u(\omega) - 1/\omega C_{em}]$ - комплексное сопротивление преобразователя; $Z_H(\omega) = R_H(\omega) + jX_H(\omega)$ - комплексное сопротивление нагрузки.

Поскольку интенсивность излучаемой волны определяется активной составляющей излучения R_u , то полосу пропускания преобразователя можно выразить:

$$\Delta \omega = \omega_0 / N. \quad (6)$$

Она соответствует так называемой акустической добротности

$$Q_a = \omega_0 / \Delta \omega = N. \quad (7)$$

В то же время полоса пропускания преобразователя не характеризует полностью полосовые свойства преобразователя, так как не учитывает влияния емкости преобразователя. Следовательно, на полосу пропускания будет влиять и добротность контура, образованного емкостью преобразователя и компенсирующей катушкой индуктивности. Эта добротность должна быть равной

$$Q_{эл} = \pi / 4 K_m^2 N \quad (8)$$

и носит название электрической добротности преобразователя. Ей соответствует полоса пропускания преобразователя, равная

$$\Delta \omega = \omega_0 / Q_{эл}. \quad (9)$$

При сильном различии Q_a и $Q_{ЭП}$ общая полоса пропускания будет определяться меньшим из формул (7) и (8) значением. Максимальное значение полосы пропускания преобразователя достигается при равенстве полос из формул (7) и (8), т.е. когда $Q_a = Q_{ЭП}$. Это имеет место при оптимальном числе пар электродов в преобразователе, равном

$$N_{opt} = \sqrt{2}/2K_m. \quad (I0)$$

В том случае, когда сопротивление нагрузки имеет чисто активный характер, согласование может быть выполнено путем параллельного подключения катушки, индуктивность которой образует с емкостью преобразователя контур, настроенный на центральную частоту.

Для согласования же активных составляющих подбирают коэффициент трансформации контура или обеспечивают необходимое значение R_u , которое зависит от длины (апертуры) электродов L (см. рис. I). Согласно табл. 4 /I/, чтобы $R_u = 50$ Ом (подключение к 50-омному кабелю), относительная длина электродов должна быть для пьезокварца $M_o = L/\lambda = 53$, для ниобата лития $M_o = L/\lambda = 108$.

Для обеспечения другого сопротивления относительная длина электродов может быть определена

$$L = 50 M_o \lambda / R_n, \quad (II)$$

где R_n - активное сопротивление нагрузки.

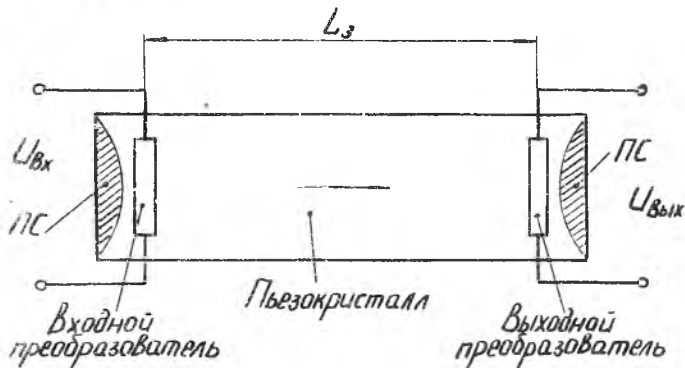
Применяя разную длину электродов (аподизация), неэквидистантную (неравномерную) расстановку, используя несколько преобразователей, имеющих разные характеристики, можно получить самые разнообразные амплитудно-частотные и временные характеристики.

Поскольку в устройствах на ПАВ активной средой является поверхностный слой пьезокристалла, то на этой же поверхности могут быть размещены цепи развязки и согласования, усилители и т.д., что является шагом к дальнейшему уменьшению (микроминиатюризации) акустоэлектронных устройств, автоматизации их проектирования.

Линии задержки

Одним из наиболее применяемых элементов с использованием ПАВ являются ЛЗ импульсных и радиосигналов.

Применение ПАВ позволяет создать также многопроводные и дисперсионные ЛЗ. Постоянная задержка создается в результате распространения на поверхности пьезоэлектрика акустического сигнала, возникающего при преобразовании входного электрического сигнала излучающим преобразователем. На выходе в результате обратного преобразования появляется электрический сигнал, задержанный по отношению к входному на время $t_3 = L_3/v$ (рис.3).



Р и с. 3. Линия задержки на ПАВ

Важный параметр ЛЗ на ПАВ – уровень ложных сигналов. Причинами ложных сигналов являются электрическая наводка непосредственно со входа на выход, неоднозначность излучения пьезообразователей, отражение акустических волн от боковых и торцевых поверхностей пьезоэлектрика, возникновение объемных акустических волн и т.п.

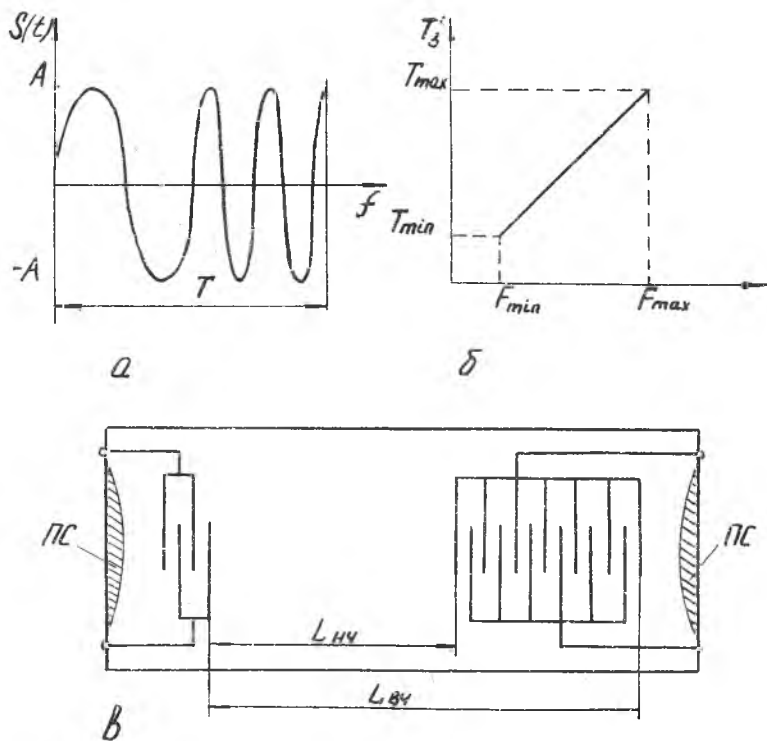
Электрическая наводка устраняется тщательной экранировкой и правильным согласованием пьезопреобразователей. Отражения от поверхностей пластины пьезоэлектрика устраняются нанесением поглощающих слоев ПС из вязких материалов, нанесением рифлений и т.п.

Дисперсионные линии задержки

У дисперсионных ЛЗ на ПАВ время задержки является функцией частоты, т.е. сигналы с разной частотой задерживаются на разное время.

Дисперсионные линии задержки на ПАВ широко применяются для формирования и согласованной фильтрации сложных сигналов, применяемых

в дальней связи и радиолокации. Такие сигналы имеют форму радиоимпульса с прямоугольной огибающей и с некоторой модуляцией несущей частоты внутри импульса. Наибольшее применение получили сигналы с линейно-частотной модуляцией частоты (ЛЧМ-сигналы). Пример ЛЧМ-сигнала приведен на рис.4,а,б дана зависимость времени задержки от частоты, для формирования такого сигнала и используется дисперсионная ЛЗ (рис.4,в).



Р и с. 4. Дисперсионная линия задержки на ПАВ

На входной преобразователь в этом случае подается короткий возбуждающий импульс (дельта-функция), спектр которого равномерен в широкой полосе частот, выходной сигнал в некотором масштабе отобразит топологический рисунок ЛЗ.

В приемном устройстве ЛЧМ сигнал подается на вход аналогичной дисперсионной ЛЗ, но только с обратным законом зависимости времени задержки от частоты, что обеспечит синфазное сложение всех колебаний на коротком участке времени. Такой процесс сжатия по времени ЛЧМ-сигнала или другого сложного сигнала носит название согласованной фильтрации. Основной характеристикой согласованных фильтров является коэффициент сжатия D (или база сигнала), который равен $D = TW$; где T - длительность сигнала, W - ширина полосы частот (ширина спектра). Естественно, что сжатие возможно только при $D > 1$ (значения D могут достигать нескольких тысяч).

Применение сложных сигналов с длительностью T (например, рассмотренного выше ЛЧМ-сигнала) в радиолокации обеспечивает необходимое разрешение за счет сжатия отраженного от цели сложного сигнала и повышает эффективную мощность излученного сигнала до значений, превышающих предельное возможности передатчика.

Фильтры на ПАВ

Фильтры на ПАВ предназначены для формирования амплитудно-частотной характеристики. Они находят применение в усилителях промежуточной частоты приемных устройств и телевизоре, габариты их примерно в 50 раз, а масса в 20 раз меньше, чем у аналогичных фильтров на дискретных элементах.

Конструкция фильтра на ПАВ аналогична ЛЗ, один из преобразователей за счет аподизации формирует необходимую форму АЧХ-фильтра. Второй преобразователь, как правило, широкополосный. Неизбежная задержка выходного сигнала может быть учтена и скомпенсирована, в большинстве случаев на работу РЭА наличие этой задержки не сказывается.

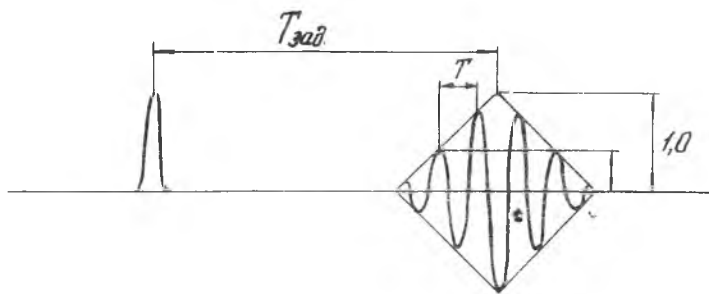
В данной работе характеристики фильтра снимаются в режиме получения импульсного отклика, когда на входной преобразователь подается короткий импульс, а на выходном электрический сигнал отобразит топологию фильтра (рис.5).

Несущая частота фильтра определяется

$$F = \frac{1}{T}, \quad (12)$$

где T - период колебаний. Добротность Q фильтра равна числу периодов колебаний импульсного отклика на уровне 0,5, полоса частот пропускания $\Delta F = F/Q$.

$$(13)$$



Р и с. 5. Импульсный отклик фильтра на ПАВ

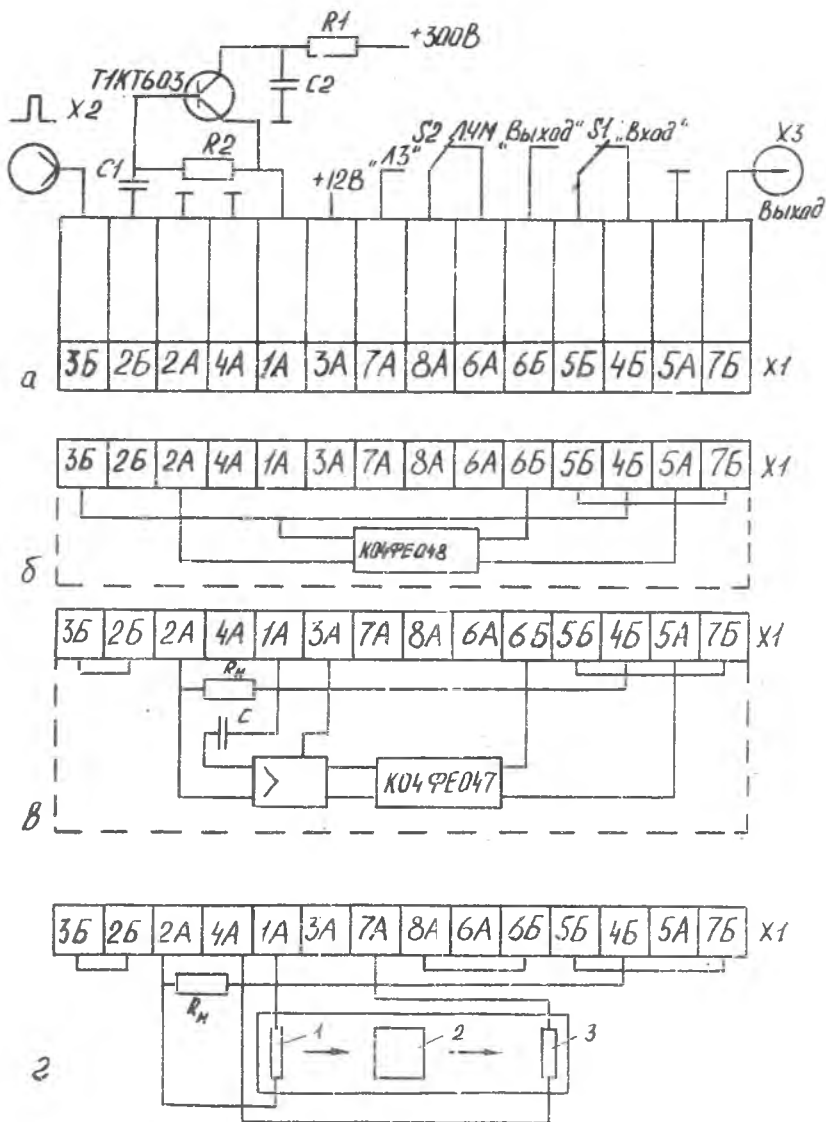
ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка предназначена для определения характеристик ЛЗ и фильтров на ПАВ методом получения импульсного отклика.

При этом методе на вход ЛЗ подается одиночный сигнал в виде δ -функции, т.е. импульс с очень короткой длительностью и, соответственно, с широким спектром. На выходном преобразователе появляется электрический сигнал, который отражает в определенном масштабе топологию (рисунок), а точнее амплитудно-временную характеристику входного и выходного преобразователей в зависимости от их взаимного расположения.

Упрощенная схема установки приведена на рис.6.

Исследуемое устройство подключается к установке с помощью разъема XI. В зависимости от устройства проводится необходимая коммутация. К входному гнезду X2 подключается выход синхронизации генератора импульсов типа Г5-15 или Г5-54, а к выходному X3 - вход осциллографа типа СИ-65, СИ-82 и т.п. Внешняя синхронизация развертки осциллографа развертки осциллографа осуществляется выходным сигналом генератора. Переключатель S1 подключает вход осциллографа ко входу исследуемого устройства или к выходу. Переключатель S2 служит для переключения выходов дисперсионной ЛЗ.



Р и с. 6. Схема установки: а - базовая схема; б - фильтр УПЧ звука телевизора; в - фильтр УПЧ телевизора; г - дисперсионная линия задержки

Для формирования короткого возбуждающего импульса (~ 20 нс) применен транзистор Т1, работающий в лавинном режиме. Запуск формирователя импульсов производится синхронизирующими импульсами от генератора импульсов. Задержанные по времени выходные импульсы с генератора импульсов используются в качестве запускающих для ждущей развертки осциллографа. При такой схеме начало развертки осциллографа будет задержано относительно входного импульса на время, задаваемое блоком регулировки времени задержки генератора импульсов. С помощью переключателя $S1$ ко входу осциллографа можно подключить выход формирователя для визуального контроля входного импульса. В этом случае время задержки выходного импульса генератора должно быть установлено равным нулю.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить к экспериментальной установке генератор импульсов и осциллограф, согласно разделу "Описание экспериментальной установки".

2. Установить частоту следования импульсов генератора равной 20 кГц, время задержки равным 0, выходное напряжение положительных импульсов равным 5 В, выходное напряжение синхронизирующих положительных импульсов на максимальное значение.

3. На осциллографе установить ждущий режим развертки. Отрегулировать ее так, чтобы она запускалась выходными импульсами с генератора.

4. Подключить исследуемое устройство. При подключении ЛЗ на ПАВ и фильтра УПЧ переключатель $S1$ установки переключить в положение "Вход". Обнаружить на экране осциллографа возбуждающий короткий колоколообразный импульс с напряжением порядка 70 В. Для наблюдения формы импульса необходимо подобрать длительность развертки. При исследовании фильтра УПЧ звука на экране будет наблюдаться непосредственно синхронизирующий импульс генератора, который и используется в качестве запускающего.

5. Переключатель $S2$ перевести в положение "Выход". Регулируя задержку выходного импульса генератора обнаружить на экране осциллографа задержанный сигнал (импульсный отклик) исследуемого устройства.

В общем случае при произвольном расположении импульса на экране осциллографа время его задержки определяется как сумма времени задержки выходного импульса генератора и длительности от начала горизонтальной развертки до импульса на экране осциллографа (при условии калиброванной развертки).

Такая методика позволяет использовать высокую скорость развертки для наблюдения участков задержанного импульса с одновременным определением времени задержки до наблюдаемых участков.

6. Выполнить указания раздела "Содержание работы".

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Схема экспериментальной установки с исследуемым устройством.
3. Экспериментально определенные характеристики, графики.
4. Расчетные характеристики, графики.
5. Топологический чертеж исследуемого устройства.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какой материал использован в исследуемой ЛЗ? Назовите преимущества и недостатки этого материала.
2. Объясните особенности топологии исследуемой ЛЗ.
3. Для чего применяется амплитудная аподизация и применяется ли она в исследуемой ЛЗ?
4. Для какой цели нанесено рефление на обратной стороне пластины?
5. Назовите диапазон частот исследуемой ЛЗ. Чем этот диапазон определен?
6. Отличается ли замеренное время задержки от расчетного? Если отличается, то почему?
7. Какие конструктивные решения можно применить для увеличения времени задержки при ограниченной длине пластины?
8. Какие меры можно применить для устранения воздействия внешних климатических факторов в исследуемых устройствах?
9. Какие паразитные сигналы могут возникать в исследуемых устройствах?
10. Какие конструктивные меры применены в исследуемой ЛЗ для устранения паразитных сигналов?
11. Для каких целей используются дисперсионные ЛЗ?
12. Чем определяется добротность фильтров на ПАВ?
13. Чем определяется рабочая частота фильтра на ПАВ?

Библиографический список

1. Пьезополупроводниковые преобразователи и их применение / А.И.Морозов, Проклов В.А., Б.А.Станковский, А.Д.Гингис.-М.:Энергия, 1973.
2. Каринский С.С. Устройства обработки сигналов на ультразвуковых поверхностных волнах.-М.:Сов.радио, 1975.
3. Речинский В.И. Акустоэлектронные радиокомпоненты: элементы и устройства на поверхностных акустических волнах.-М.:Сов.радио, 1980.
4. Морозов А.И., Проклов В.И., Станковский В.А. Пьезоэлектрические преобразователи для радиоэлектронных устройств.-М.:Радио и связь, 1981.
5. Поверхностные акустические волны:Пер.с англ./Под ред.А.Синера.-М.:Мир, 1981.
6. Дворников А.А., Сгурцов В.В., Уткин Г.М. Стабильные генераторы с фильтрами на поверхностных волнах.-М.:Радио и связь, 1983.

Составитель Геннадий Викторович У в а р о в

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ
АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ (ПАВ)

Редактор Т.А.И с а е в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Т.А.И с а е в а

Подписано в печать 30.II.87г. Формат 60x84 I/16
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.
Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,9. Т. 500 экз.
Заказ № 8356. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Моло-
догвардейская, 151.

Типография им.Мяги Куйбышевского полиграфического объединения,
г. Куйбышев, ул. Венцека, 60