

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

С.М. Шандаров
Б.Н. Буримов
А.С. Акрестина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ НА ПАВ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов технических направлений подготовки

Томск 2024

УДК 535:53(075.8)
ББК 22.34я73
Ш201

Шандаров, Станислав Михайлович

Ш201 Исследование линии задержки на ПАВ: Методические указания к лабораторной работе для студентов технических направлений подготовки / С.М. Шандаров, Н.И. Буримов, А.С. Акрестина. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 13 с.

Представлены методические указания к лабораторной работе для студентов технических направлений подготовки. Цель данной работы: исследование временных и частотных характеристик линии задержки на поверхностных акустических волнах с торцевыми пьезопреобразователями.

Одобрено на заседании каф. ЭП, протокол № 05-24 от 08.05.2024 г.

УДК 535:53(075.8)
ББК 22.34я73

© Шандаров С.М., Буримов Н.И,
Акрестина А.С. 2024

© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2024

Содержание

1. Введение.....	4
2. Теоретическая часть.....	4
2.1. Характеристики и параметры ЛЗ.....	4
2.2. Торцевые и квазипланарные пьезопреобразователи.....	6
3. Экспериментальная часть.....	11
3.1. Схема и методика эксперимента.....	11
3.2. Экспериментальное задание.....	12
4. Контрольные вопросы.....	12
5. Содержание отчета.....	13
6. Список рекомендуемой литературы.....	13

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: Исследование временных и частотных характеристик линии задержки (ЛЗ) на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с торцевыми пьезопреобразователями (ТПП).

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Характеристики и параметры ЛЗ

Простая задержка является простейшим и наиболее широко используемым видом обработки сигналов. Кроме того большинство конструкций на ПАВ представляет собой двухходовые устройства, поэтому ЛЗ для них фактически является базовым элементом.

Основными характеристиками, определяющими использование ЛЗ в устройствах обработки сигналов, является ширина полосы пропускания, уровень вносимых потерь и ложных сигналов, температурная стабильность.

Полоса пропускания ЛЗ определяется конструкцией входного и выходного преобразователей. Ее максимальное значение зависит от коэффициента электромеханической связи и допустимого уровня вносимых потерь. На рисунке 2.1 приведены зависимости уровня вносимых потерь от относительной полосы пропускания.

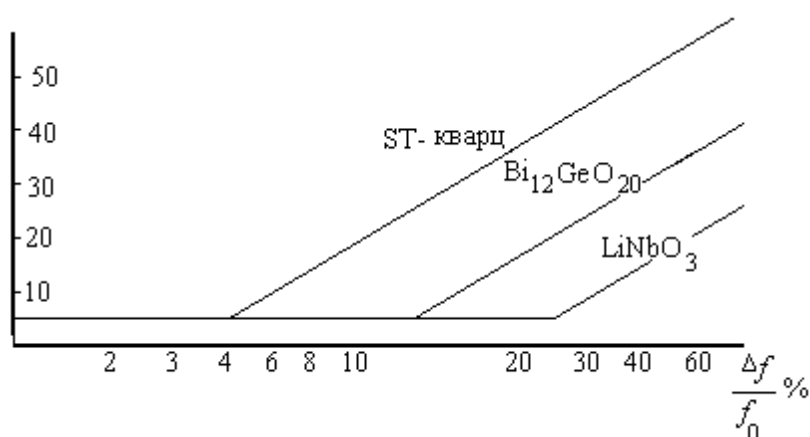


Рис. 2.1- Зависимость уровня вносимых потерь от относительной полосы пропускания.

Как видно из рисунка, для ЛЗ со звукопроводом из ниобата лития можно получить полосу пропускания 25% без существенного превышения потерь на двунаправленное излучение ПАВ ВПП, составляющих 6 дБ. Расширить полосу пропускания ЛЗ позволяет использование преобразователей с линейно изменяющимся периодом (рисунок 2.2).

Такого же результата можно достичь используя ВПП с малым числом электродов, однако в этом случае возникают трудности в его согласовании с пятидесятиомным трактом, поскольку его импеданс существенно отличается

от импеданса источника сигнала, и следовательно возрастают вносимые потери. Следует отметить, что вносимые потери могут быть достаточно легко компенсированы электронными схемами, к тому же они мало влияют на динамический диапазон устройства.

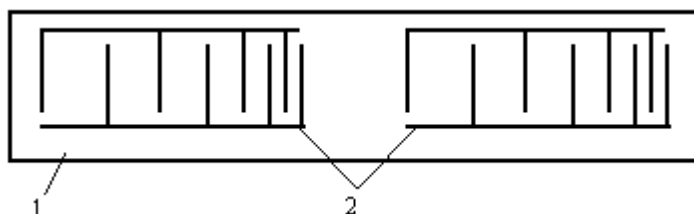


Рис.2.2. ЛЗ с неэквидистантными ВШП;
1-звуковод, 2-ВШП.

Более существенное влияние на ширину динамического диапазона оказывают ложные сигналы, являющиеся специфическими для ЛЗ на ПАВ. К таким сигналам относятся – так называемый «сигнал тройного прохождения» (или трехзаходный сигнал), ложные сигналы обусловленные объемными волнами и сигнал электромагнитной наводки. Сигнал тройного прохождения обусловлен отражением сигнала от приемного ВШП и последующим отражением от передающего ВШП. Известно несколько способов борьбы с такими сигналами, простейшим и наиболее эффективным способом является рассогласование преобразователей. Например, при увеличении потерь, вследствие двунаправленности ВШП, с 6 до 12 дБ достигается подавление трехзаходного сигнала с 12 до 33 дБ.

Другим источником ложных сигналов являются объемные волны. Их подавления добиваются использованием поглощающих покрытий, нанесенных на основание подложки, либо приданием шероховатости отражающей поверхности. Другим способом ослабления объемных волн является применение многополосковых ответвителей. Кроме того, варьируя срезом кристаллической подложки можно добиться ослабления объемных волн при возбуждении.

Сигнал прямого прохождения обусловлен электромагнитной или емкостной наводкой сигнала со входа на выход устройства. Вследствие большой скорости распространения электромагнитных волн сигнал прямого прохождения практически совпадает по времени со входным сигналом и в некоторых случаях его наличие сужает динамический диапазон устройств. Существует также достаточно много способов борьбы с электромагнитной наводкой, основными из которых являются экранирование входного и выходного преобразователей, уменьшение внутренних полостей корпусов, травление канавок на нижней поверхности звукопровода. Следует отметить, что достаточно точно спрогнозировать мощность сигнала прямого

прохождения сложно, поэтому важную роль играют экспериментальные данные.

Кроме рассмотренных выше, существует другой способ борьбы с электромагнитной наводкой – симметричная схема возбуждения ВШП (рисунок 2.3) , использование которой позволяет снизить уровень сигнала прямого прохождения до 33 дБ по отношению к задержанному сигналу.

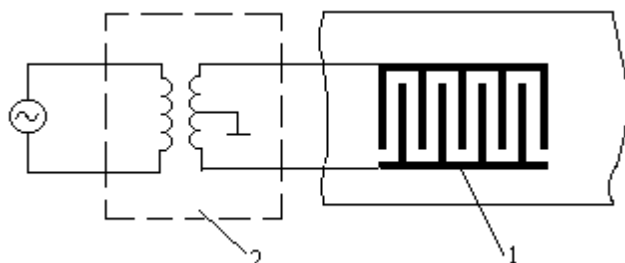


Рис.2.3. Симметричная схема возбуждения ВШП;
1-ВШП; 2-согласующий трансформатор.

Существенным параметром ЛЗ является температурная стабильность задержки, характеризуемая величиной $(\partial\tau/\partial T)/\tau$. Она определяется выбором материала подложки и направлением распространения волны. Как правило, проблема заключается в выборе материалами с высоким КЭМС (LiNbO_3 , $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$), но имеющим большой температурный коэффициент и ST- кварцем, температурный коэффициент которого близок к нулю, но имеющим гораздо меньший КЭМС. Существует несколько способов уменьшения температурных коэффициентов, однако при этом, как правило, утрачивается простота устройств ЛЗ на ПАВ, что влияет на их производство и стоимость.

Рассмотренные особенности ЛЗ с фиксированной однократной задержкой в большей или меньшей степени присущ как ЛЗ С ВШП, так и ЛЗ использующим другие виды преобразователей. Однако следует подчеркнуть, что при разработке устройств с $\Delta f/f_0 \approx 100\%$, работающих на частотах выше 200МГц перспективным представляется использование более технологичных и широкополосных торцевых и квазипланарных пьезопреобразователей.

2.2 Торцевые и квазипланарные пьезопреобразователи.

Существует возможность широкополосного возбуждения ПАВ в пьезоактивных материалах с помощью торцевого пьезоэлектрического преобразователя (ТПП). ТПП (рис.2.4) представляет собой два металлических электрода 1 , нанесенных на звукопровод из пьезоактивного материала, причем электроды расположены на взаимно ортогональных поверхностях (поверхности распространения ПАВ 2 и поверхности возбуждения 3) и образуют у общего ребра на поверхности возбуждения зазор, величина которого сравнима с длиной возбуждаемой ПАВ.

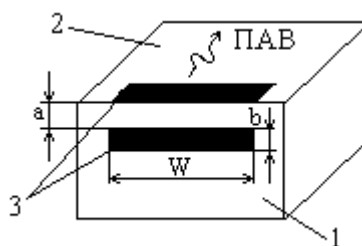


Рис.2.4. Схема торцевого пьезоэлектрического преобразователя.

Принцип действия такого преобразователя основан на том, что в пьезоактивных материалах имеются поперечно-пьезоактивные направления. Акустические волны, распространяющиеся в этих направлениях, могут сопровождаться поперечной волной электрической индукции, что позволяет возбуждать их тангенциальными электрическими полями с поверхности пьезоэлектрика. Поэтому, если ориентация звукопровода выбрана такой, что направление распространения ПАВ является поперечно-пьезоактивным, то ПАВ может эффективно возбуждаться тангенциальным электрическим полем в зазоре между электродами ТПП. Такое возбуждение более широкополосное, чем при возбуждении с помощью ВШП, поскольку в данном случае электрическое поле ПАВ не связано с пространственным-периодическим распределением возбуждающего электрического поля.

На рисунке 2.5 приведены экспериментальные кривые частотной зависимости коэффициента преобразования ТПП на кристалле ниобата лития (LiNbO_3) для величины зазоров a : 8 и 15 мкм. Неравномерность частотной характеристики коэффициента преобразования для ТПП с величиной зазора 8 мкм составила примерно 7дБ в диапазоне частот 150÷850 МГц при максимальной эффективности преобразования – 12.8 дБ, а для ТПП с величиной зазора 15 мкм – ~6дБ в диапазоне частот 150÷400 МГц при максимальной эффективности – 17.2дБ. видно, что в среднем коэффициент преобразования уменьшается с ростом частоты, что объясняется уменьшением перекрытия поперечного электрического поля, сопровождающего ПАВ, с возбуждающим тангенциальным электрическим полем в зазоре между электродами ТПП в исследуемом диапазоне частот. Возрастание же коэффициента преобразования при уменьшении величины зазор объясняется увеличением напряженности электрического поля в зазоре между электродами при одинаковой подводимой электрической мощности.

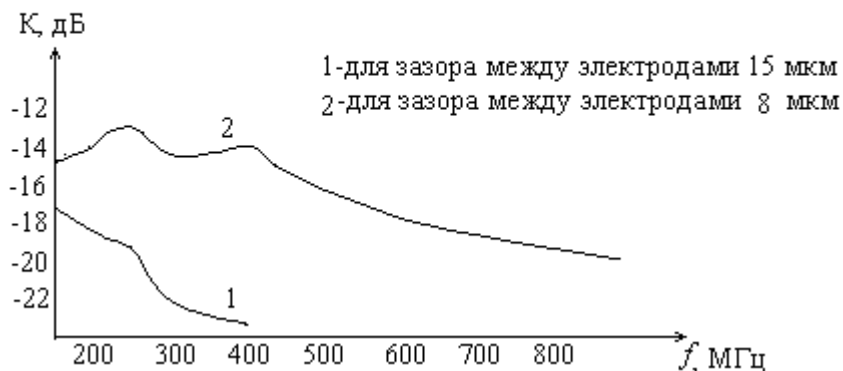


Рис. 2.5. Зависимость коэффициента преобразования ТПП от частоты.

Таким образом, ТПП могут с успехом применяться для возбуждения ПАВ в устройствах, для которых одним из основных требований является широкий диапазон рабочих частот.

Кроме того, важным преимуществом преобразователей такого типа является возможность изготовления их для работы на достаточно высоких частотах (до 1000 МГц) без применения сложной технологии, поскольку для этого требуется обеспечить величину зазора между электродами 5÷6 мкм, что может быть выполнено с помощью обычной фотолитографии и даже механической гравировки.

Планарным аналогом такого преобразователя является ТПП, у которого второй электрод расположен в углублении, выполненном на поверхности распространения ПАВ методом ионного травления (рис. 2.6).

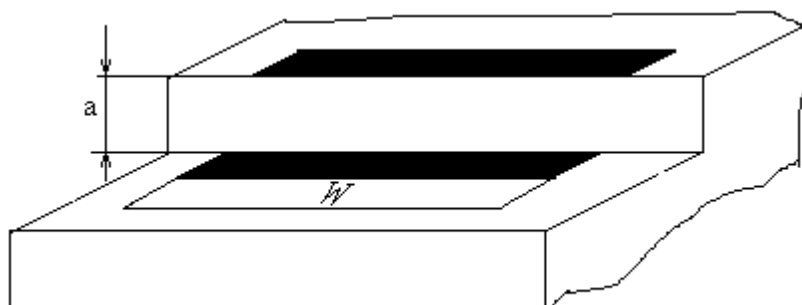


Рис. 2.6. Квазипланарный пьезопреобразователь.

Эффективность преобразования электромагнитной энергии в акустическую можно оценить с помощью простейшей эквивалентной схемы ТПП, представляющей параллельное соединение сопротивления излучения

$R_{и}$ и статической емкости преобразователя C_0 (рис. 2.7). Учитывая конечную высоту электродов на поверхности возбуждения, при условии $b \gg a$ выражение для C_0 имеет вид:

$$C_0 = (2W\epsilon^u/\pi) \cdot \ln(4b/a),$$

где ϵ^u – диэлектрическая проницаемость кристалла.

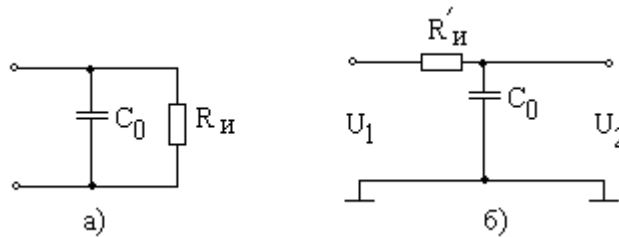


Рис. 2.7. Эквивалентные электрические схемы ТПП:
а- параллельная, б – последовательная.

Для ТПП идеально проводящие электроды которого непосредственно подключены к подводящей линии с волновым сопротивлением Z_0 , эффективность K может быть найдена в виде:

$$K = -10 \lg [(Y_0 + 1/R_{и} + (\omega C_0)^2 R_{и} / 4 Y_0),$$

где Y_0 – проводимость подводящей линии.

Для анализа искажений формы сигнала можно обратиться к последовательной эквивалентной схеме ТПП (рис 2.7,б.), $R_{и}' = X_{C_0}^2 / R_{и}$.

Фактически последовательная схема представляет собой фильтр нижних частот (ФНЧ) с частотой среза $f = 1/2\pi R_{и}' C_0$. Если на вход схемы подать импульс напряжения прямоугольной формы, то на выходе будет наблюдаться импульс с затянутыми фронтами (рис. 2.8), причем величина затягивания $\tau_{ф}$ определяется постоянной времени $t = R_{и}' C_0$ и показывает время, в течение которого выходное напряжение возрастает от 10% до 90% своего конечного значения.

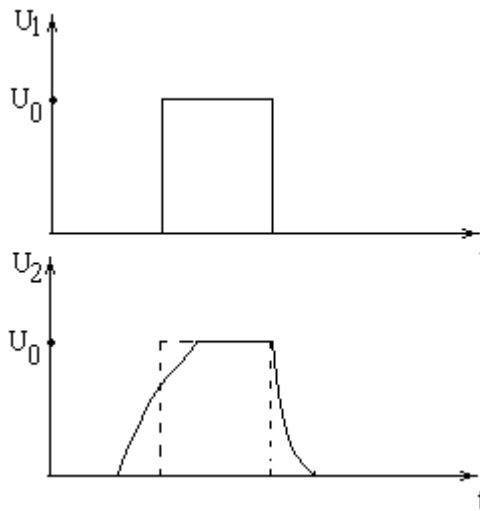


Рис. 2.8. Временные диаграммы сигналов.

Другим важным параметром широкополосных устройств является линейность их фазо-частотных характеристик (ФЧХ). ФЧХ последовательной эквивалентной схемы определяется выражением

$$\varphi = -\arctg \omega R_{и}' C_0.$$

Величина $R_{и}'$ является частотно зависимой ($R_{и}' \approx 1/\omega$), поэтому можно считать, что $\varphi = \text{const}$ для ТПП. Следовательно фаза выходного сигнала будет пропорциональна частоте, а значит ФЧХ будет линейной.

Для подавления ложных сигналов, обусловленных ОАВ и электромагнитной наводкой существует целый ряд способов. Один из них – «фазировка преобразователя» (рис 2.9.).

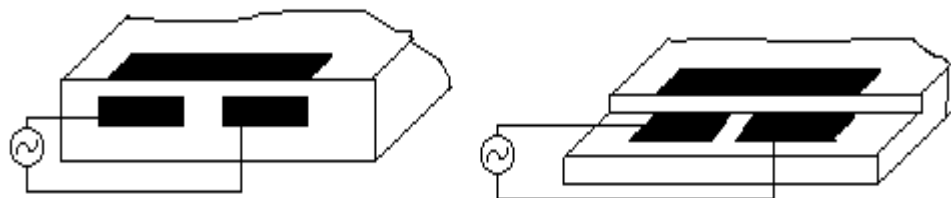


Рис.2.9. «Фазированные» преобразователи.

Принцип работы устройств с фазированными преобразователями заключается в следующем: если апертюра расщепленных электродов одинакова, то сигналы ОАВ и электромагнитной наводки на каждом из

расщепленных электродов будут сдвинуты по фазе на π и соответственно их суммарная амплитуда будет равна нулю. Фазовый сдвиг между сигналами, обусловленными ПАВ, будет равен нулю, если фаза одного из сигналов, прошедших под металлической пленкой, изменится на π радиан. Тогда суммарный сигнал будет равен удвоенному, снятому с половины расщепленного электрода.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Схема и методика эксперимента

3.1.1 Порядок проведения измерений временных характеристик ЛЗ.

Собрать стенд для проведения измерений согласно схеме (рис.4.1), заменив ЛЗ кабелем К1. Для этого:

- выход генератора высокой частоты (ГВЧ) соединить со входом « ω » модулятора кабелем К2
- выход генератора импульсного (ГИ) соединить со входом « Ω » модулятора кабелем К3
- разъем «Вых. синхр.» на передней панели ГИ соединить с разъемом «внеш. синхр.» осциллографа кабелем К3
- разъем «Вых. М» модулятора соединить с разъемом «Вх. У» усилителя кабелем К1
- разъем «Вых. У» соединить с одним из входов осциллографа
- измерить амплитуду, длительность переднего и заднего фронтов радиоимпульса

Измерение временных характеристик проводится методом возбуждения ЛЗ высокочастотным радиоимпульсом.

На рисунке 3.1 показана структурная схема для измерения временных характеристик ЛЗ.

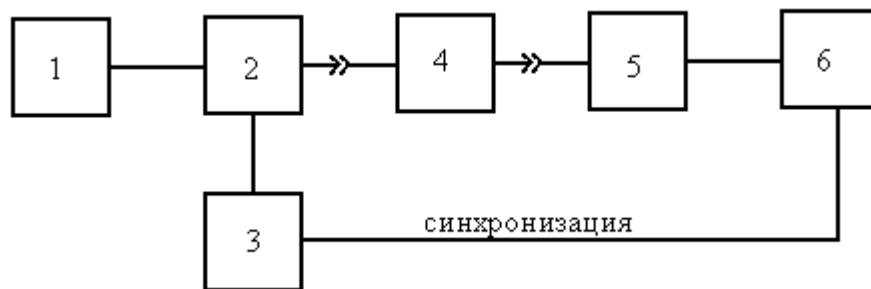


Рис. 3.1- Структурная схема для измерения временных характеристик ЛЗ.
1-Генератор высокочастотный; 2-Электронный модулятор; 3-Генератор импульсный; 4-ЛЗ; 5-Усилитель; 6-Осциллограф.

3.1.2 Измерение частотных характеристик

На рисунке 3.2 показана структурная схема для измерения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) ЛЗ.

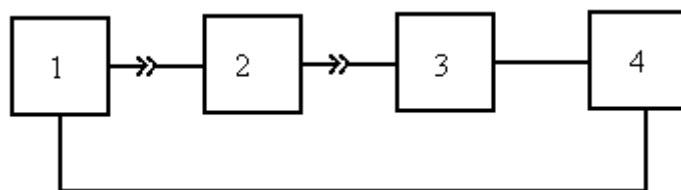


Рис.3.2. Структурная схема для измерения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) ЛЗ.

1-Генераторный блок прибора X1-42А (измерителя коэффициента стоячей волны (КСВ) и АЧХ); 2-ЛЗ; 3-Усилитель; 4-Измерительный блок прибора X1-42А.

3.2. Экспериментальное задание

3.2.1 Собрать схему экспериментальной установки согласно рис. 4.1.

3.2.2 Провести измерение временных характеристик линии задержки согласно п. 4 настоящего руководства.

3.2.3 Собрать схему экспериментальной установки согласно рис. 4.2.

3.2.4 Провести измерение частотных характеристик линии задержки согласно п. 4 настоящего руководства.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1 Каким образом ЛЗ может применяться в системах обработки сигналов.

- 4.2 Как изменятся временные характеристики ЛЗ если подавать на ее вход одиночные видеоимпульсы.
- 4.3 Чем определяется частотная селективность ЛЗ на ПАВ
- 4.4 Чем обусловлена большая широкополосность ТПП, в сравнении с ВШП.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 5.1. Титульный лист.
- 5.2. Цель работы.
- 5.3. Схема эксперимента.
- 5.4. Результаты эксперимента и их анализ.
- 5.5. Ответы на контрольные вопросы.
- 5.6. Выводы.
- 5.7. Список использованной литературы.

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 6.1. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах / Пер. с англ. С.А. Жгуна и М.Ю. Дивногорцева; Под ред.С.И.Баскакова.-М.:Радио и связь,1990.-416 с.
- 6.2. Речицкий В.И.Радиокомпоненты на поверхностных акустических волнах.- М. : Радио и связь, 1984.-112с.
- 6.3. Речицкий В.И. Акустоэлектронные радиокомпоненты - М. : Радио и связь, 1987.-192с.
- 6.4. Кайно Г. Акустические волны .Устройства , визуализация и аналоговая обработка сигналов / Пер. с англ. С.Н. Карпачева, В.Г.Можяева , И.Ю.Солодова ; Под ред.О.В.Руденко.-М.:Мир,1990.-656 с.
- 6.5. Поверхностные акустические волны./Под ред.А.Олинера. Пер. с англ.Г.Г.Кессених, Е.Д.Якушкина; Под ред.И.С.Резо.- М.:Мир,1981.-392 с.
- 6.6. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах.М.:Наука,1981.-287с.
- 6.7. Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов./Пер. с франц. Под ред. В.В.Леманова.-М.:Наука. Главная редакция физико-математической литературы,1982-424 с.