

На правах рукописи

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

Аспирант Гудилин Алексей Евгеньевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА МАГНИТНОЙ
РЕГИСТРАЦИИ АНАЛОГОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ
НА МАГНИТОФОНАХ МАССОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Специальность 05.13.05 - "Элементы и техничес-
кие средства управления и регулирования"

Автореферат
диссертации на соискание учёной оте-
пени кандидата технических наук



Челябинск, 1975

ИИИ

Работа выполнена на кафедре "Автоматика и телемеханика"
Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент И.С. Пинчук.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор В.А. Цыганков,
кандидат технических наук
Р.Х.Гафиятуллин.

Ведущее предприятие - Тихоокеанский Океанологический
институт Дальневосточного научного центра АН СССР,
г. Владивосток.

Автореферат разослан " " 1975 г.

Задача диссертации состоится " " 1975 г.
в часов в аудитории 244 на заседании Учёного Совета энергетического и приборостроительного факультетов Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных
гербовой печатью, просим направлять по адресу:

454044, Челябинск-44, пр. им. В.И.Ленина, 76

С содержанием диссертации можно ознакомиться в библиотеке
института.

Учёный секретарь Совета -
кандидат технических наук,
доцент

Ю.Короленко Ю.КОРОЛЕНКО

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В директивах XXIV съезда КПСС поставлена задача разработки и широкого применения устройств сбора, длительного хранения и автоматической обработки измерительной информации.

Постоянно возрастающие масштабы промышленного и сельскохозяйственного производства и научных исследований во всех областях народного хозяйства приводят к резкому увеличению объёмов информации, поэтому указанную информацию невозможно обработать без применения вычислительных машин. В большом числе случаев, особенно при научных исследованиях, источник информации удален от вычислительной машины и их непосредственная связь невозможна. Поэтому для сохранения полученной информации с целью дальнейшей автоматической обработки применяются устройства регистрации.

По ряду показателей, таких как простота и экономичность в эксплуатации, длительность хранения, емкость, стоимость - регистрация на магнитный носитель превосходит все остальные виды регистрации и поэтому в настоящее время она часто используется.

Широкому применению устройств регистрации на магнитный носитель препятствует их относительно высокая стоимость, большой вес, низкая надёжность в эксплуатации.

Эти недостатки объясняются применением прецизионных электромеханических сервосистем для стабилизации скорости движения и натяжения носителя. Применение таких сервосистем, хотя и позволяет получить высокую точность устройств магнитной регистрации, но препятствует их повсеместному применению ввиду резкого увеличения их стоимости и веса.

Таким образом, проведение исследований по повышению точности устройств магнитной регистрации без применения электромеханических сервосистем и разработка малогабаритных устройств магнитной регистрации на основе упрощенных, малогабаритных и дешёвых лентопротяжных механизмов магнитофонов массового применения (бытовых) является своевременной и актуальной задачей, поскольку её решение позволит обеспечить практически каждого исследователя экономичным устройством магнитной регистрации, что в значительной мере упростит и ускорит научные исследования.

Цель работы. Основной задачей настоящей работы является создание малогабаритного устройства магнитной регистрации ана-

логовых измерительных сигналов, позволяющего использовать упрощенные лентопротяжные механизмы магнитофонов массового применения (бытовых) с повышенным уровнем мультиплексивных помех.

Решение этой основной задачи потребовало проведения предварительных научных исследований о целью оценки видов модуляции и выбора детектора, обеспечивающего наибольшую устойчивость к влиянию внешних помех и имеющего наименьшие собственные шумы, рассмотрения методов компенсации влияния помех, которые одинаково влияют на все виды детекторов и выбор конкретных решений для примененного детектора.

Методика выполнения исследования. Используя метод научного обобщения и анализа имеющихся результатов теоретических исследований и экспериментальных данных, выявлены основные предпосылки и сформулированы задачи исследования.

Для решения поставленных задач использован математический аппарат теории случайных импульсных процессов и основные положения теории автоматического регулирования, а также некоторые положения теории линейных электрических цепей. Основные результаты теоретических исследований подтверждены экспериментально.

Научная новизна. Новыми научными результатами настоящей работы являются:

- а) оценка влияния паразитной амплитудной модуляции (ПАМ) на частотные детекторы и классификация их по степени устойчивости к воздействию паразитной амплитудной модуляции;
- б) исследование основных характеристик примененного следящего детектора как в статическом режиме, так и в динамических (линейном и нелинейном) режимах.
- в) разработка метода компенсации косвенного влияния неравномерности движения магнитного носителя при использовании следящего детектора.

Практическая ценность. Результаты исследований, проведенных в работе, позволили разработать малогабаритные и сравнительно дешевые устройства магнитной регистрации по точности не уступающие выпускаемым в настоящее время громоздким устройствам, содержащим электромеханические сервосистемы стабилизации скорости движения и натяжения носителя.

Использование результатов работы в народном хозяйстве. На основе результатов исследований, проведенных в настоящей диссертационной работе, разработа-

но и изготовлено несколько устройств многоканальной магнитной регистрации аналоговых измерительных сигналов как с частотным, так и с комбинированным пространственно-частотным разделением каналов. Они применяются и будут применяться в Челябинском отделении ГПИ "Тяжпромэлектропроект" и на Челябинском Металлургическом заводе для исследования электроприводов прокатных станов, во Всесоюзном Научно-исследовательском институте техники безопасности и охраны труда в Черной металлургии (ВНИИ ТБ Чермет) для исследования вибрации кранов и металлургического оборудования, в Тихоокеанском Океанологическом институте для сейсмических исследований на море.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы обсуждались на ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава Челябинского политехнического института в 1969-1975 гг., а также: в ЦНИИ им. академ. А.Н. Крылова (г.Ленинград), в Челябинском отделении ГПИ "Тяжпромэлектропроект", в ЦЛП Челябинского металлургического завода, во ВНИИ ТБ чермет (г.Челябинск), в Тихоокеанском Океанологическом институте (г. Владивосток).

Результаты практического применения освещены в отчетах по хоздоговорным НИР (№ гос. регистр. 75005644 и 75018755), проводившимся по заказу ВНИИ ТБ чермет (г. Челябинск) и Тихоокеанского Океанологического института.

Публикации. По результатам теоретических и экспериментальных исследований опубликовано 6 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы из 101 наименования. Содержит 130 стр. машинописного текста, 18 стр. рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение, на основе обзора литературы, сделан вывод о необходимости применения устройств регистрации информации с целью последующего ввода в вычислительные машины при изучении объектов, удаленных от ЭВМ и редких явлений, таких как аварийные режимы промышленных объектов и аварийные ситуации на транспорте и в связи. Изучение таких явлений важно с целью их предсказания и предупреждения.

Отмечено, что наилучшим образом требованиям, предъявляемым к устройствам регистрации, отвечают устройства регистрации на магнитный носитель, имеющие следующие достоинства:

- а) высокая скорость регистрации;
- б) высокая плотность записи;
- в) огромные объёмы зарегистрированной информации;
- г) малые объёмы, занимаемые носителем;
- д) возможность многократного считывания;
- е) высокая точность регистрации;
- ж) простота, надёжность и удобство в эксплуатации;
- з) длительность сеанса регистрации и возможность непрерывной регистрации длительных процессов.

Указано, что применяемые в настоящее время устройства регистрации информации на магнитный носитель являются стационарными устройствами, пригодными для эксплуатации лишь в лабораторных условиях по причине больших размеров, веса, стоимости и большого потребления энергии.

Поставлена задача разработки малогабаритных устройств регистрации информации на магнитный носитель с использованием упрощенных лентопротяжных механизмов бытовых магнитофонов.

Рассмотрены характерные помехи тракта магнитной записи воспроизведения для модулированных сигналов - паразитная амплитудная модуляция (ПАМ) и паразитная частотная модуляция (ПЧМ).

Произведен выбор частотной модуляции (ЧМ) по критерию обеспечения наибольшей линейной плотности записи для заданной допустимой погрешности.

Отмечено, что частотная модуляция даже в одноканальном варианте регистрации превосходит Широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) по линейной плотности в 5 + 8 раз, а Кодо-импульсную (КИМ) - в 1,5 + 4 раза.

С целью наиболее эффективного использования магнитного носителя для дальнейшей разработки выбрано многоканальное устройство с частотным разделением каналов и с частотной модуляцией в каждом из каналов, что повышает линейную плотность в 1,3 + 1,5 раза.

В первой главе проведен анализ влияния паразитной амплитудной модуляции на измерительные частотные детекторы трёх типов:

1. Схемы с фазовым детектированием.
2. Импульсный детектор интегрирующего типа.
3. Следящий детектор на основе фазовой автоподстройки частоты.

Оценка влияния паразитной амплитудной модуляции на частотные детекторы проводилась для двух типов входных усилителей-ограничителей

(без обратной связи - УО, а с положительной обратной связью - генерирующий УО) и для двух типов фазовых дискриминаторов - ключевого и триггерного.

Функциональные схемы исследуемых детекторов представлены на рис. I - 4.

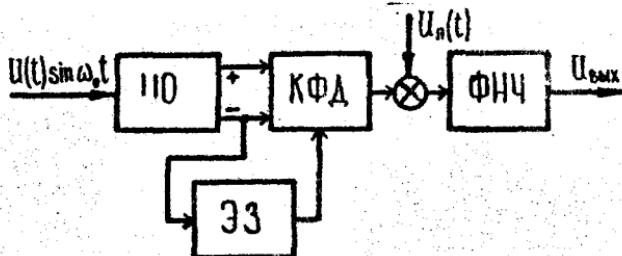


Рис.1. Схема с ключевым фазовым дискриминатором:

УО - усилитель-ограничитель;

КФД - ключевой фазовый дискриминатор;

ЗЗ - элемент задержки;

ФНЧ - фильтр низких частот.

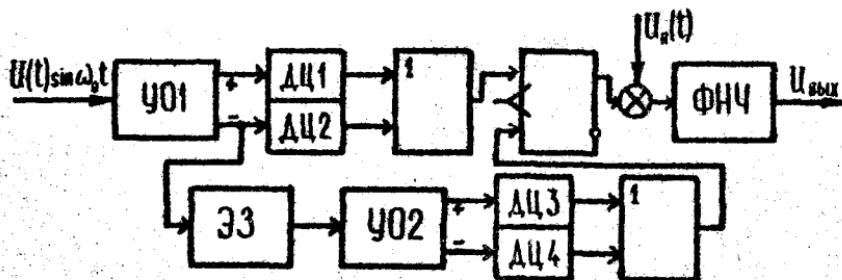


Рис.2. Схема с триггерным фазовым дискриминатором:

УО 1,2 - усилитель-ограничитель

ДЦ 1,2,3,4 - дифференцирующие цепи;

ЗЗ - элемент задержки

ИЛИ - схема объединения;

Тг - триггер

ФНЧ - фильтр низких частот

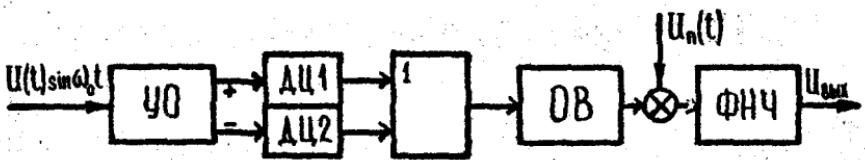


Рис. 3. Импульсный детектор интегрирующего типа:

УО - усилитель-ограничитель;
 ДЦ 1,2 - дифференцирующие цепочки;
 ИЛИ - схема объединения;
 ОВ - одновибратор;
 ФНЧ - фильтр низких частот;

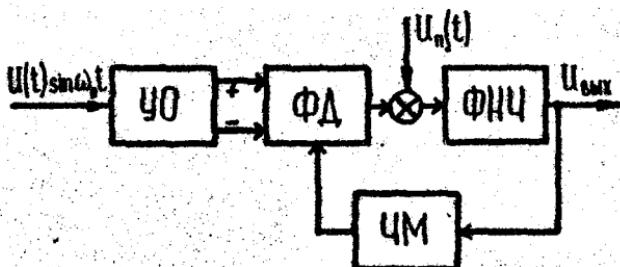


Рис. 4. Схема следящего детектора:

УО - усилитель-ограничитель;
 ФД - фазовый дискриминатор;
 ЧМ - частотный модулятор;
 ФНЧ - фильтр низких частот

Для оценки влияния паразитной амплитудной модуляции в работе предложен метод выделения импульсной помехи, заключающийся в том, что разница напряжений на входе фильтра низких частот для случаев применения идеального усилителя-ограничителя (с нулевым порогом срабатывания) и реального усилителя-ограничителя интерпретируется как аддитивная импульсная помеха с изменяющейся, в зависимости от амплитуды входного сигнала, длительностью импульсов. Изменения амплитуды носят случайный характер.

Для широтно-импульсно модулированной помехи в статическом режиме, т.е. при постоянной частоте входного сигнала детекторов, определяется энергетический спектр и учитывается та его часть, которая попадает в полосу пропускания фильтра низких частот.

Конечным результатом оценки влияния паразитной амплитудной модуляции на частотные детекторы является определение отношения эффективного напряжения помехи на выходе фильтра низких частот к максимальному выходному напряжению полезного сигнала.

Расчёты проведены в предположении о малости глубины паразитной амплитудной модуляции при нормальном распределении вероятности её значений и равномерном энергетическом спектре.

При использовании в качестве меры помехоустойчивости величины

$$B(\Omega_e) = -10 \lg \frac{k_a^2 P_0(\Omega_e)}{U_0^2} \text{ дБ}, \quad (1)$$

где U_0 - максимальное выходное напряжение частотных детекторов, $k_a = U_0/U_{\text{шф}}$ - пик-фактор выходного сигнала, $P_0(\Omega_e)$ - удельная мощность шумов на выходе частотного детектора, Ω_e - полоса пропускания фильтра низких частот, получены следующие выражения для исследованных частотных детекторов:

а) в частотном детекторе с ключевым фазовым дискриминатором и усилителем-ограничителем

$$B_1(\Omega_e) = -10 \lg \left[\frac{8}{27} \cdot \frac{k_a^2 k^4 \sigma^2 (2 + \sigma^2) \Omega_e^3}{T(\delta f)^2} \right], \quad (2)$$

б) в частотном детекторе с ключевым фазовым дискриминатором и генерирующим усилителем-ограничителем

$$B_2(\Omega_e) = -10 \lg \left[\frac{8}{27} \cdot \frac{k_a^2 k^4 \sigma^2 (2 + \sigma^2) \Omega_e^3}{T(\delta f)^2} \right], \quad (3)$$

в) в частотном детекторе с триггерным фазовым дискриминатором

$$B_3(\Omega_e) \approx -10 \lg \left[\frac{16}{9} \cdot \frac{k_a^4 k^2 \sigma^2 \Omega_e}{T(\delta f)^2} \right]. \quad (4)$$

г) в импульсном детекторе интегрирующего типа

$$B_4(\Omega_e) \approx -10 \lg \left[\frac{32}{g} \cdot \frac{k^2 k^4 \sigma^2 \Omega_e}{T(\delta f)^2} \left(1 - \frac{\sin \Omega_e \tau}{\Omega_e \tau} \right) \right]; \quad (5)$$

д) в следящем детекторе с ключевым фазовым дискриминатором и усилителем-ограничителем

$$B_{1\Phi}(\Omega_e) \approx -10 \lg \left[\frac{2}{27\pi} \cdot \frac{k^2 k^4 \sigma^2 (2 + \sigma^2)(3\pi - 8)}{T} \Omega_e^3 \right]; \quad (6)$$

е) в следящем детекторе с ключевым фазовым дискриминатором и генерирующим усилителем-ограничителем

$$B_{2\Phi}(\Omega_e) \approx -10 \lg \left[\frac{2}{3\pi} \cdot \frac{k^2 k^4 \sigma^2 (2 + \sigma^2)(3\pi - 8) \Omega_e^3}{T} \right]; \quad (7)$$

ж) в следящем детекторе с триггерным фазовым дискриминатором

$$B_{3\Phi}(\Omega_e) \approx -10 \lg \left[\frac{4}{g} \cdot \frac{k^2 k^4 \sigma^2 (4 - \pi) \Omega_e}{T} \right]; \quad (8)$$

По этим формулам при значениях $k_0=1$; $k=10^{-6}$; $\sigma=0.1$; $T=200 \cdot 10^{-6}$ с; $\tau=50 \cdot 10^{-6}$ с;

$\delta f=0.4$ — определенных для конкретных параметров частотных детекторов, на рис. 5 построены кривые относительной помехоустойчивости. Так как шум от паразитной амплитудной модуляции у следящего детектора с ключевым фазовым дискриминатором и усилителем-ограничителем на 56 дБ меньше, чем у импульсного детектора интегрирующего типа, то для применения выбран следящий детектор. Его использование позволяет пренебречь влиянием паразитной амплитудной модуляции на точность регистрации.

На рис.6 и рис.7 приведены принципиальные схемы использованных следящих детекторов

Во второй главе показано, что следящий детектор с ключевым фазовым дискриминатором, представляющий собой нелинейную импульсную систему автоматического управления, может быть рассмотрен как линейная непрерывная астатическая система при расстройках по фазе между входным сигналом и сигналом обратной связи не выходящих за пределы 0° . Основным режимом работы следящего детектора в разработанном устройстве как раз является работа при указанных условиях.

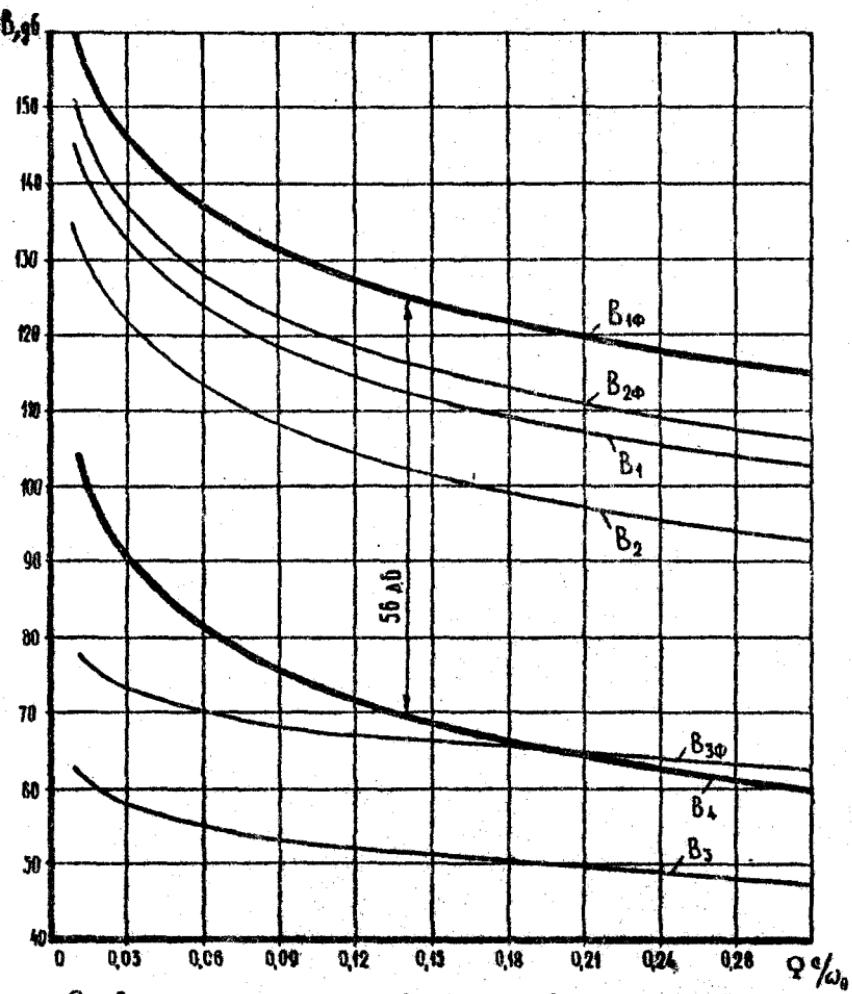


Рис. 5. К оценке относительной помехоустойчивости частотных детекторов

B_{10} - сарящий детектор с КФД и ЧД; B_{20} - следящий детектор с КФД и ГУД;
 B_1 - частотный детектор с КФД и ЧД; B_2 - частотный детектор с КФД и ГУД;
 B_{30} - следящий детектор с ТФД; B_3 - частотный детектор с ТФД;
 B_4 - импульсный детектор интегрирующего типа (ИДИ)

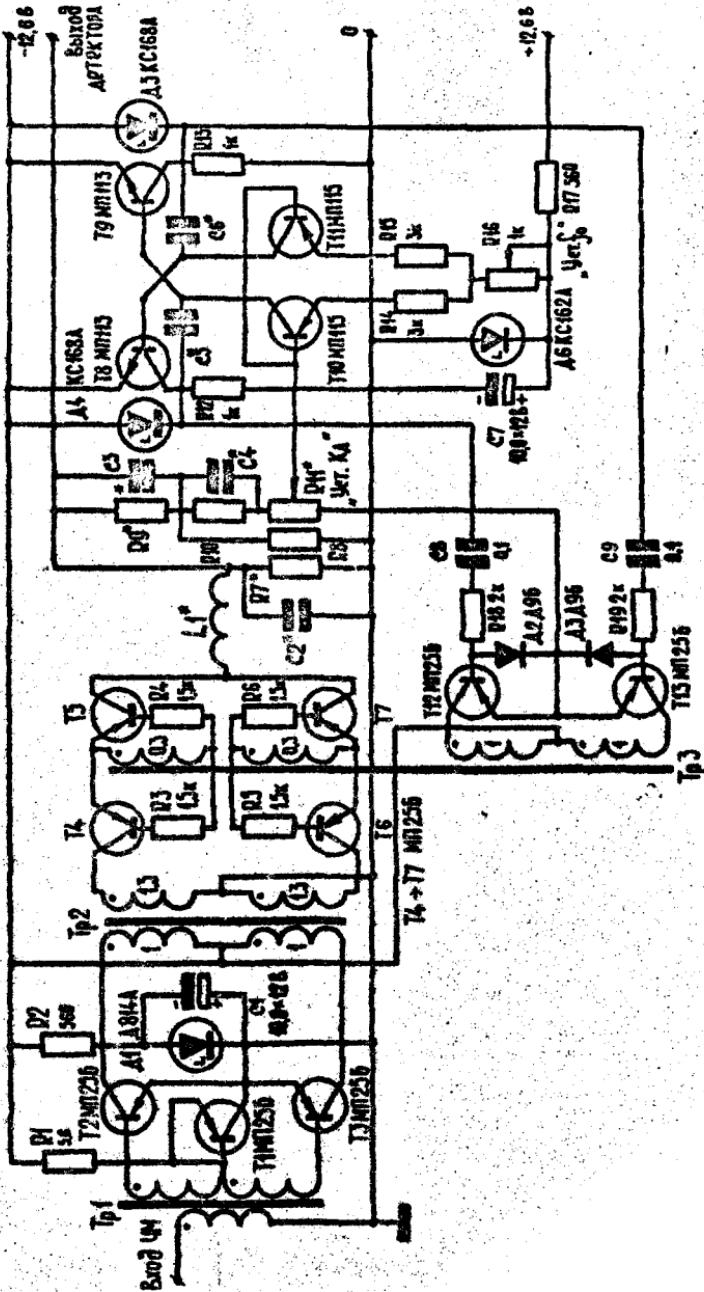


Рис. 6. Схема сгущающего частотного детектора

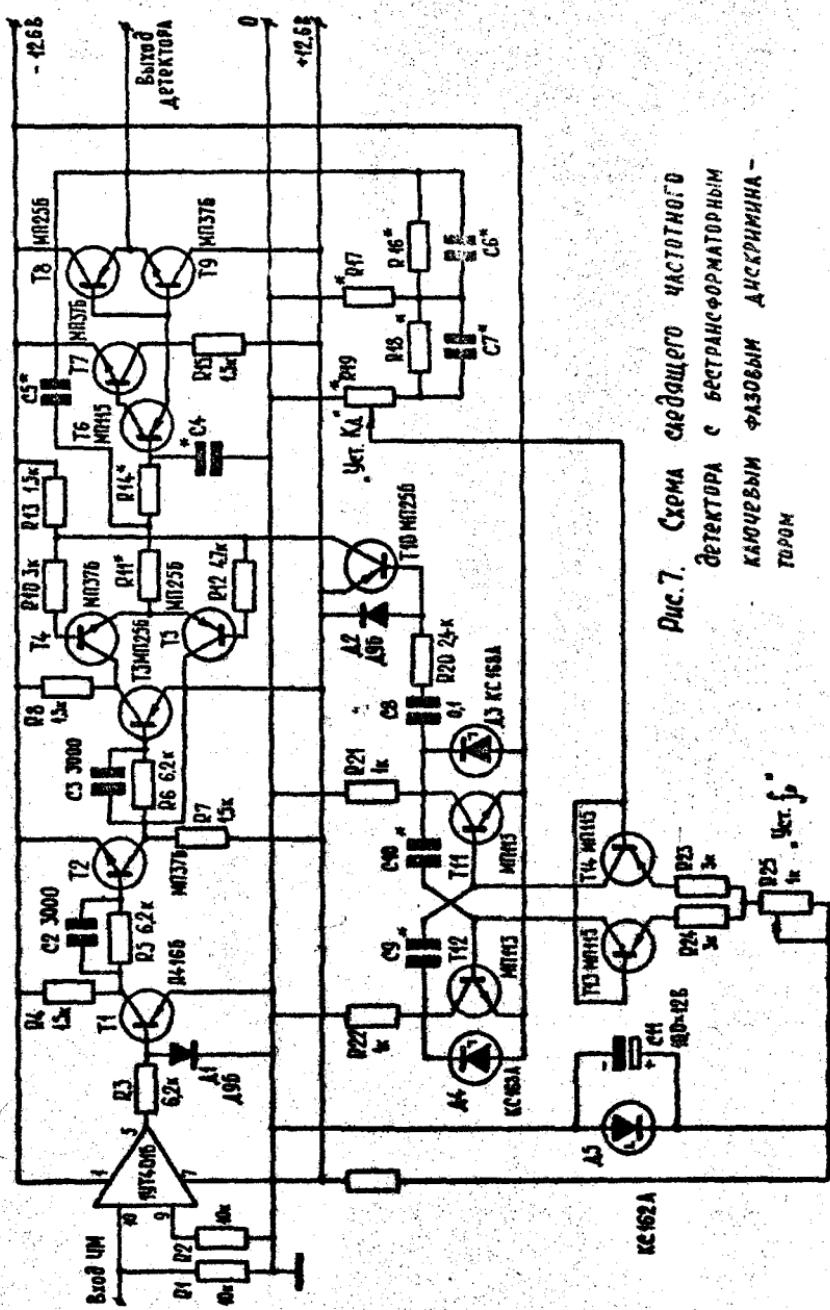


Рис. 7. Схема следящего чакотного детектора с быстронформаторным ключевым фазовым дискриминатором

Для упрощенной модели следящего детектора разработана методика формирования частотной характеристики по заданным требованиям к полосе пропускания, к форме частотной характеристики и к величине подавления пульсаций, а также исследование его основных свойства.

Установлено, что по линейности, малости пульсации выходного напряжения, термостабильности и по малости выходного сопротивления следящий детектор значительно превосходит широко применяемый в настоящее время импульсный детектор интегрирующего типа.

В третьей главе рассмотрено поведение следящего детектора при больших начальных расстройках частоты входного сигнала относительно частоты сигнала обратной связи. Доказано, что при использовании рекомендаций, приведенных во второй главе, по формированию частотной характеристики полоса захвата следящего детектора с симметричной треугольной характеристикой фазового дискриминатора может быть определена по известному методу для схем фазовой автоподстройки частоты с косинусоидальной характеристикой фазового дискриминатора. Это положение подтверждено экспериментально. Проведено исследование перехода следящего детектора в режим биений при частотно-манипулированном входном сигнале и установлено ограничение на величину отклонения частоты при таком входном сигнале.

Разработана методика определения характеристик следящего детектора на основе теории непрерывных линейных систем автоматического управления, дана оценка нелинейных режимов его работы и, таким образом, сняты принципиальные трудности при анализе и синтезе характеристик следящего детектора. Учитывая также и его существенные преимущества, следящий детектор следует рекомендовать к широкому применению.

В четвертой главе рассмотрено влияние непостоянства скорости движения носителя при записи и воспроизведении на частотно-модулированный сигнал и установлено, что это влияние двойковое:

- а) непосредственное влияние непостоянства скоростей, приводящее к искажениям временного масштаба детектированного сигнала;
- б) косвенное влияние, приводящее к возникновению мультипликативной и аддитивной составляющих погрешностей в передаче мгновенных значений модулирующего сигнала.

Без принятия специальных мер стабилизации скорость движения носителя отличается от средней на $I + 2 \%$. Во многих применениях магнитной регистрации искажение временного масштаба на такую величину

допустимо, а при использовании ЭЦВИ для обработки считываемого сигнала может быть исключено полностью.

Косвенное влияние нестабильности скорости движения носителя при детектировании приводит к относительной погрешности в передаче мгновенных значений зарегистрированного, с применением частотной модуляции, сигнала

$$\frac{\Delta \omega_n(t)}{\Delta \omega_{\text{max}}} = k_n(t) \cdot [1 + t^2 / \delta \omega_{\text{max}}]. \quad (9)$$

где $\Delta \omega_n(t)$ - отклонение частоты, вызванное непостоянством скорости движения носителя, $\Delta \omega_{\text{max}}$ - максимальное отклонение частоты под воздействием полезного сигнала, $k_n(t)$ - коэффициент, определяющийся нестабильностью скоростей движения носителя при записи и воспроизведении, $\delta \omega_{\text{max}}$ - относительная девиация частоты.

При практических значениях $\delta \omega_{\text{max}} = 0.2 \div 0.4$ приведенная погрешность передачи мгновенных значений зарегистрированного сигнала будет в $(3,5 \div 6)$ раз больше, чем коэффициент нестабильности движения носителя. Именно по этой причине необходимо в первую очередь уменьшить косвенное влияние нестабильности скоростей движения носителя при записи и воспроизведении. В диссертационной работе эта погрешность интерпретируется как результат воздействия мультипликативной помехи по частоте модулированного сигнала, т.е. как результат изменения коэффициента передачи канала магнитной записи по частоте модулированного сигнала.

Для уменьшения влияния этой помехи на детектированный сигнал выбран метод противофазного изменения коэффициента передачи частотных детекторов.

В следящем детекторе это изменение осуществляется путём управления крутизной модуляционной характеристики частотного модулятора в цепи обратной связи.

Показано, что низкочастотные составляющие помехи при этом полностью компенсируются, а подавление высокочастотных составляющих ухудшается с ростом их частоты, но в полосе пропускания следящих детекторов подавление не менее, чем пятикратное.

Таким образом, применение компенсации влияния паразитной частотной модуляции позволяет при использовании упрощенных лентопротяжных механизмов бытовых магнитофонов получить погрешности не большие, чем в случае использования специальных лентопротяжных механизмов.

В пятой главе рассмотрены возможности разработки

многоканальных устройств регистрации с использованием разработанных схем следящих детекторов и предложенного метода компенсации влияния паразитной частотной модуляции.

Описано пятиканальное устройство регистрации аналоговых измерительных сигналов с частотным разделением каналов (рис.8) и приведены его основные характеристики при использовании бытовых магнитофонов трёх типов.

Показано, что статическая погрешность при использовании любого магнитофона не превышает 0,5% за сеанс регистрации, а высокочастотные помехи составляют от 200 до 300 мВ в зависимости от типа используемого магнитофона (амплитуда полезного сигнала 10 В).

Рассмотрены также возможность дополнительного временного уплотнения частотных каналов и пути решения задачи ввода зарегистрированной информации в цифровую вычислительную машину для обработки.

Отмечено, что большой объём зарегистрированной информации (до 38 - 60 млн. бит на одну дорожку) приводят к существенным трудностям при решении задачи ввода в ЭВИ и в полном объёме решение её составит отдельную трудоёмкую работу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Проведенные исследования, результаты которых представлены в настоящей работе, позволили установить, что:

а) наименьшая линейная плотность регистрации на магнитный носитель (при погрешности воспроизведения 2 + 3%) достигается при записи электрических сигналов с предварительной частотной модуляцией;

б) при воздействии на частотные детекторы различных типов характерной помехи канала магнитной записи - воспроизведения - паразитной амплитудной модуляции (ПАМ) наибольшей помехоустойчивостью обладает следящий детектор (СД), на выходе которого шум от воздействия ПАМ на 56 дБ меньше, чем на выходе широко применяемого в настоящее время импульсного детектора интегрирующего типа (ИДИ). Это преимущество сохраняется при любых спектрах ПАМ и, таким образом, её влиянием можно пренебречь;

в) расчёты основных режимов выбранных схем следящих частотных детекторов с симметричной треугольной характеристикой нелинейного элемента - фазового дискриминатора, можно проводить по линейной модели.

При рассмотрении линейной модели выявлены основные ограничения на предельную полосу пропускания детектора, установлено, что следящий

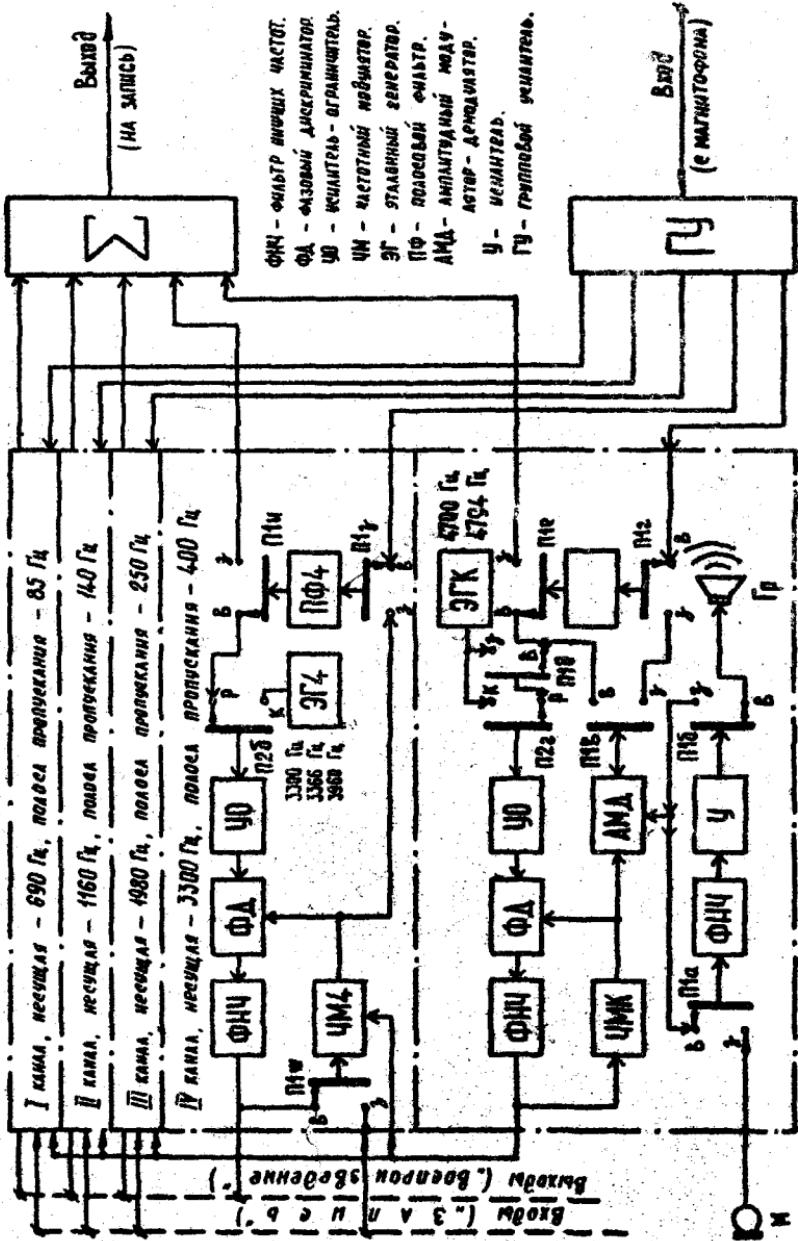


Рис.8. Функциональная схема многоканального устройства регистрации

-датектор имеет повышенную термостабильность по сравнению с другими видами детекторов, искривлен к изменению питающих напряжений и нагрузочного сопротивления. Эти свойства следящего детектора объясняются тем, что он является астатической системой автоматического управления, осуществляющей слежение за частотой (фазой) входного сигнала.

Отмечено, что выходное напряжение следящего детектора обладает повышенной спектральной чистотой, так как коэффициент пульсации выходного напряжения в 2,5-5 раз меньше, чем в любой другой схеме частотного детектора при одинаковой частотной характеристике фильтра низких частот;

г) нелинейный режим работы следящего детектора, возникающий при больших начальных расстройках, рассчитывается по методике, разработанной для схем фазовой автоподстройки частоты с косинусоидальной характеристикой фазового дискриминатора. Применимость этой методики для следящего детектора, имеющего нелинейный элемент (фазовый дискриминатор) с симметричной треугольной характеристикой, доказана теоретически и подтверждена экспериментом;

д) установлена высокая эффективность подавления помехи при противофазном паразитной частотной модуляции изменения коэффициента передачи следящего детектора, определяемого крутизной модуляционной характеристики частотного модулятора в цепи обратной связи.

Разработана конкретная схема управления коэффициентом передачи следящего детектора;

е) разработанное с учётом вышеприведенных результатов многоканальное устройство регистрации аналоговых сигналов на магнитный носитель позволило получить погрешность не более 2-3% при использовании любых бытовых магнитофонов;

ж) пробная эксплуатация двух устройств подтвердила их хорошие технико-экономические показатели.

Таким образом, поставленная задача разработки малогабаритного устройства магнитной регистрации аналоговых измерительных сигналов с использованием магнитофонов массового применения выполнена.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих печатных работах:

1. Гудилин А.Е., Павлов С.А., Бурганов З.Г., Старцев Г.С.

Динамические характеристики одного типа частотных модуляторов как звена быстродействующих автоматических систем."Приборы и устройства

- автоматики и телемеханики". Сборник научных трудов №132, Челябинск, ЧПИ, 1974.
2. Гудилин А.Е., Павлов С.А., Евраников Г.Т.
Широкополосный усилитель постоянного тока с М-ДМ сигнала.
- "Приборы и устройства автоматики и телемеханики". Сборник научных трудов №132, Челябинск, ЧПИ, 1974.
3. Гудилин А.Е., Павлов С.А.
Детектор с плавающим порогом для приема амплитудно-манипулированных сигналов.
- "Приборы и устройства автоматического регулирования". Сборник научных трудов №88, Челябинск, ЧПИ, 1971.
4. Гудилин А.Е., Коржавин Е.В., Шапиро Ф.С.
Устройство для многоканальной записи электрических сигналов на однодорожечном магнитофоне. Минмонтажспецстрой ССРР. Реферативная информация о передовом опыте. Серия П. Монтаж и наладка электрооборудования. Выпуск 10 (118), 1974.
5. Гудилин А.Е., Коржавин Е.В., Шапиро Ф.С.
Четырехканальная система регистрации аналоговых сигналов на магнитную ленту. Информационный листок №450-74. Челябинский ЦНТИ, 1974.
6. Гудилин А.Е., Постаутов В.А., Росин Г.С.
Устройство для регистрации сигналов вибрационных измерений на магнитную ленту. Информационный листок №544-74, Челябинский ЦНТИ, 1974.