

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ УКРАИНЫ
УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ СВЯЗИ
им. А.С.Попова

На правах рукописи
УДК 621.391.23.037.3
621.391.23.072.9

ВИКТОР ОЛУГБЕМИГА СЕВО
/НИГЕРИЯ/

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ
С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ПО УПРАВЛЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЕ
УПРАВЛЯЮЩИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

05.12.02-Телекоммуникационные системы и управление ими

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса 1996

ДБ 34.040
Работа выполнена в Украинской Государственной Академии Связи
им. А.С.Попова.

Научный руководитель - академик Украинской Академии связи,
доктор технических наук,
профессор Борщ В.И.

Научный консультант - кандидат технических наук,
доцент Н.Н.Одинцов.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук
профессор Иваницкий А.М.
- кандидат технических наук
Дробик А.В.

Ведущее предприятие: О Н И С

Защита состоится 13 июня 1996 года
в 14 00 часов на заседании специализированного Совета к 05.18.02
Украинской Государственной Академии связи им. А.С.Попова по адресу:
270021, г.Одесса ул. Челюкенцев, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии.
Автореферат разослан " 6 " мая 1996г.

Ученый секретар
Специализированного Совета
профессор

П.П.Воробенко

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00740544 (O)

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и состояние вопроса. В настоящее время возрос поток передаваемой информации по каналам связи. Увеличение скорости передачи и повышение требований к верности передачи вызвали необходимость совершенствования существующих и разработки новых средств связи.

Одной из специфических особенностей системы автоматического регулирования и управления, применяемых в технике связи, является периодическое изменение их переменных и параметров, системы с периодическими переменными находят широкое применение. Например, системы синхронизации; системы с периодическим изменением параметров; системы с модуляцией; следящие системы; оптимальные системы, которые вблизи заданного состояния при наличии запаздывания имеют периодические решения, а также колебательные процессы установления; системы с фазовой и частотной автоподстройкой частоты; системы автоматического определения прихода радиоволн и автоматического определения дальности сопротивления по направлениям, измерения угловых координат; ортогональные гармонические корректоры амплитудно и фазочастотных характеристик каналов связи; нелинейные системы при линеаризации уравнения (метод малых отклонений) в которых получается линейная система дифференциальных уравнений, часть коэффициентов которой являются периодическими функциями времени и т.д.

Актуальность исследования этого класса систем определяется следующим: 1) перспективами создания новых методов анализа и синтеза САУ, обладающих большими возможностями и универсальностью, чем известные методы; 2) научными потребностями развития общей теории стационарных систем; 3) наличием современных технологий по технической реализации указанного класса систем.

Практическая необходимость разработки систем автоматического регулирования, обладающих улучшенными динамическими и статическими характеристиками, назрела давно, что нашло свое отражение в большом числе публикаций, затрагивающих данную проблему.

В создании и развитии систем с периодическими переменными существенный вклад внесли бывшие Советские и зарубежные авторы. Среди них работы А.А. Андропова, Н.Н. Кресовского, М.Г. Крейна, Н.Г. Четаева, Я.З. Цыпкина, В.И. Борща, В.П. Гостева, Г.С. Горелика, В.П. Гуляева, С.М. Рытова, Н.В. Сиона, Н.Г. Малкина, Дж. Хейла, В. Линдей, Дж. Дж. Стиллера, А. Гупта, Ф.М. Килина, Б.Е. Рудницкого, В.П. Тевярского и многих других.

Основным недостатком этих работ, препятствующих их широкому инженерному применению являются трудности математического характера, связанные с необходимостью отыскания решений неоднородных дифференциальных уравнений, которые затрудняли или вообще делали невозможным точное аналитическое исследование, анализ и синтез оптимальных систем проводился для систем невысокого порядка ($n \leq 2$), а полученные результаты носили частный характер и мало пригодны для инженерного (алгоритмического) применения. Это же обстоятельство не позволяло найти общий подход к их исследованию.

Указанные недостатки вызывают серьезные трудности при создании системы с периодическими переменными параметрами и обуславливают необходимость разработки новых методов.

В этой связи оптимизация и управление объектами с периодическими управляющими воздействиями представляется актуальными. Примером технического воплощения такого рода систем могут служить системы ФАПЧ, нашедшие весьма широкое применение в различных областях техники связи.

Цель работ. Целью диссертационной работы является оптимизация структуры и управления в системах с периодическими задающими, управляющими воздействиями и регулируемыми величинами, обеспечивающих требуемое качество пространственного и временного перемещения информации от отправителя к пользователю.

Задачи исследований

1. Оптимизация математических моделей систем управления на основании методов эквивалентного преобразования их структур.
2. Анализ оптимальных по быстродействию режимов переходных процессов в системах фазовой автоподстройки частоты с различными типами фильтров нижних частот в кольце управления.
Оптимизация управления в системах с периодическими задающими, управляющими воздействиями и регулируемыми величинами.
3. Синтез алгоритмов оптимального управления объектами с периодическими гиперповерхностями переключения, анализ их специфики и эффективности.
4. Анализ статистических характеристик квазиоптимальной по быстродействию системы фазовой автоподстройки частоты при воздействии внешних и внутренних шумов.
5. Техническая реализация оптимальных систем ФАПЧ.

Методы исследований При решении поставленных задач использованы теории связи, оптимальных и экстремальных управлений, дифференциальных уравнений, линейной алгебры, автоматического регулирования и управления; методы фазового пространства, составления математических моделей регулируемых систем и их эквивалентных аналитических структурных преобразований на базе метода замены переменных, моделирования на АБМ и ЦБМ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Выполнено аналитическое эквивалентное преобразование структур систем с периодическими переменными и указана их математическая и структурная взаимосвязь с целью упрощения решения ряда задач анализа и синтеза, включая их оптимизацию, исследования устойчивости.
2. Указаны структуры управляемых систем, соответствующие эквивалентным преобразованиям их математических моделей.
3. Разработана методика с соответствующими аналитическими выражениями, позволяющая определить оптимальный характер переходных процессов управляемых систем с расчетом всех его параметров.
4. Показано, что главное отличие оптимального управления систем с периодическими переменными по сравнению с оптимальными по быстрдействию аналоговыми и дискретными системами являются наличие в оптимальном алгоритме управления не только временной составляющей, но и составляющей в функции ошибки систем.
5. Установлено, что фазовое пространство управляемых систем с переменными параметрами имеет бесконечное множество совершенно равнозначных состояний равновесия и разбивается на множества периодических гиперповерхностей.
6. Разработана методика формирования оптимальных алгоритмов управления объектами с периодическими по управляемой величине управляющими воздействиями.
7. Предложена методика инженерного расчета электрических параметров синхронно - фазового демодулятора 2-го порядка на основе ФАПЧ.
8. Разработана методика экспериментальных исследований систем ФАПЧ позволяющие разработчикам учесть все условия в достижении оптимальности устройств ОД.

Практическая ценность результатов работы заключается в разработке возникших по запросу практики и апробированных в технических приложениях совокупности математических и методологических решений конкретизированных применительно к системам автоматики в отрасли связи, в частности для анализа оптимальных режимов переходных процессов и синтеза оптимальных алгоритмов управления в системах фазовой синхронизации, как типичного представителя систем с периодическими задающими, управляющими воздействиями и управляемыми величинами.

Практическое преимущество результатов работы: повышение быстродействия систем фазовой синхронизации, хотя и несколько увеличивает объем обрабатываемой информации по выработке оптимальных управляющих воздействий, усложняет структуру, но позволяет реализовать предельные возможности таких систем, в несколько раз увеличивает их быстродействие по сравнению с типовыми системами; эквивалентные преобразования структур рассматриваемых систем выполнены в наглядном простом виде, пригодны для инженерных расчетов, упрощают их и экономят машинное время; упрощаются исследование устойчивости, анализа оптимальных режимов работы.

Предложенная методика расчета синхронного фазового детектора первого и второго порядка с ПФМ дает возможность рассчитать все электрические параметры при заданном соотношении $(P_c/P_{ш})_{\text{внх}}$.

Реализация результатов исследований. Полученные результаты, выводы и алгоритмы внедрены в НИР кафедры СРС "Разработка методов повышения скорости передачи цифровых сигналов по стволам аналоговых РРОП", "Разработка и исследование задающего устройства с применением микропроцессора для цифровой сети БАСО".

Материалы исследований использованы при создании систем ФАПЧ с высокими технико-экономическими показателями, что подтверждается актом реализации, приложением к диссертации.

Апробация результатов работы. Основные теоретические и практические результаты работы докладывались на научном семинаре кафедры СРС УГАС им. А.С.Попова в 1990г.; на всесоюзном научно-техническом семинаре по системам синхронизации и сетей связи в 1989 и 1990г. Также на научно-технических конференциях Украинской Государственной Академии связи им.А.С.Попова в 1994 году, всесоюзном научно-техническом семинаре в г.Томске в 1991 году и в г. Каунасе в 1989 году.

Публикации. По теме диссертации опубликовано _____ научных работ.
Вклад автора. Основные научные положения, теоретические выводы и рекомендации получены автором самостоятельно.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения. Работа содержит _____ страниц, в том числе _____ страниц текста, _____ страниц рисунков, _____ страниц библиографии из _____ наименований.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Математические модели и методика эквивалентного преобразования структур объектов с периодическими задачками, управляющими воздействиями и управляемыми величинами.
2. Результаты анализа и оптимизации управления в системах фазовой автоподстройки частоты.
3. Методика построения оптимальных алгоритмов управления объектами с периодическими гиперповерхностями переключения.
4. Методика расчета электрических параметров СФД первого и второго порядка.
5. Результаты различия оптимальных систем с периодическими переменными и их фазовых портретов от типовых аналоговых и дискретных систем.
6. Структуры оптимальных систем ФАПЧ.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов и заключения.

Во введении обосновывается актуальность проведенных исследований, раскрывается состояние вопроса, формируется цель работы, и приводится краткое содержание и основные научные и практические результаты.

В первой главе диссертации решается оптимизация математических моделей систем уравнений на основании методов эквивалентного преобразования их структур, с целью упрощения решения ряда задач анализа и синтеза.

Математической моделью непрерывной однопетлевой системы ФАПЧ (объекта регулирования) служит неоднородное дифференциальное уравнение вида:

$$\frac{1}{\eta(t)} \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt} = S_y V(t) - \frac{\Delta\omega_T[f(t)]}{\eta(t)}, \quad (1)$$

где $\varphi(t)$ - ошибка системы; $\eta(t)$ - коэффициент передачи ФНЧ;

S_y - крутизна характеристики управителя; $V(t)$ - мгновенное напряжение на входе управителя; $\Delta\omega_T$ - начальная расстройка частоты ПЧ относительно ЭГ; $f(t)$ - дестабилизирующие факторы; t - время.

Если коэффициент передачи ФНЧ ($\eta(t)$) линейный, уравнение (1) запишется в виде:

$$\sum_{j=1}^n a_j \frac{d^j \varphi(t)}{dt^j} = \sum_{g=0}^m b_g \frac{d^g V(t)}{dt^g} - \sum_{j=0}^{n-1} \delta_j \frac{d^j \Delta\omega_T[f(t)]}{dt^j}, \quad (2)$$

где a_j, b_g, δ_j - постоянные коэффициенты (параметры схемы).

Уравнению (2) соответствует аналоговая модель системы ФАПЧ, содержащая $n-1$ интегратор, каждый из которых охвачен обратными связями и имеет передаточную функцию, равную $P_i, i=\overline{1, n}$.

Приведем дифференциальное уравнение (2) к следующей системе:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\varphi_i(t)}{dt} &= \varphi_{i+1}(t) + K_i V(t) + \rho_i \Delta\omega_T[f(t)], \\ \frac{d\varphi_n(t)}{dt} &= - \sum_{j=0}^{n-1} a_j \varphi_{j+1}(t) + K_n V(t) + \rho_n \Delta\omega_T[f(t)]. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Для модулирования объекта регулирования требуется одно инерционное звено и $n-1$ интегратор. Теперь приведем систему дифференциальных уравнений к более простому каноническому виду. Тогда, система уравнений (3) преобразуется к чисто диагональному виду:

$$\frac{d\varphi_i(t)}{dt} = \rho_i \varphi_i(t) + M_i V(t) + g_i \Delta\omega_T[f(t)], \quad i=\overline{1, n} \quad (4)$$

где ρ_i - корни характеристического полинома, соответствующего уравнению (2); $\varphi_i(t)$ - новые искомые координаты; m_i, g_i - постоянные коэффициенты при регулируемом и внешнем воздействии соответст-

венно.

Математическая модель объекта регулирования системы (каноническая структура), поведение которого описывается уравнением (4), выполнена на аналоговой вычислительной машине.

В таком объекте регулирования обеспечивается передача воздействия с входа на один выход. Здесь нет взаимных связей по регулируемым координатам и изменение любой регулируемой координаты $\phi_{i,1} = \overline{1, n}$ в структуре не оказывает влияния на другие каналы.

Достоинства найденных оптимальных структур ФЭС являются:

- возможность непосредственного интегрирования уравнений динамики; пересчет взаимосвязи по управляемым координатам к многосвязности по управляющим воздействиям; отсутствие связи между каноническими переменными; расчет взаимосвязи по управлению.

Приведены аналитические эквивалентные преобразования структур систем с периодическими переменными и указана их математическая и структурная взаимосвязь

Вторая глава посвящена анализу оптимальной по быстродействию системы ФАПЧ. Задача анализа заключается в следующем:

В фазовом пространстве Φ состояний системы заданы два многообразия Φ_0 и Φ_k ($k \leq n$). Требуется, чтобы изображающая точка выйдя в общем случае из заранее не заданного положения $Y_0 \in \Omega_{y_0} \subset \Phi_0$ (в частном случае это положение изображающей точки может быть задано и определяется известными начальными условиями системы), достигла некоторого произвольного положения $Y_k \in \Omega_{y_k} \subset \Phi_k$ (в частном случае оно также может быть задано: начало координат системы, окрестность точки устойчивого равновесия) при допустимых управляющих и возмущающих воздействиях с заданной точностью, чтобы интегральный критерий

оптимальности (функционал вида $J = \int_{t_0}^{t_k} 1 dt \rightarrow \min$).

Критерий эффективности достижения цели системы будем представлять в следующем виде:

$$J \left[V_{\text{Флд}}(t); T(\varphi); \varphi_0(t), \frac{d\varphi_0(t)}{dt}, \dots, \frac{d^{n-1}\varphi_0(t)}{dt^{n-1}}; \Delta\omega_{\Gamma}, \right. \\ \left. \frac{d\Delta\omega_{\Gamma}}{dt}, \dots, \frac{d^{n-1}\Delta\omega_{\Gamma}}{dt^{n-1}} \right] = \int_{t_1}^{t_2} 1 dt = t_2 - t_1 = \text{МИН} \quad (5)$$

при условии $V_{\text{Флд}}(t) \in V_{\text{д}}(t) \in R^m$, $T(\varphi) \in T_{\text{д}}(\varphi) \in R^s$.

$\varphi(t) = \varphi_{\text{ЗВ}}(t) - \varphi_{\text{РВ}}(t)$ - фазовая ошибка системы; $\varphi_{\text{ЗВ}}(t)$ - задающее воздействие системы; $\varphi_{\text{РВ}}(t)$ - регулируемая величина; $\Delta\omega$ - начальная расстройка системы; $V_{\text{Флд}}(t)$ - периодическое управляющее воздействие; t - время; R^m, R^s - евклидовы пространства размерности соответственно m и s ; t_1, t_2 - соответственно начало и конец переходного процесса.

На основе применения принципа максимума Л.С.Понтрягина и принятого критерия в главе выполнен синтез оптимальных по быстродействию систем ФАПЧ.

Для рассматриваемых случаев получены уравнения линии переключения с соответствующей структуры управляющего устройства, реализующие алгоритмы оптимального управления:

$$V_{\text{Флд}}(t) = V_{\text{Флд}} \text{SignF}[\varphi(t)] + V_{\text{экстр}} \text{Sign}(\varphi_{20} - \varphi_{10} t), \quad (6)$$

где $V_{\text{экстр}}$ равно граничным значениям $V_{\text{макс}}$ или $V_{\text{мин}}$.

Для решения задачи анализа получено аналитическое выражение для расчета всех показателей качества оптимальных режимов переходных процессов при произвольных начальных условиях с учетом выражений (6) будет иметь вид ($\Delta\omega_{\Gamma} = \text{const}$)

$$\begin{cases} \varphi(t) = \Omega_y \{ V_{\text{Флд}} \text{SignF}[\varphi(t)] + V_{\text{экстр}} \text{Sign}(\varphi_{20} - \varphi_{10} t) \} \cdot \\ \cdot t^2 / 2 + (K_2 + \Delta\omega_{\Gamma}) t + K_1; \\ \omega(t) = \Omega_y \{ V_{\text{Флд}} \text{SignF}[\varphi(t)] + V_{\text{экстр}} \text{Sign}(\varphi_{20} - \varphi_{10} \Delta\omega_{\Gamma} t) \} \cdot t + K_2 \end{cases} \quad (7)$$

где Ω_y - полюса удержания; φ_{20} и φ_{10} - начальные значения координат φ_2 и φ_1 ; K_1 и K_2 - постоянные интегрирования.

Согласно уравнению (7) представим оптимальный переходный процесс в виде параметрических уравнений по интервалам оптимального уравнения, так решение (7) верно лишь для интервалов постоянства знаков выражений, получено уравнение для

I. интервал оптимального движения во времени

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi_1(t_1) &= \Omega_y V_1 \cdot t_1^2 / 2 + (K_{21} + \Delta\omega_1) t_1 + K_{11}; \\ \omega_1(t) &= \Omega_y V_1 t_1 + K_{21}; \\ K_{11} &= \varphi_1(t_1 = t_0 = 0) = \Phi_1 - \Omega_y V_1 (t_1'') / 2 - K_{21} t_1''; \\ K_{21} &= \omega_1(t_1 = t_0 = 0) = \Omega_0 = \Omega_1 - \Omega_y V_1 t_1'' \end{aligned} \right. \quad (8)$$

II. Интервал оптимального движения во времени

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi_2(t_2) &= \Omega_y V_2 t_2^2 / 2 + (K_{22} + \Delta\omega_2) t_2 + K_{12}; \\ \omega(t_2) &= \Omega_y V_2 t_2 + K_{22}; \\ K_{22} &= - \Omega_y V_2 t_{22}'' = \Omega_1 - V_2 t_{21}'', \quad \omega = (t = t_{21}' = t_2') = \Omega_1, \\ K_{12} &= - \Omega_y V_2 (t_2'') / 2 - K_{22} t_2'' = \Phi_1 - \Omega_y V_2 (t_2'') / 2 - K_{22} t_2'' \\ \varphi(t = t_2'') &= \Phi_2 = 0; \quad \varphi(t = t_2' = t_2'') = \Phi_1, \end{aligned} \right. \quad (9)$$

где t_1 и t_2 - текущее время соответственно на I и II интервалах оптимального движения; t_1' , t_2' и t_1'' , t_2'' - соответственно начала и концы первого и второго интервалов оптимального движения.

Получены аналитические зависимости для расчета динамики и синтеза структуры оптимальных алгоритмов управления в системах с периодическим по управляемой величине управляющими воздействиями.

Выделена специфика применения принципа максимума и метода фазового пространства при исследовании объектов управления с периодическими задающими управляющими воздействиями. Главным отличием оптимального уравнения такого класса систем по сравнению с оптимальными по быстрдействию аналоговыми и дискретными САУ является наличие в нем не только временной составляющей, но и составляющей в функции ошибки системы.

$$V_{\text{фд}}(t) = V_{\text{фд}} \text{Sign}F[\varphi(t)] + V_{\text{экстр}} \text{Sign}(\Phi_{20} - \Phi_{10} t), \quad (10)$$

где $V_{\text{экстр}}$ равно граничным значениям $V_{\text{макс}}$ или $V_{\text{мин}}$.

Третья глава посвящена синтезу оптимальных по быстродействию оптимальных систем. Наибольшее распространение среди методов синтеза получил метод фазового пространства системы в совокупности с методом обращенного времени. Реализация оптимальных по быстродействию алгоритмов управления основанных на принципе максимума требует, чтобы расстройка, вносимая ФД и управителем, была бы экстремальной (максимальной или минимальной) и соответствующим образом чередовала бы свои значения.

Поэтому первые два раздела третьей главы посвящены физической интерпретации процессов в системах и теоретическому формированию оптимального управления.

Получено уравнение для оптимальной линии переключения управляющего воздействия для кусочно-постоянного управления вида

$$\lambda(t) = \frac{\omega_2(t)}{2} + \Delta\omega_{\Gamma}\omega_2(t) - \Omega_y\varphi_2(t) \cdot V_{\max} \Big|_{V_{\min}} \cdot \frac{\omega_2(t)}{|\omega_2(t)|}; \quad (11)$$

для кусочно-периодического управления:

$$\lambda(t) = \frac{\omega_2^2(t)}{2} + \Delta\omega_{\Gamma}\omega_2(t) - \Omega_y\varphi_2(t) \cdot V_{\max} \Big|_{V_{\min}} \cdot \frac{\omega_2(t)}{|\omega_2(t)|} \pm$$

$$\pm V_{\text{ФД}} \cdot \Omega_y\varphi_2(t) - \Omega_y\varphi_2(t) \cdot V_{\text{ФД}} \cdot \frac{F[\varphi_2(t)]}{|F[\varphi_2(t)]|}; \quad (12)$$

где, $F[\varphi(t)]$ - нормированная характеристика ФД; V_{\max} и V_{\min} - максимальное и минимальное допустимые отклонения регулирующего воздействия.

Далее рассмотрены вопросы оптимального по быстродействию синтезатора частоты (СЧ) на основе системы ФАПЧ в качестве примера. Поскольку время перестройки частоты является одним из определяющих требований к СЧ, так как косвенный синтез СЧ на основе систем ФАПЧ позволяет заметно снизить его габариты, а также обеспечить удовлетворительный уровень фазовых шумов. Задача синтеза состоит в нахождении структуры блока управления, которая бы формировала оптимальное управление, минимизирующее быстродействие системы.

Представим воздействие фазы эталонного генератора и обратную связь-фазу подстраиваемого генератора в виде

$$\begin{aligned} d\Phi_{\text{эГ}}/dt &= \omega_0 \\ \frac{d\Phi_{\text{ПГ}}}{dt} &= \frac{S_y}{N} \left(m + \frac{1}{T_p} \right) v(t) + \frac{\omega_{\text{ПГ}}}{N}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\omega_0 = 2\pi f_0$ - номинальное значение частоты опорного сигнала, под которое подстраивается СЧ;

$\omega_{\text{ПГ}} = \omega_{\text{по}} + \omega_{\text{н}}$ - частота ПГ;

На основании (13) запишем уравнение для объекта управления (ОУ):

$$\frac{d\Phi_{\text{ПГ}}}{dt} = \omega_0 + \frac{\omega_{\text{н}}}{N} + \frac{S_y}{N} \left(m + \frac{1}{T_p} \right) v_{\text{макс}} v(t), \quad (14)$$

которое относительно разности фаз Φ имеет вид .

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\Delta\omega_{\text{Г}} - \frac{\Omega_y}{N} \left[\frac{mT_p + 1}{T_p} \right] v(t), \quad (15)$$

здесь $\Delta\omega_{\text{Г}} = \frac{\omega_{\text{н}}}{N}$ - начальная частотная расстройка, приведенная к частоте опорного сигнала;

$\Omega_y = S_y v_{\text{макс}}$ - полоса удержания системы, соответствующая максимальной перестройки ПГ.

На основании полученных аналитических выражений во второй главе и применения принципа максимума и метода фазовой плоскости, получено окончательное выражение линии переключения с учетом перехода к исходным координатам Φ и ω будет иметь вид

$$L(\Phi, \omega) = \frac{\Phi}{mT_p + 1} + \frac{NT_y}{2\Omega_y} \left[\frac{\omega}{mT_p + 1} \right]^2 \text{Sign} \left[\frac{\omega}{mT_p + 1} \right] \quad (16)$$

Это уравнение позволяет сформулировать алгоритм управления во всем фазовом пространстве:

$$v = v_{\text{макс}} \text{Sign} L \quad (17)$$

Выражение (16) и (17) определяют структуру блока управления всего синтезатора.

В заключении разработана методика повышения быстродействия сис-

темы синхронизации - оптимальной системы с управляемым ФД является логическим и научно-обоснованным на основании принципа максимума и метода фазового пространства.

В четвертой главе рассмотрен вопрос анализа статистической характеристики квазиоптимальной по быстродействию системы с учетом воздействия внешних и внутренних шумов. Получены аналитические выражения для оценки дисперсии разности фаз в системах с ограничителем и различными формами характеристик фазового дискриминатора: треугольной, пилообразной и синусоидальной. Приводится статистический эквивалент квазиоптимальной по быстродействию системы ФАПЧ при воздействии внешних и внутренних шумов, дается анализ статистических характеристик эквивалентной модели. Первый раздел четвертой главы посвящен вопросу влияния ограничителя на статические характеристики системы с различными видами ФД.

Рассмотрены системы ФАПЧ первого порядка ($K(p)=1$), которые позволяют выявить качественную зависимость характеристик системы от формы характеристики ФД. В последующем они послужат основой для анализа систем более высокого порядка.

Для рассматриваемой системы получено уравнение

$$p\varphi + \frac{\Omega_y}{N} [S_F \varphi + \xi(t)] = 0, \quad (18)$$

где $S_F = \frac{V \langle F(\varphi, \sigma_{\varphi_n}^2) \rangle}{V_\varphi} \Big|_{\varphi=\varphi_0}$ - наклон эквивалентной нормированной

характеристики в установившейся точке $\varphi=\varphi_0$.

При дальнейшем преобразовании на основе (18) получено выражение дисперсии разности фаз:

$$\sigma_\varphi^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{N_\xi(\omega)}{2} \left| \frac{S_y / pV_{ФД}}{N \left[1 + \frac{S_y V_{ФД} S_F}{N_p} \right]} \right|^2 d\omega = \frac{\sigma_\xi^2 \Delta f}{\Delta f_t S_F}, \quad (19)$$

где $\Delta f_t = \frac{\sigma_\xi^2}{\sigma_\varphi^2}$ - эквивалентная шумовая полоса приведенно-

$$N_{\xi}(0) \quad \text{го шума } \xi(t).$$

В случае, когда уровни внутренних фазовых шумов незначительны и ими можно пренебречь -

$$\varphi_{n \text{ д}} = \varphi_{n \text{ пг}} = \varphi_{n \text{ фд}} = \varphi_{n \text{ фнч}} = 0, \quad (20)$$

основной вклад в фазовые шумы на выходе дискриминатора вносит входной шум $\varphi_n = \varphi_{n \text{ вх}}$. Тогда дисперсия разности фаз будет выражаться в соответствии с (19) как:

$$\sigma_{\varphi}^2 = \frac{\sigma_n^2 \varphi (\Delta f / \Delta f_{\text{вх}})}{(\Delta f_{n\varphi} / \Delta f_{\text{вх}}) S_f}, \quad (21)$$

где $\Delta f_{n\varphi}$ - эффективная полоса приведенного входного шума для ФД с ограничителем, величина которой для входного фильтра с прямоугольной характеристикой и полосой пропускания $\Delta f_{\text{вх}}$ определяется выражениями, приведенными в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Полоса приведенного шума	$F_1(\varphi)$ - синусоидальная	$F_2(\varphi)$ - синусоидальная с ограничителем	$F_3(\varphi)$ - треугольная	$F_4(\varphi)$ - пилообразная
$\frac{\Delta f_{n\varphi}}{\Delta f_{\text{вх}}}$		$-\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \left[1 - \frac{\pi}{4} \right]$	$-\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \left[1 - \frac{\pi}{4} \right]$	$-\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \left[1 - \frac{\pi}{4} \right]$
	1	1+0,098e	1+0,098e	1+0,35e

Произведя подстановку

$$\sigma_{\varphi n}^2 = \frac{P_{\text{ш}}}{P_c} = \frac{\Delta f_{\text{вх}}}{\alpha \Delta f} \quad (22)$$

(здесь $\alpha = \frac{P_c}{N_0 \Delta f}$ - соотношение сигнал/шум в эффективной полосе системы), находим окончательное выражение дисперсии разности фаз системы с ограничителем при воздействии входного фазового шума:

для синусоидальной характеристики

$$\sigma_{\varphi c}^2 = \frac{\frac{1}{2d}(1-e^{-d})(\Delta F/\Delta f_{BX})}{(1+0,098e^{-d(1-\pi/4)})} \cdot \left[\frac{1}{2} \sqrt{\pi d} e^{-\frac{d}{2}} \left\{ I_0 \left[\frac{d}{2} \right] + I_1 \left[\frac{d}{2} \right] \right\} \right]^{-1}; \quad (23)$$

для треугольной характеристики

$$\sigma_{\varphi r}^2 = \frac{\frac{\pi^2}{12} + 2 \sum_{i=2,4,6,\dots}^{\infty} (-1)^{i/2} \sqrt{\pi d} e^{-\frac{d}{2}} \left\{ I_{\frac{i-1}{2}} \left[\frac{d}{2} \right] + I_{\frac{i+1}{2}} \left[\frac{d}{2} \right] \right\}}{(1+0,098 e^{-d(1-\pi/4)}) \frac{4}{\pi} \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} (-1)^{\frac{k-1}{2}} \frac{1}{2k} \sqrt{\pi d} e^{-\frac{d}{2}}} \cdot x$$

$$\rightarrow \frac{x \left\{ I_{\frac{k-1}{2}} \left[\frac{d}{2} \right] + I_{\frac{k+1}{2}} \left[\frac{d}{2} \right] \right\}}{x}; \quad (24)$$

для пилообразной характеристики

$$\sigma_{\varphi n}^2 = \frac{\frac{\pi^2}{3} + 2 \sum_{i=1,2,3,\dots}^{\infty} (-1)^i \frac{1}{i^2} \sqrt{\pi d} e^{-\frac{d}{2}} \left\{ I_{\frac{i-1}{2}} \left[\frac{d}{2} \right] + I_{\frac{i+1}{2}} \left[\frac{d}{2} \right] \right\} \cdot x}{(1+0,35 e^{-d(1-\pi/4)}) \sum_{i=1,2,3,\dots}^{\infty} (-1)^{i+1} \sqrt{\pi d} e^{-\frac{d}{2}}} \cdot x$$

$$\rightarrow \frac{x (\Delta F/\Delta f_{BX})}{x \left\{ I_{\frac{i-1}{2}} \left[\frac{d}{2} \right] + I_{\frac{i+1}{2}} \left[\frac{d}{2} \right] \right\}} \quad (25)$$

где $d = \frac{\alpha \Delta F}{\Delta f_{BX}}$.

Во второй части четвертой главы рассмотрены статистические характеристики квазиоптимальной по быстродействию системы ФАПЧ со знаковой характеристикой дискриминатора, анализируются статистические характеристики такой системы в установившемся режиме.

Пятая глава посвящена экспериментальному исследованию системы ФАПЧ с улучшенными динамическими характеристиками.

Первом разделе пятой главы рассматривается вопрос методики расчета помехоустойчивости оптимального аналогового СФД на основе ФАПЧ.

Полученные выражения позволяют составить методику расчета помехоустойчивости оптимального СФД второго порядка с ПФОМ и определить оптимальные параметры системы.

Таким образом, для заданного соотношения $(r_c/P_{ш})_{\text{вых}}$ можно рассчитать все основные оптимальные параметры СФД второго порядка.

Далее во втором разделе пятой главы исследуется характеристика демодулятора ЧМ сигнала на основе микросхемы 564ГТ1, разработана структурная схема экспериментальной установки, разработана методика экспериментальных исследований систем ФАПЧ, позволяющей разработчикам учесть все нюансы в достижении оптимальности устройств СФД, также разработана схема демодулятора и вспомогательного устройства (ВАУ) для формирования смеси сигнала и шума на промежуточную частоту $f_0 = 465$ кГц. Таким образом рекомендуемая методика экспериментального исследования позволит разработчикам учесть все недостатки в достижении оптимального устройства.

Оценка достоверности полученных теоретических результатов проводилась путем моделирования системы на экспериментальном макете.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы.

Проведенный в работе анализ позволяет сделать следующее заключение:

1. Выполнено аналитическое эквивалентное преобразование структур систем с периодическими переменными и указана их математическая и структурная взаимосвязь с целью упрощения решения ряда задач анализа и синтеза, включая их оптимизацию, исследования устойчивости.
2. Указаны структуры управляемых систем, соответствующие эквивалентным преобразованиям их математических моделей.
3. Разработана методика с соответствующими аналитическими выражениями.

Стефанника

- ниями, позволяющая определить оптимальный характер переходных процессов управляемых систем с расчетом всех его параметров.
4. Показано, что главное отличие оптимального управления систем с периодическими переменными по сравнению с оптимальными по быстродействию аналоговыми и дискретными системами являются наличие в оптимальном алгоритме управления не только временной составляющей, но и составляющей в функции ошибки систем.
 5. Предложена методика инженерного расчета электрических параметров синхронно-фазового демодулятора на основе ФАПЧ.
 6. Подтверждено аппаратурной реализацией оптимальных систем ФАПЧ эффективность полученных результатов.

По результатам проведенных исследований опубликованы работы:

1. Борщ В.И., Дикун А.А., Сево В.О., Шевченко Т.И. Особенности применения принципа максимума акад. Л.С.Повтрягина при исследовании Р-систем. // Тез. докл. науч.-техн. конф., "Синхронизация систем и сетей связи", 1990. - Одесса, 1990.
2. Борщ В.И., Вивчарук А.В., Коваль В.В., Сево В.О., Шевченко И.А., Теоретические основы проектирования быстродействующих устройств синхронизации // Тез. докл. науч.-техн. конф., Томск, 1990.
3. Борщ В.И., Вивчарук А.В., Коваль В.В., Лесовой И.П., Сево В.О. Статистические методы и устройства выделения трендов цифрового сигнала электросвязи. // Тез. докл. науч.-техн. конф., "Спутниковые системы связи и вещания: перспективы развития в Украине" 1993. - Одесса, 1993.
4. Борщ В.И., Кисленко Е.О., Сево В.О. Специфика применения метода фазового пространства при синтезе оптимальных по быстродействию систем фазовой синхронизации // Тез. докл. науч.-техн. конф., "Синхронизация систем с сетей связи". Часть II. 1990. - Одесса 1990.
5. Сево В.О. Повышение быстродействия системы ФАПЧ. / Одесск. электротехн. ин-т связи им. А.С.Попова. - Одесса, 1990. Деп. в ЦНТИ "Информсвязь", N10.

6. Сево В.О. Фазовый дискриминатор с управляемой прямоугольной характеристикой для быстродействующих систем синхронизации.// Одесск. электротехн. ин-т связи им. А.С.Попова, Одесса, 1990. Деп. в ЦНТИ "Информсвязь", №10.
7. Петров В.А., Сево В.О., Титенко В.Ф. Влияние ограничителя на статистические характеристики системы ФАПЧ первого порядка с различными видами фазового дискриминатора.// Техника средств связи. Сер.техн. радиосвязи. - 1993. - Вып.І.
8. Петров В.А., Титенко В.И., Сево В.О. Синтез оптимального по быстродействию синтезатора частоты на основе астатической системы ФАПЧ.//Техника средств связи. Сер.техн. радиосвязи.-1992.-Вып.І.
9. Разработка и исследование задающего устройства с применением микропроцессора для цифровой сети ЕАСС. Отчет о НИР (заключительный)/Одесск. электротехн. ин-т связи им. А.С.Попова. И Гос.рег. 01870008415, Инв. № 02900029560, Одесса, 1989.
10. Петров В.А., Сево В.О., Титенко В.Ф. Расчет помехоустойчивости оптимального аналогового синхронно-фазового демодулятора на основе ФАПЧ при приеме ЧМ-сигналов //Сборник научных трудов межвузовский "Теория и практика систем синхронизации" Под ред. А.Ф.Котова.-Москва, 1992.
11. Борщ В.И., Дискун А.А., Коваль В.В., Сево В.О. Оптимизация формирования периодических задающих воздействий телемеханических систем.//Тез.докл. научн.-техн.конф., 1990. - Одесса, 1990.
12. Титенко В.Ф., Севс В.О. Исследование характеристик демодулятора ЧМ сигнала на основе микросхемы ФАПЧ 564 ГПІ.// Тез. докл. науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников академии. 1994. Одесса,1994.

АННОТАЦИЯ

Виктор Олугбемига Сево /Нигерия/. Оптимизация структуры и управления объектами с периодическим по управляемой величине управляющими воздействиями.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02. Телекоммуникационные системы и управление ими. Украинская Государственная Академия связи им.А.С.Попова - Одесса, 1996.

Диссертационная работа посвящена анализу и синтезу системы с периодическими задающими, управляющими воздействиями и регулируемым величинами. Дана оценка эффективности использования методов эквивалентных преобразований структуры схем, позволяющей найти решение задачи в общем виде для систем любого порядка. Разработана методика, позволяющая определить оптимальный характер переходных процессов управляемых систем. Подтверждено аппаратурной реализацией оптимальных систем ФАПЧ эффективность полученных результатов.

Ключевые слова: Оптимизация структуры; эквивалентное преобразование; оптимально по быстродействию; управление и регулирование.

Annotation

Victor Olugbemiga Sewo /Nigerian/. Structural optimization and control of a system with variable control value and reactions. Doctor of philosophy in Telecommunication System and Control Speciality No 05.12-02. Ukrainian state Telecommunication academy named after A.S.Popov-Odessa, 1995.

Dissertation work is dedicated to Structural Optimization of automatic control Systems with variable inputs and reactions.

Block diagram transformation and reduction were effectively used, which help in solving complex problems including equation of the n th order the worked out method help in optimizing the transfer function of the control System.

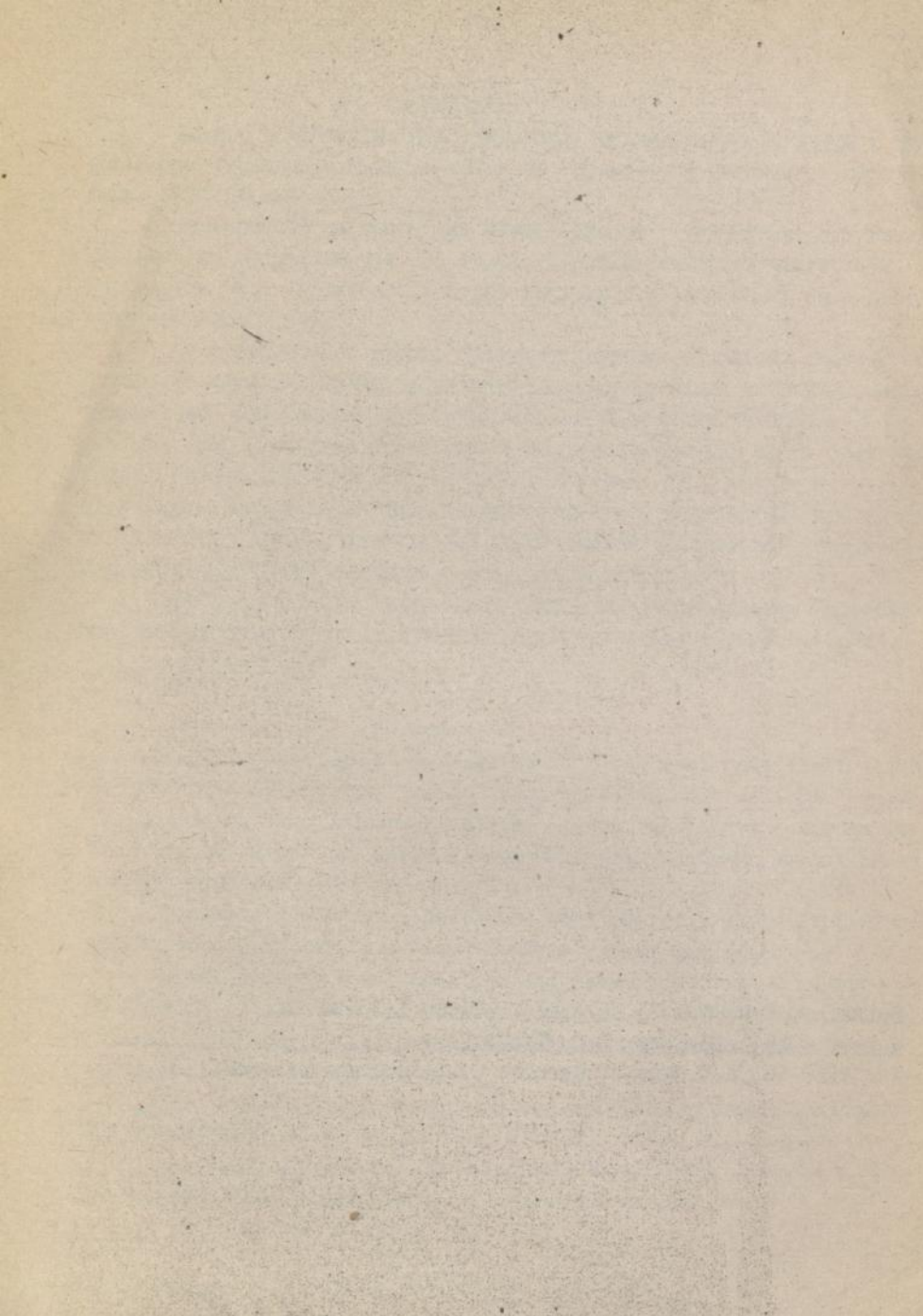
The theoretical research work was effectively used, in practically designing a PLL demodulator with an optimal characteristics.

Key words: Structural Optimization; equivalent transformation; fast-acquisition optimization; controls and regulations.

Подписано к печати 26.04.1996 г. Объем 1,25 печ.л.

Формат 60x84^I/16. Зак. 160. Тираж 110.

Тип УГАС им. А.С.Попова. Одесса, Старопортофранковская, 61



AB. 3. H. 8. 7.

AB 34.845