

Ш-669

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

ПЕЦЛЯРСКИЙ Владимир Иванович

УДК 621.375.026:681.327+681.337

ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКОЙ
В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯ

05.13.16 -- Применение вычислительной техники,
математического моделирования и
математических методов в научных
исследованиях

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна - 1991

Работа выполнена во Львовском ордена Ленина политехническом институте имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель: доктор технических наук
В.Н.Шкунденков

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
профессор А.Ф.Писарев
кандидат технических наук
В.И.Проць

Ведущая организация - Московский радиотехнический институт
АН СССР

Защита диссертации состоится "4" июня 1991 г.
в 10 час. 30 мин. на заседании Специализированного совета
при лаборатории вычислительной техники и автоматизации
Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "5" мая 1991 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета
к.ф.-м.н.

Иванченко З.М.Иванченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работ. Возрастающая интенсивность экспериментальных исследований вызывает необходимость автоматизации обработки получаемых массивов информации с применением ЭВМ. Это привело к необходимости создания автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), построению и развитию которых в настоящее время уделяется особое внимание. АСНИ, ориентированные на обработку изображений, выделились в особый класс автоматизированных систем - автоматизированные системы обработки изображений (АСОИэ). В настоящее время находят широкое применение фотографические методы исследования. Использование ЭВМ при обработке фотоизображений (ФИ) позволяет повысить точность и объективность обработки результатов эксперимента, значительно расширить область применения фотографических методов.

При обработке ФИ используются устройства ввода информации, устройства вывода информации, устройства отображения информации (УОИ), в том числе точечно-координатного типа, на электронно-лучевых трубках (ЭЛТ) с магнитным отклонением, которое позволяет сделать процессы измерения и распознавания образов на ФИ более гибкими и на этой основе получить значительные преимущества в сравнении с использованием для этих целей оптико-механических систем.

Важным узлом, входящим в системы обработки ФИ являются устройства позиционирования (УП), преобразующие сигнал позиционирования луча, сформированный, например, цифро-аналоговым преобразователем или любым другим формирователем, в ток катушек отклонения (КО). При вводе ФИ точность ввода определяется точностью позиционирования луча на экране ЭЛТ. Суммарная погрешность позиционирования луча при действии всех дестабилизирующих факторов должна быть, как правило, не больше половины перемещения луча в соседнюю адресуемую точку. Аналогичные требования предъявляются к устройствам вывода информации на фотоноситель. Поэтому главная задача устройств ввода-вывода (УВВ) - точность ввода или вывода изображения, которая в первую очередь определяется точностью формирования тока в КО. При выводе обрабатываемых изображений на экране УОИ требуемая точность позиционирования луча определяется предельной разрешающей способностью глаза оператора, и, как правило, она гораздо ниже точности, которую необходимо обеспечить при выводе или вводе ФИ. При визуализации изображения важным фактором является частота кадровой развертки изображения, которая зависит от количества выводимых элементов изображения в одном кадре и от времени вывода одного элемента изо-

бращения. В этой связи быстродействие УОИ принимает доминирующее значение. Поэтому главной задачей УП, используемых для УВВ, следует считать высокоточное формирование тока, в то время как в УП для УОИ следует уделять в первую очередь внимание времени установления тока. В этой связи УП целесообразно классифицировать на две группы: прецизионные, используемые для УВВ, и быстродействующие, предназначенные для УОИ.

Вопросы практики и слабое освещение проблемы в литературе потребовали, во-первых, изучения источников статических погрешностей при формировании тока, исследования переходных режимов работы УП и способов реализации активного режима работы УП, когда формируется импульс готовности, соответствующий установлению тока с требуемой динамической точностью, и во-вторых, выработки методических рекомендаций по разработке прецизионных УП и быстродействующих УП.

Настоящая работа выполнена в рамках целевой программы ГНТ ОЦ.027 (задание 05.59), утвержденной постановлением ГНТ № 474/250/132 от 12.12.80 "Создание и развитие автоматизированных систем научных исследований и систем автоматизированного проектирования с применением стандартной аппаратуры "КАМАК" и измерительных-вычислительных комплексов".

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является исследование прецизионных УП и быстродействующих УП и разработка рекомендаций по практическому применению результатов при проектировании этих устройств. В соответствии с поставленной целью требовалось решить следующие основные задачи:

- разработать алгоритмы управления УОИ;
- исследовать статические погрешности при формировании тока в КЮ;
- исследовать динамические погрешности установления тока при гармонических воздействиях на УП;
- исследовать переходные процессы установления тока при негармонических воздействиях на УП и разработать методику определения их длительности;
- исследовать устойчивость УП при различных вариантах построения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) УП;
- исследовать возможные пути реализации активного режима работы, обеспечивающего формирование импульса готовности при установлении тока с требуемой динамической точностью;
- исследовать возможные пути аналогового изменения масштаба изображения на экране ЭЛТ;
- использовать полученные теоретические результаты для разработки УП;

- разработать методики расчета прецизионных УП и быстродействующих УП;
- разработать прецизионные УП для автоматизированных систем обработки ФИ и быстродействующие УП для УОИ.

Методы исследований. При выполнении работы использовались теоретические и экспериментальные методы исследования. Анализ преобразования входного сигнала в ток выполнен на моделях операционных систем второго, третьего и четвертого порядков с использованием операционного и классического методов исследования электронных схем. При исследовании суммарной статической погрешности использовались основы теории погрешностей. Анализ устойчивости выполнен на основании критерия устойчивости Найквиста на реальных диаграммах Бode. Проверка отдельных теоретических положений и разработанных методов определения времени установления тока, устойчивости УП и погрешности установления тока осуществлялась путем сравнения расчетных и экспериментальных данных.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- показано влияние составляющих статической погрешности при формировании тока в КЮ и получены формулы для их расчета;
- исследована зависимость составляющих динамической погрешности тока от частоты сигнала позиционирования и получены выражения для их расчета;
- исследована зависимость времени установления тока с требуемой динамической точностью при негармонических воздействиях для прецизионных и быстродействующих УП; получены формулы для определения времени установления тока в КЮ в зависимости от построения АЧХ УП;
- проанализирована устойчивость прецизионных и быстродействующих УП при различных вариантах построения АЧХ УП; получены аналитические выражения определения эквивалентных частот отдельных каскадов усилителя УП для обеспечения устойчивой работы УП в зависимости от количества применяемых каскадов усиления;
- проанализированы различные варианты обеспечения активного режима работы УП, учитывающего как время установления тока в КЮ, так и время установления магнитного потока с требуемой динамической точностью и приведены их структурные схемы.

Практическая ценность. Показано влияние неизученных источников статической погрешности на точность формирования тока в КЮ и разработаны рекомендации по уменьшению влияния отдельных составляющих статической погрешности. Получены аналитические выражения для опре-

деления отдельных составляющих статической погрешности.

Предложен метод определения времени установления тока при негармоническом воздействии. Получены математические соотношения, позволяющие определить время установления тока с требуемой динамической точностью. Временные зависимости погрешности установления тока приведены в виде графиков, что упрощает проектирование УП.

Разработаны на уровне изобретений прецизионные и быстродействующие УП с активным режимом работы, учитывающие время установления тока в КУ и магнитного потока с требуемой динамической точностью, и методики расчета прецизионных и быстродействующих УП.

Реализация результатов работы. Полученные при выполнении работы результаты использовались при разработке прецизионных УП для обмера снимков на 35-мм фотопленке в сканирующем автомате на ЭЛТ, прецизионных УП сканирующего устройства электронной фотонаборной системы ФА-ВС, прецизионных УП сканирующего устройства для обработки ФИ широкого формата, прецизионных УП системы вывода графической информации на микрофильм, прецизионных УП автоматизированного комплекса обмера прецизионных ЭЛТ, быстродействующих УП для дисплеев-мониторов ДМ-1243 и ДМ-1043, быстродействующих УП для дисплей-монитора ДМ-1043М2, быстродействующих УП для обмера снимков на широкой пленке. Блок прецизионных УП сканирующего устройства для обмера снимков широкого формата выполнен по схеме, учитывающей время установления магнитного потока с заданной точностью, что позволило повысить точность позиционирования луча на экране ЭЛТ высокой разрешающей способности до 2 мкм. Блок прецизионных УП автоматизированного комплекса обмера прецизионных ЭЛТ выполнен с использованием подпитки на время переходного процесса, что позволило уменьшить время установления тока при сохранении высокой точности преобразования входного сигнала позиционирования в ток отклонения с 150 мкс до 55 мкс. Блоки быстродействующих УП дисплеев-мониторов выполнены с использованием активного режима работы, учитывающего время установления тока в КУ с требуемой динамической точностью, что позволило повысить быстродействие системы обработки информации на 40% и улучшить качество отображаемой информации.

Суммарный экономический эффект от внедрения разработанной во Львовском политехническом институте аппаратуры, в состав которой входят УП, составляет более 500000 рублей.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Всесоюзных научно-технических конференциях "Развитие и совершенствование телевизионной техники" (Львов; 1984 г., Минск,

1988 г.); на IX Всесоюзной конференции "Планирование и автоматизация эксперимента в научных исследованиях", Москва, 1989 г.; на региональной конференции "Обработка изображений и дистанционные исследования ОИДИ-81", Новосибирск, 1981 г.; на региональном семинаре "Повышение эффективности и качества ЭЛП и устройств и их применение в народном хозяйстве", Киев, 1988 г.; на региональном научно-техническом семинаре "Теоретические и прикладные проблемы информации", Львов, 1987 г.; на межотраслевой научно-производственной конференции "Развитие и совершенствование телевизионной техники", Львов, 1990 г.; на научно-технических конференциях Львовского политехнического института, 1976 - 1989 г.г.

Публикации. По материалах диссертационной работы опубликовано 29 печатных работ, из них 11 - изобретения.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложения и изложена на 235 страницах, из них 3 страницы оглавление, 45 - рисунки, 16 - список литературы, содержащий 144 наименования, 46 - приложение.

Основные положения выносимые на защиту:

- метод определения времени установления тока в КУ с требуемой динамической точностью при подаче на вход УП единичного скачка путем определения сигнала на резисторе обратной связи (ОС) исходя из суммарной АЧХ УП, определения величины тока, соответствующего сигналу ОС и определения времени установления тока с требуемой динамической точностью;
- методики проектирования УП в зависимости от их функционального использования в системах обработки ФИ;
- практические результаты исследования путей снижения потребляемой быстродействующими УП мощности;
- результаты исследований и разработки прецизионных УП, практические результаты исследований отдельных составляющих статической погрешности при формировании тока; результаты исследований достижимого быстродействия отклонения луча в прецизионных системах обработки ФИ;
- результаты исследований и разработки УП, обеспечивающих активный режим работы; результаты исследования влияния неустойчивости позиционирования луча на точность измерения координат в телевизионных УОИ;
- результаты исследований времени установления тока в КУ в быстродействующих и прецизионных УП с требуемой динамической точностью

при подаче на их вход негармонических воздействий;
- результаты исследований и разработки алгоритмов управления УОИ.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности проведения исследований по теме диссертации и круга вопросов, требующих решения в процессе исследований. Определены цели и конкретные задачи исследований. Показана также структура диссертации и выделены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации рассматриваются вопросы использования ЭЛТ в автоматизированных системах обработки ФИ. Анализируются основные технические параметры УВВ и УОИ с применением ЭЛТ. Показано, что такие параметры этих устройств, как точность позиционирования луча на экране ЭЛТ, стабильность положения луча, быстродействие (перемещение луча в точку с заданными координатами с требуемой точностью) определяются в основном параметрами УП. Разработаны алгоритмы программы управления УОИ. Предложена классификация УП, проанализированы основные требования, предъявляемые УП, и источники погрешности позиционирования луча на экране ЭЛТ. Для обеспечения требуемых параметров УП, они выполняются, как правило, по схеме усилителя постоянного тока с очень высокой граничной частотой усиления, не редко превышающей десятки МГц, и применением глубокой отрицательной обратной связи (ООС) по току. Известно, что возможны три структурные схемы, обеспечивающие преобразование входного сигнала в выходной ток: 1) преобразование входного напряжения в выходной ток с использованием параллельной ООС по току - параллельный преобразователь "напряжение - ток"; 2) преобразование входного напряжения в выходной ток с использованием последовательной ООС по току - последовательный преобразователь "напряжение - ток"; 3) преобразование входного тока в выходной ток с использованием параллельной ООС по току - усилитель тока. Для схемы параллельного преобразователя "напряжение - ток" ток в нагрузке представим в виде:

$$I = - \frac{R_2 + R_{oc}}{R_1 R_{oc} (1 + 1/\beta K)} \left[U_c - E_{om} \frac{R_1 + R_2 + R_{oc}}{R_2 + R_{oc}} - I_{om} R_1 - E_{тадс} \frac{R_1}{R_2 + R_{oc}} \right],$$

где R_1, R_2 - сопротивления сравнивающих резисторов, R_{oc} - сопротивление резистора ОС; K - коэффициент усиления без ОС; E_{om} .

$I_{om}, E_{тадс}$ - генераторы ошибок. В этом выражении первый множитель $(R_2 + R_{oc}) / (R_1 R_{oc})$ определяет идеальный коэффициент передачи, второй множитель $1 / (1 + 1/\beta K)$ - динамическую ошибку E , так как величина коэффициента K зависит от частоты, третий множитель (в квадратных скобках) без учета U_c - статическую ошибку δ .

При подаче на вход УП единичного скачка в зависимости от его амплитуды каскады усилителя могут работать как в линейном режиме, так и в режиме насыщения вследствие разрыва ОС из-за большой разницы амплитуд входного сигнала и сигнала ОС. Полное время установления тока в нагрузке определится как: $\tau_y = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$, где $\tau_1 = 2\tau_{ко} \tau_y / (\tau_{ко} + \tau_y)$; $\tau_{ко} = L / R_{oc}$; L - индуктивность КД; τ_y - постоянная времени усилителя УП, представленного в виде одного инерционного звена, $\tau_3 = LI / U$, I - величина изменения тока в КД; U - напряжение, прикладываемое к нагрузке на время переходного процесса. Длительность третьей фазы τ_3 зависит от требуемой динамической точности.

Глубокая ОС в УП может стать причиной нарушения устойчивости. Дополнительные сложности по обеспечению устойчивости накладывает комплексная нагрузка. За пределами области средних частот (свыше 3 - 10 кГц) коэффициент ОС перестает сохранять вещественное значение и становится комплексным, фаза напряжения ОС начинает существенно изменяться и действие ООС, направленное на обеспечение заданных параметров, уменьшается. На устойчивость УП влияют его коэффициент усиления без ОС, глубина ОС, постоянная времени $\tau_{ко}$. УП с нагрузкой представляет собой операционную систему как минимум второго порядка, которая может быть лишь условно устойчивой. Показано, что при определении запаса устойчивости как по амплитуде, так и по фазе, наиболее целесообразно в практической работе использовать критерий устойчивости Найквиста при его графо-аналитической реализации.

Проанализированы различные составляющие погрешности позиционирования луча на экране ЭЛТ, которые определяются остаточным отклонением, обусловленным магнитным гистерезисом материала магнитопровода системы отклонения, неперпендикулярностью пучка к экрану ЭЛТ, пульсациями и нестабильностью источников питания ЭЛТ, взаимосвязью между катушками отклонения, связью между координатной и знаковой отклоняющей системами, если они выполнены на одном каркасе, развязыванием электронно-оптических элементов, влиянием вихревых токов в конструктивных элементах фокусирующе-отклоняющего

комплекса, внешними наводками от электрических и магнитных полей, погрешностью всех схем, формирующих сигналы позиционирования луча на экране ЭЛТ. С позиции теории погрешностей все вышеприведенные погрешности позиционирования луча носят систематический или случайный характер. В работе указаны некоторые пути уменьшения различных составляющих погрешности позиционирования луча на экране ЭЛТ. Отмечено, что в известной литературе мало исследованы погрешности позиционирования на экране ЭЛТ за счет электронных схем, формирующих ток в Ю.

Во второй главе содержатся результаты исследования и разработки прецизионных УП для сканирующих устройств автоматизированных систем обработки ФИ. Показано, что статическая погрешность при формировании тока δ будет определяться погрешностями, вносимыми нестабильностью сравнивающих резисторов и резистора ОС δ_R , вносимой тепловым дрейфом напряжения смещения $\delta_{U_{см}}$ и тепловым дрейфом входных токов $\delta_{I_{вх}}$, вносимой нестабильностью коэффициента усиления усилителя без учета действия ОС δ_K , вносимой термоэлектродвижущей силой резистора ОС $\delta_{ТЭДС}$, вносимой шумами $\delta_{ш}$ и $\delta_{I_{ш}}$ и погрешностью за счет нестабильности источников питания δ_E . Поскольку отдельные составляющие статической погрешности некоррелированы, то общая статическая погрешность δ определяется как:

$$\delta = \sqrt{\delta_R^2 + \delta_{U_{см}}^2 + \delta_{I_{вх}}^2 + \delta_K^2 + \delta_{U_{см}}^2 + \delta_{I_{ш}}^2 + \delta_{ТЭДС}^2 + \delta_E^2}$$

Приведены аналитические выражения для определения отдельных составляющих погрешности для различных схем реализации УП. Анализ отдельных источников погрешности показал, что наибольшее влияние оказывают погрешности за счет нестабильности резистора ОС и за счет дрейфа напряжения смещения. Указаны пути уменьшения составляющих статической погрешности, которые оказывали наибольшее влияние.

Показано, что при комплексной нагрузке динамическая погрешность ϵ будет определяться погрешностями за счет конечной величины пелелевого усиления ϵ_K , за счет прямого прохождения сигнала ϵ_n , за счет синфазной входной емкости ϵ_c :

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_K^2 + \epsilon_n^2 + \epsilon_c^2}$$

При этом:

$$\epsilon_K = \sqrt{\left(\frac{K_2 + \frac{\omega^2 R_1}{\omega_1}}{K_0} + \left[\omega \left(\frac{K_2}{\omega_1} + \frac{R_1}{K_0}\right)\right]^2\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{K_2}{K_0} - \frac{\omega^2 R_1}{\omega_1}\right)^2 + \left[\omega \left(\frac{K_2}{\omega_1} + \frac{R_1}{K_0}\right)\right]^2}$$

$$\epsilon_n = \sqrt{\frac{(2\omega R_{oc} R_2 + \omega^2 L R_2 K_0)^2 + \omega^2 (2R_{oc} R_2 K_0 + \omega_1 L R_2)^2}{\left[(\omega_1 R_{oc} K_0 + \omega^2 L K_0) R_2\right]^2 + \omega^2 (2R_{oc} K_0 + \omega_1 L) R_2^2}}$$

где ω - текущая частота, ω_1 - частота единичного усиления, L - индуктивность Ю, R_1, R_2 - сопротивления сравнивающих резисторов, R_{oc} - сопротивление резистора ОС, $K_2 = (R_1 \cdot R_2) / R_1$, K_0 - коэффициент усиления без учета действия ОС в области низких частот. Показано, что для уменьшения динамической погрешности при формировании тока в области высоких частот необходимо идти по пути увеличения сопротивления резистора ОС, частоты ω_1 , уменьшения индуктивности L . Предложена структурная схема УП, позволяющая уменьшить динамическую погрешность при гармоническом воздействии.

Частотный анализ динамических погрешностей обеспечивает относительно компактную форму представления результатов, однако он не дает ответа на вопрос - какво время установления тока в нагрузке с заданной точностью. В этой связи предложен метод определения времени установления тока в Ю с требуемой динамической погрешностью который заключается в следующем. Строится суммарная АЧХ УП с учетом действия Ю и шунтирующего резистора, которая имеет вид, представленный на рис.1. Такой вид АЧХ приводит к интегрирующему частотно-му дублету, т.е. к появлению компенсированной пары полюс - нуль, вследствие чего резко возрастает время установления величины выходного тока, если требуется большая динамическая точность (как правило, меньше 0,3 - 1%). Для анализа УП представлен идеализированной системой с единственным реальным параметром - коэффициентом усиления K без ОС:

$$K = \omega_1 (1 + p/\omega_2) / p (1 + p/\omega_p)$$

где ω_2 и ω_p - частоты излома АЧХ, соответствующие изменению скорости спада на + 20 дБ/дек. и - 20 дБ/дек. соответственно. При подаче на вход такого УП единичного скачка с амплитудой E_c при работе всех каскадов в линейном режиме ток в Ю будет изменяться

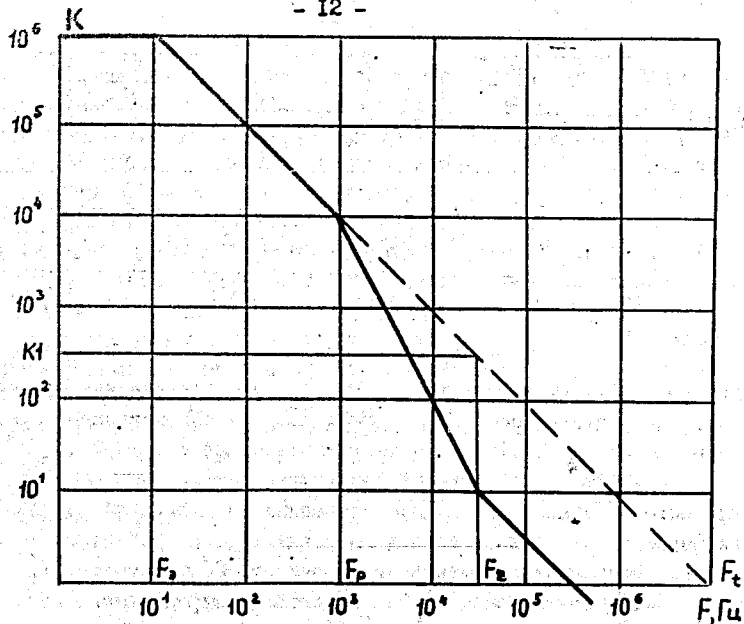


Рис. 1.

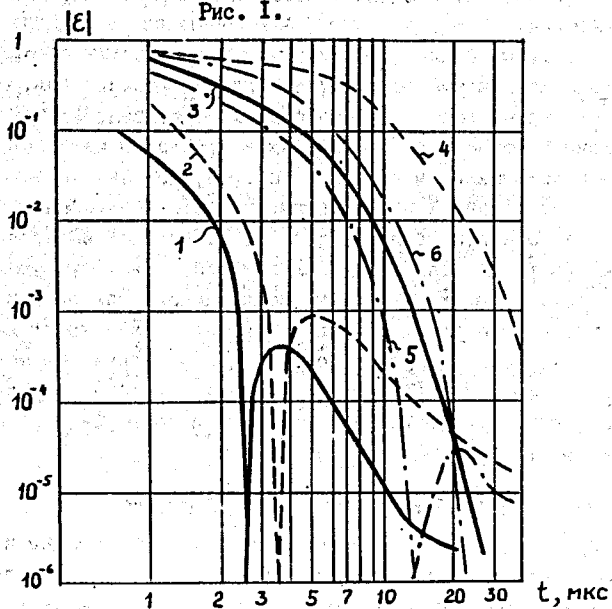


Рис. 2.

по закону:

$$I_1(t) = \frac{E_c R_w}{R_{oc}(r+R_w)} \left[a(1 - e^{-\omega_1 t}) + b(1 - e^{-\omega_2 t}) \right] (1 - e^{-\rho t}),$$

где ρ - корень характеристического уравнения $\rho = (r+R_w)/L$,
 ω_1, ω_2 - частоты, соответствующие расположению полюсов АЧХ:

$$\omega_1, \omega_2 = -(\omega_p/2\omega_z) \left[(\omega_t + \omega_z \pm (\omega_t - \omega_z) \times \sqrt{1 + 4(1 - \omega_t/\omega_p)\omega_t\omega_z/(\omega_t - \omega_z)^2}) \right],$$

а дополнительные коэффициенты a и b определяются выражениями: $a = (K-1)/(K+1)$, $b = 1-a$, $K = \omega_p/\omega_z$. Временная зависимость динамической погрешности установления тока ξ представлена в виде:

$$\xi(t) = 1 - a(1 + e^{-(\omega_1 + \rho)t} - e^{-\rho t} - e^{-\omega_1 t}) - b(1 + e^{-(\omega_2 + \rho)t} - e^{-\omega_2 t} - e^{-\rho t})$$

Временные зависимости погрешности установления напряжения ОС (1, 2, 5) и тока в Ю (3, 4, 6) при $L = 100$ мкГн и $L = 1600$ мкГн (2, 4, 5, 6) для оптимальной (1, 2, 3, 4) и квазиоптимальной (5, 6) коррекции АЧХ представлены на рис. 2. Эти графики позволяют определить время установления тока при подаче на вход УП сигналов, величина которых не превышает $E_{c\text{пор}}$, т.е. все каскады усилителя работают в линейном режиме.

Исследованы прецизионные УП на предмет предельного быстродействия, которое можно реализовать исходя из конструктивных параметров отклоняющих систем, используемых в сканирующих устройствах на прецизионных ЭЛТ. Получено математическое выражение для определения быстродействия.

Анализ устойчивости прецизионных УП при различных вариантах построения АЧХ показал, что при двухкаскадном усилителе эквивалентную частоту второго каскада необходимо выбирать из условия:

$F_{z2} > (5 - 8) F_{кр}$, где $F_{кр}$ - собственная резонансная частота Ю, а при трехкаскадном необходимо выполнение условия:

$$F_{33} > [(3 \div 5) K_0 \sqrt{K1 / K1}] F_s$$

Исследования различных вариантов построения прецизионного УП, использующего активный режим работы, показало, что в прецизионных УП необходимо учитывать также установление отклоняющего магнитного потока, для чего наиболее целесообразно использовать нелинейный преобразователь "напряжение - время", позволяющий учитывать время установления луча по экрану с заданной динамической точностью.

В третьей главе исследовались быстродействующие УП для УОИ. Показано, что разрабатывать УОИ с разрешающей способностью больше 1000 линий нецелесообразно. Исходя из этого определены основные требования к УП по точности и стабильности. Проанализированы различные варианты построения АЧХ быстродействующих УП. Исследованы точность и быстродействие УП, типичная суммарная АЧХ которых реализована в соответствии с рис. 3. Показано, что ток в Ю в этом случае будет изменяться по закону:

$$I(t) = \frac{E_c \omega_{кр} L}{R_{oc}(r + \omega_{кр} L)} \left[a(1 - e^{-\omega_1 t}) + b(1 - e^{-\omega_2 t}) + c(1 - e^{-\omega_3 t}) \right] (1 - e^{-at}),$$

где $a_1 = K2/(1 + K2)$; $b = (K1 - K2)/(1 + K1)(1 + K2)$,
 $c = 1/(1 + K1)$, $p_1 \approx \omega_{кр}$, а $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ - частоты, соответствующие расположению полюсов АЧХ. Анализ приведенного выражения показывает, что наличие интегрирующего и дифференцирующего частотных дублетов приводит к тому, что переходная функция тока будет изменяться по закону, соответствующему произведению суммы трех экспонент с разными постоянными времени на четвертую экспоненту, постоянная времени которой определяется собственной резонансной частотой Ю. Доказано, что излом АЧХ ω_2 должен соответствовать коэффициенту усиления без ОС $K > 1$, причем значительное увеличение K не дает существенного выигрыша по быстродействию, а ухудшает условия устойчивости схемы. Предложен метод определения запаса устойчивости при экспериментальных исследованиях устойчивости УП, заключающийся в определении величины перерегулирования Δ на резисторе ОС при подаче на вход УП единичного скачка малой амплитуды. Показано, что с достаточной для практики точностью величину запаса устойчивости по фазе можно определить из соотношения $\Phi_m = \arcsin(1 - \Delta)$.

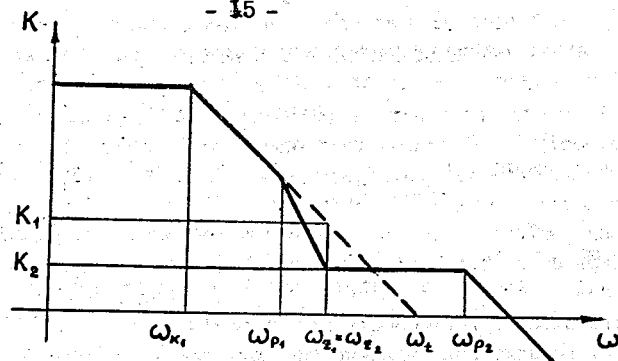


Рис. 3.

Отмечено, что оптимальным следует считать такое построение АЧХ УП, когда эквивалентные частоты двух наиболее низкочастотных каскадов усилителя совпадают с собственной резонансной частотой Ю, приведены математические выражения для определения эквивалентных частот третьего и четвертого каскадов.

Исследованы пути снижения потребляемой УП мощности в УОИ с регулируемым масштабом изображения. Приведены аналитические выражения для определения потребляемой мощности в случаях, когда амплитуда сигнала позиционирования ограничивалась на уровне, соответствующем крайнему положению луча на экране ЭЛТ, и последующим сохранением этого уровня или обнулением сигнала позиционирования на время нахождения информации вне видимости экрана ЭЛТ. Анализ показал, что более эффективным является второй способ, однако при этом предъявляются повышенные требования по рассеиваемой мощности к каскадам подпитки.

В четвертой главе приведены результаты проектирования и изготовления различных УП как для систем обработки информации, так и для УОИ с использованием ЭВМ. Изготовление образцов с последующим их испытанием, а также длительной эксплуатацией, позволило тщательно проверить правильность и эффективность полученных в работе теоретических положений и практических выводов. Приведены основные технические параметры разработанных прецизионных и быстродействующих УП.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Исследованы источники статической погрешности, влияющие на точность формирования тока прецизионными УП. Получены математические выражения для определения суммарной величины статической погрешности и отдельных её составляющих. Экспериментальные исследования резистора обратной связи указали пути уменьшения нестабильности за счет соответствующего выбора запаса по мощности и комбинированного соединения резисторов, что позволило уменьшить суммарную статическую погрешность при формировании тока до 1×10^{-5} .

2. Исследованы динамические погрешности формирования тока при подаче на вход УП гармонического сигнала. Получены математические выражения для определения отдельных составляющих динамической погрешности. Показано, что дополнительная коррекция позволяет уменьшить динамическую погрешность в области высоких частот (0,5 - 2 МГц) в 3 - 4 раза.

3. Исследованы временные зависимости динамической погрешности установления тока как прецизионными, так и быстродействующими УП в зависимости от их суммарной АЧХ. Разработаны методики определения допустимой величины динамической погрешности и времени установления тока при негармонических воздействиях на входе УП, что позволило упростить разработку устройств, формирующих токи с требуемой динамической точностью.

4. Теоретически оценено предельное быстродействие при формировании тока прецизионными УП исходя из конструктивных параметров отклоняющей системы.

5. Исследованы различные критерии устойчивости в применении к УП как при их проектировании, так и при экспериментальной проверке в малосигнальном режиме и в режиме большого сигнала. Предложен способ практического определения запаса устойчивости по фазе, позволивший значительно упростить аппаратное обеспечение при проведении эксперимента по определению запаса устойчивости УП. Приведены математические выражения, позволяющие определять эквивалентные частоты усилительных каскадов УП для обеспечения его устойчивой работы, что позволит значительно упростить разработку устойчивых УП.

6. Исследованы пути снижения, потребляемой быстродействующими УП, мощности в УОИ с переменным масштабом изображения для случая, когда изменение масштаба изображения осуществляется за счет изме-

нения амплитуды сигнала позиционирования. Предложенный способ с обнулением сигнала на время нахождения изображения вне видимости экрана ЭЛТ позволил уменьшить среднюю потребляемую мощность, например, с 55 Вт до 30 Вт при масштабе изображения 10:1.

7. Исследована возможность использования активного режима работы, учитывающего как время установления тока, так и время установления луча на экране ЭЛТ с требуемой динамической точностью. Разработаны структурные схемы прецизионного и быстродействующего УП, обеспечивающие их активный режим работы, который позволяет формировать импульс готовности при установлении тока с точностью 0,003 - 0,01% в прецизионных УП и 0,1 - 0,3% в быстродействующих УП.

Разработанные способы и устройства защищены авторскими свидетельствами СССР на изобретения.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Глиненко К.С., Шклярский В.И. К определению времени установления тока в усилителях с индуктивной нагрузкой // Вестник Львовского политехнического института. Радиоэлектронные системы и устройства. - Львов: Вища школа, 1976. - № 103. - С. 109 - 111.
2. Грицкив З.Д., Шклярский В.И. Об эффективности использования импульса установки координат в индикаторе с цифровыми развертками // Вестник Львовского политехнического института. Доклады и научные сообщения. - Львов: Вища школа, 1976. - № 7. - С. 138 - 140.
3. Индикаторы на ЭЛТ для вывода графических и цифровых данных / К.С.Глиненко, З.Д.Грицкив, В.И.Шклярский и др. // Автометрия. - 1977. - № 4. - С. 91 - 95.
4. Грицкив З.Д., Шклярский В.И. Влияние нестабильности разверток на погрешность измерения координат в телевизионном устройстве отображения информации // Контрольно - измерительная техника. Выпуск 25. Республиканский межведомственный научно - технический сборник. - Львов: Вища школа, 1979. - С. 163 - 166.
5. Выбор режима сканирования и особенности построения дисплея - монитора - телевизора / М.К.Баранчук, В.Н.Шкунденков, В.И.Шклярский и др. // - Препринт. - Дубна, 1980. - 8 с. - Объединенный институт ядерных исследований, № Р10 - 80 - 234.
6. Дисплей - лупа для сканирующего автомата на ЭЛТ / М.К.Баранчук, В.Н.Шкунденков, В.И.Шклярский и др. // - Препринт. -

Дубна, 1980. - 4 с. - Объединенный институт ядерных исследований, № Р10 - 80 - 230.

7. Телевизионная часть сканирующего автомата типа АЭЛТ - I / М.К.Баранчук, В.И.Шклярский, В.Н.Шкунденков и др. // - Препринт. - Дубна, 1980. - 8 с. - Объединенный институт ядерных исследований, № Р10 - 80 - 232.
8. Глиненко К.С., Шклярский В.И. Устройство отображения информации для обработки сейсмических данных. - В кн.: Обработка изображений и дистанционные исследования. Тезисы докладов региональной конференции. - Новосибирск, 1981. - С. 140 - 141.
9. Туркинов Г.А., Шклярский В.И. О защите усилителя от перегрузки // Вестник Львовского политехнического института. Теория и проектирование полупроводниковых и радиоэлектронных устройств и систем. - Львов: Вища школа. - 1983. - № 152. - С. 102 - 104.
10. Шклярский В.И. Об уменьшении динамической ошибки усилителя отклонения на высокой частоте // Вестник Львовского политехнического института. Расчет и проектирование автоматизированных и радиоэлектронных устройств. - Львов: Вища школа. - 1983. - № 176. - С. 153 - 156.
11. Сканирующий блок на основе ЭЛТ для устройства вывода графической информации из ЭВМ на микрофильм (СУВИМ) / З.Д.Грицкив, В.И.Шклярский, Б.В.Коваль и др. // Информационный листок о научно - техническом достижении. - Львовский ЦНТИ. - 1985. - № 85 - 38 - 4 с.
12. Шклярский В.И. Снижение потребляемой мощности устройством отображения информации на ЭЛТ с регулируемым масштабом изображения // Вестник Львовского политехнического института. Теория и проектирование полупроводниковых и радиоэлектронных устройств. - Львов: Вища школа. - 1988. - № 3. - С. 113 - 118.
13. Грицкив З.Д., Шклярский В.И. Предельное быстродействие отклонения луча в сканирующих устройствах на прецизионных ЭЛТ // Автометрия. - 1988. - № 3. - С. 98 - 100.
14. Туркинов Г.А., Шклярский В.И. Некоторые особенности построения развертки телевизионных устройств отображения информации, работающих в двух режимах // Тезисы Всесоюзной научно - технической конференции: Развитие и совершенствование технических средств телевизионного вещания. - М.: Радио и связь, 1988. - С. 91.
15. Шклярский В.И. Статическая погрешность формирования тока в катушках отклонения устройств позиционирования луча ЭЛТ //

Вестник Львовского политехнического института. Теория и проектирование полупроводниковых и радиоэлектронных устройств. - Львов: Вища школа. - 1988. - № 226. - С. 94 - 98.

16. Грицкив З.Д., Шклярский В.И. Высокостабильный усилитель отклонения для сканирующих устройств на прецизионных ЭЛТ / Львовский политехнический институт. - Львов, 1989. - 16 с. - Деп. в УкрНИИТИ 04.04.89, № 980 - Укр89.
17. Шклярский В.И. О динамической погрешности формирования тока в катушках отклонения устройств позиционирования луча ЭЛТ // Вестник Львовского политехнического института. Теория и проектирование полупроводниковых и радиоэлектронных устройств. - Львов: Вища школа. - 1989. - № 236. - С. 122 - 126.
18. Шклярский В.И. Обеспечение устойчивости устройств позиционирования луча прецизионных ЭЛТ // Вестник Львовского политехнического института. Теория и проектирование полупроводниковых и радиоэлектронных устройств. - Львов: Вища школа. - 1990. - № 245. - С. 110 - 113.
19. А.с. 585549 СССР, М. Кл.² G06K 15/20. Устройство для отображения графической информации на экране электронно - лучевой трубки / З.Д.Грицкив, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1978, Бюл. № 2.
20. А.с. 720435 СССР, М. Кл.² G06K 15/20. Устройство для отображения информации на экране электронно - лучевой трубки (ЭЛТ) / О.А.Романенко, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1980, Бюл. № 9.
21. А.с. 777801 СССР, М. Кл.³ H03F 3/20. Усилитель с защитой от перегрузки / К.С.Глиненко, З.Д.Грицкив, Г.А.Туркинов, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1980, Бюл. № 41.
22. А.с. 780226 СССР, М. Кл.³ H04N 3/26. Устройство для динамической фокусировки луча электронно-лучевой трубки / Б.И.Льби-нецкая, А.Д.Педан, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1980, Бюл. № 42.
23. А.с. 974400 СССР, М. Кл.³ G09G 1/04. Устройство для управления лучом электронно - лучевой трубки / Г.А.Туркинов, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1982, Бюл. № 42.
24. А.с. 1270873 СССР, МКП³ H03F 3/26. Выходной каскад усилителя с индуктивной нагрузкой / Г.А.Туркинов, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1986, Бюл. № 42.
25. А.с. 1319070 СССР, МКП G09G 1/08. Устройство для отображения графической информации на экране электронно - лучевой трубки / З.Д. Грицкив, Г.А.Туркинов, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1987, Бюл. № 23.

26. А.с. 1332309 СССР, МКИ G06F 3/153. Устройство для формирования координат маркера на экране электронно - лучевой трубки / Л.Г.Бойчук, Г.А.Туркинов, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1987, Бюл. №31
27. А.с. 1410092 СССР, МКИ G09G 1/08. Устройство для формирования перекрестия визирных линий и контура прямоугольной зоны на экране телевизионного индикатора / Л.Г.Бойчук, Г.А.Туркинов, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1988, Бюл. № 26.
28. А.с. 1436115 СССР, МКИ G06K 11/00. Устройство для считывания координат с экрана электронно - лучевой трубки / Л.Г.Бойчук, Г.А.Туркинов, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1988, Бюл. № 41.
29. А.с. 1566338 СССР, МКИ G09G 1/08. Устройство для отображения информации на экране электронно - лучевой трубки / З.Д. Грицкий, Г.А.Туркинов, В.И.Шклярский. - Оpubл. 1990, Бюл. № 19.

Соискатель



В.И.Шклярский

Подл. к печати 12.03.91. Формат 60x84¹/16
Бумага типограф. № 2. Офс. печ. Усл.печ. л 4
Усл. крас.-отт. 1 . Учетно-изд. л с.93
Тираж 100 экз. Зак. 60 . Бесплатно

ЛПИ 290646 Львов-13, Мира, 12

Участок оперативной печати опытного завода ЛПИ
Львов, ул. 1-го Мая, 286