

Академия наук Украины  
Институт электродинамики

На правах рукописи

ТУЛЬЧИНСКИЙ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ

ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
РЕГИСТРАТОРЫ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

Специальность 05.11.05 - Приборы и методы  
измерения электрических и магнитных  
величин

АВТОРЕЗЮМЕ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев - 1992



Работа выполнена в Институте

(г. Киев)

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
лауреат Государственной премии Украины  
С. Г. Таранов

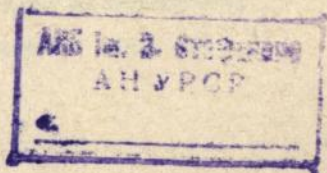
Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
Ю. М. Туз  
- кандидат технических наук  
В. А. Хомяк

Ведущее предприятие - ПО "Электроизмеритель" г. Житомир

Защита состоится " 17 " марта 1992 г. в 11 час.  
на заседании специализированного совета Д 016.30.02 при  
Институте электродинамики АН Украины  
/ 252660, г. Киев-57, проспект Победы, 56, актовый зал /

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Института электродинамики АН Украины

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1992г.



Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук  
старший научный сотрудник

Ю. А. Масюренко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Исследование динамики различных процессов в широком частотном диапазоне - одна из основных тенденций развития современной информационно-измерительной техники. Серийно выпускаемые средства регистрации - отечественные самопишущие приборы - имеют частотный диапазон до сотен герц и лишены возможности передачи данных, например в ЭВМ. Они не позволяют непосредственно реализовать сервисные функции обработки, измерения и индикации параметров исследуемого процесса. Осциллографические регистраторы кратковременных сигналов не предназначены для документирования результатов исследований при контроле процесса в течение длительного времени. В целом ряде областей науки и техники (например, энергетике, дефектоскопии, геофизике, ядерных исследованиях, радиотехнике, медицине и др.) дальнейшая интенсификация экспериментальных исследований и опытно-конструкторских работ неразрывно связана с расширением частотного диапазона и возможностей средств регистрации.

С использованием методов цифровой обработки сигналов в самопишущих приборах стало возможным создание качественно новых средств регистрации. Применение дискретизации с занесением мгновенных значений регистрируемого процесса в запоминающее устройство большой емкости позволило многократно расширить частотный диапазон и длительность исследуемых сигналов. Внедрение микропроцессорных систем дало возможность реализовать дополнительные сервисные функции, например, такие как регистрация в автоматическом режиме непредсказуемых событий, вычисление и индикацию характеристик регистрируемых процессов.

Диссертация выполнялась в общем комплексе работ по исследованию и разработке методов измерения параметров и характеристик быстроизменяющихся и установившихся электромагнитных процессов в соответствии с приказами по Минприбору СССР № 427 "О разработке и освоении в производстве быстродействующих самопишущих приборов с преобразованием масштаба времени" от 20.11.84 и № 52 "О мерах по созданию быстродействующих самопишущих приборов с расширенным частотным диапазоном" от 15.02.86, а также в рамках плана особо важных работ по естественной тематике, согласно постановлению Президиума АН УССР № 585 от 25.11.86.

Цель работы заключается в исследовании и разработке цифровых измерительных регистраторов быстропротекающих процессов, методов повышения точности и расширения их частотного диапазона.

Методы исследования основаны на теории приближения функций, теории информационно-измерительных систем, автоматического управления и теории погрешностей, в работе использован математический аппарат степенных рядов, преобразования Фурье и интегрального исчисления.

Автор защищает методы построения средств регистрации быстропротекающих процессов: структурные схемы конкретных микропроцессорных измерительных систем регистрации с преобразованием масштаба времени, аналитические выражения, алгоритмы функционирования и оригинальные схемы сплайн-интерполирующих устройств для восстановления зарегистрированной информации по ее дискретным значениям, исследования метрологических характеристик цифрового блока преобразования масштаба времени, практическую реализацию измерительной системы регистрации быстропротекающих процессов с преобразованием масштаба времени.

Научная новизна. В работе предложены оригинальные структуры систем регистрации быстропротекающих процессов, основанных на цифровом методе преобразования масштаба времени. Исследованы и разработаны новые устройства цифровой интерполяции. Получены аналитические выражения, описывающие процедуру восстановления дискретизированного процесса методами сплайн-приближения. Исследованы характеристики сплайн-интерполяторов в зависимости от вида интерполяции, порядка используемого сплайна и критерия оценки точности устройства восстановления. Проанализированы погрешности и разработаны алгоритмы программной реализации интерполяционной обработки информации в микропроцессорном измерительном регистраторе быстропротекающих процессов.

Практическая ценность. На основании предложенных принципов разработаны структурные схемы устройств для измерения и регистрации сигналов, защищенные авторскими свидетельствами на изобретения. Разработанные методы сплайн-интерполяции положены в основу одно- и многоканальных цифровых интерполяторов, также защищенных авторскими свидетельствами СССР. Разработан при непосредственном участии соискателя микропроцессорный измеритель-

ный регистратор быстротекущих процессов с частотным диапазоном до 100 кГц типа НЗ04Г.

Реализация результатов работы. Основные положения и результаты диссертации подтверждены и реализованы при участии соискателя в разработанных Институтом электродинамики АН Украины и ПО "Краснодарский ЗИП" (г. Краснодар) быстродействующих самопишущих приборах для регистрации быстротекущих процессов. За участие в разработке прибора типа НЗ040 автор награжден серебряной медалью ВДНХ СССР. действующий образец микропроцессорного прибора типа НЗ04Г прошел заводские испытания и передан для серийного выдворения на ПО "Краснодарский ЗИП". Предварительный экономический эффект составляет 5,09 тыс. руб. на один прибор.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на УШ Всесоюзной научно-технической конференции (НТК) "Планирование и автоматизация эксперименте в научных исследованиях" (г. Ленинград, 1986 г.), Ш Всесоюзной НТК молодых ученых и специалистов приборостроительной промышленности (г. Москва, 1986 г.), П Всесоюзной НТК "Применение микропроцессорной техники при автоматизации технологических процессов производства и в системах автоматического регулирования" (г. Москва, 1987 г.), УГ Всесоюзной НТК "Проблемы метрологического обеспечения систем обработки измерительной информации" (г. Москва, 1987 г.), ХШ, ХГУ и ХУ Всесоюзных НТК "Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстротекущих процессов" (г. Москва, 1987, 1989, 1991 гг.), Всесоюзной НТК "Современные проблемы радиоэлектроники" (г. Москва, 1988 г.), П Всесоюзной НТК "Измерение параметров формы и спектра радиотехнических сигналов" (г. Харьков, 1989 г.), УШ и IX Всесоюзных НТК "Информационно-измерительные системы" (ИИС-87, г. Ташкент, ИИС-89, г. Москва), IY Международном симпозиуме по измерениям электрических величин "ИМЕКО" (г. Варна, Болгария, 1990 г.), а также на республиканских конференциях и семинарах молодых ученых.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 28 печатных работ, включая шесть статей в научно-технических журналах и в сборниках научных трудов, получено пять авторских свидетельств на изобретения.

### Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, изложенных на 216 страницах, рисунков на 52 страницах, списка использованных литературных источников и приложений на 47 страницах машинописного текста.

Во введении обоснована актуальность разработки новых средств регистрации, сформулирована цель диссертационной работы, изложена ее структура и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 рассмотрена процедура регистрации с преобразованием временного масштаба со спектральной точки зрения, классифицированы средства регистрации и методы повышения их быстродействия. Проанализированы проблема восстановления дискретизированной информации и методы приближения функций, классифицированы устройства восстановления дискретизированных сигналов.

В главе 2 рассмотрены принципы построения, проведен структурный анализ цифровых средств регистрации быстропротекающих процессов и устройств цифровой сплайн-интерполяции. Разработаны структурные схемы и алгоритмы функционирования системы регистрации, одно- и многоканальные устройства интерполяции.

В главе 3 исследованы преобразования сигналов в регистраторе, частотные характеристики входного фильтра и блока выделения погрешностей. Определены и проанализированы частотные характеристики сплайн-интерполяторов различных порядков. Исследовано влияние предварительного цифрового фильтра на характеристики гибридного сплайн-интерполятора, оптимизирована его структура и разработан алгоритм цифровой сплайн-интерполяции.

В главе 4 исследованы разработанная измерительная система регистрации быстропротекающих процессов, ее структура и программное обеспечение. Проведен анализ метрологических характеристик, получены выражения, характеризующие амплитудно- и фазочастотные погрешности, статические погрешности измерительных каналов. Рассмотрены методы поверки системы регистрации.

В приложении приведены подпрограммы основных процедур и интерполяционной обработки на языке "Ассемблера" и документы, подтверждающие внедрение результатов проведенных исследований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Результаты исследования мирового рынка самопишущих приборов 80-х годов отражают увеличение потребности и соответствующий рост производства средств регистрации с частотным диапазоном исследуемых процессов более 25 кГц. Обзор и анализ, проведенный в работе, показывают, что важнейшими требованиями, предъявляемыми к современным регистраторам быстротекающих процессов, являются максимально возможная ширина частотного диапазона, автоматическая регистрация и анализ сигналов, временное положение которых неопределенно, возможность исследования предьстории регистрируемых явлений и высокая точность отображения зарегистрированного сигнала. При рассмотрении путей повышения быстродействия регистраторов в диссертации обоснованы преимущества структурно-алгоритмических методов масштабно-временного преобразования с цифровой обработкой данных.

Основным критерием, характеризующим качество документа регистрации как результата функционирования регистрирующей системы, является соответствие исследуемого и отображаемого сигналов. В процессе преобразований регистратором фиксируется массив цифровых эквивалентов исследуемого процесса. Задача восстановления заключается в преобразовании цифрового массива в непрерывную функцию, соответствующую исходному сигналу. Для отображения непрерывной зависимости необходимо заполнить интервал между зафиксированными значениями решетчатой функции исследуемого процесса дополнительно сформированными выборками. В работе проанализирована процедура восстановления со спектральной точки зрения, то есть выделение из периодически повторяющегося спектра дискретизированного сигнала основного лепестка, а также требуемые характеристики восстанавливающего устройства. Результатом обработки зарегистрированного массива является функция, близкая (по выбранному критерию) к исходному процессу. Физически это эквивалентно преобразованию такого массива восстанавливающей системой с необходимой переходной функцией. Указанная функция для аппаратно реализуемых средств может быть представлена с определенной степенью приближения. В результате сравнительного анализа методов приближения и интерполирующих функций в работе показано,

что в технических приложениях целесообразно использовать полиномиальные сплайны.

Сплайн определяется на отрезке  $[a, b]$ , разбитом на  $N$  равных частичных отрезков  $[x_i; x_{i+1}]$ , где  $x_i = a + ih$

$$i = 0, 1, \dots, N-1, x_N = b, h = (b-a)/N$$

как функция  $B_\mu(x)$ , являющаяся на каждом из этих отрезков некоторым алгебраическим полиномом степени  $\mu$ :

$$B_\mu(x) = a_{i0} + a_{i1}x + \dots + a_{i\mu}x^\mu, x \in [x_i; x_{i+1}]$$

и непрерывная в точках  $x_1, \dots, x_{N-1}$  вместе со своими производными до  $(\mu-1)$  порядка включительно. Сплайнам присущи ярко выраженные локальные свойства, они обладают лучшей, по сравнению с многочленами, огибаемостью. Кроме того, алгоритмы построения сплайнов достаточно просты и удобны для программной реализации. Классификация устройств восстановления проводилась: по методам восстановления, виду весовой функции, числу независимых переменных, форме технической реализации. В диссертации проанализированы различные варианты построения интерполяторов, показаны преимущества цифровой сплайн-интерполяции.

Основными факторами, определяющими структуру и параметры цифровой системы регистрации, являются: критерий отбора отсчетов, параметры дискретизации, длительность фиксируемых реализаций и метод восстановления дискретизированного сигнала. В работе показано, что шаг дискретизации входных сигналов, а следовательно, и частотный диапазон регистратора зависят от применяемого метода восстановления. Исследованы различные структуры регистраторов с целью минимизации времени, затрачиваемого на фиксацию выборки входного сигнала и увеличения длительности регистрации / 4 /. Разработаны алгоритмы функционирования приборного процессора и предложена оригинальная структура (рис.1), позволяющая формировать оптимальную конфигурацию системы в зависимости от выбранных параметров регистрации / 25 /.

Сплайн-интерполяция может рассматриваться как формирование на каждое дискретное значение восстанавливаемого сигнала  $\theta$  — сплайна соответствующей амплитуды. Результирующая кривая, приближающая восстанавливаемый непрерывный сигнал, образуется

как суперпозиция таких сплайнов. На рис.2,а иллюстрируется, пренебрегая амплитудными соотношениями, формирование сплайн-функции второго порядка  $B_2(t)$ . Параболическая сплайн-функция, сформированная подобным образом, не имеет разрывов в точках сопряжения участков, описываемых квадратичными зависимостями, и обладает непрерывной первой производной. При цифровой интерполяции каждый В-сплайн представляет собой совокупность дискретных значений, генерируемых цифровым интерполятором. Таким образом, интервал между реальными выборками восстанавливаемого сигнала заполняется дополнительно сформированными отсчетами. Каждая реальная выборка порождает совокупность дополнительных выборок, обрезанных дискретизированный В-сплайн  $B_2(\frac{t}{N})$ . Суперпозиция таких сплайнов оставляет решетчатую сплайн-функцию  $S_2(\frac{t}{N})$ , как это показано на рис.2,б. Разработанный автором узел цифровой параболической интерполяции, представленный на рис.3 /24/, обеспечивает почти четырехкратное расширение частотного диапазона и за счет использования в качестве восстанавливающего полинома второй степени позволяет отображать восстанавливаемую функцию с непрерывной первой производной, то есть без изломов. Задачу рационального построения многоканального устройства восстановления решает цифровой интерполятор, структура которого представлена на рис.4 /23/. Алгоритм построения интерполирующей функции сводится к последовательному вычислению величин:

$$Z_{0n} = X_{jn} - (3/2m)Z_{1n} - (1/m^2)Z_{2n};$$

$$Z_{1n} = Z_{1n} + Z_{0n};$$

$$Z_{2n} = Z_{2n} + Z_{1n} - (1/2)Z_0,$$

где  $X_{jn}$  - код  $j$ -й выборки в  $n$ -м канале;  $Z_{0n}$ ,  $Z_{1n}$  - вспомогательные величины,  $Z_{2n}$  - код выборки выходного сигнала в  $n$ -м канале, формируемый на выходе регистра. Все вычисляемые величины сохраняются в оперативной памяти интерполятора.

Наличие в регистрируемом процессе высокочастотных компонент, превышающих верхнюю границу частотного диапазона прибора, приводит к искажениям отображаемых сигналов. Для минимизации погрешностей от наложения частот входной сигнал обычно пропускают через низкочастотный фильтр (ФНЧ). Возникающие при этом специфические погрешности, определяющиеся энергией отсеченных

частотных компонент сигнала и формой АЧХ фильтра, могут быть отнесены к классу динамических погрешностей. В результате анализ динамических погрешностей системы ФНЧ-АЦП синтезирован и исследована схема, позволяющая выделять и оценивать данный вид погрешностей /5/.

Восстановление непрерывной функции по дискретным отсчетам может рассматриваться как низкочастотная фильтрация. Представляя базисный В-сплайн как отклик некоторого фильтра на выборку входной функции, в диссертации определены характеристики аналоговых (АУИ), цифровых (ЦУИ) и результирующие гибридных устройств интерполяции (ГУИ) различных порядков:

$$S_{1j} = \left[ \frac{\sin(\pi f/N)}{\pi f/N} \right]^{j+1} \cdot \left[ \frac{\sin \pi f}{N \sin(\pi f/N)} \right]^2 ;$$

$$S_{2j} = \left[ \frac{\sin(\pi f/N)}{\pi f/N} \right]^{j+1} \cdot \left[ \frac{\sin \pi f}{N \sin(\pi f/N)} \right]^3 \cos \frac{\pi f}{N} ;$$

$$S_{3j} = \left[ \frac{\sin(\pi f/N)}{\pi f/N} \right]^{j+1} \cdot \left[ \frac{\sin \pi f}{N \sin(\pi f/N)} \right]^4 \left[ 1 - \frac{2}{3} \sin^2 \frac{\pi f}{N} \right] ,$$

где  $j = 1, 2, 3$ .

Эффективность восстановления ГУИ оценивалась по разложению приведенных характеристик в ряд Маклорна в окрестности двух точек: для основного лепестка спектра в точку ( $f = 0$ ) и оценки влияния высокочастотных составляющих в точке ( $f = 1$ ). В зависимости от числа отсчетов дискретизированного В-сплайна и порядков ГУИ полученные зависимости позволяют выбрать оптимальную структуру интерполятора с учетом требуемой точности восстановления и частоты дискретизации.

С увеличением порядка используемого сплайна уменьшаются площадь боковых лепестков и влияние высокочастотных составляющих, то есть улучшаются сглаживающие свойства интерполятора, однако одновременно происходит сужение основного лепестка его частотной характеристики. Для оптимизации частотных свойств интерполяторов в работе предложен способ формирования импульсной переходной характеристики ГУИ с использованием трех последовательных выборок:  $x_{i-1}$ ,  $x_i$ ,  $x_{i+1}$ . Выходной сигнал интерполятора определяется при этом:

$$y(t) = \sum_l (x_{i-1} \delta_{-l} + x_i \delta_0 + x_{i+1} \delta_l) \cdot \theta_{\mu}(t - l T_d) ,$$

де  $b_{-1}$ ,  $b_0$ ,  $b_1$  - коэффициенты, значение которых для базисного параболического сплайна  $b_{-1} = -1/8$ ;  $b_0 = 5/4$ ;  $b_1 = -1/8 \cdot 2/1$ . На рис. 5 показана кривая  $y$ , образуемая суммированием трех последовательных выборок, каждая из которых порождает параболический сплайн  $B_2^{i-1}$ ,  $B_2^i$ ,  $B_2^{i+1}$  соответствующей амплитуды, определяемой величиной коэффициентов  $b$ . Эта результирующая кривая может быть рассмотрена как результат воздействия некоторого цифрового фильтра на выборки входного сигнала. Последовательное соединение предварительного цифрового фильтра (ПЦФ), ЦУИ второго и АУИ нулевого порядка дает результирующую частотную характеристику ЦУИ и ПЦФ:

$$S_{20}^{пцф} = \left[ 1 + \frac{1}{2} \sin^2(\pi F) \right] \cdot \left[ \frac{\sin \pi F}{N \sin(\pi F/N)} \right]^3 \cdot \left[ \frac{\sin(\pi F/N)}{\pi F/N} \right] \cdot \cos \frac{\pi F}{N}.$$

Анализ показывает, что использование сплайн-интерполяторов с предварительной фильтрацией значительно расширяет частотный диапазон регистрируемых процессов. Например, при заданной погрешности 1% максимальное значение нормированной частоты сигнала за счет применения ПЦФ возрастает более чем вдвое.

При рассмотрении цифровой сплайн-интерполяции в форме, пригодной для процессорной реализации, в работе разработан алгоритм сплайн-интерполяции второго порядка с предварительной цифровой фильтрацией /10/.

$$Z_0 = X_i - Z_2 - Z_3 ;$$

$$Z_1 = Z_2 - (1/8)Z_0 + (2/3m)Z_4 - (1/m^2)Z_5 ;$$

$$Z_2 = Z_0 + Z_2 ;$$

$$Z_3 = Z_2 + Z_3 ;$$

$$Z_4 = Z_1 + Z_4 ;$$

$$Z_5 = Z_4 - (1/2)Z_1 + Z_5 ;$$

где величина  $Z_5$  - результирующее значение интерполируемой выборки,  $Z_0 \div Z_4$  - вспомогательные величины.

Система регистрации быстропротекающих процессов состоит из двух функционально законченных блоков: измерительного цифрового регистратора и регистрирующего устройства (рис. 6). Регистратор содержит восемь одинаковых модулей измерительных каналов (ИКН), блок генератора контрольного сигнала и запуска (БЗ), блок управления измерением (БУИ), микропроцессорный блок (МПБ),

блок управления пультом (БУП) и блок интерфейсных карт (БИК). Все модули доступны по шине данных (ШДМП) и адреса (ШАМП) приборному микропроцессору. Структура измерительного канала такова, что канальная цифровая память может объединяться по шине данных канала (ШДК) с памятью других ИКН, образуя адресное пространство емкостью 128 кбайт. Выбор канальной памяти осуществляется БУИ по шине управления каналом (ШУК).

Поскольку микропроцессор входит в состав измерительной цепи и участвует в получении результатов измерения, система регистрации анализировалась как процессорное средство измерений. В результате анализе динамических погрешностей в измерительном канале системы регистрации показано, что величина ее амплитудной составляющей зависит, главным образом, от погрешностей, вносимых входным фильтром:

$$\delta_{\varphi}^A(\bar{\omega}) = \frac{\sqrt{(0,3\bar{\omega})^4 [(1-\xi^2) - 0,09\bar{\omega}^2]^2 + 0,09\xi^2\bar{\omega}^2}}{1 + 0,09\bar{\omega}(\xi^2 - 1)},$$

где  $\bar{\omega}$  - нормированная частота,  $\xi$  - коэффициент затухания колебаний;

сплайн-интерполятором:

$$\delta_N^A(\bar{\omega}) = 1 - \left[ \frac{\sin(\bar{\omega}/2N)}{\bar{\omega}/2N} \right]^2 \cdot \left[ \frac{\sin(\bar{\omega}/2)}{N \sin(\bar{\omega}/2N)} \right]^3 \left[ 1 + \sin^2 \frac{\bar{\omega}}{2} \right] \cos \frac{\bar{\omega}}{2};$$

регистрирующим устройством (РУ):

$$\delta_{ру}^A(\bar{\omega}) = \sqrt{\frac{(2\bar{\omega})^2 + 16\beta^2}{(1-2\bar{\omega})^2 + 16\beta^2\bar{\omega}^2}},$$

где  $\beta$  - степень успокоения подвижной части РУ.

С учетом неопределенного промежутка времени между преобразованием исследуемого сигнала и отображением его регистрирующим устройством в работе рассмотрена эквивалентная фазочастотная характеристика, характеризующая непрерывное преобразование без хранения информации в цифровой памяти регистратора. Результирующая фазовая погрешность:

$$\delta_{\Sigma}^{\varphi}(\bar{\omega}) = (\xi^4 - 3\xi^2)(0,2\bar{\omega})^3 + (0,2\bar{\omega})^3 + [2\bar{\omega}^3(\beta^2 - 1)]/2.$$

Система регистрации позволяет выводить как цифровые данные, так и аналоговую кривую на регистрирующее устройство, поэтому результирующая статическая погрешность определена как для случая

интерфейсного выводе цифровой информации, так и для вывода аналогового сигнала. Для экспериментального исследования погрешностей системы регистрации приведена методика оценки результатов измерений.

Результаты работы заключаются в следующем:

1. Проведен анализ средств регистрации быстропротекающих процессов, исследованы различные принципы их построения. Разработана оптимальная, исходя из максимального быстродействия и длительности наблюдения, структура системы регистрации, использующая две магистрали для передачи данных. Это обеспечивает широкие функциональные возможности при одновременной реализации процедур накопления данных и их обработки в реальном масштабе времени.

2. Исследованы различные методы восстановления непрерывного сигнала по дискретным отсчетам. Решена задача синтеза сплайн-интерполирующего устройства, позволяющего восстанавливать информацию, дискретизированную по нескольким каналам одновременно. Предложено оригинальное устройство параболической сплайн-интерполяции, позволяющее на порядок, по сравнению с известными, повысить точность восстановления.

3. На основе частотного подхода проанализированы характеристики восстанавливающих устройств. Получены аналитические выражения для частотных характеристик сплайн-интерполяторов различных порядков. Исследованы гибридные интерполирующие устройства с точки зрения эффективности восстановления. Расчетные соотношения позволили определить оптимальную конфигурацию интерполирующего устройства, восстанавливающего исходную функцию с необходимой точностью.

4. С целью расширения частотного диапазона параболической сплайн-интерполяции предложено использовать цифровой корректирующий фильтр. Исследовано его влияние на характеристики интерполяторов. Применение такого фильтра обеспечивает более чем двукратное расширение частотного диапазона интерполируемых сигналов без потери точности в восстанавливаемой функции.

5. Разработаны оригинальные устройства для регистрации быстропротекающих процессов, реализующие различные режимы функционирования, такие как регистрация предистории процесса, автоматический запуск как функцию различных параметров, измерение и индикацию характеристик исследуемых процессов.

6. Исследованы методические динамические погрешности на этапе восприятия и преобразования информации. Предложены схемы для выделения погрешностей, вызванных рассогласованием частотного диапазона исследуемого сигнала и аналого-цифрового преобразователя. Проанализированы амплитудно-частотные характеристики устройств для выделения данного вида погрешностей, показано, что при использовании фильтров Баттерворта оптимальным является соотношение, при котором порядок высокочастотного фильтра выделения погрешности в полтора раза превосходит порядок ФНЧ.

7. Проведен анализ метрологических характеристик разработанной системы регистрации. Получены выражения, характеризующие амплитудно- и фазочастотные погрешности. Исследованы статические погрешности измерительного канала регистратора и определены составляющие на каждом этапе преобразований. Рассмотрены методы проверки системы регистрации.

8. На основе теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в данной работе, разработан, прошел заводские испытания и внедряется в серийное производство на ПО "Краснодарский ЗИП" микропроцессорный измерительный регистратор быстропротекающих процессов с частотным диапазоном до 100 кГц.

Основные результаты работы отражены в следующих публикациях:

1. Тульчинский Д.Ю. Перспективы развития и применения средств регистрации и анализа быстропротекающих процессов // Сб. науч. тр. Изд АН УССР. - Киев: Наук. думка, 1987. - С. 57-60.
2. Тульчинский Д.Ю. Улучшение метрологических характеристик сплайн-интерполяторов. Измерительные и преобразовательные устройства для электроэнергетики // Сб. науч. тр. Изд АН УССР. - Киев: Наук. думка, 1989. - С. 62-65.
3. Теранов С.Г., Карасинский О.Л., Тульчинский Д.Ю. Погрешности восстановления дискретизированных сигналов гибридными цифро-аналоговыми интерполяторами // Электронное моделирование. - 1987. - 9, № 3. - С. 48-52.
4. Теранов С.Г., Карасинский О.Л., Тульчинский Д.Ю. Исследование принципов построения многоканального измерительного регистратора // Техн. электродинамика. - 1988. - № 5. - С. 77-81.
5. Карасинский О.Л., Тульчинский Д.Ю. Аппаратурный анализ динамических погрешностей регистрации // Техн. электродинамика. - 1990. - № 2. - С. 106-110.

6. Таренов С.Г., Карасинский О.Л., Тульчинский Д.Ю. Погрешности восстановления дискретизированных сигналов гибридными цифро-аналоговыми интерполяторами // Электронное моделирование. - 1987. - 9, № 3. - С. 48-52.
7. Применение сплайн-интерполяторов в самопишущих приборах с преобразованием масштаба времени / С.Г.Таренов, Н.О.Борщева, Э.П.Васильев, О.Л.Карасинский, Д.Ю.Тульчинский // Электронное моделирование. - 1988. - Ю, № 3. - С. 72-77.
8. Карасинский О.Л., Тульчинский Д.Ю. Цифровая сплайн-интерполяция в микропроцессорных регистраторах быстропротекающих процессов // Приборы, средства автоматизации и системы управления: Инф. об. ЦНИИТЭИ приборостроения. - М. - 1986. - ТС-12, вып. 6-8. - С. 78-79.
9. Карасинский О.Л., Борщева Н.О., Тульчинский Д.Ю. Регистратор быстропротекающих процессов в электроэнергетических системах // Повышение эффективности преобразования, стабилизации и передачи электроэнергии: Сб. науч. тр. ИЭД АН УССР. - Киев, Наук. думка, 1988. - С. 74-78.
10. Intellectual measuring waveform recorder. / S.G.Taranov, O.L.Karasinsky, D.Yu.Tulchinsky, B.M.Baboglo // Intelligent measurement of electrical and magnetic quantities. 4-th INTERNATIONAL SYMPOSIUM IMECO TC -4 - Varna (Bulgaria): Invited papers, 1990. - P. 267-272.
11. Бабогло Б.М., Карасинский О.Л., Тульчинский Д.Ю. Интеллектуальный измерительный регистратор с процессорной обработкой информации // Измерительные информационные системы. Всесоюз. науч.-техн.конф.: ИИС-89: Тез. докл. - М., 1989. - Ч. 1. - С. 28.
12. Таренов С.Г., Карасинский О.Л., Тульчинский Д.Ю. Программное обеспечение измерительной системы для регистрации быстропротекающих процессов // Повышение качества программного обеспечения ЭВМ. Респ. науч.-техн.конф.: Тез. докл. - Севастополь, 1986. - С. 60-61.
13. Автоматизированная система регистрации быстропротекающих процессов с преобразованием масштаба времени / С.Г.Таренов, Н.О.Борщева, Э.П.Васильев, О.Л.Карасинский, Д.Ю.Тульчинский //

- Планирование и автоматизация эксперимента в научных исследованиях. Всесоюз. науч.-техн. конф.: Тез. докл. - Л., 1986. - С. 10.
14. Бабогло Б.М., Карасинский О.Л., Тульчинский Д.Ю. Применение регистратора измерительных сигналов в научных исследованиях // Измерения параметров формы и спектра радиотехнических сигналов. Всесоюз. науч.-техн. конф.: Тез. докл. - Харьков, 1989. - С. 257.
15. Карасинский О.Л., Бабогло Б.М., Тульчинский Д.Ю. Применение регистратора переходных процессов для метрологического обеспечения микроэлектронных датчиков // Микроэлектронные датчики в машиностроении. Всесоюз. науч.-техн. конф.: Тез. докл. - Ульяновск, 1990. - С. 140.
16. Применение микропроцессорного измерительного регистратора для анализа и контроля процессов в электроэнергетических системах / С.Г.Таранов, О.Л.Карасинский, Н.Б.Копытчук, Д.Ю.Тульчинский // Применение микропроцессорной техники при автоматизации технологических процессов производства и в системах автоматического регулирования. Всесоюз. науч.-техн. конф.: Тез. докл. - М., 1987. - С. 80-81.
17. Микропроцессорный регистратор быстропротекающих процессов / С.Г.Таранов, О.Л.Карасинский, Д.Ю.Тульчинский, Н.О.Борщева // Информационно-измерительные системы. VIII Всесоюз. науч.-техн. конф.: Тез. докл. - Ч. 2. - Ташкент, 1987. - С. 29.
18. Восстановление дискретизированных измерительных сигналов методом сплайн-интерполяции. Проблемы метрологического обеспечения систем обработки измерительной информации / С.Г.Таранов, О.Л.Карасинский, Д.Ю.Тульчинский, Н.Б.Копытчук // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - М., 1987. - С. 258.
19. Карасинский О.Л., Тульчинский Д.Ю. Интерполяция дискретизированных сигналов в цифровом регистраторе быстропротекающих процессов. Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстропротекающих процессов // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - М., 1989. - С. 142.
20. Карасинский О.Л., Тульчинский Д.Ю., Бабогло Б.М. Математическая обработка информации в измерительном регистраторе быстропротекающих процессов. Методы и средства обработки изме-

рительной информации // Тез. докл. науч.-техн. семинара. - Челябинск, 1990. - С. 33.

21. Система цифровой регистрации быстропротекающих процессов с интерполяционной обработкой дискретизированного сигнала. Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстропротекающих процессов / С.Г.Таранов, О.Л.Карасинский, Д.Ю.Тульчинский, Б.М.Бабогло // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - М., 1991. - С. 74.
22. А.с. 1323856 СССР, МКИ G 01 D 9/00. Устройство для регистрации сигналов / С.Г.Таранов, Н.О.Борщева, О.Л.Карасинский, Д.Ю.Тульчинский. - Опубл. 15.07.87, Бюл. № 26.
23. А.с. 1560980 СССР, МКИ G 01 D 9/00. Многоканальное устройство для регистрации сигналов / В.М.Бабенко, Э.П.Васильев, О.Л.Карасинский, С.Г.Таранов, Д.Ю.Тульчинский. - Опубл. 30.04.90, Бюл. № 16.
24. А.с. 1425712 СССР, МКИ G 06 F 15/353. Цифровой интерполятор / С.Г.Таранов, О.Л.Карасинский, Н.О.Борщева, Д.Ю.Тульчинский. - Опубл. 22.09.88, Бюл. № 35.
25. А.с. 1543232 СССР, МКИ G 01 D 9/00. Многоканальное устройство для регистрации сигналов / Э.П.Васильев, О.Л.Карасинский, С.Г.Таранов, Д.Ю.Тульчинский. - Опубл. 15.02.90, Бюл. № 6.
26. А.с. 1460726 СССР, МКИ G 06 F 15/353. Цифровой интерполятор / О.Л.Карасинский, Н.В.Копытчук, Ю.П.Костянюк, С.Г.Таранов, Д.Ю.Тульчинский. - Опубл. 23.02.89, Бюл. № 7.
27. А.с. 1323856 СССР, МКИ G 01 D 9/10. Устройство для регистрации сигналов / С.Г.Таранов, Н.О.Борщева, О.Л.Карасинский, Д.Ю.Тульчинский. - Опубл. 15.07.87, Бюл. № 26.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД. В работе /1/ описателем проанализированы тенденции развития и сформулированы основные требования к регистраторам быстропротекающих процессов, в /2, 3, 6/, исследованы характеристики устройств восстановления, основанных на методе сплайн-приближений, в /4/ проанализированы различные принципы построения многоканальных цифровых регистраторов, в /5/ проведен анализ динамических погрешностей регистраторов, в /7, 8, 9/ обоснована целесообразность применения сплайн-интерполяции для

АНБ им. В.И. Стефанова  
1990 г.  
№ 78

восстановления дискретизированных сигналов, в /9-11, 13-17/ предложены схемы цифровых регистраторов для исследования быстропротекающих процессов, в /12, 18-20/ разработано программное обеспечение процессорной системы регистрации, в /21-23, 27/ предложены структуры устройств для регистрации сигналов с интерполяционной обработкой выборок, в /24-26/ разработаны структуры и алгоритмы работы цифровых устройств интерполяции. Все другие результаты, отраженные в /3-27/, получены совместно с соискателем.

Соискатель

Д.Ю.Тулчиноий

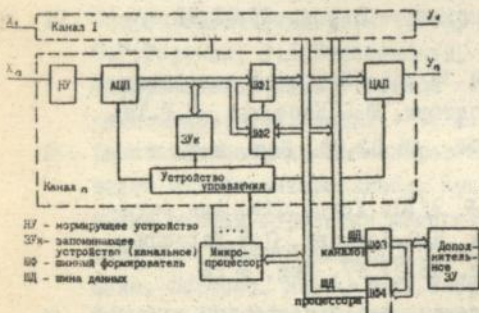


Рис.1 Структура регистратора с независимой магистралью передачи данных.

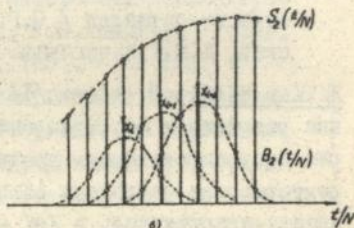
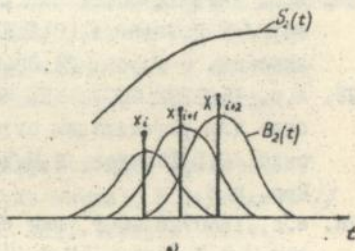


Рис.2 Формирование сплайн-функции второго порядка



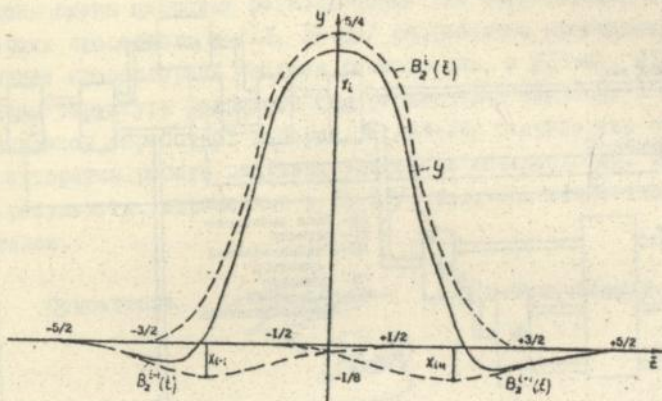


Рис.5 Результирующая сплайн-функция интерполятора с коррекцией

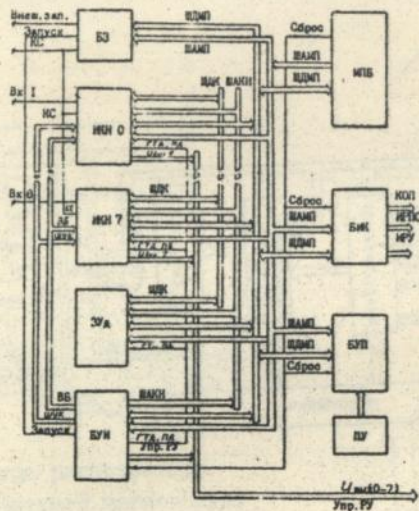


Рис.6 Структурная схема цифрового регистратора 1304I

Подписано к печати 30.07.1992г. Формат 60x84/16  
Бумага офсетная Усл.-печ.лист, 10. Уч.-изд.лист 1,0.  
Тираж 100 Заказ 794. Бесплатно

---

Полиграф. уч-к Института электродинамики АН Украины,  
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.



468497

AB 25.955