

6
A-6/3
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Р С Ф С Р

ПЕВЗНЕР Г.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ АДАПТИВНОЙ
ДИСКРЕТИЗАЦИИ ДВУХ ФУНКЦИОНАЛЬНО СВЯЗАННЫХ
ВЕЛИЧИН В ПРИМЕНЕНИИ К МАГНИТНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Ленинград

1989

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Р С Ф С Р

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ

ИНСТИТУТ им. М.И.КАЛИНИНА

ПЕВЗНЕР Г.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ АДАПТИВНОЙ
ДИСКРЕТИЗАЦИИ ДВУХ ФУНКЦИОНАЛЬНО СВЯЗАННЫХ
ВЕЛИЧИН В ПРИМЕНЕНИИ К МАГНИТНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Специальность № 248

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Ленинград

1989

Диссертационная работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте электроизмерительных приборов / г. Ленинград /.

Научный руководитель:

кандидат технических наук Кавалеров Г.И.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Заездный А.М.

кандидат технических наук, доцент Мандельштам С.М.

Ведущее предприятие:

Государственное специальное конструкторское бюро средств контроля и автоматизации.

Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина направляет Вам для ознакомления экз. автореферата диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1969 г.

Защита назначена на " _____ " октябрь 1969 г.

на заседании совета электромеханического факультета ЛПИ им. М.И. Калинина, Ленинград, К-251, Политехническая ул.,

д.29

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке института.

Ученый секретарь совета электромеханического факультета, доцент Р.П. Строганов.

В последние годы в области магнитных измерений, также как и во всей измерительной технике, особую актуальность приобретают задачи повышения точности измерения, увеличения быстродействия измерительных устройств, автоматизации всего процесса измерения и выдачи результатов измерений в цифровой форме, удобной для ввода информации непосредственно в вычислительную машину или на долговременное запоминающее устройство. Определение свойств магнитных материалов представляет собой в известном смысле, типовую задачу косвенных совокупных измерений. Методы измерения магнитных характеристик достаточно хорошо разработаны, но почти все они связаны с необходимостью преобразования измеряемых величин, как правило, в электрические сигналы и выполнения более или менее сложной математической обработки результатов измерений. Кроме того, в связи с все более глубоким изучением физических процессов и явлений становится необходимым определение количественных показателей воздействия различных факторов /например: температуры, скорости перемагничивания и т.п./ на те или иные свойства материалов, влияние на эти свойства тех или иных примесей, определение усредненных показателей, полученных на группе образцов.

Решение указанных выше задач в полном объеме возможно уже при использовании измерительных информационных систем /ИИС/ с цифровыми вычислительными машинами на выходе, т.е. систем, позволяющих воспринимать исследуемые величины, проводить измерительные операции, преобразовывать и обрабатывать результаты измерений, а также хранить и выдавать информацию.

Дискретное представление исследуемых функций осуществляется обычно равномерной дискретизацией, при которой измерения значений сигнала производится через равные интервалы времени /или отрезки по аргументу - кванты/. Величина кванта при этом определяется, либо спектральными свойствами сигнала, либо значениями его производных.

Поскольку величина кванта выбирается на самый "худший случай", то число отсчетов получается значительно больше, чем то которое требуется для восстановления исследуемой функции на всем рассматриваемом интервале с заданной допустимой погрешностью. Избыточность объема получаемых измерительных данных становится важной проблемой при массовых измерениях, т.е. именно в ИИС, поскольку увеличиваются; нагрузка на регистрирующие устройства, объема носителя в печатающих устройствах, требуемый объем памяти ЭЦВМ, а самое главное - время обработки полученной информации.

Конкретным примером может служить ИИС для снятия магнитных характеристик материалов в широком диапазоне температур /разработанная во ВНИИЭП/, где, при проведении эксперимента по полной программе, объем получаемых данных составляет около $270 \cdot 10^6$ бит, что при регистрации на перфоленте составляет приблизительно 1500 кассет /180 м/.

Проблема снятия данных значительно раньше возникла в технике связи и телеметрии. Однако, в измерительной технике есть своя специфика ее разрешения, так как в измерительных системах необходимы алгоритмы и соответствующие технические реализации, которые как по сложности, так и

по метрологическим характеристикам не должны отличаться от самих систем, а следовательно, аппроксимирующие полиномы в этих случаях должны быть полиномами малых степеней.

Дискретизация функциональных зависимостей при дискретных /косвенных/ совокупных измерениях имеет ряд своих особенностей именно в части технической реализации по отношению к дискретному представлению процессов, следовательно, должны быть изменены и сами алгоритмы этого процесса.

В реферируемой работе ставилась задача: исследование и построение алгоритмов и соответствующих технических реализаций для дискретного представления функциональных зависимостей со сжатием данных на примере снятия магнитных характеристик.

Основные вопросы, которые рассмотрены в реферируемой работе в связи с указанной задачей, следующие;

1. Определение величины кванта /шага/ равномерной дискретизации при цифровом измерении двух функционально связанных величин.

2. Построение и исследование алгоритмов сокращения объема данных при цифровом измерении функциональных зависимостей, основанных как на логических операциях, введенных после аналого-цифрового преобразования, так и на использовании принципа адаптивной дискретизации.

3. Разработка методов технической реализации рассмотренных алгоритмов применительно к автоматическому определению статических магнитных характеристик в цифровой форме.

4. Оценки сложности представленных устройств и эффективности сокращения объема данных.

О ДИСКРЕТНЫХ /ЦИФРОВЫХ/ ИЗМЕРЕНИЯХ МАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН

При изучении статических характеристик магнитных материалов основными первичными данными, которые получаются в результате измерений, являются кривые намагничивания /основная или первоначальная/ и гистерезисные петли. На основе первичных данных путем математической обработки могут быть найдены порядка 3^X десятков различных характеристик исследуемого материала. Полная автоматизация трудоемких процессов измерения и обработки статических магнитных характеристик может быть осуществлена только с использованием аналого-цифрового преобразования и выводом данных на цифровую вычислительную машину.

Для анализа вопросов дискретизации функциональных зависимостей и для построения соответствующих алгоритмов рассмотрена специфика и особенности исследуемой функции.

Изучение рассматриваемой зависимости, как и большинства других электрофизических характеристик материалов, показывает, что они имеют отличие в том, что хотя функции и неизвестны, но при снятии их имеется значительная априорная информация, определяемая физикой изучаемых явлений. В частности, известен общий вид функций, который часто приближенно можно описать аналитически с некоторыми переменными параметрами, известны максимальные значения некоторых производных или спектр — при параметрическом представлении функций. Выделены особенности: наличие участков в диапазоне изменения аргумента, где функции резко разли-

чаются скоростями изменения, а на самих указанных участках изменение функции происходит линейно или почти линейно. Так, для функции B/N : участки, соответствующие области намагничивания, области Релея, быстрого возрастания намагниченности, насыщения и т.д. Особо следует отметить монотонность функции на заранее известных участках изменения аргумента.

В § 2 на основе изучения как специфики измеряемых функций, так и способов их автоматического измерения определены требования к преобразователям "напряжение - цифровой код" и выделены из последних наиболее соответствующие для рассматриваемого случая, (с линейно падающей разверткой, с промежуточным преобразованием в частоту, а также со сравнением и компенсацией следящего типа.). Отмечены перспективы их развития при специализированном использовании для магнитных измерений.

Обзор (§ 3) большого количества работ, посвященных задаче сжатия данных при дискретизации, подчеркнул актуальность рассматриваемой задачи и показал, что основные пути в её решении следующие: 1/ введение первичной обработки измерительной информации после аналого-цифрового преобразования с равномерной дискретизацией с целью сокращения избыточных данных, 2/ наиболее перспективный - адаптивная дискретизация.

Анализ и систематизация способов адаптивной дискретизации позволили достаточно полно классифицировать известные способы по ряду наиболее существенных признаков: вид адаптации, подход к оценке точности приближения и выбора исполь-

зуемых характеристик измеряемой функции, критерий приближения воспроизводящей функции, степень аппроксимирующего полинома.

В соответствии с классификацией для рассматриваемой задачи в условиях дискретного представления исследуемой функциональной зависимости показано (§4), что приемлемы взаимная адаптация, детерминистский подход, критерий равномерного приближения, аппроксимирующий полином Лагранжа первой степени ($n=1$).

Г Л А В А II.

АДАПТИВНАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ПРИ СОВОКУПНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ ДВУХ ФУНКЦИОНАЛЬНО СВЯЗАННЫХ ВЕЛИЧИН

Первым шагом в направлении сжатия данных при дискретном представлении измеряемой функциональной зависимости способом равномерного квантования по уровню одной из переменных является определение величины кванта при заданной допустимой погрешности воспроизведения. При дискретном представлении измеряемой функциональной зависимости $y=f(x)$ практически имеют место два случая :

1. Дискретизация исследуемой функции осуществляется в плоскости переменных XU и не рассматривается изменение обеих переменных во времени.
2. Обе переменные есть некоторые неизвестные функции процесса $[y(t), x(t)]$ и дискретизация их осуществляется синхронно по временной оси, но при заданной допустимой погрешности аппроксимации δ_a в плоскости XU .

Первый случай - если равномерное квантование осуществляется по уровню аргумента, то величина кванта определя-

ется /как показано Э.Фридрихом и В.Н. Илитуновым/ на остаточного члена полинома Лагранжа в форме Коши, выражением:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{8\delta\alpha}{|f''_{max}(x)|}} \dots (1),$$

если не равномерное квантование проводится по уровню значений функции, то величина кванта определяется выражением:

$$\Delta y = f(x) \sqrt{\frac{8\delta\alpha}{|f''_{max}(x)|}} \dots (2),$$

которое получено на основании предыдущего с использованием обратной функции и последующим выражением производных обратной функции через производные прямой.

При использовании критерия формы функции выражения принимает соответственно вид:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{8\epsilon \sqrt{1+[f'_{min}(x)]^2}}{|f''_{max}(x)|}} \dots (3),$$

$$\Delta y = \sqrt{\frac{8\epsilon \sqrt{1+[f'_{min}(x)]^2}}{|f''_{max}(y)|}} \dots (4)$$

Во втором случае рассмотрено параметрическое представление функции $y=f(x)$, на основании которого по соответствующим выражениям для первой и второй производной определена частота синхронной дискретизации переменных во времени:

для критерия равномерно приближения:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{8\delta\alpha \cdot x'(t)}{x'(t) \cdot y'(t) - y'(t) \cdot x''(t)}} \dots (5)$$

для критерия формы функций:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{8\epsilon \sqrt{[x'(t)]^2 + [y'(t)]^2}}{x'(t) \cdot y''(t) - y''(t) \cdot x''(t)}} \dots (6)$$

В работе приведены примеры расчета по указанным выше формулам, оцененным сверху, т.е. с использованием максимальных и минимальных значений производных /для конкретной кривой намагничивания, снимаемой в квазистатическом режиме/. Метод сжатия данных - сокращение избыточности в работе осуществлен построением алгоритма сокращения числа избыточных отсчетов на линейных участках /§2 гл. II/ исследуемых функций, для которых такие участки характерны. Предложенный алгоритм решает вопросы как определения линейности текущего участка исследуемой функции, так и отсева избыточности отсчетов на нем.

Известное условие линейности функции - постоянство значения первой производной по аргументу. Однако реализация дифференцирования для невременной функции очень сложна, так как необходимо дифференцирование по времени обеих переменных с последующим делением (кроме того, можно отметить ряд недостатков, характерных для дифференцирования). В связи с этим используется переход к конечным разностям, который при дискретизации исследуемой функции способом равномерного квантования по одной из переменных, например X, позволяет свести условие линейности к виду:

$$y_i - y_{i-1} = y_{i+1} - y_i \text{ или } (\Delta^2 y)_i = 0 \dots (7)$$

где y_i - мгновенное значение переменной y .

Таким образом, после дискретизации определяется приращение на каждом текущем кванте и сравнивается с приращением на предыдущем кванте (процедура I).

Поскольку определение момента отсчета и само измерение выполняется с погрешностью, то с ростом числа квантов на линейном участке накапливается погрешность определения равенства. Чтобы избавиться от суммирования погрешностей в процессе последовательных сравнений, на каждом линейном участке сравниваются текущее приращение с приращением, соответствующим первому кванту данного линейного участка (процедура П).

Второй вопрос решает какие две точки из $/K + 1 /$ отсчетов на линейном участке из квантов следует вывести на регистрацию. Показано, что если на регистрацию выводятся первые два отсчета, то конец данного линейного участка находится только графически, если же первый и последний отсчеты, то возможна обычная линейная интерполяция, но появляется необходимость дополнительного запоминания одного отсчета.

Анализ погрешностей, имеющих место при осуществлении рассмотренного алгоритма, проведенный по максимальным оценкам, позволяет вывести соотношение, определяющее δ_c - допустимую погрешность сравнения приращений по переменной Y :

$$\delta_c \leq \frac{2 \left[\frac{\delta_a}{m} - 2 \delta_x \cdot f_{\max}(x) \right] - (\Delta x)^2 \cdot f_{\max}(x)}{2 m \cdot \Delta x} \dots (8)$$

где δ_x - погрешность измерения величины X ,
 m - выбранное соотношение δ_c и общей погрешности определения линейности.

П алгоритм - алгоритм адаптивной дискретизации, основанный на равномерном квантовании по одной из переменных, выбираемой на текущем участке, рассмотрен в § 3 главы II.

С точки зрения сжатия данных при заданных условиях воспроизведения исследуемой функции весьма существенен выбор переменной, по которой осуществляется равномерно квантование на текущем участке. Причем, в отличие от временных функций для функциональных зависимостей, при дискретных совокупных измерениях значительно облегчается возможность выбора переменной, по которой осуществляется равномерное квантование, что позволяет существенно упростить алгоритм, основанный на этом принципе, и соответственно его техническую реализацию. Показано, что критерием выбора переменной на текущем участке может служить величина производной - больше она единицы или меньше.

Поскольку дискретизация реализуется обычно для переменных, преобразованных в напряжение, то учитывается и соотношение масштабных коэффициентов. Этот критерий доказывается аналитически в выбранных условиях дискретизации, исходя из того, чтобы аппроксимирующая кусочно-линейная функция имела меньшее число линейных участков

Для построения соответствующего алгоритма используется опять же переход к конечным разностям и указанный критерий приобретает вид:

$$\Delta U_y > \Delta U_x \quad \text{или} \quad \Delta U_y < \Delta U_x \quad \dots (9)$$

при условии равенства масштабных коэффициентов.

В результате получен алгоритм адаптивной дискретизации, основанный на равномерном квантовании по одной из переменных, причем, эта переменная определяется по результату сравнения приращения по другой переменной с величиной кванта.

Проведен анализ погрешностей, имеющих место при осуществлении рассмотренного алгоритма, который позволил определить допустимую погрешность сравнения величин приращения и кванта.

$$\delta_{cp} \leq \frac{\sqrt{2}}{m} (\sqrt{(U_y'')_{max} \cdot \delta_a} + \sqrt{2} \delta U_y) \dots (10)$$

где δU_y - погрешность измерения величины U_y :

Рассмотренные выше два алгоритма вполне могут быть объединены, так как основаны на равномерном квантовании по одной из переменных, а для алгоритма сокращения избыточности данных на линейном участке не существенен выбор переменной равномерного квантования. Следует отметить, что для третьего - "совмещенного" алгоритма /так назовем для краткости алгоритм, объединяющий оба выше рассмотренные/ при изменении переменной равномерного квантования соответственно необходимо изменить переменную, по которой сравниваются приращения.

§ 4 главы II посвящен построению и анализу алгоритмов адаптивной дискретизации, следящих за текущей погрешностью линейной интерполяции. В рассматриваемых условиях погрешность линейной интерполяции определяется по остаточному члену полинома Лагранжа в форме Коши, точнее его оценкой сверху, на основе чего и определена формула (I). Последнее выражение можно использовать и для построения адаптивной дискретизации, если $f''_{max}(x)$ рассматривается не на всей области значений исследуемой функции, а на участке, равном величине кванта. Алгоритм, построенный непосредственно по

этой формуле, весьма сложно реализуется даже для временных функций, а для рассматриваемых функциональных зависимостей особенно. Однако использование аппарата конечных разностей при условии, что на интервале аргумента, равном величине кванта, максимальное значение второй производной равно ее среднему значению, позволяет получить существенно упрощенное выражение для текущей погрешности линейной аппроксимации:

$$\delta_{aT} \leq \frac{\Delta^2 y}{2} \dots (11)$$

Показано, что если рассматриваемая функция "гладкая", то величина каждого последующего кванта определяется на основе значения величины предыдущего кванта выражением:

$$(\Delta x)_{i+1} = (\Delta x)_i \pm (\delta x)_i \dots (12)$$

где $(\delta x)_i$ - некоторая переменная величина.

Последнее выражение конкретизируется, когда величина предыдущего кванта определяется выражением (I):

$$(\Delta x)_i = (\Delta x)_1 + (\delta x)_i \dots (13)$$

где $(\delta x)_i$ - переменная составляющая величины текущего кванта и равна:

$$(\delta x)_i = C [2\delta_a - (\Delta^2 y)_i] \dots (14)$$

где C - коэффициент пропорциональности.

В результате значение величины текущего кванта определено выражениями (13) и (14), т.е. состоит из постоянной и переменной составляющих.

Коэффициент пропорциональности C в последнем выражении выведен из условия экстраполяции среднего значения

второй производной на текущем кванте по среднему значению ее на постоянном участке кванта и третьей производной. Поскольку текущее значение последней неизвестно, то используется оценка сверху - максимальное значение $|M_3|$.

$$C \leq \frac{8}{M_3 (\Delta x)^3} \dots (15)$$

В результате в соответствии с выражениями (13, 14, 15) построены две модификации IV алгоритма, названного для краткости алгоритмом адаптивной дискретизации следящего типа.

Приведенный анализ погрешностей, имеющих место при выполнении данного алгоритма, позволил оценить требования к погрешностям отдельных операций при определении величины кванта, исходя из условия сохранения допустимой погрешности на каждом текущем кванте.

Все предложенные алгоритмы и их модификации представлены с помощью логических схем программ А.А.Ляпунова, которые являются компактной и удобной формой для качественного сравнения алгоритмов по сложности между собой, так как число типов операторов и логических условий, а также их общее число модификаций характеризует сложность представленного алгоритма. В результате сравнения двух основных алгоритмов можно заключить, что по сложности "совмещенный" алгоритм и алгоритм "следящего типа" не существенно отличаются друг от друга.

По логическим схемам программ алгоритмов выполнена и приближенная количественная оценка, поскольку из физического смысла каждого однотипного оператора или логического

условия ясно, какие необходимо выполнить операции, а следовательно, в общем виде потребные для этого блоки или схемы и их количество. Сравнение подобных оценок для алгоритмов адаптивной и равномерной дискретизации показывает, что введение в данном случае адаптивности усложняет алгоритмы приблизительно в 1,7 раза.

Г Л А В А Ш

ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДВУХ ВЕЛИЧИН

В этой главе подробно рассмотрены функциональные и структурные схемы устройств, реализующих предложенные алгоритмы.

Проанализированы функциональные схемы построения дискретизации со сжатием данных как для сигналов /процессов/, так и для функциональных зависимостей, и показано, что для последних появляется два измерительных канала, сигналы с которых поступают на логические устройства. Причем, в случае сокращения избыточности данных сигналы, как правило, поступают в цифровой форме на логические устройства, которые управляют кодовыми ключами выдачи данных на регистрацию /или запоминающие устройства/, а в случае адаптивной дискретизации сигналы поступают в аналоговой форме на логические устройства, которые управляют моментами запуска аналого-цифровых преобразователей. В представленных функциональных и структурных схемах устройств, реализующих алгоритмы "совмещенный" и "следящего типа", сочетаются оба указанных случая, но сигналы в логические устройства

подаются всегда в цифровой форме.

В § I главы III рассмотрена функциональная схема устройства дискретного представления процесса с сокращением избыточности отсчетов на линейном участке, которое построено на основе время-импульсного преобразователя "напряжение - цифровой код" следящего типа с введением дополнительных блоков деления частоты и определения конечных разностей. Подробное описание структурной схемы этого устройства дано в приложении № I.

В § 2 представлено устройство, осуществляющее равномерную дискретизацию рассматриваемой функции В/Н/ в плоскости переменных В и Н с одним преобразователем в различных режимах измерения. Описаны варианты устройств, работающих как по алгоритму "перехода", так и по "совмещенному" алгоритму. В этих устройствах имеются распределители импульсов, логические схемы, блоки определения конечных разностей и схемы сравнения, выполняющие операции над величинами, представленными в цифровую форму.

Показано (§3), что рассмотренные устройства позволяют сочетать в себе автоматизацию ряда дополнительных операций, выполнение которых необходимо при автоматизации процесса снятия статических характеристик магнитных материалов (проверка размагниченности исследуемых образцов перед экспериментом, проверка степени магнитной подготовки образца при снятии функции В /Н/ в баллистическом режиме), а также определение зависимости дифференциальной магнитной проницаемости от намагничивающего поля $\int \mathcal{H}_d(H)$ и точки /или области/, соответствующей максимальному ее значению.

В § 4 описаны устройства реализующие модификации алгоритма адаптивной дискретизации "следящего типа" , в которых опять же введены распределители импульсов, логические схемы, цифровые схемы сравнения, блоки определения конечных разностей и установки величины кванта и т.д.

Все приведенные устройства являются оригинальными и защищены авторскими свидетельствами.

Подробное рассмотрение структурных схем приведенных устройств позволило оценить сложность структур эквивалентным числом триггеров, используя в качестве единицы сложности статический симметричный триггер на полупроводниках и составляя таблицы, определяющие как число элементарных схем в различных блоках и узлах, так и соотношение между элементарными схемами и выбранным триггером.

В результате в рассматриваемых условиях усложнение основных приведенных устройств адаптивной дискретизации по отношению к устройству равномерной дискретизации при совокупных измерениях, определяемое как отношение принятых оценок сложности сравниваемых устройств, составляет 1,7-1,8. Это доказывает возможность проведения как качественного, так и приближенного количественного сравнения сложности самих алгоритмов дискретизации при использовании их представления с помощью логических схем программ А.А.Ляпунова. Отмечено, что при оценке сложности рассмотренных устройств, следует учитывать расширение их функциональных возможностей.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ
РАССМОТРЕННЫХ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ

Рациональность выбора алгоритма дискретного представления исследуемой функции определяется эффективностью сжатия данных и сложностью алгоритма (и соответствующего устройства). Эффективность оценивается коэффициентом сжатия данных.

В § I рассмотрены определения коэффициента сжатия данных. В общем виде определение этого коэффициента дано В.А. Витихом и А.Н. Гинзбургом с позиций теории информации и Э.Фридрифом на основе понятия ξ -энтропии. Однако вычисления по формулам, соответствующим этим определениям, весьма сложны. Известны и частные оценки этого коэффициента, отличающиеся своим практическим применением (Т.В.Донецкая и др.).

Для рассматриваемой задачи использован частный коэффициент - средний коэффициент сокращения числа отсчетов:

$$K = \frac{N_{p.d.}}{N_{н.д.}} \dots, (16)$$

где $N_{н.д.}$, $N_{p.d.}$ - число отсчетов, полученное соответственно при неравномерной и равномерной дискретизации исследуемой функции.

Показано, что такая оценка коэффициента правомерна, так как предложенные алгоритмы (устройства) дискретизации сравниваются в одинаковых условиях, т.е. при использовании одной степени, одного и того же вида полинома и при одном критерии приближения к определяемой функции.

В § 2 описаны результаты применения предложенных алгоритмов (и соответствующих устройств) для снятия кривых намагничивания ряда материалов (80НХС, 65НП, 50НП, КФ50, Э-42, Э-310, и др.).

Эффективность алгоритмов, определяемая коэффициентом K , при приведенной допустимой погрешности линейной аппроксимации:

$$\gamma_a = 1\% \text{ приведена в таблице № I.}$$

Таблица № I.

| Группы материалов | Средний коэффициент сокращения числа отсчетов | | |
|---------------------------------------|---|------------------------|--------------------------|
| | Алгоритм "перехода" | Алгоритм "совмещенный" | Алгоритм "слеящего типа" |
| Железкремниевые сплавы | 1,5 - 3 | 2,5 - 3,5 | 3 - 5 |
| Первая группа железоникелевых сплавов | 8 - 12 | 10 - 14 | - |
| Вторая группа железоникелевых сплавов | 15 - 25 | 15 - 30 | - |

Полученные результаты подтвердили выводы, сделанные во второй главе на основе теоретического анализа, что алгоритмы "перехода" и "совмещенный" эффективны для функций с резкими скачками скорости изменения и значительными линей-

ными участками (значение K доходит до 20 - 30), в то время как алгоритм адаптивной дискретизации "следающего типа" эффективен, для "гладких" функций.

Анализ значений коэффициента K , полученных при разных допустимых значениях погрешности линейной аппроксимации, показал, что эффективность алгоритмов "перехода" и "совмещенного" мало зависит от точности восстановления и даже несколько растет для "совмещенного" алгоритма, а эффективность алгоритмов адаптивной дискретизации "следающего типа", как и для других известных алгоритмов того же вида, падает с увеличением точности восстановления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении реферируемой работы получены следующие основные результаты:

1. Проанализированы возможности и показана эффективность использования цифровых устройств для измерения основных магнитных величин при определении различных магнитных характеристик материалов с целью повышения точности измерения и автоматизации трудоемких процессов снятия характеристик. Показано, что при получении характеристик типа "параметр-параметр" на основании дискретных совокупных измерений исходных величин целесообразно применение методов адаптивной дискретизации.

2. На основе анализа и систематизации известных способов адаптивной дискретизации построена их классификация по ряду наиболее существенных признаков, таких как вид адаптации, вид критерия приближения, подход к соблюдению

критерия приближения, используемые свойства сигналов или функции и метод воспроизведения исследуемой функции с учетом допустимой сложности технической реализации. Это позволило достаточно обоснованно выбрать метод и вид адаптации применительно к рассматриваемым задачам.

3. Получены формулы, определяющие величину кванта как по аргументу, так и по уровню значений функции при равномерной дискретизации исследуемой функции в плоскости ее переменных, а также формулы, определяющие необходимую частоту дискретизации функции при параметрическом ее задании, которые основаны на дифференциальных и частотных свойствах измеряемых функций.

4. Построены и исследованы алгоритмы и соответствующие устройства снятия измерительных данных, основанные на обработке результатов равномерной дискретизации /сокращения числа отсчетов на линейном участке исследуемой функции/, на элементах адаптивности /выбор переменной, по которой следует проводить равномерное квантование на текущем участке исследуемой функции/ и их сочетания /совмещенный алгоритм./ Эффективность указанных алгоритмов и устройств особенно существенна при применении к дискретизации функций с резкими изменениями скорости изменения функции, со значительными линейными участками, что характерно для большинства функциональных зависимостей, описывающих те или иные свойства материалов. Отличительной особенностью этих алгоритмов является то, что с ростом точности восстановления средний коэффициент сокращения числа отсчетов почти не изменяется /для алгоритма "перехода"/ или даже растет /для алгоритма "сок-

ращения числа отсчетов на линейном участке/.

5. Построены и исследованы варианты алгоритма адаптивной дискретизации, основанные на слежении непосредственно за погрешностью линейной интерполяции на текущем участке. Применение их эффективно для "гладких" функций, не имеющих резких скачков в изменении второй производной. Этот алгоритм, подобно другим адаптивным алгоритмам, обладает тем свойством, что для него средний коэффициент сокращения числа отсчетов падает с ростом точности восстановления исследуемой функции.

6. Построенные цифровые устройства используют блоки и узлы, которые состоят из известных элементов импульсной и вычислительной техники и, следовательно, обладают повышенной помехоустойчивостью и не требуют жестких метрологических характеристик.

Схемы и устройства являются инженерными решениями, пригодными для практического освоения.

7. Приведенные цифровые устройства обладают расширенными функциональными возможностями, т.е. в применении к магнитным измерениям позволяют одновременно как использовать отдельные блоки и узлы для выполнения целого ряда дополнительных операций, необходимых при автоматизации процесса снятия статических характеристик магнитных материалов, так и снимать некоторые дифференциальные характеристики.

8. Для оценки эффективности снятия измерительных данных при заданной точности воспроизведения определяемых

функций показана правомерность в рассматриваемых условиях частной оценки предложенных алгоритмов по среднему коэффициенту сокращения числа отсчетов.

9. Выполнены как качественная, так и приближенная количественная оценки сложности рассмотренных алгоритмов на основе представления их с помощью логических схем программы А.А. Ляпунова. Проведена оценка сложности разработанных цифровых устройств, использующая в качестве элементарной единицы сложности статический симметричный триггер, а в общей сложности - эквивалентное число триггеров. Сравнение обеих оценок доказало возможность оценить сложность разрабатываемого устройства на основе анализа логической схемы рассматриваемого алгоритма.

10. Построены и исследованы экспериментально предложенные устройства дискретного представления измеряемых функций для снятия кривых намагничивания ряда магнитных материалов. Разработанные устройства практически использованы в измерительной информационной системе для исследования магнитных свойств сплавов в широком диапазоне температур. Результаты применения предложенных устройств адаптивной дискретизации показали, что уменьшается требуемый объем памяти (в среднем в 5 - 10 раз), снижается трудоемкость и время как ручной, так и машинной обработки полученной измерительной информации.

Новизна предложенных алгоритмов и разработанных соответствующих устройств защищена девятью авторскими свидетельствами.

При выполнении диссертационной работы получены следующие авторские свидетельства:

1. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. Преобразователь напряжения - цифровой код, № I95209, 1967 г.
2. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. Цифровое устройство для измерения магнитных характеристик, № 224921, 1968 г.
3. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. Цифровое измерительное устройство, № 223477, 1968 г.
4. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. Устройство для дискретного представления двух функционально связанных величин, № 222759, 1968 г.
5. ПЕВЗНЕР Г.С., ЖИЦКОВА З.А., ЛАВРОВ В.П., ШЕЙФЕР П.Г. Устройство измерения кривой намагничивания магнитных материалов в баллистическом режиме, решение о выдаче от 5/УШ-1968г., по заявке № II64493/I8-10, 1968 г.
6. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И., ТИХОНОВ Э.П. Устройство адаптивной дискретизации при измерении функционально зависимых величин, по заявке № II45447/26-24, 1968г. Решение о выдаче от 22/IX-1967г.
7. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. Устройство для дискретного представления двух измеряемых функционально связанных параметров, № 226976, 1968 г.
8. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. Цифровое квантующее устройство по заявке № II76163/26-24, 1968 г.
Решение о выдаче от 29/II-1968г.
По материалам диссертации имеются следующие работы:
9. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. Устройство дискретного представления двух функционально связанных параметров

по заявке № I247374/I8-24

Решение о выдаче от 28/III-1969г.

10. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И., О взаимной адаптивной дискретизации двух функционально связанных величин. сб. "Сокращение объема измерительной информации" (труды I симпозиума), Институт автоматики и электрометрии СОАН СССР, изд. "Наука" СО, 1968г.
11. ПЕВЗНЕР Г.С., ЖИЦКОВА З.А., ЛАВРОВ В.П. Автоматизация исследований магнитных свойств сплавов, "Труды первой всесоюзной конференции по вычислительным системам", вып.6, Институт математики СОАН СССР, изд. "Наука" СО, 1968г.
12. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. Адаптивная дискретизация при определении характеристик нелинейных элементов электрических цепей, "Труды первой всесоюзной конференции по вычислительным системам", вып. 6., Институт математики СО АН СССР, изд. "Наука", СО, 1968г.
13. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. О способах адаптивной дискретизации при измерении, тезисы докладов пятой научно-технической конференции "Кибернетические пути совершенствования измерительной техники", ОНТИ ВНИИЭП, Ленинград 1966 г.
14. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. Автоматическое цифровое устройство для снятия гистерезисных петель, тезисы докладов пятой научно-технической конференции "Кибернетические пути совершенствования измерительной техники", ОНТИ ВНИИЭП, Ленинград 1966г.

15. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И. О способах дискретизации при измерении, сб. "Кибернетика в измерительной технике", ЦНИИТЭИПриборостроения, м., 1968г.
16. ПЕВЗНЕР Г.С., КАВАЛЕРОВ Г.И., ТИХОНОВ Э.П. Методы адаптивной дискретизации сигналов при измерении. тезисы докладов второй научно-технической конференции "Проблемы разработки электронных приборов для измерения электрических напряжений и омических сопротивлений, Таллин, 1967г.
17. ПЕВЗНЕР Г.С. Устройство адаптивной дискретизации при измерении двух функционально связанных величин, "Тезисы докладов седьмой научно-технической конференции молодых специалистов" ВНИИЭП, Ленинград 1968г.
18. ПЕВЗНЕР Г.С. Автоматическое сокращение объема избыточности измерительной информации при дискретном представлении двух функционально связанных величин, Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов по системам и средствам автоматического управления Киев 1967г.