

УДК 681.335

АЛГОРИТМЫ И СПОСОБЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ

© Е.И. Гликин, Е.В. Власова, А.А. Одинокова

Ключевые слова: информационные процессы и концепция, закономерности и технология; математическое обеспечение; модели и алгоритмы; динамические характеристики; переменные и параметры.

Проанализированы алгоритмы оптимизации информативных параметров динамических характеристик для систематизации закономерностей в информационную технологию творчества, как интеграла технологий проектирования компьютерных анализаторов и идентификации эффективности инноваций.

Способ – целенаправленная последовательность действий для достижения технической задачи [1–9]. Уровень способа определяет интеграл действий от оператора и алгоритма к методу и технологии. Уровень дифференциации способа пропорционален интегралу творчества [1; 9], а простота и оригинальность – пропорциональны уровню сложности вычисления (счисления и исчисления). Как новизна и сущность оператора зависят от уровня вычисления, так и новизна и сущность метода регламентирована уровнем алгоритма. Соответственно, эффективность технологии интегрирует совокупность методов с их дифференциацией до уровня исчисления и счисления. Взаимозависимость признаков способа на различных уровнях иерархии от оператора и алгоритма к методу и технологии подтверждает закономерности аналитического контроля в форме оптимальных предельных признаков, принимаемых за эквиваленты. Это случайные переменные множества измерений (времени и частоты, амплитуды и кода) и их предельные параметры (постоянная времени и резонансная частота, начальное или установившееся значения).

Цель работы: изучить анализ и синтез динамических характеристик по явным и неявным алгоритмам оптимизации информативных параметров различных режимов аппроксимации степенными полиномами для систематизации закономерностей в информационную технологию творчества.

Задачи:

- 1) провести анализ сходства и отличия переменных и параметров для выбора оптимальных информативных параметров динамических характеристик;
- 2) выявить закономерности оптимизации информативных параметров;
- 3) определить достоинства и недостатки неявных алгоритмов взаимозависимых параметров;
- 4) проанализировать вектор развития степенных операторов для повышения метрологической эффективности способов измерения;
- 5) провести сопоставительный анализ бинарных режимов для понижения порядка степенных операторов;
- 6) оценить достоинства линейных режимов для выявления закономерностей линеаризации информационных процессов.

1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Информативным параметром называют параметр физического процесса (сигнала измерительной информации), функционально связанный с измеряемой величиной [1, с. 78]. Параметрами электрического сигнала служат амплитуда (ток или напряжение, проводимость или сопротивление, их удельные или предельные параметры), время (широта и частота, фаза и скважность импульсов, их предельные параметры) и код (последовательный, параллельный и смешанный, их предельные эквиваленты). Физику процесса статистики, кинетики и динамики отражают, соответственно, статические, кинетические и динамические характеристики, параметры сигналов которых (амплитуда, время, код) функционально связаны с составом и свойствами материалов и веществ (концентрацией и кислотностью, вязкостью и влажностью, теплоемкостью и температуропроводностью).

Классически решают задачу стандартными средствами, регламентированными правилами ГОСТ. Проводят статистические испытания множества случайных переменных (материалов, процессов, пациентов), т. к. за информативные параметры по стандартам принимают множество случайных взаимосвязанных результатов и измерений. Зависимость результатов от измерений аппроксимируют статистической градуировочной характеристикой методом наименьших квадратов с регламентированной дисперсией из-за неоптимальных процессу коэффициентов, формируемых итерационным анализом методом последовательного приближения. Сложность итерации обусловлена решением многомерной системы степенных уравнений с множеством коэффициентов по числу случайных переменных. При их аппроксимации формируют фиксированную градуировочную характеристику среднестатистического субъекта с заведомо приближенными коэффициентами, обусловленными регламентом дисперсии.

Итерационный анализ множества случайных переменных по фиксированной градуировочной характеристике с приближенными коэффициентами и регламентированной дисперсией – плата за незнание физики информационного процесса и закономерностей аналитического контроля. Применение неуправляемой градуи-

ровочной характеристики в метрологических средствах деградирует гибкую архитектуру компьютерных анализаторов до примитивного уровня узкоспециализированных тестеров с жесткой структурой.

Альтернативой информативным параметрам множества случайных переменных служат их предельные параметры, однозначно отражающие физику явления и функциональную зависимость результатов от переменных по гибким калибровочным характеристикам, тождественным эквивалентам с оптимальными параметрами адаптивного диапазона с заданной точностью образцовых мер границ аналитического контроля компьютерных анализаторов.

Предельные параметры, в отличие от случайных переменных, однозначно определяют функциональную зависимость результатов от переменных, отражая по аналогии физику информационных процессов по экспоненциальной математической модели. Например, напряжение U электрического заряда конденсатора емкостью C через резистор сопротивлением R от источника E за время t соответствует импульсной динамической характеристике (ИДХ)

$$U = E(1 - e^{-t/T}) \quad (1)$$

ИДХ (1) интегрирует множество $i = 1, n$ результатов напряжения $U_i \in U$ со случайными переменными времени $t_i \in t$, взаимосвязанными между собой по неизвестным законам. При статистическом анализе из-за незнания модели (1) экспериментальную y ИДХ аппроксимируют, как правило, степенным полиномом [1, с. 50-54]

$$y = \sum_{i=0}^{n-1} a_i x^i \quad (1a)$$

с множеством $i = 0, n-1$ неизвестных коэффициентов аппроксимации. Их решение получают из системы n уравнений

$$y_j = \sum_{i=0}^{n-1} a_i x_j^i, \quad j = 1, n \quad (16)$$

методами последовательного приближения с регламентируемой *a priori* дисперсией $\sigma(x, y)$. Результатом решения системы (16) служит фиксированная статистическая градуировочная характеристика (1a) с расширяющейся дисперсией из-за приближенных коэффициентов a_i , не отражающих физику ИДХ (1).

Анализ ИДХ (1) выявляет закономерности [2; 9] предельных параметров E и T , отражающих физику явления по математической модели (1). Предельным параметром E служит установившееся напряжение амплитудой $U(t = \infty)$ за бесконечный интервал времени $t = \infty$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} U = \lim_{t \rightarrow \infty} E(1 - e^{-t/T}) = E,$$

что соответствует оптимальной закономерности:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} U = U_{\infty} = E. \quad (2)$$

Предельный параметр T является постоянной времени ИДХ в фиксированный момент $t = T$, когда степень экспоненты равна единице

$$\lim_{t \rightarrow T} U = \lim_{t \rightarrow T} E(1 - e^{-t/T}) = 0,63E.$$

Или относительно времени находим закономерность

$$\lim_{t \rightarrow 0,63E} \text{opt } t = t_T = T. \quad (2a)$$

Закономерности (2–2a) отражают и физический смысл предельных параметров, и их тождественность математической модели (1) ИДХ как ее оптимальных параметров, однозначно определяющих вид функциональной зависимости (1) из множества характеристик математической модели, адекватной физике конкретного объективного динамического процесса коррекции, калибровки и идентификации. Предельные параметры являются объективной мерой оценки точности аппроксимации измеренной характеристики к действительному значению эксперимента, поэтому их целесообразно применять как оптимальные информативные параметры тождественности эквиваленту калибровочной характеристики. Алгоритмы оптимизации предельных параметров должны быть представлены в явном виде, т. к. их решение находят из системы двух уравнений, соответствующих двум неизвестным. При этом вместо субъективного статистического способа итерации множества неизвестных коэффициентов градуировочной характеристики по большому количеству случайных переменных применяют объективный аналитический контроль действительных значений по двум оптимальным предельным параметрам калибровочной характеристики на двух образцах границ адаптивного диапазона.

Следовательно, согласно физическим закономерностям, информативными параметрами служат, в отличие от множества случайных переменных статистической градуировки, предельные параметры калибровочной характеристики за счет их оптимизации к действительному эквиваленту образцовыми мерами границ адаптивного диапазона коррекции, калибровки, идентификации.

2. КОРРЕКЦИЯ

Алгоритмы оптимизации выбирают из множества функций действительную характеристику по образцовым мерам границ адаптивного диапазона методом тождественности эквивалентам. Различают алгоритмы итерационного анализа и прямого синтеза, с зависимыми и независимыми параметрами, в явном и неявном виде.

Два неизвестных параметра находят из системы двух уравнений прямой зависимости (1) напряжения U_i

$$U_i = E(1 - e^{-t_i/T}) \quad (3a)$$

и ее инверсии относительно времени

$$t_i = -T \ln(1 - U_i / E) \quad (3б)$$

для $i = 1, 2$ числа границ диапазона. Система (3а) служит для вычисления постоянной времени T , а предельное установившееся напряжение E находят из системы (3б). По числу параметров различают измерения по одному и двум режимам, соответствующим методам повышения эффективности: коррекции и калибровки.

Коррекцией называют отождествление исследуемой характеристики относительно действительного эквивалента по образцу одной границы диапазона. Тождественность достигается в одной точке характеристики и в узком поддиапазоне при заданной погрешности за счет зависимых информативных параметров, представленных в неявном виде из-за одного измерения.

Зависимые параметры определяют [9, с. 51-54] из системы (3) относительно одной $i = 1$ границы диапазона

$$\begin{cases} U_1 = E(1 - e^{-t_1/T}) \\ t_1 = -T \ln(1 - U_1/T) \end{cases} \quad (3в)$$

При этом алгоритмы расчета информативных параметров представлены в неявной форме и вычисляются итерационным анализом

$$\begin{aligned} E &= U_1 / (1 - e^{-t_1/T}) \\ T &= -t_1 / \ln(1 - U_1 / E). \end{aligned} \quad (3г)$$

Достоинствами коррекции является простота одного измерения и его оперативность, необходимые для аддитивного или мультипликативного приближения данных тождественно образцу границы диапазона. Однако зависимые параметры (3) представлены в неявном виде, приводят к алгоритмам приближения итерационным анализом, что снижает их технологичность за счет неопределенного числа циклов приближения и метрологическую эффективность из-за невысокой точности и оперативности итерационного исчисления. Повышают технологическую и метрологическую эффективность увеличением образцов границ диапазона, т. е. заменяют коррекцию на калибровку со степенными режимами вычисления алгоритмов оптимизации информативных параметров.

3. КАЛИБРОВКА

Калибровкой называют отождествление измеренной функции эквиваленту эксперимента по множеству эталонов (образцов границ диапазона) [9, с. 44-51]. С позиций математики число n образцов соответствует n -й степени или алгоритмам оптимизации по степенным операторам (режимам вычисления). В математике степенными операторами для вычисления алгоритмов оптимизации могут служить методы последовательного приближения и итерационного анализа, разложение в бином и понижение степени [3].

3.1. *Последовательное приближение* организуют итерационным анализом [4] сравнения результатов расчета параметров на i -ом шаге (цикле) с $(i+1)$ -м ша-

гом по условию заданной погрешности из-за неявного представления взаимозависимых параметров итерации. Например, при вычислении параметра E из инверсного выражения (3б) системы уравнений

$$\begin{cases} t_1 = -T \ln(1 - U_1 / E) \\ t_2 = -T \ln(1 - U_2 / E) \end{cases} \quad (4)$$

при измерении в два момента времени t_1 и t_2 значений напряжения U_1 и U_2 . Для исключения параметра T делят второе уравнение системы (4) на первое, с учетом кратности интервалов времени $t_2 / t_1 = n$ получают логарифмическое уравнение

$$n \ln(1 - U_1 / E) = \ln(1 - U_2 / E).$$

Значение n вносят под логарифм левой части в виде показателя степени и освобождаются от логарифмической зависимости за счет экспоненцирования:

$$(1 - U_1 / E)^n = (1 - U_2 / E). \quad (4а)$$

Степенное уравнение (4а) представляет параметр E в неявном виде из-за его присутствия под оператором степени n в левой части и вне его – в правой. Для нахождения решения уравнение (4а) преобразуют к итерационному виду за счет введения j -х циклов (шагов итерации) вычисления последовательности взаимозависимых результатов E_{j-1} и E_j на предыдущем $(j-1)$ -м и последующим j -м шаге приближения

$$E_j = U_2 / [1 - (1 - U_1 / E_{j-1})^n]. \quad (4б)$$

Точность решения уравнения (4б) оценивают по погрешности [1; 9]

$$\varepsilon_j = \left| \frac{E_{j-1} - E_j}{E_{j-1}} \right|, \quad (4в)$$

согласно алгоритму итерации,

$$\text{если } \varepsilon_j \begin{cases} > \\ \leq \end{cases} \varepsilon_0, \text{ то } j = \begin{cases} j+1 \\ j \end{cases}, E_j = \begin{cases} E_j + \Delta \\ E_0 \end{cases}. \quad (4г)$$

Алгоритм (4г) реализует правило: если погрешность ε_j на j -м шаге больше эквивалента ε_0 , то последовательность итераций продолжается в $(j+1)$ -м цикле при алгебраическом суммировании к j -му результату E_j меры Δ ; в противном случае ($\varepsilon_j \leq \varepsilon_0$), то j -й цикл прекращается, а j -е решение E_j отождествляют с эквивалентом E_0 и принимают его за действительный результат итерационного исчисления.

К достоинствам последовательного приближения относят введение нормированных мер и оценок результатов итерации по целенаправленным алгоритмам. Недостатками служат сложность и длительность итерационного анализа, приближенные результаты и алгоритмы оптимизации из-за неявных операторов исчисления и последовательности взаимозависимых реше-

ний. Повышают точность решения степенных уравнений их разложением, например, в бином Ньютона.

3.2. *Бином Ньютона* приводит степенное уравнение к явному виду (5) за счет понижения степени при разложении полинома в степенной ряд по алгоритму [3, с. 135]

$$(a+b)^n = \sum_{k=0}^n C_n^k a^{n-k} b^k. \quad (5)$$

Проиллюстрируем понижение степени на примере разложения в бином Ньютона степенного уравнения (4а) при тождественной замене $a = 1$, $b = -U_1/E$ по алгоритму

$$(1 - U_1/E)^n = 1 - 2U_1/E + (U_1/E)^n. \quad (5а)$$

После разложения уравнение (4а) примет вид

$$1 - 2U_1/E + (U_1/E)^n = 1 - U_2/E$$

и понижается на порядок при сокращении единиц, а также знаменателя на E :

$$-2U_1 + U_1^n/E^{n-1} = -U_2.$$

Приведем подобные члены и получим в явном виде алгоритм оптимизации параметра E

$$E = U_1 / \sqrt[n-1]{2 - U_2/U_1}, \quad (5б)$$

который для бинарного соотношения $n = 2$, когда $t_2 = 2t_1$, представляется простым алгоритмом

$$E = U_1 / (2 - U_2/U_1). \quad (5в)$$

К достоинствам алгоритмов, получаемых разложением в бином Ньютона степенных уравнений, относятся простота исчисления и явный вид алгоритма оптимизации. Однако при повышении точности растет степень разложения бинома, усложняется алгоритм расчета параметров и увеличивается погрешность вычисления, что отрицательно влияет на методическую погрешность способов измерения и калибровки. Снижает методическую погрешность приближенный метод понижения степени.

3.3. *Понижение степени*, как и биномиальное разложение, приводит [1; 7; 9] алгоритм вычисления параметра к явному виду за счет сокращения полинома на линейный член $(a-b)$. Это обусловлено разложением в степенной ряд n -мерной разницы

$$a^n - b^n = (a-b) \prod_{i=1}^{n/2} (a^{n/2^i} + b^{n/2^i})$$

с приближением произведения $\prod$ степенных сумм к полиному

$$\prod \approx (a^{n-1} + b^{n-1}),$$

что соответствует соотношению

$$a^n - b^n = (a-b)(a^{n-1} + b^{n-1}). \quad (6)$$

Приведем понижение степени на примере биномиального разложения (6) решения системы (3а) для двух напряжений U_1 и U_2 , измеренных в соответствующие моменты времени t_1 и t_2 :

$$\begin{cases} U_1 = E(1 - e^{-t_1/T}) \\ U_2 = E(1 - e^{-t_2/T}) \end{cases} \quad (6а)$$

Для нахождения алгоритма оптимизации постоянной времени T поделим второе уравнение системы (6а) на первое

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1 - e^{-n t_1/T}}{1 - e^{-t_1/T}} \quad (6б)$$

с учетом кратности интервалов $t_2/t_1 = n$. Числитель выражения (6б) тождественен n -мерной разнице (6)

$$a^n - b^n = 1 - e^{-n t_1/T}$$

с тождественными компонентами $a = 1$, $b = \exp(-t_1/T)$, что соответствует разложению

$$1 - e^{-n t_1/T} = (1 - e^{-t_1/T})(1 + e^{-(n-1)t_1/T}). \quad (6в)$$

После замены числителя выражения (6б) разложением (6в) получим равенство

$$U_2/U_1 = (1 + e^{-(n-1)t_1/T}) \quad (6г)$$

при сокращении числителя (6б) на знаменатель. Разделим переменные равенства (6г)

$$e^{-(n-1)t_1/T} = U_2/U_1 - 1$$

и после логарифмирования найдем алгоритм оптимизации параметра T в явном виде

$$T = (1-n)t_1 / \ln(U_2/U_1 - 1). \quad (6д)$$

Для бинарного отношения интервалов $t_2/t_1 = n = 2$ степенной алгоритм (6д) представляется простым отношением

$$T = -t_1 / \ln(U_2/U_1 - 1), \quad (6е)$$

тождественным алгоритму оптимизации калибровочной характеристики способа бинарных режимов.

Достоинством понижения степени биномиальным разложением является простота полинома (6) и техника

расчета алгоритмов в явном виде, а при увеличении отношения интервалов $t_2/t_1 = n$ погрешность разложения стремится к нулю, что характерно для избыточного усиления и требует применения линейных интегральных схем на операционных усилителях. Закономерности избыточности усиления и линейности преобразования с минимальной погрешностью временного, температурного и параметрического дрейфа относительно нормируемой меры – основа проектирования прецизионных автоматических интерфейсов ввода-вывода компьютерных анализаторов в частности и микропроцессорных средств и систем в целом. К недостаткам понижения степени относятся методическая погрешность алгоритмов вычисления параметров из-за приближенного биномиального разложения. Повышают точность вычисления параметров оптимизации виртуальные калибровки.

4. ВИРТУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Калибровка по виртуальным характеристикам [7] организует алгоритмы оптимизации предельных параметров по производным первообразных функций. Например, производными вольтамперной (ВАХ) и амплитудно-временной (АВХ) по напряжению характеристик являются, соответственно, виртуальные образы вольтсименсной характеристики (ВСХ) и АВХ по току. Покажем виртуальную калибровку на примере АВХ по току, реализуемую по производной во времени АВХ по напряжению

$$U' = C \frac{dU}{dt} = C \frac{dE(1 - e^{-t/T})}{dt} = I,$$

где C – электрическая емкость, а I – электрический ток. После взятия производной находим ток

$$I = C \frac{E}{T} e^{-t/T} = I_0 e^{-t/T}, \quad (7)$$

где I_0 – начальный (предельный, максимальный) ток в начальный момент времени $t = 0$. Физический смысл начального тока I_0 следует из предела

$$\lim_{t \rightarrow 0} I = I_0 e^{-0/T} = I_0,$$

что соответствует максимальному предельному току, информативному параметру виртуальной калибровочной характеристики (7) в виде закономерности – оптимизации по току

$$\text{opt } I = I_0. \quad (7a)$$

Физика параметра I_0 очевидна из модели (7)

$$I_0 = C \frac{E}{T} = \frac{CE}{CR} = \frac{E}{R}, \quad (7b)$$

т. е. отношение установившегося напряжения E к активному сопротивлению R называют током.

Из математической модели (7) следует, что переменными АВХ по току являются взаимозависимые

между собой множества значений тока I_i для $i = 1, n \rightarrow \infty$ в случайные i -е моменты времени t_i . Использование множества случайных переменных в качестве информативных параметров приводит к средне-статистической градуировочной характеристике, регламентируемой правилами ГОСТ для тестеров с жесткой структурой с заданной дисперсией в узком диапазоне. Информативными параметрами могут служить только предельные параметры виртуальной АВХ: начальный ток I_0 (7a) и постоянная времени T – интервал времени, когда ток в e раз меньше предельного тока I_0 . Это правило следует из предела

$$\lim_{t \rightarrow T} I = I_0 e^{-T/T} = I_0 / e$$

и соответствует закономерности

$$\text{opt } I = I_T = I / e, \quad (7b)$$

где $e = 2,7(1828)$ – основание натурального логарифма.

Предельный параметр T времени находят из системы двух уравнений виртуальной АВХ (7):

$$\begin{cases} I_1 = I_0 e^{-t_1/T} \\ I_2 = I_0 e^{-t_2/T} \end{cases} \quad (7г)$$

и их инверсии при определении тока I_0 :

$$\begin{cases} t_1 = -T \ln I_1 / I_0 \\ t_2 = -T \ln I_2 / I_0 \end{cases} \quad (7д)$$

Найдем алгоритм оптимизации начального тока из отношения второго уравнения системы (7д) к первому

$$\frac{t_2}{t_1} = k = \frac{\ln I_2 / I_0}{\ln I_1 / I_0},$$

которое представим логарифмическим уравнением

$$k \ln I_1 / I_0 = \ln I_2 / I_0.$$

Внесем множитель k под логарифм и проэкспоненцируем его

$$(I_1 / I_0)^k = I_2 / I_0.$$

Понизим степень уравнения на I_0 и запишем алгоритм определения предельного тока

$$I_0 = I_1^{k-1} \sqrt[k]{I_1 / I_2}, \quad k = t_2 / t_1. \quad (7e)$$

Из решения системы уравнений (7г) аналогично находят алгоритм оптимизации параметра T :

$$T = \frac{t_2 - t_1}{\ln I_1 / I_2}. \quad (7ж)$$

Алгоритмы (7е, 7ж) служат для оптимизации виртуальной АВХ по току (7) к действительной характеристике конкретного физического процесса.

Простые алгоритмы в явной форме выделяют калибровку по виртуальным характеристикам от других степенных режимов. К недостаткам следует отнести сложность измерения производных характеристик из-за зашумленности и дрейфа первообразных АВХ, которые возрастают на порядок при вычислении производной. Для исключения случайной погрешности аппроксимируют производную характеристику по информативным предельным параметрам первообразной посредством математической модели, т. е. за счет виртуальных измерений, что отражает сущность и название калибровки по «виртуальным» характеристикам.

Следовательно, степенные режимы развиваются от последовательного приближения по итерациям к биномиальному разложению до калибровки по виртуальным характеристикам для повышения метрологической эффективности, а именно методической и динамической погрешности за счет математического моделирования действительных характеристик эксперимента.

5. БИНАРНЫЕ РЕЖИМЫ

Бинарные режимы [8–9] являются частным результатом степенных режимов для степени $n = 2$ кратной двум, при этом степенной полином представляется квадратным уравнением. Бинарная кратность на степень снижает порядок квадратичной функции, а решения линейных уравнений просты и технологичны, в явном виде с точным алгоритмом, исключающим последовательное приближение и итерационный анализ.

Действительно, для ИДХ (1) при бинарных интервалах времени $t_2 = 2t_1$, когда $i = 1, 2$, справедливы системы уравнений [8]

$$\begin{cases} U_i = E(1 - e^{-t_i/T}) \\ t_i = -T \ln(1 - U_i/T) \end{cases} \quad (8)$$

Постоянную времени T находят из отношения U_2/U_1 прямой системы уравнений (8)

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1 - e^{-2t_1/T}}{1 - e^{-t_1/T}} = 1 + e^{-t_1/T},$$

т. к. числитель представляет разницу квадратов. Преобразуем экспоненциальное уравнение

$$e^{-t_1/T} = U_2/U_1 - 1$$

и после логарифмирования находим в явном виде алгоритм вычисления постоянной времени

$$T = -t_1 / \ln(U_2/U_1 - 1), \quad (8a)$$

тождественный выражению (6е) для частного решения степенного алгоритма (6д) при бинарной кратности интервалов $t_2 = 2t_1$.

Аналогично вычисляют предельный потенциал E из бинарной кратности $t_2/t_1 = 2$ инверсной системы уравнений (8)

$$\frac{t_2}{t_1} = 2 = \frac{\ln(1 - U_2/E)}{\ln(1 - U_1/E)}.$$

Запишем логарифмическое уравнение

$$2 \ln(1 - U_1/E) = \ln(1 - U_2/E),$$

а после экспоненцирования получаем квадратное выражение

$$(1 - U_1/E)^2 = (1 - U_2/E).$$

Разложим левую часть уравнения, сократим единицы и понизим на E степень

$$-2U_1 + U_1^2/E = -U_2.$$

Приведем подобные члены и выразим алгоритм вычисления предельного напряжения E в явном виде

$$E = U_1 / (2 - U_2/U_1). \quad (8б)$$

Тождественный частному решению (5в) степенного алгоритма параметра E для бинарного отношения $n = 2$ интервалов времени.

Изясность и явный вид алгоритмов (8а, 8б) обусловлены техникой понижения до линейной зависимости квадратного уравнения, как частного решения степенного полинома для бинарной кратности степени $n = 2$. Однако, бинарность характеристик на порядок снижает гибкость режимов и, как следствие, ограничивает на порядок ширину диапазона при фиксированной точности или регламентирует на порядок погрешность при заданном диапазоне аналитического контроля. Простота и технологичность алгоритмов бинарных режимов наибольшую ценность представляет для градуировочных характеристик тестеров с жесткой структурой и положена в основу правил ГОСТ для проектирования по стандартам узкоспециализированных измерительных приборов.

Бинарные режимы инициализировали замену жесткой структуры узкоспециализированных тестеров с фиксированной градуировочной характеристикой к гибкой архитектуре матричной ассоциации компьютерных анализаторов с высокоэффективной калибровкой благодаря замене бинарной кратности n -мерной размерностью. Повышение оперативности и точности автоматических интерфейсов микропроцессорных средств потребовали линеаризации преобразования информации, которые возможны при реализации линейных режимов.

6. ЛИНЕЙНЫЕ РЕЖИМЫ

Линейное преобразование сигнала – основа информационных процессов, закономерность последовательного соединения каскадов с коэффициентом усиления больше единицы [2; 9]. Линейность обусловлена избыточностью усиления в аналоговой и импульсной технике, программной и аппаратной избыточностью адресного и функционального пространства матричной архитектуры цифровой и микропроцессорной техники. Структурная и параметрическая, функциональная и

метрологическая избыточность микропроцессорной техники обеспечивает *a priori* закономерности линейного преобразования аналогового, импульсного и цифрового сигнала за счет приведения нелинейности к нормируемому единичному эквиваленту с нулевой погрешностью нелинейности. Избыточность параллельных структур и связей приводит к исключению температурного, временного и параметрического дрейфа благодаря закономерности нормирования к нулю случайной погрешности дрейфа, обусловленной условием равновесия моста. Избыточность смешанных каскадов гарантирует гальваническую развязку выходных сигналов от входных посредством разделения их нормируемым нулевым эквивалентом виртуальной земли с наведенным нулевым потенциалом для регламентации нулевой погрешности меры отсчета.

Следовательно, линейность – закономерность избыточных структур и параметров, информационных функций и нормируемых оценок аналоговой, импульсной и цифровой в частности и микропроцессорной техники в целом, с нормированным нулевым интегралом погрешности нелинейности, дрейфа и меры отсчета.

Физику линейности информационных процессов подтверждает математический анализ разложения алгебраических функций (экспонент и полиномов) в линейные члены до степени первого порядка [6, с. 88, 179]:

$$e^{-ax} = \sum_{i=0}^{n-1} (-1)^i (ax)^i / i! \cong 1 - ax. \quad (9)$$

Тождественность физических и математических преобразований регламентирует линейность преобразования статических, кинетических и динамических характеристик за счет избыточности усиления и гибкости архитектуры техники, а также универсальности математического обеспечения и адаптивности метрологических средств науки. По количеству измерений различают линеаризацию по одному и двум режимам.

6.1. *Линеаризация по одному режиму* [9, с. 125–132]. Линеаризуем ИДХ (1) экспоненциального вида до линейной динамической характеристики по правилу (9)

$$U = E(1 - e^{-t/T}) \cong E[1 - (t/T)]$$

с учетом тождественности $ax = t/T$. Приведя подобные члены, находим линейную математическую модель ИДХ:

$$U = Et/T \quad (9a)$$

с линейным преобразованием амплитуда–время

$$U/E = t/T. \quad (9б)$$

Из выражений (9а, 9б) следует алгоритм определения начального тока

$$\frac{E}{T} = I_0 = \frac{U}{t} \quad (9в)$$

за счет измерения в i -й момент времени t_i линейной амплитуды напряжения U_i для $i = 1$.

Аналогично линеаризуется вольтамперная и амплитудно-частотная характеристики. К недостаткам одно-режимных алгоритмов относятся взаимозависимые параметры из-за неявного их представления, от них свободны алгоритмы по двум измерениям.

6.2. *Линеаризация по двум режимам* [9, с. 147–155] на примере АВХ тока по зависимости (9) приводит к явным алгоритмам предельных параметров тока I_0 и времени T

$$I = I_0 e^{-t/T} \cong I_0(1 - t/T). \quad (10)$$

По двум измерениям амплитуды тока I_1, I_2 в два момента времени t_1, t_2 согласно модели (10) составляют систему уравнений для $i = 1, 2$

$$\begin{cases} I_i = I_0(1 - t_i/T) \\ t_i = T(1 - I_i/I_0) \end{cases} \quad (10a)$$

Из первой системы (10а) находят параметр T из отношения I_1/I_2 для исключения тока I_0 и составляют линейное уравнение

$$I_1(1 - t_2/T) = I_2(1 - t_1/T),$$

раскрывают скобки, приводят подобные члены

$$I_1 - I_2 = (I_1 t_2 - I_2 t_1)/T,$$

и получают алгоритм оптимизации постоянной времени

$$T = \frac{I_1 t_2 - I_2 t_1}{I_1 - I_2}. \quad (10б)$$

Рассчитывают алгоритм предельного тока I_0 из отношения $t_2/t_1 = n$ инверсной системы (10а) для исключения параметра T из линейного уравнения

$$n(1 - I_1/I_0) = (1 - I_2/I_0),$$

и после несложных математических преобразований

$$(nI_1 - I_2)/I_0 = (n - 1)$$

находят алгоритм оптимизации начального тока

$$I_0 = \frac{nI_1 - I_2}{n - 1}. \quad (10в)$$

Алгоритмы (10б, 10в) представлены в явном виде, что исключает методическую погрешность из-за разделения взаимозависимых параметров и повышает гибкость архитектуры, универсальность математического обеспечения и адаптивность метрологических средств микропроцессорной техники.

Следовательно, линейные режимы развиваются от взаимозависимых алгоритмов расчета неявных параметров для одного измерения к измерениям по числу предельных параметров с независимыми алгоритмами

оптимизации в явном виде для организации функциональной и метрологической, структурной и параметрической избыточности, регламентирующей линейное преобразование информационных процессов для систематизации выявленных закономерностей аналоговой, импульсной и цифровой техники в информационную технологию творчества микропроцессорной техники как неделимый интеграл дифференцированных технологий проектирования компьютерных анализаторов и идентификации эффективности инноваций по тождественности прототипов нормированным эквивалентам.

ВЫВОДЫ

1. Согласно физическим закономерностям, информативными параметрами служат, в отличие от множества случайных переменных статистической градуировки, предельные параметры калибровочной характеристики за счет их оптимизации к действительному эквиваленту образцовыми мерами границ адаптивного диапазона.

2. Закономерности отражают и физический смысл предельных параметров, и их тождественность математической модели ИДХ как ее оптимальных параметров, однозначно определяющих вид функциональной зависимости из множества калибровочных характеристик математической модели, адекватной физике конкретного объективного динамического процесса коррекции, калибровки, идентификации. По числу параметров различают измерения по одному и двум режимам, соответствующим методам повышения эффективности: коррекции и калибровке.

3. Достоинствами коррекции является простота одного измерения и его оперативность, необходимые для аддитивного или мультипликативного приближения данных тождественно образцу границы диапазона. Однако зависимые параметры (3) представлены в неявном виде, приводят к алгоритмам приближения итерационным анализом, что снижает их технологичность за счет неопределенного числа циклов приближения и метрологическую эффективность из-за невысокой точности и оперативности итерационного исчисления. Повышают технологическую и метрологическую эффективность увеличением образцов границ диапазона, т. е. заменяют коррекцию на калибровку со степенными режимами вычисления алгоритмов оптимизации информативных параметров.

4. Степенные режимы развиваются от последовательного приближения по итерациям к биномиальному разложению до калибровки по виртуальным характеристикам для повышения метрологической эффективности, а именно методической и динамической погрешности за счет математического моделирования действительных характеристик эксперимента. Простые алгоритмы в явной форме выделяют калибровку по виртуальным характеристикам от других степенных режимов. Для исключения случайной погрешности аппроксимируют производную характеристику по информативным предельным параметрам первообразной посредством математической модели, т. е. за счет виртуальных измерений, что отражает сущность и название калибровки по «виртуальным» характеристикам.

5. Простота и технологичность алгоритмов бинарных режимов наибольшую ценность представляют для градуировочных характеристик тестеров с жесткой

структурой и положены в основу правил ГОСТ для проектирования по стандартам узкоспециализированных измерительных приборов.

Бинарные режимы инициализировали замену жесткой структуры узкоспециализированных тестеров с фиксированной градуировочной характеристикой к гибкой архитектуре матричной ассоциации компьютерных анализаторов с высокоэффективной калибровкой благодаря замене бинарной кратности n -мерной размерностью. Повышение оперативности и точности автоматических интерфейсов микропроцессорных средств потребовали линеаризации преобразования информации, которые возможны при реализации линейных режимов.

6. Линейные режимы развиваются от взаимозависимых алгоритмов расчета неявных параметров для одного измерения к измерениям по числу предельных параметров с независимыми алгоритмами оптимизации в явном виде для организации функциональной и метрологической, структурной и параметрической избыточности, регламентирующей линейное преобразование информационных процессов для систематизации выявленных закономерностей аналоговой, импульсной и цифровой техники в информационную технологию творчества микропроцессорной техники как неделимый интеграл дифференцированных технологий проектирования компьютерных анализаторов и идентификации эффективности инноваций по тождественности прототипов нормированным эквивалентам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Метрология, стандартизация и сертификация / под ред. В.В. Алексеева. М.: Академия, 2008. 384 с.
2. Глинкин Е.И. Закономерности аналоговых преобразований // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 3. С. 1000-1005.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Наука, 1986. 544 с.
4. Бояринов А.Е., Глинкин Е.И. и др. Способ определения температуры терморезистором: патент № 2249798 (РФ), МКИ G01K 7/22. 2005. Бюл. № 10.
5. Аладинская А.А., Синозацкая О.В., Глинкин Е.И. Способ определения концентрации ионов водорода: патент № 2466385 (РФ), МКИ G01N 27/416. 2012. Бюл. № 31.
6. Русавская И.В., Бирюкова Е.В., Глинкин Е.И. Способ определения концентрации глюкозы в крови: патент № 2444279 (РФ), МКИ А 61 5/022. 2012. Бюл. № 7.
7. Одинокова А.А., Голощапов А.А., Глинкин Е.И. Способ определения влажности: патент № 2504759 (РФ), МКИ G01N 27/04. 2014. Бюл. № 2.
8. Глинкин Е.И., Одинокова А.А. Информационные технологии кондуктометрии // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 2. С. 674-678.
9. Глинкин Е.И. Техника творчества: монография. Тамбов: ТГТУ, 2010. 168 с.

Поступила в редакцию 11 августа 2014 г.

Glinkin Ye.I., Vlasova E.V., Odinokova A.A. ALGORITHMS AND WAYS OF OPTIMIZATION OF PARAMETERS

Algorithms of optimization of informative parameters of dynamic characteristics for systematization of regularities in information technology of creativity, as integral of technologies of design of computer analyzers and identification of efficiency of innovations are analyzed.

Key words: information processes and concept, regularities and technology; software; models and algorithms; dynamic characteristics; variables and parameters.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской техники, заслуженный изобретатель Российской Федерации, e-mail: glinkinei@rambler.ru

Glinkin Yevgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Bio-medical Technics Department, Honored Inventor of Russian Federation, e-mail: glinkinei@rambler.ru

Власова Елена Викторовна, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант, кафедра «Биомедицинская техника», e-mail: bmt@nnn.tstu.ru

Vlasova Elena Viktorovna, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Post-graduate Student, Bio-medical Technics Department, e-mail: bmt@nnn.tstu.ru

Одиноква Александра Александровна, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант специальности «Биотехнические системы и технологии», e-mail: glinkinei@rambler.ru

Odinokova Aleksandra Aleksandrovna, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate for Master's Degree of "Bio-technical systems and technologies" Speciality, e-mail: glinkinei@rambler.ru