

Методы повышения быстродействия и точностных характеристик преобразователей ортогональных составляющих сигнала в амплитуду

А. М. АВЕРЬЯНОВ, И. В. ПАНТЕЛЕЕВ, В. В. ЧЕКУШКИН

Муромский институт Владимирского государственного университета им. Столетовых,
Муром, Россия, e-mail: ilya-panteleev@mail.ru

На примере измерения параметров вибрации валов и амплитуды сигналов с неизвестной начальной фазой проведен сравнительный анализ методов и алгоритмов вычисления функций $f(x) = \sqrt{x}$ и $f(x) = 1/\sqrt{x}$ с позиций получения предельных оптимальных соотношений по времени преобразования, точностным характеристикам и программно-аппаратным затратам.

Ключевые слова: измерительные системы, полином наилучшего приближения, многомерная оптимизация, итерационные и гибридные методы вычислений, погрешность измерений.

For example of measurement of vibration parameters of shafts, signals with unknown initial phase a comparative analysis methods and algorithms for computing functions $f(x) = \sqrt{x}$ and $f(x) = 1/\sqrt{x}$ from the point of maximum optimal ratios conversion time, accuracy characteristics and software and hardware costs was carried out.

Key words: measuring systems, polynomial of the best approaching, multidimensional optimization, iterative and hybrid computing methods, measurement errors.

При проведении в реальном масштабе времени различных измерений в технических системах актуально рациональное проектирование структур измерительных и вычислительных устройств с устранением избыточной точности результатов. При этом диапазон представления погрешностей может изменяться от 50 до 0,001 % и менее, что соответствует интервалу от 1 до 24 и более двоичных разрядов результата в формате с фиксированной запятой перед старшим разрядом [1].

Например, первичные аналоговые средства контроля вибраций могут обеспечить измерения параметров колебательного движения твердого тела с наименьшей относительной погрешностью 0,1 — 0,2 %. Рабочие виброметры и вибропреобразователи для диагностики валов турбин позволяют измерить параметры механических колебаний с относительной погрешностью порядка 0,5 — 3 %.

При регистрации и измерениях квадратурных составляющих A и B сигналов со случайной начальной фазой используется выражение $Z = \sqrt{A^2 + B^2}$; определение амплитуды выходного сигнала Z не будет зависеть от фазы. Вычисление амплитуды такого сигнала на радиолокационных станциях должно выполняться в реальном масштабе времени в каждом текущем элементе разрешения по дальности, например, в интервале с линейным разрешением в 10 м, что соответствует временному интервалу вычислений 66 нс.

В компенсаторах переменного тока при измерении амплитуды и фазы сигнала необходимо обеспечить относитель-

ную погрешность результата измерений $\delta_p \approx 0,2$ %. В этом случае требования по быстродействию к измерительному устройству не являются критическими и время вычислений может составлять 10 — 100 мс и более.

Для преобразования аналоговых величин в цифровые широко используются 4-, 8-, 24-разрядные аналого-цифровые преобразователи (АЦП) с шагом изменения порядка двух двоичных разрядов. Такие преобразователи вносят в суммарную погрешность результата измерений составляющую $\delta_{АЦП} \approx (8 \dots 10^{-4})$ %. Измерительная система включает аналоговые и цифровые устройства. Составляющие погрешностей аналоговых устройств устранять сложнее, чем цифровых. В связи с этим в погрешности результата доля погрешностей цифровых устройств не должна превышать, например, 25 % погрешностей аналоговых устройств.

В этих условиях в специализированных вычислителях при различных применениях и, как следствие, различных значениях погрешностей вычислений следует использовать наиболее рациональные методы и алгоритмы для сокращения программно-аппаратных и временных затрат. Частично сравнение методов вычисления квадратного корня применительно к измерительной системе проведено при формировании от трех до двадцати значащих двоичных разрядов функции [1—3].

Цель данной статьи — сравнительный анализ и совершенствование быстродействующих методов и алгоритмов вычисления функций $f(x) = \sqrt{x}$ и $f(x) = 1/\sqrt{x}$. В специализи-

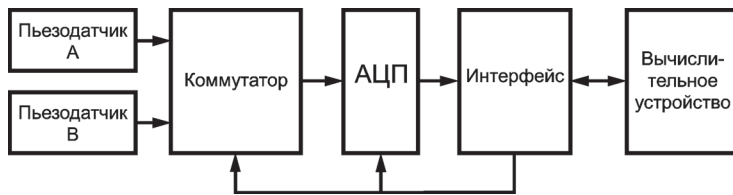


Рис. 1. Измерительная система для определения амплитуды вибраций вала

рованных измерительных и вычислительных системах при исключении неостребованной избыточной точности с формированием от 1 до 64 значащих двоичных разрядов в формате с фиксированной запятой перед старшим разрядом использованы методы обеспечения максимального приращения числа значащих цифр в представлении результата при соответствующем минимальном увеличении числа вычислительных операций и обращений к памяти. Проведено предварительное моделирование процедуры выбора наилучшего полиномиального приближения функций $f(x) = \sqrt{x}$ и $f(x) = 1/\sqrt{x}$ для обеспечения наиболее вы-

сокой эффективности и достоверности представления результатов при реализации алгоритмов.

Структура измерительной системы. На рис. 1 в качестве примера представлена система для определения параметров вибраций валов с использованием двух пьезодатчиков. Последовательно через коммутатор на АЦП подаются аналоговые сигналы А и В, которые фиксируют колебания во взаимно-перпендикулярных направлениях. В вычислительное устройство через интерфейс вводятся эти сигналы с неизвестной начальной фазой и рассчитываются амплитуды

сигнала $Z = \sqrt{A^2 + B^2}$. При использовании калибровки измерительного канала максимальное значение погрешности результата измерений запишем в виде [5]:

$$\delta_p = \delta_d + \delta_{\text{АЦП}} + \delta_{\text{ЦУ}} + \delta_m,$$

где δ_d — погрешность дискретизации, обусловленная дискретным представлением аргумента с конечным числом разрядов; $\delta_{\text{ЦУ}}$ — погрешность цифрового устройства, вызванная, в частности, конечным числом разрядов представления операндов; δ_m — погрешность метода вычисления функции.

Предположим, что погрешности $\delta_{\text{АЦП}}$ и $\delta_{\text{ЦУ}}$ не превышают цены деления двух младших разрядов. Тогда для 8 — 24-разрядных АЦП значения относительной погрешности $\delta_{\text{АЦП}} \in [0,8\%; 0,0001\%]$. Таким образом, практический интерес представляет такая комплектация измерительной системы, когда погрешности, вносимые различными устройствами, соразмерны, т. е. затраты на их реализацию не являются избыточными.

Полиномиальные методы вычисления амплитуды сигнала по ортогональным составляющим. Наиболее трудоемкой операцией при вычислении функции $Z = \sqrt{A^2 + B^2}$

является извлечение квадратного корня. На рис. 2, а показан график аппроксимации функции $f(x) = \sqrt{x}$ полиномом $L_1(x) = 0,125 + x$ с погрешностью метода $\delta_m = 0,125$. В табл. 1 представлены полиномы наилучшего приближения (1—5)-й степеней и соответствующие им значения δ_m .

Анализ табл. 1 показывает, что применение полиномиального метода для интервала $x \in [0; 1]$ эффективно только для значений $\delta_m = 0,033 \dots 0,125$, поскольку при увеличении степени полинома выше четвертой на каждую дополнительную вычислительную операцию приходится приращение только в десятые доли двоичной значащей цифры результата.

Полиномиальный метод вычислений с ограничением нижней границы аргумента. Полиномиальный метод вычисления можно улучшить исходя из следующих соображений.

Для аппроксимации функции $f(x) = \sqrt{x}$ наиболее критичен участок при $x \rightarrow 0$, поскольку первая производная $f'(x) \rightarrow \infty$. Очевидно, что всегда присутствует погрешность δ_m ; ее можно существенно уменьшить, ограничив нижний предел аргумента величиной $x \leq \delta_m^2 (\sqrt{x} \leq \delta_m)$ с присвоением при $x < x_{\min}$

функции значений $f(x) = 0$. Если при этом обеспечить симметрирование погрешности δ_m со сдвигом ее значения на половину единицы младшего разряда при $x \in [0; x_{\min}]$, изменив тем самым интервал значений погрешности результата от $\delta \in [0; \delta_m]$ до $\delta \in [-\delta_m; \delta_m]$ с присвоением функции при $x < x_{\min}$

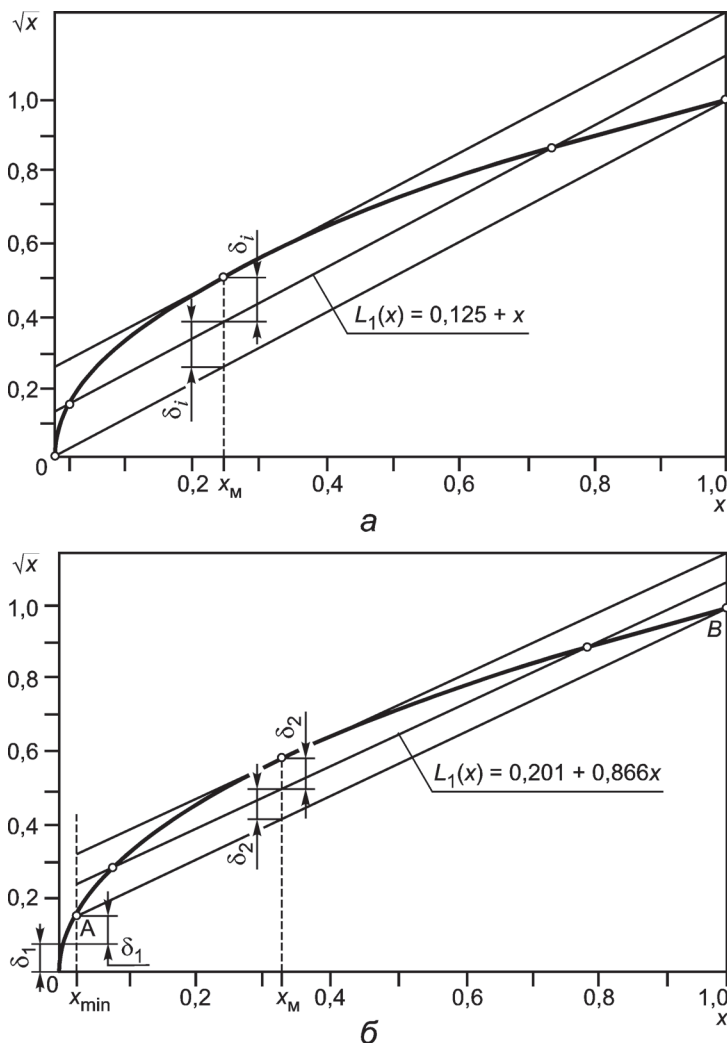


Рис. 2. Аппроксимация функции $f(x) = \sqrt{x}$ на интервале $x \in [0; 1]$ полиномом первой степени без учета $x_{\min}$ (а) и с учетом $x_{\min}$ (б)

значений δ_p то из критического интервала аппроксимации можно исключить больший отрезок $\sqrt{x_{\min}} = 2\delta_m$ или

$$x_{\min} = 4\delta_m^2 \quad (1)$$

с закономерным снижением δ_m вследствие сокращения критического интервала (рис. 2, б).

Уменьшение погрешности δ_m за счет ограничения $x_{\min}$ и ее расчет проиллюстрируем на примере полинома первой степени. Для аппроксимации на интервале $x \in [0; 1]$ имеем полином $L_1(x) = 0,125 + x$ (см. рис. 2, а) с погрешностью $|\delta_m| = 0,125$.

Рассмотрим эффект исключения $x_{\min}$, для этого в соответствии с (1) запишем

$$\delta_m = \sqrt{x_{\min}} / 2. \quad (2)$$

Для полинома наилучшего приближения $L_1(x)$, построенного на интервале $x \in [x_{\min}; 1]$, погрешность аппроксимации

$$\delta_2 = \left(\sqrt{x_m} - (x_m + \sqrt{x_{\min}}) / (1 + \sqrt{x_{\min}}) \right) / 2, \quad (3)$$

где $(x_m + \sqrt{x_{\min}}) / (1 + \sqrt{x_{\min}})$ — ордината прямой AB , проходящей через точки $A(x_{\min}, \sqrt{x_{\min}})$, $B(1, 1)$ и точку (см. рис. 2, б), соответствующую абсциссе x_m максимального значения по-

грешности. В точке x_m производная функции $f(x) = \sqrt{x}$ равна углу наклона прямой AB .

Следовательно, $f'(x_m) = (1 - \sqrt{x_{\min}}) / (1 - x_{\min})$, откуда $x_m = (1 + \sqrt{x_{\min}})^2 / 4$ и (3) приобретает вид

$$\delta_2 = 0,125 \left(x_{\min} - 2\sqrt{x_{\min}} + 1 \right) / \left(\sqrt{x_{\min}} + 1 \right). \quad (4)$$

Поскольку суммарная погрешность результата вычисления $\sqrt{x}$ определяется по максимальной погрешности аппроксимации на обоих частичных интервалах, очевидно, что ни одна из них не должна превышать другую, т. е. требуется обеспечить равенство: $\delta_1 = \delta_2 = \delta_m$. Приравняв (2) и (4),

получаем оптимальное значение $x_{\min} = (7 - 4\sqrt{3}) / 3 \approx 0,0239$, аппроксимирующий полином $L_1(x) = 0,201 + 0,866x$ на интервале $x \in [x_{\min}; 1]$ и погрешность метода $\delta_m = 0,077$, сниженную по сравнению с первоначальной в 1,623 раза.

Комбинированные полиномиальные методы аппроксимации $f(x) = \sqrt{x}$ на интервале $x \in [0; 1]$

Схема аппроксимации	Подынтервал аппроксимации	Полином наилучшего приближения $L_n(x)$	δ_m	Число операций			
				?	+	×	а
$1L_1$	$[0; 0,0239]$ $(0,0239; 1]$	$L_0(x) = 0,077$ $L_1(x) = 0,201 + 0,866x$	0,077	1	1	1	2
$1L_2$	$[0; 0,007428]$ $(0,007428; 1]$	$L_0(x) = 0,0431$ $L_2(x) = 0,117 + 1,656x - 0,816x^2$	0,0431	1	2	2	3
$1L_3$	$[0; 0,00352]$ $(0,00352; 1]$	$L_0(x) = 0,0296$ $L_3(x) = 0,08 + 2,452x - 3,182x^2 + 1,679x^3$	0,0296	1	3	3	4
$2L_1$	$[0; 0,00405]$ $(0,00405; 0,165]$ $(0,165; 1]$	$L_0(x) = 0,0318$ $L_1(x) = 0,085 + 2,134x$ $L_1(x) = 0,32 + 0,711x$	0,0317	2	1	1	2
$2L_2$	$[0; 0,00069]$ $(0,00069; 0,0904]$ $(0,0904; 1]$	$L_0(x) = 0,013$ $L_2(x) = 0,035 + 5,488x - 29,801x^2$ $L_2(x) = 0,205 + 1,244x - 0,462x^2$	0,013	2	2	2	3
$2L_3$	$[0; 0,00024]$ $(0,00024; 0,058]$ $(0,058; 1]$	$L_0(x) = 0,00714$ $L_3(x) = 0,019 + 10,18x - 227,8x^2 + 2072,3x^3$ $L_3(x) = 0,152 + 1,747x - 1,605x^2 + 0,713x^3$	0,0071	2	3	3	4

П р и м е ч а н и е. Число операций соответственно: ? — проверки условий, + — сложения, × — умножения, а — извлечений констант из памяти.

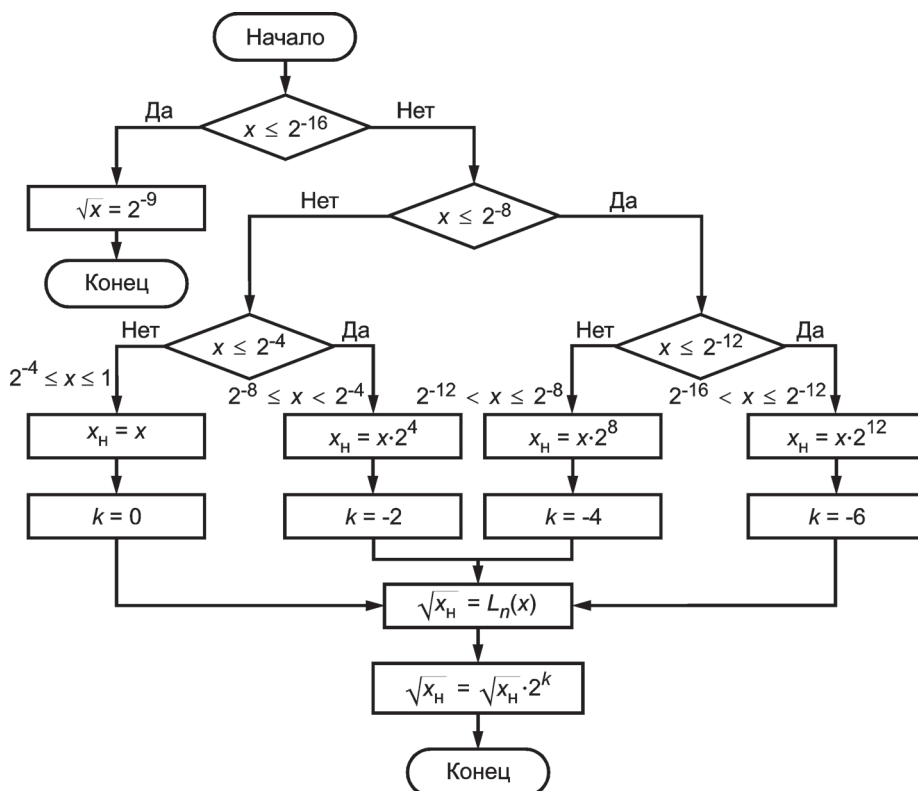


Рис. 3. Структурная схема алгоритма вычисления значений функции $f(x) = \sqrt{x}$ при значениях аргумента $x \in [0; 1]$, рабочем интервале $x \in [2^{-16}; 1]$ и интервале интерполяции $x \in [2^{-4}; 1]$

При вычислении полинома второй степени практически с таким же значением δ_m (см. табл. 1), но без ограничения $x_{\min}$ необходимо осуществить четыре операции и выбрать из памяти три константы. Здесь же число операций на вычисление полинома сокращается в два раза. Таким образом, ограничение интервала при реализации двух вычислительных операций и проверке одного условия обеспечивает точность около четырех двоичных цифр результата, но при

этом добавляется только одна проверка условия, т. е. имеем выигрыш.

Комбинированный полиномиальный метод. Следующие этапы совершенствования вычислительного алгоритма при ограничении интер-

вала интерполяции $x_{\min} = 4\delta_m^2$ для последовательного уменьшения погрешности состоят в увеличении степени аппроксимирующих полиномов и (или) уменьшении интервала интерполяции $x \in [x_{\min}; 1]$ путем разделения его на два или три подынтервала и применения на каждом из них соответствующего полинома. На интервале $0 - x_{\min}$ используется полином нулевой степени $L_0(x)$. В табл. 2 приведены результаты моделирования и поиска полиномов наилучшего приближения, соответствующие им значения погрешности метода в диапазоне $\delta_m \in [0,0071; 0,077]$, а также вычислительные затраты на реализацию комбинированных алгоритмов.

Совместный анализ табл. 1 и 2 показывает, что точность, выраженная максимальным приращением числа значащих цифр представления результата $M \in [1 \dots 3]$, обеспечивается полиномом первой степени при

использовании одного полинома и одной вычислительной операции для всего интервала $x \in [0; 1]$. Для последующего эффективного увеличения числа значащих цифр результата $M \in [4 \dots 7]$ ($2^{-7} = 0,0078$) предпочтительной является реализация вычислительных алгоритмов из табл. 2, когда для приращения $\Delta M \in [1, 2]$ необходимо дополнительно затратить не более 2—4 вычислительных операций.

При наличии в измерительной системе вычислительного устройства с матричным умножителем комбинированные алгоритмы из табл. 2 при вычислительных затратах в 10—15 операций позволяют обеспечить измерение амплитуд сигналов с неизвестной начальной фазой и (или) колебаний лопаток газотрубных двигателей при частоте вращения более 10000 об./мин с приемлемой погрешностью 3—7 % [4]. В этом случае при заданной точности вычисления

выражения $Z = \sqrt{A^2 + B^2}$ число вычислительных операций будет на порядок меньше, чем при использовании итерационных алгоритмов «цифра за цифрой» [1], а вычислительный процесс с использованием программируемых логических интегральных схем осуществляется за 0,01—0,1 мкс. В то же время для измерительных приборов и систем классов точности 0,5—0,05 применение алгоритмов из табл. 2 будет нерациональным из-за увеличения как числа, так и степени аппроксимирующих полиномов.

Полиномиальный метод аппроксимации с нормализацией аргумента. При $M \in [8 \dots 20]$ целесообразно использовать вычислительные алгоритмы с аппроксимацией $\sqrt{x}$ одним полиномом наилучшего приближения на ограничен-

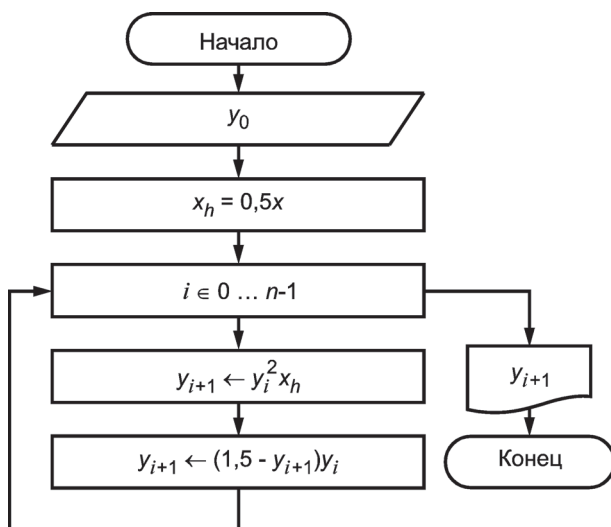


Рис. 4. Структурная схема итерационной процедуры вычисления функции $f(x) = 1/\sqrt{x}$

Таблица 3

Полиномы наилучшего приближения для вычисления функции $f(x) = 1/\sqrt{x}$ на интервале $x \in [2^{-1}; 1]$

Степень полинома n	Полином наилучшего приближения $L_n(x)$	Максимальная погрешность метода δ_m
1	$1,803 - 0,829x$	0,0269725
2	$2,245 - x(2,097 - 0,856x)$	0,0038619
3	$2,615 - x(3,863 - x(3,049 - 0,983x))$	0,0005808
4	$2,93907 - x(5,526 - x(6,9085 - x(4,50263 - 1,18106x)))$	0,0000899

ном нормированном интервале x_n в соответствии с таблицей, приведенной в [2, 3]. В этом случае аргумент $x \in [0; 1]$ предварительно легко нормируется к рабочему интервалу x'_n , а затем полиномиальным методом рассчитывается значение квадратного корня, подлежащее последующей обратной нормализации в соответствии с выражением $\sqrt{x} = \sqrt{x'_n} \cdot 2^k$ (рис. 3).

Рассмотренный метод аппроксимации целесообразно использовать в измерительных системах при значениях относительной погрешности порядка 0,5—0,005 %, например, в компенсаторах переменного тока при погрешностях измерений 0,2—0,1 %.

В вычислительных процедурах для $\sqrt{x}$ с применением полиномов из таблицы в [2, 3] при уменьшении погрешности δ_m на приращение $\Delta M = 1$ необходимо дополнительно затратить не менее одной вычислительной операции, при этом увеличивается и число констант. Таким образом, при числе значащих двоичных цифр результата порядка 15—20 комбинированные полиномиальные методы становятся неэффективными.

Гибридные методы вычисления $\sqrt{x}$ и $1/\sqrt{x}$. Более эффективным средством при необходимости формировать результат с числом значащих цифр $M \in [15 \dots 64]$ является итерационный метод, дающий удвоение M на каждом последующем шаге итерации. Прямая итерационная формула вычисления значения квадратного корня

$$y_{i+1} = 0,5 (y_i + x/y_i) \quad (5)$$

содержит трудоемкую операцию деления, для исключения которой при реализации итерационного способа лучше использовать формулу вычисления обратной величины квадратного корня $1/\sqrt{x}$

$$y_{i+1} = y_i (3 - xy_i^2) / 2$$

с последующим вычислением $\sqrt{x}$ путем умножения на аргумент. Структурная схема итерационной процедуры вычисления функции $f(x) = 1/\sqrt{x}$ приведена на рис. 4. Если предварительно вычислить значение $x_n = 0,5x$, то при реализации одного цикла итерационной формулы требуется выполнить четыре операции: три операции умножения и одну сложения.

Абсолютное значение погрешности метода на i -м шаге итерации при вычислении $1/\sqrt{x}$ составляет

$$\delta_{i+1} \leftarrow -\delta_i^2 (3\sqrt{x} + x\delta_i) / 2. \quad (6)$$

Из (5), (6) можно получить диапазон начальных приближений y_0 , для которых алгоритм сходится, т. е. $0 < |\delta_{i+1}| < |\delta_i|$. В связи с этим необходимо выбрать y_0 так, чтобы обеспечить высокую эффективность последующего итерационного процесса с максимальным приращением ΔM на одну операцию. В табл. 3 приведены полиномы наилучшего приближения для вычисления функции $f(x) = 1/\sqrt{x}$ в интервале $L_0 \in [2^{-1}; 1]$.

Из табл. 3 и рис. 5 следует, что применение симметричного начального приближения $y_0 = 0,5 / (1/\sqrt{0,5} + 1) = 1,207$ с $\delta_0 = 0,207$ для итерационного алгоритма даже на ограниченном интервале $x \in [2^{-1}; 1]$ неэффективно. Рациональнее в качестве начального приближения использовать полиномы первой и второй степеней из табл. 4. Например, в случае полинома второй степени с $\delta_m \approx 2^{-8}$ уже после второй итерации при гибридном методе вычислений имеем $\delta_m = 2^{-32}$. Таким образом, эффективное приращение $\Delta M = 24$ получено добавлением только девяти дополнительных операций.

Погрешность δ_i трансформируется в погрешность δ_m вычисления квадратного корня согласно выражению

$$\sqrt{x} \pm \delta_m = x(1/\sqrt{x} \pm \delta_i) = \sqrt{x} \pm x\delta_i, \text{ т. е. } \delta_m = x\delta_i.$$

Следовательно, для x в интервале с правой границей, не превышающей 1, значение погрешности вычисления $\sqrt{x}$ не превысит погрешность итерационного вычисления $1/\sqrt{x}$, и (6) можно использовать при оценке максимальной погрешности вычисления $\sqrt{x}$.



В соответствии с табл. 4, в которой приведены оптимизированные алгоритмы для вычисления функции $\sqrt{x}$ при δ_m порядка 2^{-15} — 2^{-64} целесообразно применить гибридные алгоритмы вычисления функции $\sqrt{x}$ с использованием на нормированном интервале (например, $x_n \in [2^{-1}; 1]$) итерационного способа вычисления $1/\sqrt{x}$. Таким образом обеспечивается возможность измерять физические величины с погрешностью 0,001 % и менее.

Таблица 4

Оптимизированные алгоритмы вычисления функции $f(x) = \sqrt{x}$ для диапазона погрешностей $\delta_m = 12,5 \dots 0,0001$ %

Метод	Погрешность метода δ_m
Полином $L_1(x) = 0,125 + x$	2^{-3}
Комбинация полиномов $\begin{cases} 0,077 & \text{при } x \in [0; 0,0239]; \\ 0,201 + 0,866x & \text{при } x \in [0,0239; 1] \end{cases}$	2^{-4}
Комбинация полиномов: $\begin{cases} 0,0318 & \text{при } x \in [0; 0,0405]; \\ 0,085 + 2,134x & \text{при } x \in [0,0405; 0,165]; \\ 0,32 + 0,711x & \text{при } x \in [0,165; 1] \end{cases}$	2^{-5}
Комбинация полиномов 0—3-й степеней на двух — четырех частичных интервалах	$2^{-6} \text{ — } 2^{-9}$
Полиномиальный метод аппроксимации с нормализацией аргумента на интервале $x \in [2^{-R}; 1]$	$2^{-9} \text{ — } 2^{-15}$
Гибридные алгоритмы с итерационным методом вычисления $1/\sqrt{x}$	$2^{-15} \text{ — } 2^{-64}$

Выводы. Проведено исследование множества допустимых альтернатив вычисления функций $\sqrt{x}$ и $1/\sqrt{x}$ в измерительных системах в соответствии с заданной целевой функцией оптимизации критериев вычислительного процесса: точности, быстродействия и программно-аппаратных затрат. Предложены эффективные вычислительные алгоритмы с устранением избыточной точности путем обеспечения

последовательного дискретного приращения не менее 1—4 значащих двоичных цифр при последовательном возрастании сложности вычислительного алгоритма не более чем на 1—4 вычислительных операции в диапазоне представления результата измерений 1—64 двоичными разрядами (см. табл. 4).

Предлагаемый ряд методов перекрывает диапазон погрешностей при измерении параметров вибраций валов, определении амплитуд сигналов с неизвестной начальной фазой и т. д. Разработанные алгоритмы вычисления квадратного корня целесообразно использовать как при аппаратной реализации специализированных вычислительных устройств измерительных систем, так и при макрорасширении команд микропроцессора.

Литература

1. Чекушкин В. В. Реализация преобразования представлений ортогональных составляющих сигналов в амплитуду и фазу // Измерительная техника. 2001. № 4. С. 18—21; Chekushkin V. V. Implementing the Transformation of Representations of Orthogonal Signal Components in Amplitude and Phase // Measurement Techniques. 2001. V. 44. N 4. P. 358—364.
2. Аверьянов А. М., Чекушкин В. В. Улучшение методов преобразования ортогональных составляющих сигнала в амплитуду // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. 2009. № 9. С. 46—51.
3. Пат. 2438160 РФ. Способ и устройство вычисления квадратного корня / В. В. Чекушкин, А. М. Аверьянов, А. Д. Богатов. // Изобретения. Полезные модели. 2011. № 36.
4. Чекушкин В. В., Булкин В. В. Повышение точности измерительных систем с нестабильными параметрами // Измерительная техника. 2006. № 1. С. 7—11; Chekushkin V. V., Bulkin V. V. Improving the accuracy of a measurement system with unstable parameters // Measurement Techniques. 2006. V. 49. N 1. P. 7—13.
5. Щеголев В. В., Медников В. А. Выбор средств ввода сигналов с бесконтактных датчиков в персональный компьютер в реальном масштабе времени при определении параметров колебаний лопаток газотурбинных двигателей // Приборы и системы: Управление, контроль, диагностика. 2003. № 7. С. 40—42.

Дата принятия 19.03.2012 г.