

(таблица, схемы
схемы, имеющие
о возможных ва-
ем числа элемен-
е восемь. Схемы
ивалентны, если
обой. Так, схемы
ении условий [1]

$$\frac{1}{2}(a' + 1);$$

$$\left(\frac{a}{a+1}\right)^2,$$

$$\text{№ 5; } a' = \frac{R_2'}{R_1'}, R_1',$$

приведены условия
порых четырехэле-

структуры модели
ния элементов бу-
е от одной схемы
оименных элемен-
схеме замещения,
му для сравнения
чество элементов,

сложнее произво-
замещения. Возни-
ости следует дово-
схема замещения?
иях постановщика
а-измерителя. Пер-
ентов и структура
интуитивно либо
химических, элект-
ия моделей к объ-
из имеющегося на-
адекватную объекту

ет иметь критерии
ологические харак-
ельность, представ-
щей комплексного
соответствующего
ошение изменения
оъемого параметра.
определены чувст-
я ее параметров R_1, R_2

$$\frac{R_2 + X_1^2(R_1 + R_2)}{R_1 + X_1^2}$$

$$\frac{\partial \operatorname{Re}(Z)}{\partial X_1} X_1.$$

обоснованно подхо-

Необходимо отметить, что существенным для выбора схемы замещения служит признак того, обладает или нет исследуемый объект сквозной проводимостью постоянному току. С этой точки зрения все схемы, приведенные в таблице, с четными номерами не имеют сквозной проводимости, а с нечетными — имеют.

Рассмотренные особенности измерения параметров многоэлементных двухполюсников, основанные на анализе свойств комплексного сопротивления, позволяют получить различные структуры моделей объекта исследования, оценить возможности реализации этих моделей, произвести их сопоставление. Такой подход дает возможность осуществлять идеи идентификации моделей, адекватности их объекту и облегчает задачи проектирования измерительных систем.

1. Атабеков Г. И. Основы теории цепей.— М.: Энергия.— 1969.— 501 с.
2. Даревский А. И., Зевеке Г. Н., Ионкин П. В. и др. Основы электротехники / Под ред. К. А. Круга.— М.: Госэнергоиздат.— 1952.— 432 с.
3. Кнеллер В. Ю., Боровских Л. П. Определение параметров многоэлементных двухполюсников.— М.: Энергоатомиздат, 1986.— 144 с.
4. Плотников В. Г. Квазиуравновешенные цепи для измерения параметров объектов, представленных многоэлементными электрическими двухполюсниками: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— Львов, 1987.— 22 с.

Поступила 28.12.87

УДК 621.317.63

Аппроксимация функций преобразования измерительных преобразователей

Ленчук И. Г.

Погрешности многофункциональных электроизмерительных устройств (МЭУ) в электроприборостроении в значительной степени обуславливаются нелинейностью функций преобразования измерительных преобразователей (ФПИП). Их уменьшение основывается на линеаризации функции, заданной таблично, закономерной кривой, например полиномом n -й степени [1]. Главным препятствием широкого применения на практике метода полиномиальной линеаризации является его неуниверсальность, т. е. разные по своей геометрической форме ФПИП заменяются полиномами соответствующих и отличных между собой степеней, что приводит к необходимости разработки в пределах установленных машинных возможностей разноплановых алгоритмов и не способствует технически полному использованию универсальности МЭУ. Приемлемым оказался метод перехода от таблично заданной ФПИП к аналитически определенным кривым, основанный на построении аппроксимирующего обвода из кусков линий одного класса, состыкованных в особых точках по определенным правилам, например, замена ФПИП кривыми второго порядка [2]. Далее закономерная кривая аппроксимируется ломаной, по координатам вершин которой синтезируются корректирующие цепи, уменьшающие погрешности измерительных преобразователей.

Следует отметить также, что в теории решения некоторых иных прикладных задач электроприборостроения достаточно часто приходится заниматься вписыванием в заданную закономерную кривую упорядоченной последовательности точек. При этом преследуются разные цели в зависимости от постановки задачи, аппаратных возможностей, технологии производственного процесса и т. п. Но всегда аппроксимирующая ломаная линия (АЛЛ), образованная хордами, соединяющими последовательно узлы аппроксимации на кривой, выбирается с единст-

венным ограничением: максимальное расстояние между точками аналитически определенной кривой и соответствующими точками участков ломаной не должно превышать в каждом отдельном случае наперед заданного числа — допуска (погрешности) на аппроксимацию. Этот допуск может измеряться как по прямым, параллельным координатной оси Oy [2], так и по нормали к кривой [3]. Для определенности обозначим в первом варианте аппроксимации величину допуска через γ , во втором — через δ .

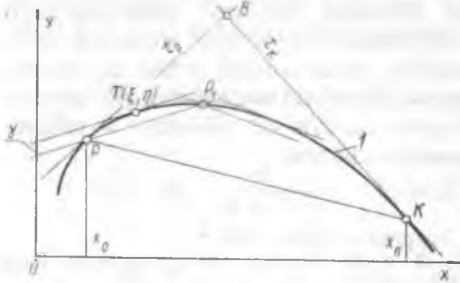


Рис. 1

Пусть в прямоугольной декартовой системе координат xOy плоская кривая, не имеющая особых точек на промежутке $[x_0, x_n]$, задается аналитически уравнением в явном виде (рис. 1)

$$y = f(x). \quad (1)$$

И пусть хорда PP_1 АЛЛ, координаты x_0, y_0 начальной точки которой известны, принадлежит прямой

$$y - y_0 = k(x - x_0), \quad (2)$$

где k — угловой коэффициент последней. Поскольку функция (1) непрерывна и имеет непрерывно вращающуюся касательную в промежутке PP_1 , то, согласно теореме Лагранжа о конечном приращении, между P и P_1 существует такая точка $T(\xi, \eta)$ кривой, что касательная в ней параллельна хорде PP_1 . Эта касательная будет описываться уравнением

$$Y - \eta = k(X - \xi). \quad (3)$$

Если из равенства (2) вычесть равенство (3), то при фиксированном $x=X$ получим формулу разности начальных ординат рассматриваемых секущей и касательной

$$y - Y = y_0 - \eta + k(\xi - x_0). \quad (4)$$

Очевидно, что начальная ордината касательной больше начальной ординаты секущей в случае, когда дуга кривой (1) выпуклая, и меньше — когда вогнутая. Абсолютная величина их разности равна γ . Установить аналитически выпуклость (вогнутость) участка закономерной кривой можно посредством определения знака площади S базисного треугольника PBK , описанного около дуги PK , где B — точка пересечения касательных к (1) в граничных точках P и K . С учетом сказанного (4) примет вид

$$\eta - k(\xi - x_0) = \lambda, \quad (5)$$

где

$$\lambda = y_0 - \gamma \operatorname{sign} S; \quad S = \frac{1}{2} [(x_n - x_0)(y_B - y_0) - (x_B - x_0)(y_n - y_0)].$$

Угловой коэффициент k касательной к кривой (1) в точке $T(\xi, \eta)$, принадлежащей ей, определяется из уравнения касательной: $k = f'(\xi)$, а координаты этой точки удовлетворяют уравнению $y = f(x)$. Поэтому, составив и решив систему двух уравнений с двумя неизвестными

$$\begin{cases} \eta - f'(\xi)(\xi - x_0) = \lambda; \\ \eta = f(\xi), \end{cases} \quad (6)$$

найдем координаты точки касания ξ и η .

Зная координаты точки касания и принимая во внимание, что искомая сторона АЛЛ параллельна касательной к кривой в точке $T(\xi, \eta)$, решаем совместно уравнение прямой, содержащей хорду PP_1

с уже известными

и уравнениями

Результатом аппроксимации является ломаная линия, состоящая из отрезков PP_1 — второй

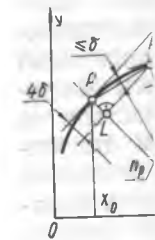


Рис. 2

в машиностроении. Координаты точек деления ломаной заданы по формуле «4δ» — точек с ним его процесс вписан (1). Откуда y_L — координата концы — координата заданной не превы

С помощью радиальной симметрии по точкам уголка можно, к ней с ранее, углы γ и δ (прототип выпуклости). Рассчитана тангенс угла ϕ_0 — угол к оси абсцисс

где $\operatorname{tg} \phi_0$ — тангенс заданного

с уже известным угловым коэффициентом k

$$y_1 - y_0 = k(x_1 - x_0), \quad (7)$$

и уравнение линии (1), которому удовлетворяют координаты точки P_1 — второй узловой точки аппроксимации

$$y_1 = f(x_1). \quad (8)$$

Результатом решения системы будут координаты точки P_1 — x_1, y_1 . Далее аппроксимация заданной закономерной кривой на определенном промежутке продолжается аналогично.

В процессе машинной подготовки эксплуатации электроэрозионных станков с числовым программным управлением (ЧПУ) в электроприборостроении [3], обработки фасонных поверхностей станками с ЧПУ

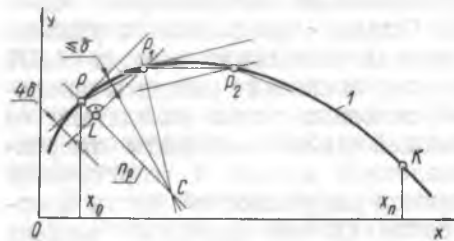


Рис. 2

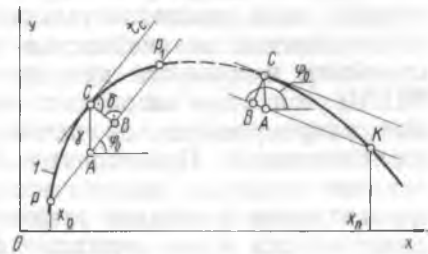


Рис. 3

в машиностроении [5], раскроя листовых и рулонных материалов многокоординатными станками с ЧПУ в легкой промышленности [4], определения метрических параметров деталей и для решения целого ряда иных задач подготовки производства нашел широкое применение метод «4δ» вписывания в дугу PK упорядоченной последовательности точек с наперед заданным и сколь угодно малым допуском δ . Напомним его схему. В точке $P(x_0, y_0)$ (рис. 2), с которой начинается процесс вписывания точек, восстанавливаем нормаль n_P к заданной кривой (1). Откладываем на нормали отрезок 4δ и определяем точку $L(x_L, y_L)$ — конец отрезка 4δ . Через точку L проводим секущую перпендикулярно нормали. Находим точку $P_1(x_1, y_1)$ пересечения секущей с заданной закономерной кривой. Тогда стрелка прогиба на участке PP_1 не превышает δ [3].

С одной стороны алгоритм всесторонне апробирован и практически рационален, с другой — он не гарантирует одного и того же максимального расстояния между точками кривой и соответствующими точками АЛЛ на всех ее участках и применяется только для сколь угодно малых δ , значительно меньших радиуса кривизны кривой в точке проведения нормали n_P . Избавиться от указанных неудобств можно, аппроксимируя заданную закономерную кривую по нормальям к ней с использованием алгоритма, приведенного в данной работе ранее, учитывая при этом формальную зависимость между величинами γ и δ (рис. 3) последовательно для каждой стороны АЛЛ независимо от выпуклости — вогнутости дуги PK кривой (1).

Рассмотрим прямоугольный треугольник ABC , у которого гипотенуза $AC = \gamma$ является допуском на аппроксимацию вдоль оси ординат; катет $BC = \delta$ — допуск на аппроксимацию по нормали к кривой; φ_0 — угол наклона секущей, содержащей катет AB и хорду PP_1 АЛЛ, к оси абсцисс. Очевидно, здесь справедливо равенство

$$\delta/\gamma = 1/\sqrt{1 + \text{tg}^2 \varphi_0}, \quad (9)$$

где $\text{tg} \varphi_0 = k$ — не что иное, как угловой коэффициент PP_1 . Отсюда при заданном $\delta = \text{const}$ находим γ для каждого участка АЛЛ по формуле

$\gamma = \delta \sqrt{1 + k^2}$. При этом система (6) примет несколько другой вид:

$$\begin{aligned} \eta - f'(\xi)(\xi - x_0) &= \lambda; \\ \eta &= f(\xi), \end{aligned} \quad (6')$$

где $\lambda = y_0 - \delta \sqrt{1 + [f'(\xi)]^2} \operatorname{sign} S$.

В заключение отметим, что в результате интенсивного внедрения в практику электроприборостроения достижений вычислительной техники и микроэлектроники появились принципиально новые возможности улучшения технических характеристик МЭУ. Особенно перспективно применение микропроцессорной техники, в частности мини-ЭВМ и персональных компьютеров. Несмотря на меньшую гибкость их математического обеспечения по сравнению с ЭВМ, применяемыми в информационно-измерительных системах и измерительно-вычислительных комплексах, микропроцессоры позволяют существенно снизить с помощью двух последовательных аппроксимаций погрешности МЭУ, обусловленные нелинейностью ФПИП. Однако требования к универсальности и простоте методов определения координат вершин АЛЛ ФПИП при этом возрастают еще больше, поскольку вопросы экономии микропроцессорной памяти стоят особенно остро вследствие ее ограниченности. Приведенные в настоящей работе алгоритм аппроксимации хордами аналитически определенной кривой и теоретически элементарные выкладки взаимозависимости погрешностей вдоль координатной оси и по нормали закономерной кривой позволяют решать вопросы оптимизации приближения заданной кривой ломаной по определенному допуску, повышения точности алгоритмов и сокращения объема машинных программ, унификации программных средств и, как следствие, аппаратного упрощения МЭУ.

1. Гринберг И. П. Теоретические основы полиномиальной линеаризации функции преобразования измерительных преобразователей // Техн. электродинамика.— 1981.— № 5.— С. 96—101.
2. Ленчук И. Г., Ляшенко Б. Н. Аппроксимация функций преобразования первичных измерительных преобразователей кривыми второго порядка // Там же.— 1983.— № 3.— С. 101—106.
3. Ленчук И. Г., Ляшенко Б. Н. Алгоритм определения узлов переключения электрических режимов электроэрозионной обработки // Там же.— 1987.— № 5.— С. 56—61.
4. Ленчук И. Г., Павленко Ю. С., Павлов А. В. Аппроксимация контуров кривыми второго порядка в задачах автоматизации раскроя // Изв. вузов. Технология легкой промышленности.— 1978.— № 4.— С. 120—126.
5. Павлов А. В., Бадаев Ю. И. Аппроксимация поверхностей с отрицательной гауссовой кривизной отсеками плоскостей // Прикл. геометрия и инж. графика.— 1976.— Вып. 21.— С. 3—6.

Поступила 02.11.87

УДК 535.531

Динамические измерения параметров температурного поля океана

Дерий В. А., Сурду М. Н.

Получение достоверных данных о структуре гидрофизических полей поверхностного слоя океана на больших акваториях — весьма актуальная проблема. Эффективным средством ее решения являются буксируемые измерительные информационные комплексы, позволяющие проводить измерения параметров гидрофизических полей на ходу исследовательского судна. Современный океанографический измерительный информационный комплекс содержит измерительную и вычислительную системы, между которыми осуществляется информационный обмен при

помощи канала связи (бухбор, измеряющие T, D -системы) и друга по глубине. ЭВМ с сервисным

В процессе эбухсируемых комли параметров ги. при бухсировании постоянную состава изменяющстве случаев имеется причиной и вертикальтельных динамичбора в горизонта равномерности хс корабля от пове параметров гидрс Поэтому основнуния определяют плоскости.

Все параметрность, скорость |лены как функц Датчики электро нерционными. Д: ной инерционноских погрешност

В дальнейш измерения гори колебаниями изм

Движение и но представить зонтали x с по вертикали y . Пр глубиной погрух сируемых систем ческих полей мс шающих длину ров гидрофизиче также допустит на интервале м нии, не превыш движение датчи. Представим тем функций скаляр

где $P(x), Q(y)$ — профили темпер

где $\frac{\partial P(x)}{\partial x} = G_x$
 $= Vt; dx = Vdt;$
 ражение (2) и м