

УДК 681.067

Давыдов Н.А., Пак А.В., Михальчук Н.С., Куприянова В.В. Линеаризация выходных аналоговых сигналов измерительных преобразователей // Научное приборостроение. Л.: Наука, 1987.

Рассматривается метод линеаризации выходных аналоговых сигналов, позволяющий линеаризовать широкий класс функций более простыми аналоговыми устройствами. В основу метода положены нелинейные свойства операций деления и умножения с применением аналогового блока деления-умножения. Библиогр. 7 назв. Ил. 1. Табл. 1.

Н.А.Давыдов, А.В.Пак, Н.С.Михальчук, В.В.Куприянова

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ВЫХОДНЫХ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Выходные сигналы первичных преобразователей (ПП) в большинстве случаев являются нелинейными функциями измеряемой величины. Это затрудняет применение таких приборов в системах автоматического контроля и регулирования, так как на вход электронно-вычислительной машины (ЭВМ) подключают преобразователи с различными уровнями и функциональными зависимостями от измеряемого параметра и в ЭВМ необходимо осуществлять вторичное преобразование с целью унификации сигналов. Кроме того, это обуславливает дополнительные погрешности при визуальном считывании информации.

Решение проблемы линеаризации выходных сигналов ПП является в настоящее время одной из актуальных задач приборостроения. Известно несколько способов линеаризации градуировочных характеристик. Наиболее разработанными являются методы линеаризации характеристик преобразователей температуры [1-3]. Рассмотрим некоторые методы.

В работе [1] для линеаризации выходного сигнала мостовой схемы с одним платиновым термометром сопротивления в измерительную диагональ включается платино-платинородиевая термопара, ЭДС которой суммируется с выходным сигналом мостовой схемы. Выбором параметров напряжения питания и величин сопротивлений остальных плеч моста обеспечивается наличие трех точек полного совпадения нелинейной характеристики с линейной в начале, середине и конце диапазона измерений.

Метод линеаризации, описанный в работе [2], основан на включении в смежное по отношению к измерительному терморезистору плечо мостов схемы компенсирующего терморезистора последовательно с постоянным резистором. Подбором номиналов постоянных резисторов мостовой схемы можно получить три точки полного совпадения. Вариант такого метода предложен в работе [3], где для линеаризации температурной характеристики никелевого термометра сопротивления параллельно ему включен термнезависимый резистор.

Широко используются мостовые схемы, в которых сигнал разбаланса моста усиливается с помощью линейного усилителя и затем либо поступает в схему уравновешивания моста (автоматические потенциометры), либо используется для непосред-

венного измерения температуры [4, 5]. Здесь задача коррекции нелинейности характеристики датчика температуры решается введением в схему моста обратной связи через линейный усилитель в корректирующий терморезистор. Такой способ коррекции дает уменьшение исходной нелинейности характеристики, по мнению авторов работы [4], в 15 раз.

Органическими недостатками всех рассмотренных методов является неуниверсальность их применения и невозможность точной линейризации характеристик с большой величиной исходной нелинейности. Не случайно наиболее разработаны методы линейризации характеристик преобразователей температуры, так как они характеризуются малой величиной исходной нелинейности, возможностью использования нелинейных свойств мостовой схемы, большим выбором в подборе компенсирующих термоэлементов.

Известен также универсальный линейризатор. Разработанный авторами работы [6] универсальный функциональный преобразователь-линейризатор построен по принципу кусочно-линейной аппроксимации и рассчитан на линейризацию градусумовочных характеристик III. Такой линейризатор с большой точностью линейризует широкий класс монотонно меняющихся функций, имеющих не более одного перегиба. Недостатком такого способа является сложность системы выделения участков кривой с последующим введением мультипликативной поправки. Для увеличения точности аппроксимации необходимо учитывать количество участков аппроксимации. Следовательно, надо увеличивать и количество эталонных входных сигналов, соответствующих началу и концу выделяемого участка, что в ряде случаев делает такой способ линейризации малодоступным. Кроме того, при большом числе участков аппроксимации устройство имеет большие габариты и потребляемую мощность и низкую надежность, что также затрудняет его применение.

В настоящей работе рассматривается метод линейризации выходных аналоговых сигналов, позволяющий линейризовать широкий класс функций более простыми аналоговыми устройствами [7]. В основу метода положены нелинейные свойства операций деления и умножения с применением аналогового блока деления-умножения (БДУ).

Рассмотрим два способа линейризации с применением БДУ. Операции деления и умножения будут применяться к выходным сигналам III, которые представляют нелинейные функции измеряемого параметра. Эти функции и их производные до второй должны быть монотонными, что выполняется для широкого класса III. Величину исходной нелинейности δ определим как максимальное отклонение функции от линейной зависимости, соединяющей начальную и конечную точки кривой. Для определения области применения предлагаемого метода и оценки точности линейризации сигналов в зависимости от величины исходной нелинейности удобно исследовать аналитические функции, которые в большинстве случаев описывают реальные выходные сигналы III.

В качестве последующих функций, отвечающих этим условиям, можно взять аналитические функции экспоненциальной и логарифмической зависимостей. Для упрощения анализа исследуемые функции следует пронормировать так, чтобы при изменении аргумента от 0 до 1 функция также менялась от 0 до 1.

Пусть

$$f_1(x) = \alpha (1 - \exp(-\beta x)); \quad (1)$$

$$f_2(x) = \alpha \ln(1 + \beta x), \quad (2)$$

где коэффициенты α и β подбираются в зависимости от исходной нелинейности функции.

Аналитически сущность предлагаемого метода состоит в формировании следующих функций:

$$F_1(x) = \frac{A_1 f(x)}{1 \pm K_1 f(x)}; \quad (3)$$

$$F_2(x) = \frac{A_2 f(x)(1 \pm K_2' f(x))}{1 \pm K_2'' f(x)}. \quad (4)$$

Функция F_1 имеет три точки пересечения с линейной характеристикой. Для F_2 таких точек будет четыре. Чтобы определить значения величин A_1 , K_1 и A_2 , K_2' , K_2'' необходимо решить соответствующие системы уравнений, описывающие пересечение построенных функций с линейной зависимостью в выбранных точках полного совпадения:

$$F_i(x_j) = x_j,$$

где $i = 1, 2$, а индекс j соответствует номеру точки совпадения. Обычно эти точки выбирают в начале, в конце диапазона измерения и там, где величина нелинейности максимальна.

Были рассмотрены функции f_1 и f_2 с различной начальной нелинейностью от 10 до 45 % (нелинейность более 50 % означает существование экстремума, что противоречит требованию монотонности функциональной зависимости).

Определялись величины коэффициентов функций (3) и (4) и рассчитывалась погрешность линейаризации – максимальное отклонение (3) или (4) от отлогой линейной зависимости.

Для обеих функциональных зависимостей f_1 и f_2 были получены примерно одинаковые результаты, которые представлены ниже:

$\delta, \%$	10	25	35	45
$\Delta_1, \%$	0.45	1.6	3.6	7.5
$\Delta_2, \%$	0.06	0.1	0.4	0.6

Здесь Δ_1 – погрешность линейаризации по формуле (3), а Δ_2 – погрешность линейаризации по формуле (4).

Таким образом, из результатов аналитических расчетов видно, что применение формулы (4) на порядок лучше линейаризует кривую. На практике этот метод был использован при измерении концентрации газов для линейаризации выходных характеристик Ш.

По формуле (3) линейаризовывался выходной сигнал первичного преобразователя газосенализатора ТП5502 (рис.1). Нелинейный сигнал U и опорное напряжение $U_{он}$,

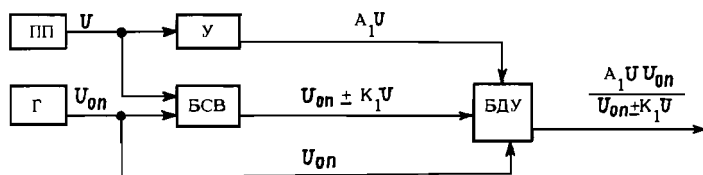


Рис.1. Схема линейаризации по методу "трёх точек полного совпадения".

вырабатываемые ПП и генератором (Г), подают на вход блока сложения-вычитания (БСВ). В БСВ формируется сигнал $U_{оп} \pm K_1 U$. Причем величины коэффициентов и знак определяются величиной и знаком нелинейности сигнала U . В результате при исходной δ 24 % была получена погрешность линейризации Δ_1 , не превышавшая 1.2 %.

По формуле (4) линейризовался выходной сигнал газонализатора на пары воды ЭПИООИ с электролитическим подогревным чувствительным элементом (рис.2). Здесь

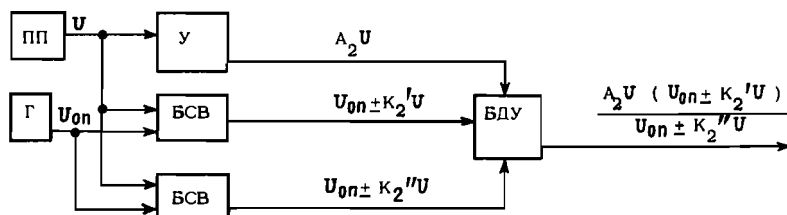


Рис.2. Схема линейризации по методу "четырёх точек полного совпадения".

формируются два опорных сигнала $U_{оп} \pm K_2' U$ и $U_{оп} \pm K_2'' U$, которые подаются на вход БДУ. Начальная нелинейность выходного сигнала преобразователя паров воды составляла 32 %. Погрешность линейризации при этом не превышала 0.5 %.

Таким образом, полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с данными анализа. Предлагаемый способ дает возможность линейризовывать достаточно широкий класс функций с исходной нелинейностью δ до 45 %. Устройство, реализующее данный способ, построено на простых, компактных и надёжных аналоговых блоках. В схеме участвует усилитель (У). При этом величина нелинейности (погрешности линейризации) уменьшается в десять и более раз по методу "трех точек полного совпадения" и в пятьдесят и более раз по методу "четырёх точек полного совпадения". Преимущества данного способа сохраняются и в случае применения устройств с цифровой обработкой информации, поступающей от ПП. Линейризация будет состоять из небольшого числа арифметических операций с использованием одного или двух коэффициентов, что позволит экономить объем памяти, необходимой для хранения программы и коэффициентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коган В.А.// Измерительная техника. 1971. № 12. С.49-50.
2. Массей И.// Приборы для научных исследований. 1972. № 8. С.95-96.
3. Душаев Г.А., Карчков В.А., Фандеев Е.И., Сологан И.Х.// Измерительная техника. 1981. № 6. С.37-40.
4. Захаров Б.А., Менделев Б.А., Фантюшин В.А.// Приборы и системы управления. 1981. № 7. С.14-15.
5. Volk W.T. // Technischen Messen. 1979. Bd 46, No. 5. 375-376, 381-382.
6. Горцин В.И., Кадук Б.Г., Кравченко А.А.// Методы и приборы для анализа состава веществ (Науч.тр.). Киев, 1975. С.109-115.
7. А.о.1061056 СССР.// Б.И. 1983. № 46.