



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 058 589** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁶ **G 06 G 7/22**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 93042964/09, 30.08.1993

(46) Дата публикации: 20.04.1996

(56) Ссылки: Авторское свидетельство СССР N 1348866, кл. G 06G 7/22, 1987. Применение и проектирование операционных усилителей. Под ред. Дж. Грэма. М.: Мир, 1974, с. 279.

(71) Заявитель:

Келехсаев Борис Георгиевич

(72) Изобретатель: Келехсаев Борис Георгиевич

(73) Патентообладатель:

Келехсаев Борис Георгиевич

(54) **СИНУСНО-КОСИНУСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано в информационных системах. Цель изобретения - повышение точности измерения при сохранении высокого быстродействия. Преобразователь содержит усилители с

регулируемым коэффициентом передачи, блок извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин, блок извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин. 1 ил.

RU 2 0 5 8 5 8 9 C 1

RU 2 0 5 8 5 8 9 C 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 058 589** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) Int. Cl.⁶ **G 06 G 7/22**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 93042964/09, 30.08.1993

(46) Date of publication: 20.04.1996

(71) Applicant:

Kelekhsaev Boris Georgievich

(72) Inventor:

Kelekhsaev Boris Georgievich

(73) Proprietor:

Kelekhsaev Boris Georgievich

(54) **SINE-COSINE FUNCTION GENERATOR**

(57) Abstract:

FIELD: instruments. SUBSTANCE: device has variable-gain amplifiers, unit for calculation of square root of difference

between constant and square of variable and unit for calculation of square root of sum of constant and square of variable. EFFECT: simplified design. 1 dwg

RU 2 0 5 8 5 8 9 C 1

RU 2 0 5 8 5 8 9 C 1

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано в различных информационных системах как функциональный преобразователь, когда требуется одновременно определять значение $\sin X$ и $\cos X$ с высоким быстродействием и низкой погрешностью преобразования в интервале значений аргумента от 0 до $\pi/4$.

Известны синусно-косинусные преобразователи времяимпульсного типа, которые, хотя и обладают низкой погрешностью преобразования около 0,1% в интервале от 0 до $\pi/4$, но имеют низкое быстродействие.

Например, известен синусно-косинусный частотный преобразователь, содержащий формирователь прямоугольных импульсов, блок дифференцирования, блок задержки, управляемый ключ, блок памяти.

Устройство имеет малую величину погрешности, однако имеет низкое быстродействие.

Известно устройство для вычисления функций синуса и косинуса, содержащее два фазочувствительных выпрямителя и последовательно соединенные времяимпульсный преобразователь, формирователь импульсов, интегрирующий усилитель и усилитель-ограничитель, а также генератор синусоидальных колебаний.

Такое устройство имеет погрешность, обусловленную дрейфом интегратора, и главное имеет низкое быстродействие.

Известен синусно-косинусный преобразователь, содержащий умножители, сумматоры, источник опорного напряжения, определяющий масштаб преобразования. Устройство для обеспечения низкой погрешности преобразования использует довольно сложные функции аппроксимации, которые можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} & \sin(\pi/2)X [1,574X - 0,361X^2 \\ & 0,21265X^3]/[1 - 0,2097X + 0,2097X^2] \\ & \cos(\pi/2)X [1 - 0,2136X - 0,9991X^2 + \\ & + 0,21265X^3]/[1 - 0,2097X + 0,2097X^2] \end{aligned}$$

Устройство может обладать высоким быстродействием, малой методической погрешностью, однако устройство будет очень сложным в исполнении, ограниченным в динамическом диапазоне из-за наличия второй и третьей степени при аргументе и будет иметь довольно большую инструментальную погрешность, так как погрешности нескольких нелинейных устройств будут определять суммарную погрешность как для значений $\sin X$, так и для $\cos X$.

Наиболее близким к изобретению по общему техническому решению является синусно-косинусный преобразователь, содержащий два усилителя с регулируемыми коэффициентами передачи, входы которых объединены и подключены к входу преобразователя, а выходы являются первым и вторым выходами преобразователя, что позволяет реализовать для изменений аргумента от 0 до $\pi/4$ аппроксимирующую функцию для значений $\sin X$, $\cos X$ при использовании нескольких точек излома, применяя источник опорного напряжения и группу диодов в цепи обратной связи каждого усилителя.

Целью изобретения является повышение точности измерения при сохранении высокого быстродействия.

Для этого в синусно-косинусный преобразователь, содержащий первый и второй усилители с регулируемыми коэффициентами передачи, выходы которых являются соответствующими выходами преобразователя, вход которого соединен с входом первого усилителя с регулируемым коэффициентом передачи, дополнительно введен блок для извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин и блок для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин, причем входы этих двух блоков объединены и подключены к входу преобразователя, выход блока для извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин подключен к входу второго усилителя с регулируемым коэффициентом передачи, управляющие входы первого и второго усилителей с регулируемыми коэффициентами передачи объединены и подключены к выходу блока для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин.

Сущность изобретения состоит в том, что при ограниченном значении аргумента, например $0 \leq X \leq \pi/4$, аппроксимацию предлагается осуществлять с помощью функций с высокой точностью, записав следующие приближенные равенства

$$\begin{aligned} & \sin X \approx X / \sqrt{A + (cX)^2} \\ & \cos X \approx 1 / \sqrt{A - (aX)^2} \sqrt{A + (cX)^2} \end{aligned} \quad (1)$$

(2) где X значение аргумента, причем $0 \leq X \leq 0,7854$;

A , a , c коэффициенты, выбираемые из условия минимизации погрешности аппроксимации.

На чертеже представлена структурная схема синусно-косинусного преобразователя.

Он содержит усилители 1 и 2 с регулируемыми коэффициентами передачи; блок 3 для извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин; блок 3 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин.

Блоки в синусно-косинусном преобразователе соединены следующим образом. Вход первого усилителя 1 с регулируемым коэффициентом передачи, вход блока 3 для извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин, а также вход блока 4 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин объединены и подключены к входу преобразователя.

Выход блока 3 для извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин соединен с входом второго усилителя 2 с регулируемым коэффициентом передачи. Управляющие входы усилителей 1 и 2 объединены и подключены к выходу блока 4 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин. Выход усилителя 1 и усилителя 2 с регулируемыми

коэффициентами передачи являются соответственно первым и вторым выходами преобразователя.

Синусно-косинусный преобразователь работает следующим образом.

Входное напряжение U_x , соответствующее величине аргумента X , поступает на вход первого усилителя 1 с регулируемым коэффициентом передачи, на вход блока 3 для извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин, а также на вход блока 4 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин.

Рассмотрим сначала, как получают напряжение, пропорциональное значениям функции $\cos X$. В состав каждого из этих блоков 3 и 4 входят источники опорного напряжения $U_{оп}$, которые подключены к соответствующим опорным входам блоков 2 и 3.

На выходе блока 3 для извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин получают напряжение U_3 , которое зависит от напряжения U_x и равняется $U_3 =$

$$\sqrt{U_{оп}^2 - (aU_x)^2}.$$

Это напряжение U_2 поступают на вход усилителя 2 с регулируемым коэффициентом передачи, значение которого K_2 определяется напряжением U_3 , которое поступает на его управляющий вход с выхода блока 4 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин. Это напряжение U_4 равно $U_4 =$

$$\sqrt{U_{оп}^2 + (cU_x)^2}.$$

Величину напряжения источника опорного напряжения $U_{оп}$ выбирают такой, чтобы при значении входного напряжения $U_x = 0$ на выходе блока 3 для извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин получали бы напряжение $U_{оп}$, равное величине $\cos X \cos 0 = 1$.

Напряжение U_3 с выхода блока 3 для извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин поступает на вход усилителя 2 с регулируемым коэффициентом передачи, значение которого K_2 в этом случае при $U_x = 0$ должно быть равно $K_2 = 1$.

Напряжение U_4 на выходе блока 4 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин равно $U_4 =$

$$\sqrt{U_{оп}^2 + (cU_x)^2}.$$

Для входного напряжения $U_x = 0$ получают $U_3 = U_{оп}$, поэтому значение $U_{оп}$ выбирают такой величины, чтобы при этом напряжении на управляющем входе усилителя 2 его коэффициент передачи K_2 был бы равен $K_2 = 1$.

Следовательно, усилитель 2 с регулируемым коэффициентом передачи выбирают таким, чтобы при управляющем напряжении $U_4 = U_{оп}$ коэффициент передачи K_2 усилителя 2 был бы равен $K_2 = 1$ и линейно уменьшался при увеличении управляющего напряжения U_4 .

Таким образом, на выходе усилителя 2 с

регулируемым коэффициентом передачи получают выходное напряжение $U_{вых2} = U_2$, которое будет равно:

$$U_2 = \sqrt{U_{оп}^2 - (aU_x)^2} / \sqrt{U_{оп}^2 + (cU_x)^2} \text{ для}$$

$$U_2 \approx U_{оп}$$

(3) где коэффициенты a, c выбирают в соответствии с минимальным значением погрешности выполнения равенства (1).

При выборе значений $a = 0,788; c = 0,6156$ на выходе усилителя 2 с регулируемым коэффициентом передачи получают напряжение U_2 , соответствующее функции $\cos X$ и определяемое выражением:

$$\cos X = U_2 = U_{вых2} = \sqrt{U_{оп}^2 - (0,788U_x)^2} /$$

$$\sqrt{U_{оп}^2 + (0,6156U_x)^2} \quad (4)$$

$$\text{для } 0 \leq U_x \leq 0,7854U_{оп}; \quad 1,0 \leq \cos X \leq 0,7071;$$

$$U_{оп} \approx U_2 \approx 0,7071U_{оп}.$$

Рассмотрим, как получают выходное напряжение, пропорциональное значениям функции $\sin X$. Входное напряжение U_x , соответствующее величине аргумента X , поступает на вход усилителя 1 с регулируемым коэффициентом передачи и на вход блока 4 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин.

На выходе блока 4 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин получают напряжение U_4 , которое зависит от напряжения U_x . Это напряжение U_4 управляет коэффициентом передачи усилителя 1 с регулируемым коэффициентом. Значение $U_{оп}$ в блоке 4 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин выбирают такой величины, что при управляющем напряжении $U_4 = U_{оп}$ коэффициент передачи K_1 управляемого усилителя 1 равняется единице. Напряжение U_4 на выходе блока 4 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин можно представить в следующем виде:

$$U_4 = \sqrt{(U_{оп})^2 + (cU_x)^2} \text{ для } U_4 \geq U_{оп} \text{ при}$$

$$(cU_x) \approx U_{оп}. \quad (5)$$

где коэффициент c выбирают в соответствии с минимальным значением погрешности выполнения равенства (1).

Напряжение U_4 поступает на управляющий вход усилителя 1 с регулируемым коэффициентом передачи. Коэффициент передачи этого усилителя 1 обратно пропорционален управляющему напряжению U_4 , которое изменяется в соответствии с выражением (5), поэтому выходное напряжение U_1 можно записать следующим образом:

$$U_1 = U_{вых1} = U_x / \sqrt{(U_{оп})^2 + (cU_x)^2}$$

$$(6)$$

Следовательно, получили выражения в соответствии с выражением (1).

$$U_1 = U_{вых1} = \sin X \cdot X / \sqrt{1 + (cX)^2} \cdot U$$

$$x \sqrt{\frac{U_{оп}^2 - (cU_x)^2}{A + (ax)^2}} \quad (7)$$

где c коэффициент, выбираемый из условия минимизации погрешности аппроксимации.

Следовательно, получили выражения в соответствии с выражениями (1) и (2).

Погрешность аппроксимации q_1 для соотношения (1) можно получить из следующего выражения:

$$q_1 = \left[\frac{X}{\sqrt{A + (ax)^2}} \right] \sin X / \sin X \quad \text{для}$$

$$0 \leq X \leq 0,7854$$

Например, при $A = 1,0$ и $a = 0,6156$ в зависимости от $0 \leq X \leq 0,7854$ погрешность q_1 будет изменяться от $q = 0$ до $q = 0,34\%$. Все погрешности в этом случае имеют отрицательное значение, следовательно, увеличив напряжение U_1 на выходе усилителя 1 с регулируемым коэффициентом передачи на $0,17\%$ получим методическую погрешность преобразования значений $\sin X$, равную величине $q/2$, т.е. $0,17\%$.

Погрешность аппроксимации q_2 для соотношения (2) можно получить из следующего выражения:

$$q_2 = \frac{\sqrt{1 - (0,788X)^2}}{\sqrt{1 + (0,6156X)^2}}$$

$$\cos X / \cos X \quad \text{для } 0 \leq X \leq 0,7854$$

Например, при выбранных значениях $A = 1,0$; $a = 0,788$; $c = 0,6156$ погрешности q_2 имеют величины не более $q = 0,16\%$ причем все погрешности имеют одинаковые знаки, поэтому после введения в усилитель 2 с регулируемым коэффициентом передачи корректирующего постоянного множителя можно уменьшить погрешность $q = 0,16\%$ в 2 раза. Следовательно, методическая погрешность q_2 предлагаемой аппроксимации косинусной функции для изменений аргумента $0 \leq X \leq 0,7854$ будет иметь величину не более $0,08\%$.

Предлагаемый преобразователь обеспечивает малые величины инструментальной погрешности, которые не будут превышать методическую погрешность. Это достигается тем, что при входных напряжениях $0 \leq U_x \leq 0,7854 U_{оп}$ погрешность

$q_1 \approx 0,17\%$ и $q_2 \approx 0,08\%$ можно обеспечить, так как в используемых блоках 2 и 3 для извлечения квадратного корня неизвестные величины существенно меньше известных величин.

Например, в блоке 3 для извлечения корня квадратного из известной и квадрата неизвестной величин $0,788 \cdot 0,7854 U_{оп} \cdot 0,6 U_{оп}$, а в блоке 4 для извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной сумм величин $0,6156 \cdot 0,7854 U_{оп} \cdot 0,5 U_{оп}$. По этой причине погрешности блоков 2 и 3 можно обеспечить малыми по величине для указанных пределов изменений неизвестных величин.

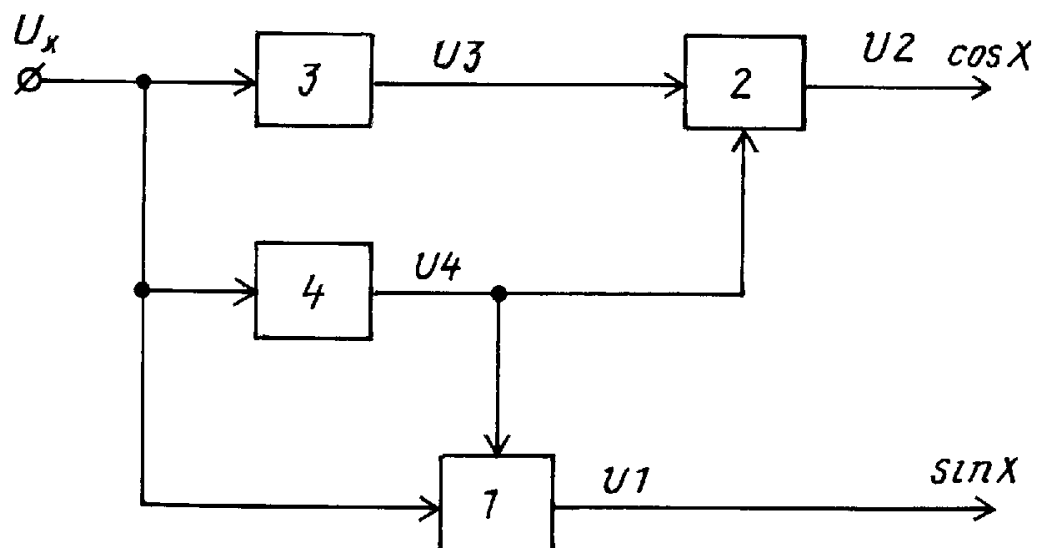
Малую погрешность преобразования для усилителей 1 и 2 с регулируемыми коэффициентами передачи также можно обеспечить, так как они работают в малом диапазоне изменений значений своих коэффициентов передачи K_1 и K_2 , т.е. коэффициенты передачи K_1 и K_2 изменяются в пределах всего лишь не более 15% .

Формула изобретения:

СИНУСНО-КОСИНУСНЫЙ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, содержащий первый и второй усилители с регулируемым коэффициентом передачи, выходы которых являются выходами значений соответственно косинуса и синуса преобразователя, входом которого является информационный вход второго усилителя с регулируемым коэффициентом передачи, отличающийся тем, что в него введены блок извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин и блок извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин, входы которых соединены с входом преобразователя, выход блока извлечения корня квадратного из разности известной и квадрата неизвестной величин подключен к информационному входу первого усилителя с регулируемым коэффициентом передачи, выход блока извлечения корня квадратного из суммы известной и квадрата неизвестной величин соединен с управляющими входами усилителей с регулируемым коэффициентом передачи.

RU 2058589 C1



RU 2058589 C1