

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

УДК 681.2.088

А. Г. Дмитриенко, Д. И. Нефедьев, А. А. Трофимов

АМПЛИТУДНО-ЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ С РАСТРОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

A. G. Dmitrienko, A. A. Trofimov, D. I. Nefediev

AMPLITUDE-LOGICAL METHOD FOR HANDLING OUTPUT SIGNALS WITH RASTER DISPLACEMENT SENSOR OF TRANSFORMER

А н н о т а ц и я. Рассмотрен амплитудно-логический метод обработки выходных сигналов растровых трансформаторных датчиков линейных и угловых перемещений, определены источники основных погрешностей, возникающих при его использовании.

A b s t r a c t. The amplitude-logical method of output signal processing of raster sensors for linear and angular displacements is presented. The sources of basic errors of the amplitude-logical method are determined.

К л ю ч е в ы е с л о в а: растровый датчик, квантование, погрешность квантования, периодический сигнал, модуляция.

K e y w o r d s: raster sensor, quantization, quantization error, periodic signal, modulation.

Отличительной особенностью всех растровых трансформаторных датчиков перемещений независимо от типа сопряжения (цилиндрическое или торцевое), конструктивного исполнения и диапазонов измерений является идентичность выходных сигналов [1], что позволяет использовать для всех типов датчиков единый вторичный преобразователь, в котором реализован амплитудно-логический метод обработки сигналов.

Представление непрерывного сигнала в виде совокупности дискретных уровней приводит к погрешностям, которые связаны как с функцией преобразования, так и с методами квантования. При равномерном законе распределения погрешности по диапазону среднеквадратическая погрешность квантования [2]

$$\sigma_{\text{кв}} = \frac{\delta_{\text{max}}}{2\sqrt{3}},$$

где δ_{max} — величина участка дискретности

К примеру, для преобразователя ПУИ 065 [3]

$$\delta_{\max} = \frac{\pi}{zn}, \quad \sigma_{\text{кв}} = \frac{\pi}{zn2\sqrt{3}} = \frac{180}{72 \cdot 4 \cdot 2\sqrt{3}} = 10,8',$$

где z – число зубьев при цилиндрическом сопряжении растров; n – число измерительных обмоток.

Рассмотрим амплитудно-логический метод квантования, который использован в преобразователе ПУИ 065. Амплитудно-логический метод квантования полнофазной системы периодических сигналов был впервые описан для сельсинного преобразователя [2], где число обмоток $n = 5$.

Для построения датчиков с любым числом обмоток целесообразно получить общие выражения для идентификации каждого кванта шкалы.

Сущность метода поясним на примере (рис. 1). На рисунке упрощенно показана периодическая полнофазная система из n выходных сигналов, смещенных в пространстве на величину «С». Это система

$$U = A_0 + f(x + (j-1)C + \xi T), \quad (1)$$

где T – период преобразования; j – номер сигнала, $j = 1, \dots, n$; $\xi = 1, 2, 3, \dots$

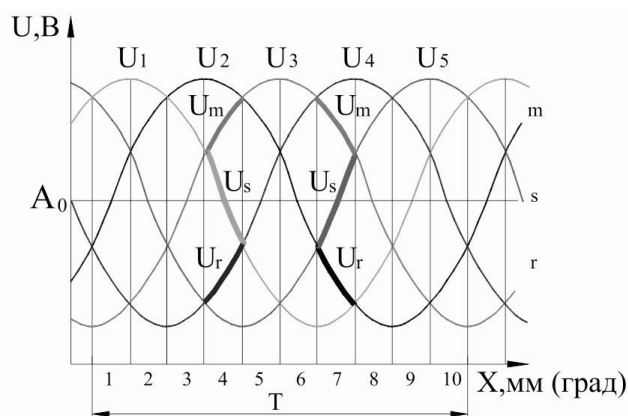


Рис. 1. Полнофазная система сигналов

Проекции точек пересечения синусоида делят период преобразования на $N = 2n$ одинаковых квантов.

Для выполнения этого условия функция $f(x)$ должна удовлетворять следующим условиям:

$$f(x) = f(-x); \quad f(x \pm \frac{T}{2}) = -f(x \pm \frac{T}{2}).$$

На каждом участке дискретности i существует определенное соотношение амплитуд, например, для 3-го участка (см. рис. 1)

$$A_3 \equiv U_2 > U_1 > U_3 > U_5 > U_4. \quad (2)$$

Следует отметить, что полная система амплитудных соотношений, аналогичных (2), для идентификации квантов шкалы является избыточной. Достаточно использовать на каждом участке дискретности два логических условия:

$$A_i \equiv U_m > U_s > U_r,$$

поэтому ограничимся определением индексов.

Идентификация любого кванта шкалы производится с помощью аналогичных логических уравнений. Для определения индексов сигналов необходимо знать закономерность их изменения. Для этой цели в табл. 1 и 2 в общем виде приведены значения индексов для нечетных ($i = 1, 3, 5$) и четных ($i = 2, 4, 6$) квантов шкалы.

Анализ распределения индексов показывает, что для каждого кванта индекс убывает на 1, при увеличении k – на 2 ($i = \text{const}$), если i и k одновременно либо четные, либо нечетные:

$$j_{i,k} - (-1)^{i+k} = j_{i,k+2}.$$

Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль

Изменение индекса в столбцах сверху вниз происходит с увеличением на 1 при изменении i на 2 ($k = \text{const}$)

$$j_{i,k} + 1 = j_{i+2,k}.$$

Это дает возможность найти значения индексов для любых i и k .

Приведем расчетные общие выражения для определения индексов выходных сигналов при использовании амплитудно-логического метода обработки сигналов:

$$m = \frac{2i + 2 + (-1)^{n+1} + 0,5((-1)^n + 1) \cdot (n + (-1)^{\frac{n+2}{2}+i})}{4} \dots +$$

$$+ \frac{0,5((-1)^{n+1} + 1) \cdot (n - 2) \cdot (-1)^{\frac{n+1}{2}+i}}{4}; \quad (3)$$

$$S = \frac{2i + 3 + 0,5((-1)^n + 1) \cdot ((-1)^{\frac{n}{2}+i} - n) + 0,5((-1)^n + 1) \cdot n \cdot (-1)^{\frac{n+2i+3}{2}}}{4}; \quad (4)$$

$$r = m + 0,5((-1)^n + 1) + 0,5((-1)^{n+1} + 1) \cdot (-1)^{\frac{n+1}{2}+i}. \quad (5)$$

Таблица 1

Значения индексов для нечетных квантов шкалы

i	k	1	2	3	4	...	m	S	r	...	$n-1$	n
1		$n+1$	2	n	3	...	$j_{m,1}$	$j_{s,1}$	$j_{r,1}$	...		$j_{n,1}$
3		$n+2$	3	$n+1$	4	...	$j_{m,1}+1$	$j_{s,1}+1$	$j_{r,1}+1$	...		$j_{n,1}+1$
5		$n+3$	4	$n+2$	5	...	$j_{m,1}+2$	$j_{s,1}+2$	$j_{r,1}+2$	...		$j_{n,1}+2$
7		$n+4$	5	$n+3$	6	...	$j_{m,1}+3$	$j_{s,1}+3$	$j_{r,1}+3$	...		$j_{n,1}+3$
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
i		$j_{1,i}$	$j_{2,i}$	$j_{3,i}$	$j_{4,i}$	...	$j_{m,i}$	$j_{s,i}$	$j_{r,i}$	...		$j_{n,i}$
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
$2n-3$		$2n-1$	n	$2n-2$	$n+1$	...	$j_{m,n-3}$	$j_{s,n-3}$	$j_{r,n-3}$	...		$j_{n,n-3}$
$2n-1$		$2n$	$n+1$	$2n-1$	$n+2$	...	$j_{m,n}$	$j_{s,n}$	$j_{r,n}$	...		$j_{n,n}$

Таблица 2

Значения индексов для четных квантов шкалы

i	k	1	2	3	4	...	m	S	r	...	$n-1$	n
2		2	$n+1$	3	n	...	$j_{m,2}$	$j_{s,2}$	$j_{r,2}$	...		$j_{n,2}$
4		3	$n+2$	4	$n+1$	...	$j_{m,2}+1$	$j_{s,2}+1$	$j_{r,2}+1$	...		$j_{n,2}+1$
6		4	$n+3$	5	$n+2$	...	$j_{m,2}+2$	$j_{s,2}+2$	$j_{r,2}+2$	...		$j_{n,2}+2$
8		5	$n+4$	6	$n+3$	...	$j_{m,2}+3$	$j_{s,2}+3$	$j_{r,2}+3$	...		$j_{n,2}+3$
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
i		$j_{1,i}$	$j_{2,i}$	$j_{3,i}$	$j_{4,i}$	...	$j_{m,i}$	$j_{s,i}$	$j_{r,i}$	...		$j_{n,i}$
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
.		.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.
$2n-2$		n	$2n-1$	$n+1$	$2n-2$	...	$j_{m,n-2}$	$j_{s,n-2}$	$j_{r,n-2}$	...		$j_{n,n-2}$
$2n$		$n+1$	$2n$	$n+2$	$2n-1$	...	$j_{m,n}$	$j_{s,n}$	$j_{r,n}$	...		$j_{n,n}$

Основные погрешности, возникающие при использовании амплитудно-логического метода обработки сигналов, связаны с наличием гистерезиса компаратора и изменениями амплитуды сигналов [3]. Изменение зоны гистерезиса Δ_G и амплитуды сигналов Δ_B приводит к дополнительной погрешности, которую представим как полный дифференциал от

$$\delta = \frac{\pi}{n} \left(\arccos \frac{q/2}{\sin(S \cdot \frac{\Delta\varphi}{2})} - \frac{\pi}{2} \right) \cdot 100\%,$$

где S – уровень выходного сигнала; $\Delta\varphi$ – сдвиг фаз между выходными сигналами; $q = \frac{\Theta}{B}$ – относительный гистерезис; Θ – гистерезис компаратора; B – амплитуда модуляции выходных сигналов.

$$d\delta = \frac{d\delta}{dB} \Delta_B + \frac{d\delta}{d\Delta_G} \Delta_G = \frac{\pi}{n} \cdot \frac{\left(\Delta_G + \frac{G}{B} \Delta_B \right)}{\sqrt{\left(2B \sin \left(\left(\frac{n}{2} - 1 \right) \cdot \frac{\pi}{2n} \right) \right)^2 - G^2}}. \quad (6)$$

Погрешность, вызванная амплитудно-логическим методом обработки, является наибольшей из составляющих основной погрешности растровых датчиков в нормальных условиях применения. Зная ее расчетное значение, разработчик может на этапе проектирования прогнозировать значение основной погрешности разрабатываемого прибора.

Список литературы

1. Трофимов, А. А. Взаимоиндуктивные датчики перемещений : моногр. / А. А. Трофимов, А. Н. Трофимов. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – 174 с.
2. Свечарник, Д. В. Линейный электропривод / Д. В. Свечарник. – М. : Энергия, 1979. – 152 с.
3. Конюхов, Н. Е. Электромагнитные датчики механических величин / Н. Е. Конюхов, Ф. М. Медников, М. Л. Нечаевский. – М. : Машиностроение, 1987. – 255 с.

Дмитриенко Алексей Геннадьевич

кандидат технических наук,
генеральный директор,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
E-mail: niifi@sura.ru

Dmitrienko Aleksey Gennad'evich

candidate of technical sciences,
director general,
Research Institute
of Physical Measurements

Нефедьев Дмитрий Иванович

доктор технических наук, заведующий кафедрой
информационно-измерительной техники,
Пензенский государственный университет
E-mail: iit@pnzgu.ru

Nefed'ev Dmitriy Ivanovich

doctor of technical sciences, head of sub-department
of information and measuring technique,
Penza State University

Трофимов Алексей Анатольевич

доктор технических наук, доцент,
кафедра информационно-измерительной техники,
Пензенский государственный университет
E-mail: alex.t1978@mail.ru

Trofimov Aleksey Anatol'evich

doctor of technical sciences, associate professor,
sub-department of information
and measuring technique,
Penza State University

УДК 681.2.088

Дмитриенко, А. Г.

Амплитудно-логический метод обработки выходных сигналов с растровых трансформаторных датчиков перемещений / А. Г. Дмитриенко, Д. И. Нефедьев, А. А. Трофимов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2012. – № 2. – С. 72–76.