

К вопросу построения высокоточных фотоэлектрических преобразователей перемещений

Валерий ДРАГОНЕР, Михаил ПОТЛОГ, Александр РОМАНЕНКО, Тамара ТИХОЛАЗ,
Дориан САРАНЧИУК
Technical University of Moldova
Mihail.potlog@ati.utm.md

Реферат - Рассмотрены вопросы построения высокоточных фотоэлектрических преобразователей угла.

Ключевые слова - фотоэлектрический преобразователь, растровые решётки, муаровое сопряжение, преобразователи считывания, растровые интерполяторы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Преобразователи угловых и линейных перемещений как разновидность информационно-измерительных элементов автоматики широко распространены на практике. В ряде отраслей техники к этим преобразователям предъявляются жёсткие точностные, эксплуатационные и специальные требования. В настоящее время речь идет о погрешностях, исчисляемых угловыми минутами, а в ряде случаев угловыми секундами в диапазоне 360[*]. Создание таких преобразователей до сих пор является сложной научно-технической задачей. Повышение точности преобразователей угловых и линейных перемещений достигается в первую очередь за счёт электрической редукиции (при которой происходит увеличение масштаба и создается многопериодичность выходного сигнала по амплитуде или фазе), выбора оптимальных конструктивных соотношений и прецизионной технологии изготовления.

Из фотоэлектрических преобразователей угла (ФПУ) наибольшее распространение получили преобразователи считывания (ПС) и растровые интерполяторы (РП), которые используются для построения абсолютных и накапливающих преобразователей угла в код (преобразователей абсолютных значений и приращений угла) [1]. Принцип их действия основан на модуляции потока излучения, воспринимаемого приёмниками, и преобразовании сигналов приёмников. Модуляция осуществляется сопряжением подвижного (модулирующего) и неподвижного (индексного) элемента, которые имеют переменную от угла прозрачность и располагаются на пути потока от источника к приёмнику. В качестве модулирующего и индексного элементов используются растровые решетки, представляющие собой кольцевые дорожки, состоящие из чередующихся прозрачных и непрозрачных участков. Особенность таких ФПУ состоит в том, что угол α (альфа[*]) преобразуется в пространственную фазу γ (гамма[*]) сигналов приёмников излучения с коэффициентом электрической редукиции N_p [*]. При этом $N_p = 2\pi/Tr$ [*], $Tr = Tr_{лин}/R_{ср}$ [*], где Tr , $Tr_{лин}$, $R_{ср}$ – угловой, линейный шаг чередующихся участков

растровой дорожки и ее средний радиус. Поскольку минимальные размеры шага чередующихся участков $Tr_{лин}$ составляют сотые и даже тысячные доли миллиметра, что значительно меньше размеров чередующихся участков в преобразователях угла, использующих другие физические принципы построения, заданный коэффициент электрической редукиции N_p [*] достигается в ФПУ при меньших, чем у других видов преобразователей, габаритах.

II. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СЧИТЫВАНИЯ

ПС характеризуются тем, что двоичные цифры «0» и «1» разрядов кода задаются непрозрачными и прозрачными участками растровой дорожки. Обычно для построения абсолютного преобразователя угла на каждой из n разрядов кода потребуется отдельная растровая дорожка. Модулирующий элемент n -разрядного ПС представляет собой диск, содержащий n дорожек, которые образуют так называемую кодовую маску. Сигналы разрядных цифр формируются системой из n компараторов, на выходы которых поступают сигналы считываемые приемниками с дорожек кодовой маски. Из принципа действия следует что ПС представляет собой систему из n параллельно работающих однозарядных преобразователей угла, каждый из которых состоит из последовательно соединённых аналогового ФПУ и компаратора. ФПУ линейно преобразует угол α (альфа) [*] в фазу γ (гамма[*]) сигнала U с коэффициентом электрической редукиции N_p , равным соответствующей степени числа «2». Компаратор преобразует фазу γ (гамма[*]) в одноразрядный двоичный код. Наибольшее распространение получили ПС, в которых для устранения погрешности неоднозначности при считывании вместо маски двоичного позиционного кода применяется маска кода Грея, а двоичный позиционный код формируется из кода Грея с помощью логического устройства. Размер единицы младшего разряда кодовой маски $q = Tr/4$ [*]. Поэтому число разрядов n ПС ограничивается максимально возможным средним радиусом дорожки и минимально возможными разрядами ее участков. Максимальное

число разрядов ПС при приемлемых габаритах (внешнем диаметре меньше 100мм) составляет 13-14. Дальнейшее увеличение числа разрядов при ограниченном внешнем диаметре приводит к значительному усложнению кодовой маски и считывающей системы. Быстродействие ПС определяется, главным образом, временем срабатыванием компараторов. Выбором компараторов с соответствующим временем срабатывания можно строить ПС, производящие 10^{**5} - 10^{**7} отс/с[*].

Для построения накапливающих преобразователей угла, принцип действия которых заключается в подсчете приращения угла на единицу младшего разряда кода, применяются импульсные преобразователи угла. Импульсный преобразователь представляет собой двухразрядный ПС, состоящий из последовательного соединенных синусно-косинусного ФПУ и АЦП, выполненного из двух компараторов. Из сигналов считываемых с растровой дорожки, ФПУ формирует два сигнала $U_s = U_m \cdot \sin Y[*]$ и $U_c = U_m \cdot \cos Y$, где U_m – амплитуда и $Y = Np \cdot a[*]$ – фаза сигналов. Зависимости сигналов компараторов от угла имеют вид двух периодических последовательностей прямоугольных импульсов, смещённых друг относительно друга на $Tr/4[*]$. Для получения n -разрядного двоичного позиционного кода сигналы ПС подаются на кодирующее устройство, осуществляющее формирование и подсчет импульсов, соответствующих приращениям угла на величину $q = Tr/4[*]$, или, что то же, $q = 2\pi/4Np[*]$. Подсчет импульсов производится реверсивным счетчиком с учетом знака приращений, т.е. в зависимости от направления вращения. Разрешающая способность и быстродействие импульсного преобразователя определяется числом импульсов на оборот $N_{имп} = Np$ и максимальной частотой следования импульсов $f_{импмакс}[*]$. Существующие преобразователи характеризуются $N_{имп} = 2^{**7}$ - 2^{**13} при внешнем диаметре диска 25-50мм и $f_{импмакс} = 100$ - 200 кГц.

III. РАСТРОВЫЕ ИНТЕРПОЛЯТОРЫ

РИ характеризуются тем, что с помощью сигналов, считываемых с одной растровой дорожки, формируется группа из K разрядов кода. Наибольшее применение получили РИ, состоящие из последовательно соединенных синусно-косинусного ФПУ и K -разрядного АЦП, осуществляющего преобразование фазы $u(\gamma[*])$ в пределах периода $2\pi[*]$, что соответствует преобразованию угла $a(\alpha)$ [*] в пределах шага Tr . При этом размер q определяется не только размерами участков растровой дорожки, как у ПС, но и числом разрядов АЦП. При одинаковых параметрах дорожки РИ и дорожки младшего разряда ПС $q_{РИ}$ в $2^{**}(k-2)$ раза меньше $q_{ПС}[*]$. Поскольку число разрядов k может составлять 6-10, разрешающая способность РИ при тех же габаритах значительно выше чем у ПС. Быстродействие РИ определяется временем преобразование его в АЦП.

При использовании параллельных или конвейерных АЦП быстродействие РИ практически такое же, как и ПС. В основном РИ применяются для формирования группы младших разрядов кода. Формирование старших разрядов осуществляется либо с помощью ПС, либо подсчетом числа приращений угла на шаг дорожки интерполятора. Иногда в преобразователях абсолютного типа для того, чтобы свести число дорожек модулирующего элемента до минимума, РИ используется также для формирования старших разрядов. В этом случае можно получить либо минимальный внешний диаметр диска, либо отношение средних диаметров внешней и внутренней дорожек, близкое к единице. Погрешность неоднозначности, имеющая место в преобразователях абсолютного типа, которые состоят из нескольких параллельно работающих преобразователей меньшей разрядности (РИ или ПС), устраняется с помощью так называемого согласования или сопряжения отсчетов.

Максимальное число разрядов преобразователей угла с РИ при диаметре диска равно примерно 100-150мм, составляет 22-23[2], а в отльных случаях может достигать 25-27[3], однако диаметр диска при этом возрастет до 200-300мм.

IV. МОДУЛИРУЮЩИЕ И СЧИТЫВАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ФТУ

Основными элементами ФПУ являются модулирующий или кодирующий диск и фотоэлектрическая считывающая система. Она состоит из передающей и приёмной частей. Передающая часть содержит источник излучения и оптическую систему, состоящую из линзовой зеркальной или волоконной оптики и служащую для формирования параллельного потока, а приёмная-индексную диафрагму и приёмники излучения.

Моделирующий диск и индексная диафрагма представляют собой диски из оптического стекла, расположенные соосно и параллельно, на обращенных друг к другу поверхностях которых печатным способом нанесены маски с соответствующим рисунком.

Прозрачные и непрозрачные участки дисков и диафрагм выполняются в виде системы прозрачных(непрозрачных) прямоугольных окон или щелей, расположенных по окружности с определённым шагом, т.е. в виде растра или растровой решётки.

Применение растров связано с тем, что технология их изготовления проста и отличается высокой точностью, поскольку используются процессы, основанные на методах фотолитографии и фотопечати и применении дисков-шаблонов. Современная технология позволяет изготавливать диски-шаблоны с погрешностью рисунка, не превышающей десятой доли угловой секунды.

Поток на выходе растрового сопряжения описывается несинусоидальной периодической функцией угла, период которой равен шагу подвижного растра.

Вид функций зависит главным образом от линейных размеров щелей или штрихов подвижного и

неподвижного ростра, а также от зазора между ними и угловой апертуры источника. Рациональным выбором соотношений между этими размерами можно получить заданный закон изменения потока от угла с приемлемой для практики точностью.

В синусно-косинусных преобразователях угла растровые сопряжения рассчитываются таким образом, чтобы с учётом погрешности изготовления и монтажа обеспечить синусоидальную форму сигналов преобразователя с погрешностью примерно 0,1-1%, а также их фазовый сдвиг на четверть периода с погрешностью примерно 1-3%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Фотоэлектрические преобразователи информации/ Л.Н. Престухин, В.Ф. Шаньгин, С.А. Майоров, И.В. Месьнин. Под редакцией Л.Н. Престухина.- М.: Машиностроение, 1974.-376с.
- [2] Вульвет Дж. Датчики в цифровых системах. Пер. с англ./ под ред. А.С. Яроменка.-М.: Энергоиздат, 1981.-200с
- [3] Габидулин М. А. Исследование влияния зазора между растрами на функцию пропускания растровых, сопряжений фотоэлектрических датчиков перемещений.-Межвузовск. Сб. «Автоматическое управление»,-М.: МИРЭА, 1997
- [4] Драгонер В.В., Габидулин М.А. Анализ влияния случайной погрешности положения штрихов на функцию пропускания растровых решеток. Межвузовск. Сб.: «Надежность и диагностика полупроводниковых приборов», Изд-во «Штиинца», Кишинев, 1984.