

БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Ю.А. Чабанов, Я.И. Пешев

Самарский государственный технический университет, учебный центр «СамГТУ – Шнейдер-электрик»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Описывается методика реализации системы измерения угловых перемещений и частоты вращения электродвигателя с использованием бесконтактного энкодера компании Austriamicrosystems. Приводится аналитическое выражение разрешающей способности и анализ источников погрешности измерения.

Ключевые слова: микроконтроллер, частота вращения, электродвигатель, элемент Холла, энкодер.

При проведении работ в области разработки, исследования и испытания электроприводов часто требуется знать актуальную (реальную) частоту вращения вала электродвигателя. Как правило, для такой цели используются тахогенераторы, тахомосты, фотооптические энкодеры. Использование тахомоста возможно только на электроприводах постоянного тока и требует дополнительного вмешательства в электрическую схему. Общим недостатком тахогенератора и фотооптического энкодера является необходимость контактного соединения их с валом электродвигателя, что усложняет и удорожает конструкцию в целом.

На сегодняшний день компания Austriamicrosystems выпускает однокристалльные бесконтактные датчики углового положения (энкодеры), позволяющие точно измерить угловое перемещение.

В составе бесконтактного энкодера имеются: массив элементов Холла, высококачественное быстродействующее сигма-дельта-АЦП, специально разработанное ядро цифровой обработки сигналов и интерфейсы ввода/вывода.

Микросхема энкодера выпускается по стандартному КМОП-процессу и использует современные технологии мониторинга распределения магнитного поля по всей поверхности чувствительного сенсора. Интегрированные элементы Холла размещены по кругу и центрированы относительно верхней плоскости корпуса микросхемы.

Для измерения углового перемещения вала на последнем устанавливается двухполюсный магнит, который располагается по центру корпуса микросхемы энкодера (рис. 1).

Информация о текущем положении магнита и, следовательно, вала формируется на выходе массива элементов Холла в аналоговой форме и оцифровывается сигма-дельта-АЦП. Полученные значения АЦП обрабатываются ядром цифровой обработки сигналов с целью фильтрации и получения значения текущего угла поворота вала. Кроме того, определяется дополнительная сервисная информация об изменениях зазора между магнитом и плоскостью бесконтактного энкодера, а также валидность полученных данных.

Для согласования энкодера с внешним микроконтроллером имеются несколько

Юрий Александрович Чабанов (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Электропривод и промышленная автоматика».

Ярослав Иванович Пешев (к.т.н.), инженер учебного центра «СамГТУ – Шнайдер-Электрик».

типов интерфейсов в зависимости от конкретной модели:

- SPI;
- I2C;
- квадратурный выход;
- выход широтно-импульсного модулятора;
- выход 10-разрядного АЦП.

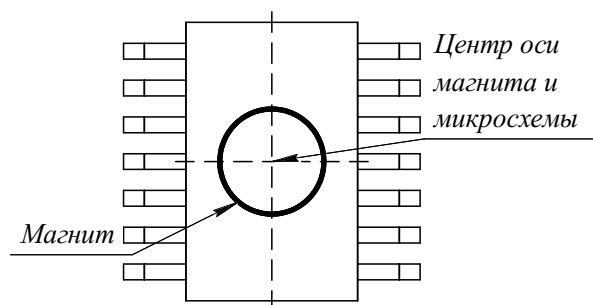


Рис. 1. Расположение магнита и микросхемы бесконтактного энкодера

К основным достоинствам бесконтактного энкодера следует отнести:

- бесконтактное измерение угловых перемещений с высокой точностью (не хуже $\pm 0,5^\circ$);
- настраиваемое «нулевое» положение;
- контроль ошибок положения магнита и потерь питания;
- определение осевого движения магнита;
- оптимальное соотношение скорость/помехи;
- широкий диапазон рабочих температур: $-40 - +125^\circ\text{C}$;
- компактный корпус SSOP 16.

Рассмотрим последовательность действий по определению частоты вращения вала путем использования упомянутого выше бесконтактного энкодера.

Общеизвестно, что частота вращения вала ω есть изменение его угла положения φ во времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

При учете сказанного, а также дискретной природы формирования информации об изменении угла поворота в энкодере, становится очевидным, что для определения частоты вращения необходимо измерять длительность одной дискреты изменения угла поворота.

Одной из важнейших характеристик бесконтактного энкодера является параметр *PropagationDelays*, который характеризует время, затраченное на АЦП-преобразование и цифровую обработку сигнала. Таким образом, накладывается ограничение на период опроса бесконтактного энкодера. Кроме того, наличие указанной задержки приводит к линейному увеличению ошибки измерения угла положения вала с ростом частоты вращения:

$$e_{\text{smp}}(\text{DEG}) = 6 \cdot n \cdot \text{PropagationDelays},$$

где $e_{\text{smp}}(\text{DEG})$ – ошибка измерения угла, градус; n – частота вращения, об/мин; *PropagationDelays* – параметр энкодера (задержка, с).

Измерение текущего положения вала электродвигателя можно проводить в двух

режимах – Fast mode и Slow mode. Режим Fast mode характеризуется наименьшим значением *PropagationDelays*, но и меньшей точностью.

В процессе чтения информации внешним микроконтроллером также возникает задержка *CPUDelays*, которая зависит от скорости передачи данных, построения алгоритма чтения, архитектуры и быстродействия ядра микроконтроллера.

Очевидно, что общая задержка τ между достижением валом некоторого фиксируемого бесконтактным энкодером значения угла и чтением этого значения внешним микроконтроллером

$$\tau = \textit{PropagationDelays} + \textit{CPUDelays} .$$

Применение высокоскоростных 16-битных микроконтроллеров, например семейства PIC24, а также быстродействующих алгоритмов позволяет обеспечить

$$\textit{PropagationDelays} \ll \textit{CPUDelays} ;$$

таким образом, можем считать

$$\tau = \textit{PropagationDelays} .$$

Из вышесказанного следует, что период опроса τ_{CPU} внешним микроконтроллером бесконтактного энкодера составит

$$\tau_{CPU} \leq \tau = \textit{const} .$$

Основываясь на предыдущих рассуждениях, можно синтезировать следующий алгоритм измерения частоты вращения вала.

1. Внешний микроконтроллер производит обнуление счетчика количества чтений бесконтактного энкодера N , что соответствует некоторому мгновенному значению угла поворота вала α_0 .

2. С периодом τ_{CPU} внешний микроконтроллер опрашивает бесконтактный энкодер; когда информация о мгновенном положении вала станет отличной от α_0 , новое мгновенное значение угла поворота α_1 сохраняется.

3. С периодом τ_{CPU} инкрементируется счетчик N , а также производится опрос бесконтактного энкодера. Когда значение мгновенного угла поворота будет отличным от α_1 , произойдет останов цикла измерения, инкремента счетчика N , а зафиксированное значение мгновенного угла поворота α_2 сохранится.

Процесс формирования измерений показан на рис. 2.

Текущая частота вращения вала n [об/мин] определится по формуле

$$n = \frac{60}{2^{N_{ENC}} \tau_{CPU} N} , \quad (1)$$

где N_{ENC} – разрядность энкодера.

Для предложенного алгоритма максимально возможная измеряемая частота вращения в соответствии с (1) определится как

$$n = \frac{60}{2^{N_{ENC}} \tau_{CPU}} .$$

Определить направление вращения можно следующим образом:

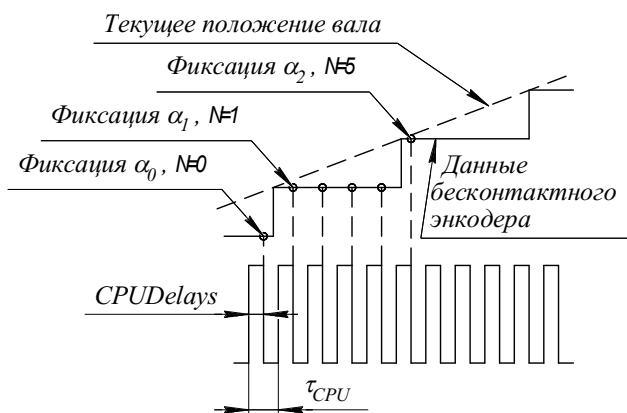


Рис. 2. Процесс формирования измерения частоты вращения вала электродвигателя

– если $\alpha_2 - \alpha_1 = 1$ или $\alpha_2 - \alpha_1 = -(2^{N_{ENC}} - 1)$, то направление вращения осуществляется по часовой стрелке;

– если $\alpha_2 - \alpha_1 = -1$ или $\alpha_2 - \alpha_1 = (2^{N_{ENC}} - 1)$, то направление вращения происходит против часовой стрелки.

Анализируя приведенный алгоритм, легко заметить, что с изменением текущей частоты вращения изменяется и разрешающая способность измерения, последняя уменьшается с ростом частоты вращения по нелинейному закону.

Найдем аналитическое выражение для определения максимальной частоты вращения вала N_{Dmax} , выраженной в количествах инкрементов счетчика N , при которой разрешающая способность D не превысит требуемого значения.

Так как разрешающая способность есть разность между двумя соседними результатами измерения

$$-D = N_{Dmax} - (N_{Dmax} - 1),$$

то с учетом (1) имеем:

$$-D = \frac{60}{2^{N_{ENC}} \tau_{CPU} N_{Dmax}} - \frac{60}{2^{N_{ENC}} \tau_{CPU} (N_{Dmax} - 1)}. \quad (2)$$

Решим уравнение (2) относительно n_{Dmax} . Формула для нахождения корней имеет вид

$$N_{Dmax1,2} = \frac{2^{N_{ENC}} \tau_{CPU} \pm \sqrt{(2^{N_{ENC}})^2 \tau_{CPU}^2 + \frac{240 \cdot 2^{N_{ENC}} \tau_{CPU}}{D}}}{2 \cdot 2^{N_{ENC}} \tau_{CPU}}. \quad (3)$$

Следует заметить, что в соответствии с алгоритмом измерения частоты вращения счетчик N может принимать только положительные значения, поэтому следует выбирать положительный корень уравнения (2).

Максимальная частота вращения вала (в об/мин) n_{Dmax} , при которой разрешающая способность D не превышает требуемого значения:

$$n_{Dmax} = \frac{60}{2^{N_{ENC}} \tau_{CPU} N_{Dmax1,2}}. \quad (4)$$

Методика определения $n_{D_{max}}$ следующая:

- задать требуемое предельное значение разрешающей способности D ;
- решить уравнение (2) по формуле (3) и в качестве $N_{D_{max}}$ выбрать положительный корень;
- по формуле (4) рассчитать максимальную частоту вращения вала $N_{D_{max}}$.

Абсолютная погрешность измерения определяется величиной несоосности центров магнита и массива элементов Холла, интегральной и дифференциальной погрешностями бесконтактного энкодера, а также точностью тактового генератора, детерминированностью времени реакции на возникновение прерывания и быстрым действием ядра внешнего микроконтроллера. В связи с этим можно сформировать рекомендации по повышению точности измерения в целом:

- величина несоосности центров магнита и массива элементов Холла не должна превышать значения, указанного в паспорте на бесконтактный энкодер;
- частоту тактового генератора необходимо стабилизировать кварцевым резонатором;
- использовать микроконтроллеры с производительностью не менее 16 МiPS и качественным контроллером прерываний;
- оптимизировать программу для достижения наилучшего быстродействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аксенова Е.Н. Элементарные способы оценки погрешностей результатов прямых и косвенных измерений: Учеб. пособие. – М.: Изд. МИФИ, 2003. – 16 с.
2. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс. – СПб., 2008. – 284 с.

Статья поступила в редакцию 28 февраля 2013 г.

NON-CONTACT MEASUREMENT OF THE ANGULAR MOVEMENT AND MOTOR SPEED

Y.A. Chabanov, Y.I. Peshev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

This article describes how to implement a system of measuring the angular displacement and motor speed, using a contactless encoder, which was sold by Austriamicrosystems company. Analysis measurement error and the analytical expression for resolution are presented.

Keywords: encoder, Hall generator, microcontroller, motor, motor speed.