

Использование ПЛИС в системе управления двигателями с квадратурным энкодером

ГЛЕН ЯНГ, Actel

В статье рассмотрен один из самых распространенных типов датчиков вращения ротора электродвигателя – квадратурный декодер, режимы его работы и преимущества реализации его электронной части на основе ПЛИС, в частности, серии Fusion фирмы Actel.

Точное измерение скорости, ускорения и положения ротора электродвигателя — непременное условие нормальной работы систем управления электродвигателями, которые используются сейчас во множестве устройств, например в факсимильных аппаратах или медицинском оборудовании. В петле управления в качестве сигнала обратной связи могут использоваться, например, потребляемый двигателем ток или противо-ЭДС обмотки. Однако для высокоточного управления скоростью или положением ротора лучше всего использовать энкодеры, механически связанные с ротором.

Такие энкодеры представляют собой электромеханические устройства, преобразующие угловые координаты ротора в цифровой код. Во многих случаях их использование является наиболее дешевым и эффективным решением.

Существуют два основных типа энкодеров — относительные и абсолютные. Квадратурные энкодеры являются относительными и чаще всего используются в системах управления высокооборотными двигателями.

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ЭНКОДЕРЫ

Такие энкодеры, называемые также инкрементными, являются оптоэлектронными устройствами. В них используется закрепленный на роторе двигателя прозрачный диск, разделенный на участки радиальными и кольцевыми линиями, причем отдельные участки закрашиваются или не закрашиваются в соответствии с определенными правилами (см. рис. 1). В качестве датчика используется светочувствительный элемент, например фотодиод, генерирующий электрический импульс при прохождении закрашенной радиальной линии в поле зрения оптической системы диода. Электронная система управления подсчитывает импульсы и определяет угловое смещение ротора.

Следует сразу сказать, что в такой простейшей системе, использующей всего один светочувствительный датчик и такой энкодер, невозможно определить не только абсолютные угловые координаты ротора, но и направление его вращения. Возможно лишь определение смещения ротора с момента начала вращения. В некоторых случаях достаточно и этого (например, в манипуляторах мышь или трекбол). Если же необходимо точное определение положения ротора, можно добавить второй датчик, реагирующий на достижение диском энкодера нулевого положения. В то же время такой «детектор нуля» так же, как и в простейшем варианте, не позволит определить направление вращения. Такое измерение становится возможным, если второй датчик будет смещен на некоторый угол относительно первого, что позволит по величине фазового сдвига импульсов от обоих детекторов определить и направление. Такой тип энкодера называется квадратурным.

КВАДРАТУРНЫЙ ЭНКОДЕР

Как уже было сказано, квадратурный энкодер является инкрементным энкодером с двумя выходами, позволяющим измерять абсолютное положение, скорость и направление вращения. Используя две кодовые дорожки с секторами, сдвинутыми на 90° , можно легко определить и положение, и направление вращения ротора: если в точке считывания сигнал канала А предшествует сигналу канала В, вращение идет в одном направлении, если наоборот — в другом (см. рис. 2).

Для определения положения ротора необходимы два последовательных измерения, производимые в моменты времени n и $n+1$ соответственно. Эти две точки дают нам 4-битное слово, используемое как вход таблицы состояний, содержащей четыре типа результатов: «увеличение», «уменьшение», «без изменений» и «ошибка» (последнее возникает при одновременном изменении состояний в обоих каналах, что возможно при слишком большой скорости вращения).

Основным преимуществом квадратурного энкодера является высокое разрешение. Существуют энкодеры, обеспечиваю-

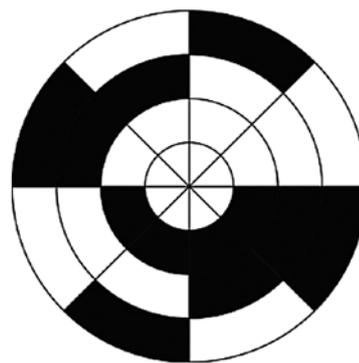


Рис. 1. Пример диска энкодера



Рис. 2. Выходные сигналы энкодера

щие до 10000 импульсов на один оборот при скорости вращения более 5000 об/мин.

Для измерения угловой скорости и ускорения с помощью квадратурных энкодеров можно, например, подсчитывать число импульсов за определенный промежуток времени. При этом точность измерений, очевидно, будет определяться числом импульсов за один полный оборот и длительностью интервала измерений по сравнению с ожидаемым периодом вращения. Скорость вращения в об/мин будет составлять:

$$V = \frac{n/dT}{N},$$

где n — число импульсов за промежуток времени dT (измеренный в минутах), а N — число импульсов на один полный оборот ротора.

Для измерения ускорения требуется подсчет импульсов в двух последовательных одинаковых интервалах времени и вычисляется по формуле:

$$A = \frac{(n_i - n_{i-1})/N}{dT^2},$$

где n_i и n_{i-1} — количество импульсов за текущий и предыдущий интервалы измерений.

ИНТЕРФЕЙС И ДЕКОДЕР КВАДРАТУРНОГО ЭНКОДЕРА НА ОСНОВЕ ПЛИС

Сигналы на выходах энкодера в реальной системе содержат шумы и помехи, что требует использования фильтров для исключения их влияния на результаты измерений. Проще и быстрее всего сконструировать соответствующие узлы на основе ПЛИС. При этом отфильтрованные сигналы поступают на вход реверсивного счетчика (обычно 16-разрядного). Для установки опорного (нулевого) положения ротора можно использовать специальный индексный сигнал либо сброс по достижении определенного значения. В той же ПЛИС можно также выполнить детектор ошибок с аккумулярующим счетчиком (см. рис. 3).

Квадратурный декодер, как уже говорилось, является частью системы управления. При этом он может работать в нескольких режимах, позволяющих уменьшить погрешность измерения положения ротора, т.н. режимах $x2$ и $x4$. В режиме $x2$ счетные импульсы формируются из фронтов импульсов канала А, в

режиме $x4$ — из фронтов каналов А и В. Диаграммы, иллюстрирующие работу декодера в режиме $x4$, приведены на рисунке 4. В левой половине сигналы канала А предшествуют сигналам канала В, поэтому счетчик положения работает в режиме суммирования, в правой из-за изменения направления вращения ротора последовательность импульсов меняется на обратную, и счетчик переключается в режим вычитания. Направление вращения фиксируется в бите UPDN в регистре состояния, однако для индикации может быть использован и специальный вывод ПЛИС. Рассмотрим немного подробнее узлы системы.

Входные фильтры. Предназначены для отсеки шумов и помех, поступающих вместе с сигналом. Фильтрация выполняется за счет фиксации значений сигнала в определенные моменты времени (сэмплирования или взятия отсчета). Сигнал признается действительным (а не помеховым) в том и только в том случае, если три последовательных отсчета дают одинаковый результат. При этом возникают некоторые побочные эффекты, например задержка при прохождении сигнала.

Тактирование. При высокой скорости вращения мы можем получить и высокое угловое разрешение, однако при этом высока и частота выходных импульсов. Максимально допустимая частота определяется управляющим микроконтроллером и составляет 1/3 от частоты выполнения команд.

Счетчик положения. Этот счетчик может измерять положение или скорость вращения. Для определения положения нам необходимо знать соотношение между изменением положения ротора и соответствующим ему числом импульсов. Это соотношение может быть известно заранее или измерено в процессе инициализации подсчетом импульсов при перемещении ротора в крайние положения (при наличии механических ограничителей). Можно записать соответствующую константу в регистр Maximum Count, обычно содержащий число импульсов на один оборот ротора. При достижении счетчиком положения значения, записанного в этом регистре, генерируется сигнал прерывания. В подпрограмме его обработки пользователь может в зависимости от значения бита направления вращения увеличить или уменьшить значение программного счетчика оборотов. При измерении скорости вращения используется разница значений счетчика, измеренных через определенный промежуток времени.

РЕАЛИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ ПЛИС СЕРИИ FUSION

ПЛИС фирмы Actel серии Fusion очень хорошо подходят для реализации на их основе систем управления двигателями: они строятся на основе флэш-памяти, содержат встроенные схемы кондиционирования сигнала с ФАП и аналоговые интерфейсные узлы с АЦП. Наличие схем кондиционирования сигнала (6 штук на каждую ПЛИС, в младших ИС одна из них содержит ФАП, в старших — две) позволяет значительно расширить диапазон допустимых частот входных импульсов с датчиков. При этом диапазон частот генератора сигналов для схемы кондиционирования составляет от 1,5 до 350 МГц, причем частота может изменяться динамически как схемами внутри самой ПЛИС, так и внешними по отношению к ней.

Еще одним преимуществом ПЛИС серии Fusion является возможность одновременного управления работой нескольких разнородных двигателей, что связано с наличием нескольких независимых входных цепей и достаточным числом программируемых ячеек для реализации нескольких схем управления.

И наконец, возможность реализации на базе ПЛИС микроконтроллерного ядра и наличие аналого-цифровых узлов позволяет создавать на их основе однокристалльные системы управления несколькими двигателями, оснащенными дополнительными средствами контроля работоспособности (контроль температуры и исправности цепей).

Все это делает ПЛИС серии Fusion компании Actel очень привлекательным выбором для создателей универсальных систем управления электродвигателями, рассчитанных на широкий спектр устройств.

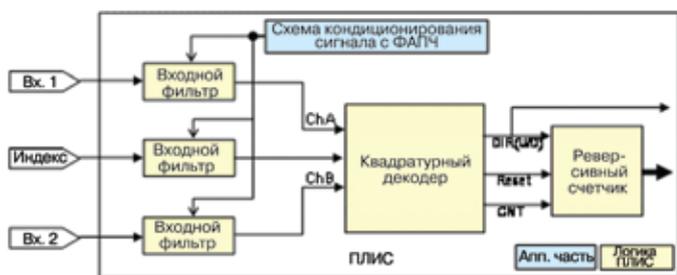


Рис. 3. Блок-схема энкодера на основе ПЛИС

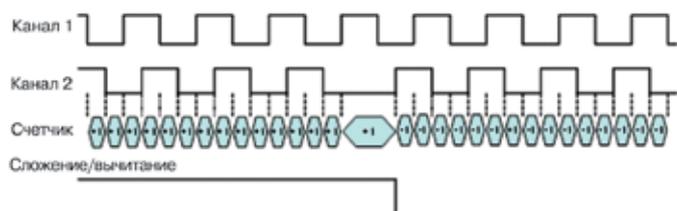


Рис. 4. Временные диаграммы в режиме $x4$