

# БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИСТЕМА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ МИНИАТЮРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

ДЖОНАТАН КОЛАО (JONATHAN COLAO)

ПЕРЕВОД: МИХАИЛ РУССКИХ

tau68@rambler.ru

В статье речь идет о распространенных трудностях, с которыми сталкиваются разработчики интерфейсных решений для определения положения вала, применяемых в промышленных системах управления двигателями, а именно тех, что предназначены для определения положения вала в более быстрых и компактных типах оборудования. Для эффективной работы систем автоматики и роботизированного оборудования большое значение имеет сбор информации от датчиков для точного определения положения вала двигателя. Имеющие высокое разрешение быстродействующие двухканальные аналого-цифровые (АЦП) преобразователи с одновременной выборкой являются важными компонентами этой системы.

## ВВЕДЕНИЕ

Информация о вращении двигателя, в частности о положении вала, скорости и направлении вращения, должна быть точной, поскольку это позволит создавать прецизионные приводы и контроллеры для различного современного и перспективного оборудования. В качестве примера можно назвать механизмы захвата и размещения, которые устанавливают микроскопические компоненты на очень компактные печатные платы. В последнее время системы управления двигателями значительно уменьшились в разме-

рах, благодаря чему появилась возможность создавать новые устройства, используемые в медицинской робототехнике и в беспилотных летательных аппаратах, выпускаемых аэрокосмической и оборонной промышленностью. Более компактные контроллеры двигателей также позволяют проектировать новые устройства для промышленности и коммерческой отрасли. Задача разработчиков состоит в том, чтобы подобное оборудование удовлетворяло требованиям в точности датчика обратной связи по положению, применяемого в высокоскорост-

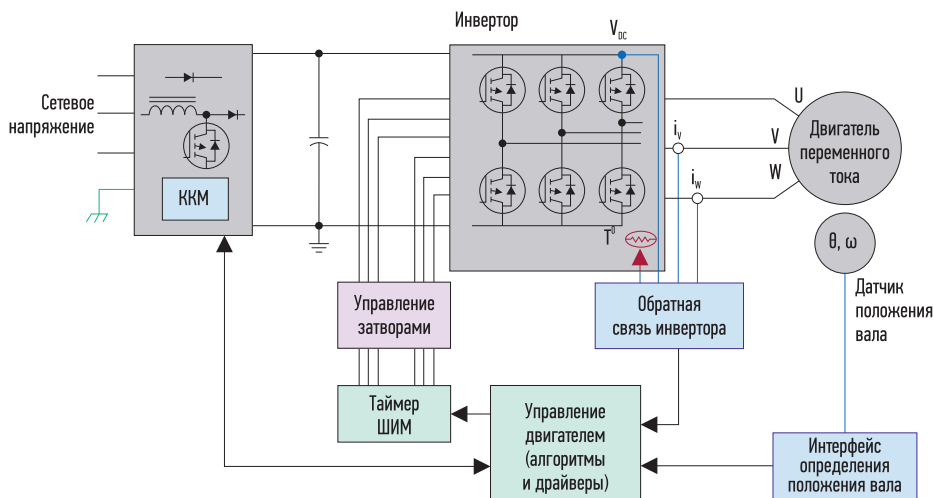
ной системе, причем все компоненты должны быть размещены на очень ограниченной площади печатной платы, которая может быть установлена в компактных корпусах, таких как роботизированная рука.

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ

Контуры управления двигателем, как видно на рис. 1, в основном состоят из двигателя, контроллера и интерфейса обратной связи по положению. Двигатель вращает вал, который заставляет руки механизма двигаться соответствующим образом. Контроллер двигателя сообщает двигателю, когда следует приложить силу, остановиться или продолжить вращение. Интерфейс определения положения вала в контуре обратной связи предоставляет информацию контроллеру о скорости вращения и положении. Эти данные имеют решающее значение для правильной работы механизма захвата и размещения, который собирает миниатюрные печатные платы с поверхностным монтажом компонентов. Все это оборудование требует точной информации о положении вращающегося объекта.

Разрешение датчика положения должно быть очень высоким — таким, чтобы его было достаточно для точного определения положе-

**РИС. 1.** ▼  
Замкнутая система управления двигателем с обратной связью



ния вала двигателя, эффективного захвата миниатюрного компонента и его корректного размещения на печатной плате. Кроме того, при более высоких скоростях вращения двигателя контур должен обладать более высокой полосой пропускания и меньшими задержками.

**СИСТЕМА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО ПОЛОЖЕНИЮ**

В нетребовательных приложениях инкрементного датчика и компаратора может быть достаточно для определения положения вала двигателя, но для двигателей более высокого класса необходимы более сложные схемотехнические решения. Такие системы с обратной связью содержат датчик положения, чей выход подключается к цепи аналогового интерфейса для согласования сигналов, затем идет драйвер и АЦП, преобразующий данные в цифровую форму. Одним из наиболее точных датчиков положения является оптический энкодер. Он состоит из светодиодного источника света, диска с прорезями, прикрепленного к валу двигателя, и фотоприемника. Диск имеет прозрачные и непрозрачные области, пропускающие или задерживающие свет. Фотоприемники поглощают пропускаемый свет, и в итоге последовательность наличия и отсутствия света преобразуется в электрические сигналы.

При вращении диска фотодетекторы, принимая свет через отверстия в диске, генерируют небольшие синусоидальные и косинусоидаль-

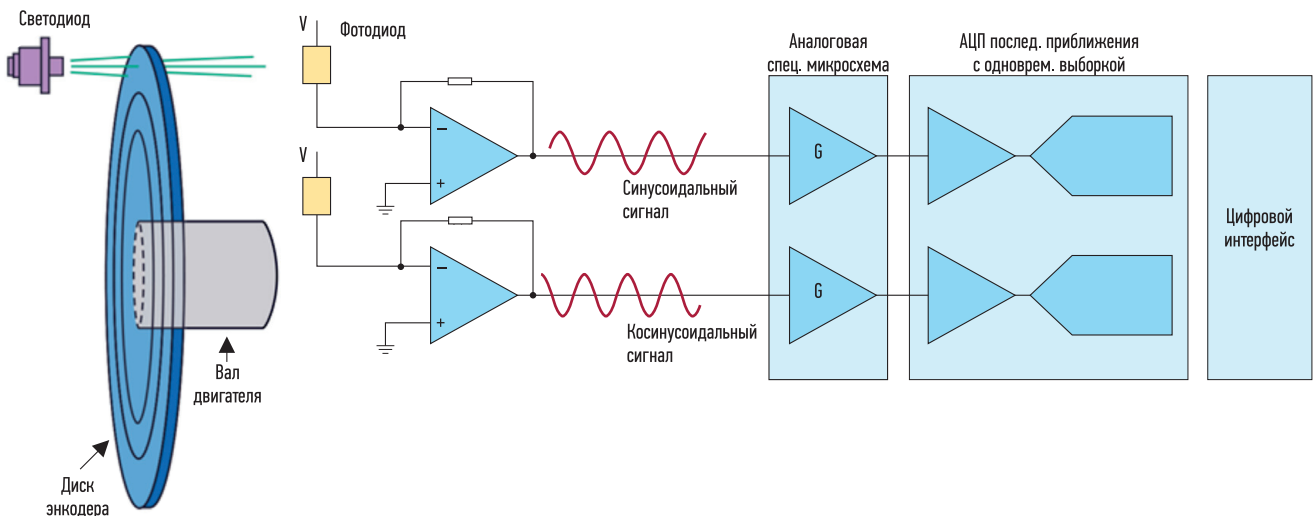
ные сигналы с напряжением в милливольтовом или микровольтовом диапазоне. Такая система стандартна для оптического энкодера абсолютного положения. Сигналы поступают на вход схемы согласования аналоговых сигналов, как правило, состоящей из дискретного усилителя или аналогового усилителя с программируемым усилением, который может увеличить сигнал до диапазона 1 В от пика до пика, чтобы он соответствовал входному напряжению АЦП и обеспечивал максимально динамический диапазон. Затем каждый из усиленных синусоидальных и косинусоидальных сигналов поступает на усилитель драйвера АЦП с одновременной выборкой.

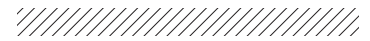
АЦП должен иметь возможность одновременной выборки на своих каналах, чтобы точки синуса и косинуса дискретизировались в один и тот же момент времени, поскольку такая комбинация предоставляет точную информацию о положении вала. Результаты преобразования АЦП передаются на специализированную микросхему (ASIC) или микроконтроллер. Контроллер двигателя запрашивает от энкодера положение вала каждый цикл ШИМ и использует эти данные для управления двигателем в соответствии с полученными им инструкциями. В прошлом разработчикам систем приходилось жертвовать скоростью АЦП или количеством каналов, чтобы уместить все на очень ограниченную по размерам печатную плату.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ПОЛОЖЕНИЮ**

Требования новой технологии привели к появлению инноваций в области систем управления двигателем, в которых требуется высокоточное определение положения (рис. 2). Разрешение оптического энкодера зависит от количества прорезей на диске, число которых варьируется от нескольких сотен до тысяч. Интерполяция этих синусоидальных и косинусоидальных сигналов с помощью высокоскоростного, высококачественного АЦП позволит создавать энкодеры с более высоким разрешением без внесения системных изменений в диск энкодера. Например, когда синусоидальный и косинусоидальный сигналы энкодера дискретизируются с более низкой скоростью, регистрируется меньшее количество значений сигнала, как показано на рис. 3. Это ограничивает и точность определения положения вала. В ситуации, показанной на рис. 3, когда АЦП выполняет выборку с более высокой скоростью, сигнал регистрируется более детально и положение вала определяется с более высокой точностью. Высокая частота дискретизации АЦП позволяет выполнять передискретизацию, что еще заметнее уменьшает шум, устраняя необходимость в выполнении некоторых операций цифровой постобработки сигналов. В то же время децимация уменьшает скорость передачи данных с АЦП, что позволяет использовать более низкую скорость последователь-

РИС. 2. ▾ Система с обратной связью по положению





ной передачи данных, а это в свою очередь упрощает цифровой интерфейс. Система с обратной связью по положению двигателя устанавливается в узле двигателя, который в некоторых случаях может быть довольно небольшим. Поэтому размер решения очень важен, чтобы гарантировать его размещение на ограниченной площади печатной платы модуля энкодера. Новые многоканальные компоненты в компактных корпусах лучше всего подходят для этой задачи.

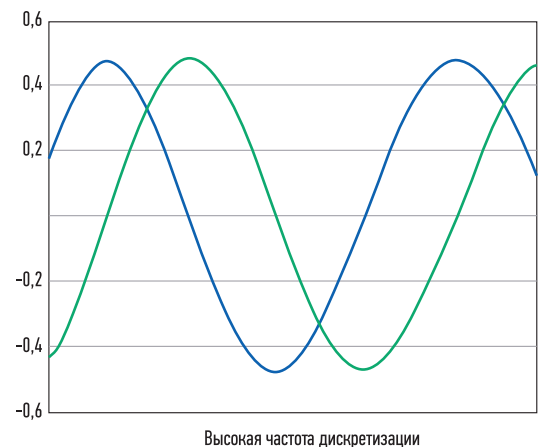
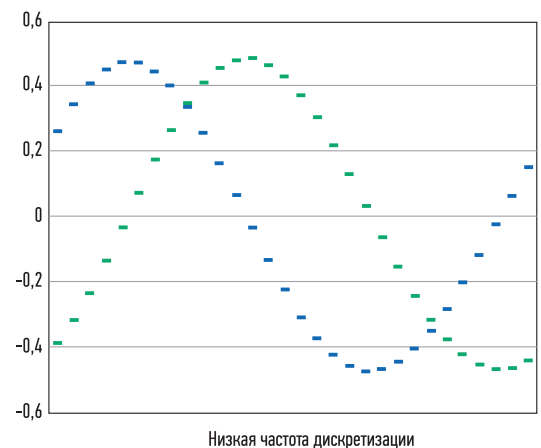
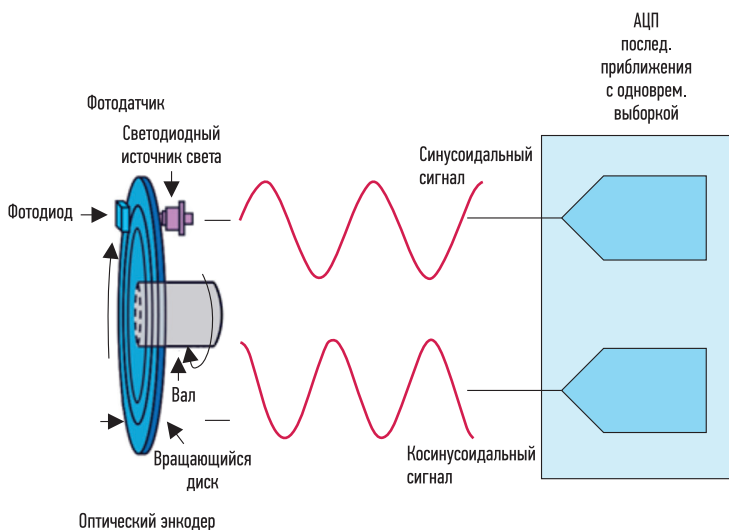
### ПРИМЕР СИСТЕМЫ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО ПОЛОЖЕНИЮ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ЭНКОДЕРА

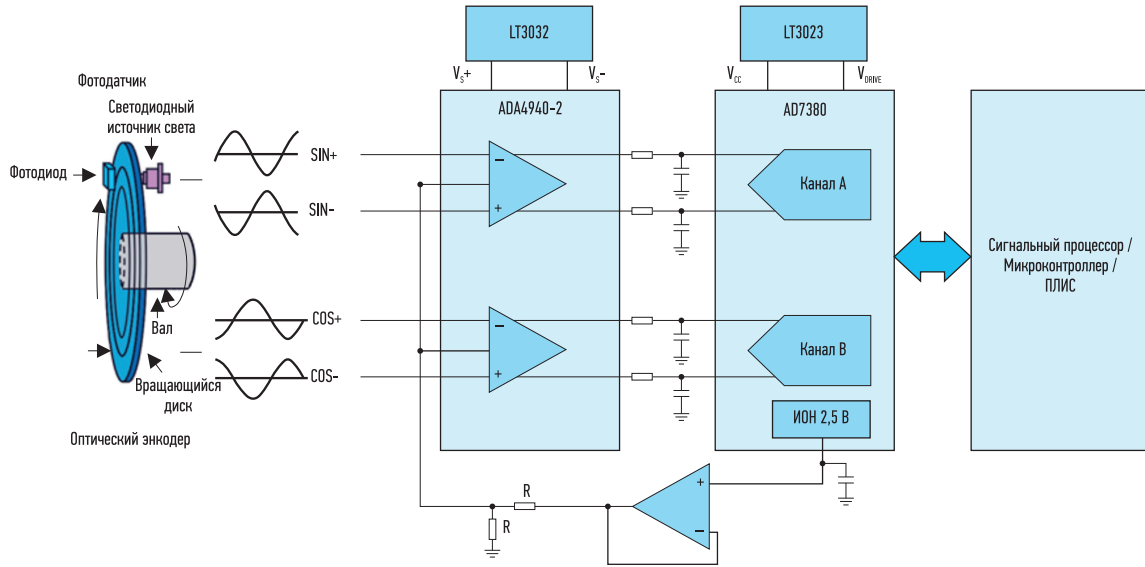
Пример оптимизированного решения для системы с обратной связью по положению на основе оптического энкодера показан на рис. 4. Схема легко подключается к оптическому энкодеру абсолютного типа, от которого получает дифференциальные синусоидаль-

ные и косинусоидальные сигналы. Усилитель входного аналогового интерфейса ADA4940-2 представляет собой двухканальный малошумящий полностью дифференциальный усилитель, который служит драйвером для AD7380 — двухканального 16-разрядного полностью дифференциального АЦП последовательного приближения с одновременной выборкой и скоростью преобразования 4 MSPS (млн выб/с), имеющим компактный корпус LFCSP размером 3×3 мм. Благодаря встроенному источнику опорного напряжения количество требуемых компонентов на плате сводится к минимуму. Линии  $V_{CC}$  и  $V_{DRIVE}$  АЦП и шины питания драйвера усилителя могут получать питание от LDO-стабилизатора, например LT3023 или LT3032. При подключении такой типовой системы, в частности к оптическому энкодеру с 1024 отверстиями, который генерирует 1024 цикла синуса и косинуса за один оборот диска, 16-разрядный АЦП AD7380 произ-

водит выборку сигналов по каждому отверстию с разрешением  $2^{16}$ , что в целом увеличивает разрешение энкодера до 26 бит. Скорость преобразования 4 MSPS гарантирует, что все синусоидальные и косинусоидальные сигналы будут оцифрованы с высокой точностью и информация о положении вала будет актуальной. Высокая скорость преобразования позволяет выполнять передискретизацию непосредственно в самом АЦП, благодаря чему уменьшаются задержки в работе специализированных микросхем или микроконтроллеров, управляющих электроприводом. Дополнительное преимущество встроенной передискретизации AD7380 состоит в том, что она дает дополнительные 2 бит разрешения, которые легко используются со встроенной функцией повышения разрешения, увеличивающей точность до 28 бит. В руководстве по применению AN-2003 подробно описана возможность передискретизации и функция повышения разрешения AD7380.

РИС. 3. ▼  
Частота дискретизации





**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Современные системы управления двигателем должны быть более точными, быстрыми и компактными. Оптические энкодеры зачастую используются в качестве датчиков положения вала двигателя. При этом электронная схема оптического энкодера должна

иметь высокий уровень точности, чтобы система получала актуальную информацию о положении вала двигателя. Быстродействующий АЦП с высокой скоростью выходного потока данных может с высокой точностью оцифровывать сигналы с энкодера и отправлять точные данные о поло-

жении вала двигателя непосредственно в контроллер. Скорость, плотность каналов и рабочие характеристики AD7380 отвечают требованиям отрасли и позволяют создавать оптимизированные системы с обратной связью по положению, характеризующиеся высоким уровнем точности. ●

**Рис. 4. ▲** Оптимизированная система с обратной связью