

Измеряя параметры вращения: энкодеры Bourns

4 февраля 2015



В номенклатуру энкодеров, выпускаемых компанией Bourns, входят изделия, изготовленные по трем существующим технологиям: контактные механические (для бытовых применений, а также для неответственных лабораторных и промышленных приложений), бесконтактные оптические (для аудиотехники, прецизионной измерительной, авиационной и медицинской техники, ответственных промышленных применений), бесконтактные магнитные (для сервоприводов, робототехники и точных станков).

Энкодеры – электромеханические устройства, позволяющие преобразовывать характеристики механического движения в удобную для обработки форму электрических сигналов. Они используются для определения таких параметров как угловое положение, направление, скорость и частота вращения.



Рис. 1. Номенклатура энкодеров Bourns

Области применения энкодеров обширны: от промышленных систем до медицинских приборов. Каждое конкретное приложение выдвигает вполне определенные требования к используемым энкодерам. Компания Bourns выпускает широкий спектр энкодеров с различными характеристиками, которые отвечают самым взыскательным запросам (рисунок 1):

- контактные механические, бесконтактные оптические, бесконтактные магнитные;
- квадратурные, с выходами типа «направление/шаг», абсолютные цифровые, абсолютные с ШИМ-выходом;
- со сроком службы до сотен миллионов оборотов;
- с разрешением до 1024 состояний на оборот;
- с максимальной частотой до 10 000 оборотов в секунду;
- с уровнем пыле- и влагозащищенности до IP65;
- для создания взаимодействия «пользователь-машина» (HM Interface) и «машина-машина» (MMI);
- для монтажа в отверстия, для поверхностного монтажа, монтажа на блок с дополнительным гибким кабелем.

Наиболее популярными сериями поворотных энкодеров производства компании Bourns являются PEC11, PEC12, PEC16, PEL12, ECW, EAW, EPS, EMS22, EM14, EN (рисунок 2).



Рис. 2. Внешний вид наиболее популярных серий энкодеров Bourns

Достоинства и недостатки энкодеров в значительной степени зависят от принципа их действия. В общем случае энкодеры делят на два типа: механические контактные и бесконтактные. Бесконтактные бывают двух видов: оптические и магнитные.

Компания Bourns производит энкодеры всех трех типов:

- механические контактные: **PEC11, PEC12, PEC16, PEL12, ECW, EAW, EPS;**
- бесконтактные оптические: **EM14, EN;**
- бесконтактные магнитные: **EMS22.**

Рассмотрим коротко принцип действия каждого из них.

Механические контактные энкодеры по принципу функционирования напоминают галетные переключатели. Основными составными частями таких энкодеров являются кодирующий элемент и скользящие контакты.

Кодирующий элемент представляет собой общий контакт сложной формы. При повороте вала энкодера скользящие контакты перемещаются, периодически замыкаясь на кодирующий элемент (общий контакт).

Контактные квадратурные энкодеры имеют пару скользящих контактов (A и B). Они выполнены таким образом, что диаграммы их замыкания на кодирующий элемент оказываются сдвинутыми на 90° (рисунок 3). По порядку следования сигналов определяется направление вращения. По числу импульсов можно судить о частоте оборотов.

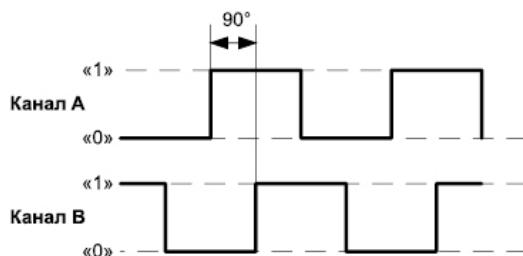


Рис. 3. Диаграммы сигналов квадратурного энкодера

Квадратурный энкодер может быть достаточно просто реализован с помощью оптических схем.

Бесконтактные оптические энкодеры. Конструкция приборов данного типа подразумевает использование нескольких основных элементов (рисунок 4): источников света, кодирующего диска, фотоприемников.

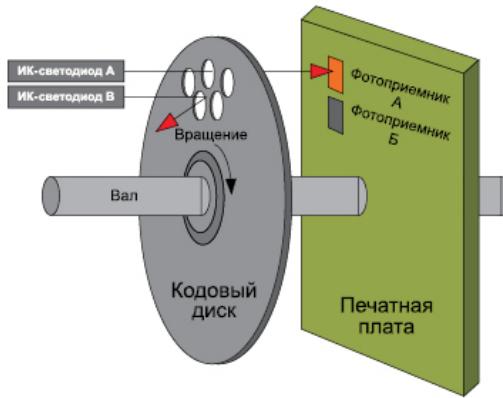


Рис. 4. Структура оптического энкодера

Кодовый диск имеет просветы (окна), через которые может проникать световой поток, создаваемый источниками света (ИК-светодиодами). Если свет прошел через окно на диске, то он фиксируется фотоприемником. Если свет не попадает в окно – то он отражается от диска и не фиксируется приемником.

При вращении вала световой поток периодически прерывается диском и формирует переменный выходной сигнал приемника. Частота сигнала пропорциональна частоте вращения вала.

В оптических энкодерах производства Bourns фотоприемники входят в состав специальной интегральной схемы ASIC (Application-specific integrated circuit). Эта ИС преобразует сигнал приемников в электрические выходные сигналы (рисунок 4).

В случае квадратурного энкодера формируются два сигнала, сдвинутых на 90° .

Бесконтактные магнитные энкодеры. Приборы этого типа используют эффект Холла, который заключается в образовании разности потенциалов на поверхности проводящего материала при протекании через него тока при наличии внешнего магнитного поля. Этот эффект был открыт Эдвином Холлом в 1879 году. Рассмотрим его более подробно.

Как известно, на электрический заряд, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца, смещающая заряд в направлении, перпендикулярном направлению тока (рисунок 5).

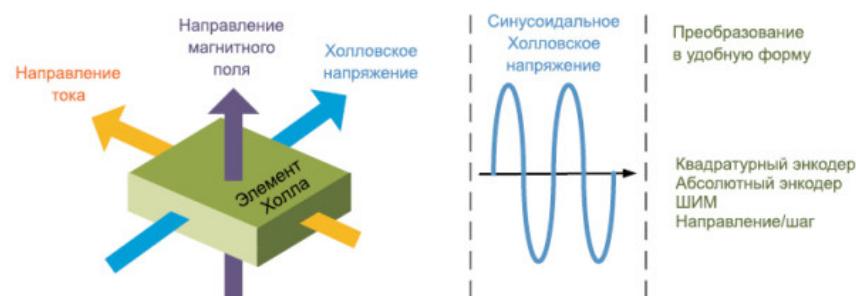


Рис. 5. Принцип действия магнитных энкодеров

Если поместить в магнитное поле проводящую или полупроводниковую пластину и пропустить через нее ток, то под действием силы Лоренца электроны начнут смещаться и скапливаться на одной из поверхностей пластины. Дырки будут скапливаться на противоположной поверхности. Возникнет разность потенциалов.

В энкодерах вращение вала приводит к изменению магнитного поля и соответствующему изменению напряжения датчика Холла. При постоянном вращении возникает синусоидальное напряжение. Электронная схема усиливает и преобразует этот сигнал в удобную для обработки форму. На базе датчиков Холла строят инкрементальные абсолютные ШИМ-энкодеры.

Использование того или иного принципа функционирования во многом определяет значения эксплуатационных характеристик энкодеров.

Параметры энкодеров

Энкодеры имеют множество важных электрических, метрологических и эксплуатационных характеристик.

Типы выходных сигналов энкодеров. По значению выходного сигнала энкодеры Bourns делятся на четыре типа:

- Инкрементальные (квадратурные) энкодеры. Для них выходными сигналами являются сдвинутые друг относительно друга прямоугольные импульсы. Сдвиг по фазе позволяет определять направление вращения.
- Энкодеры с выходами «направление/шаг». Такие приборы имеют пару выходных сигналов. Один из них кодирует направление, второй представляет собой прямоугольные импульсы с частотой, пропорциональной частоте вращения.
- Абсолютные цифровые энкодеры. Для них выходным является двоичный код абсолютного положения вала. Разрядность кода, как правило, составляет 4...16 бит.
- Абсолютные энкодеры с ШИМ-выходом. Выходной сигнал таких приборов представляет собой ШИМ со скважностью, пропорциональной абсолютному положению вала.

Максимальная частота вращения (Speed of Rotation), об/мин – максимальная частота вращения энкодера, при которой не происходит потеря информации. Контактные энкодеры начинают пропускать импульсы уже на частотах выше нескольких десятков оборотов в минуту. Бесконтактные оптические датчики эффективны на частотах до нескольких тысяч об/мин. Магнитные энкодеры способны работать на частотах до 10 000 об/мин и выше.

Износостойкость или цикличность до сбоя (Rotational Life), оборотов, характеризует механический износ прибора. Износ характерен для всех типов энкодеров из-за наличия вращающихся частей.

Наличие износа контактных групп приводит к тому, что срок службы контактных энкодеров оказывается меньшим по сравнению с бесконтактными приборами.

Разрешающая способность (Resolution Range). Для разных типов энкодеров разрешающая способность определяется по-разному:

- для квадратурных энкодеров и энкодеров с выходами «направление/шаг» этот параметр характеризует число импульсов на один оборот;
- для цифровых абсолютных энкодеров разрешение определяется разрядностью выходного кода;
- для абсолютных энкодеров с ШИМ-выходом разрешение определяется разрядностью ШИМ.

Чем выше разрешающая способность, тем точнее может быть определено положение вала.

Диапазон рабочих температур, °C – важная характеристика для большинства промышленных приложений и автоэлектроники.

Уровень пыле- и влагозащищенности IP определяет возможность работы в жестких условиях окружающей среды.

Тип монтажа – пайка в отверстия, поверхностный монтаж, монтаж на блок. Выбирается исходя из требований конкретного приложения.

Качественное сравнение энкодеров различных технологий. Области применения энкодеров

Энкодеры с различными принципами функционирования имеют как достоинства, так и недостатки. Это определяет области их применения. (таблица 1).

Таблица 1. Сравнение и области применения контактных и бесконтактных энкодеров

Сравнение характеристик различных технологий энкодеров		Параметр	Приложения			
Контактные	Бесконтактные		Автоэлектроника	Медицинская техника	Измерительная техника	Профессиональные аудиоприложения
Хуже	Лучше	Диапазон рабочих температур	H	M	H	L
Хуже	Лучше	Температура хранения	H	M	H	L
Хуже	Лучше	Максимальная частота вращения	M	M	H	M
Хуже	Лучше	Разрешение	M	H	M	M
Хуже	Лучше	Срок службы	H	H	M	H

Лучше	Хуже	Стоимость	–
-------	------	-----------	---

H – высокая значимость параметра для приложения. M – средняя значимость параметра для приложения. L – значимость параметра для приложения.

Механические энкодеры имеют явные достоинства: низкую стоимость изготовления, простую схему включения, высокую устойчивость к статике.

Однако при проектировании следует учитывать некоторые особенности. Механическое воздействие при переключениях приводит к изнашиванию контактов и росту их сопротивления. Срок службы механических энкодеров не превышает десятков тысяч оборотов.

Необходимость создания механических контактов в контактных датчиках ограничивает разрешающую способность.

Максимальная частота вращения контактных энкодеров ограничена несколькими десятками об/мин. На более высоких частотах для них характерен пропуск импульсов.

Еще одним следствием механических переключений является дребезг контактов.

По всем перечисленным параметрам бесконтактные датчики имеют явное преимущество: их разрешение достигает 16 бит, срок службы ограничивается износом подшипников и может превышать 100 млн. поворотов, максимальная частота составляет 10 000 об/мин. Однако следует учитывать их высокую стоимость и чувствительность к статике.

Анализ требований различных областей электроники показывает, что для контактных энкодеров оптимальным применением будут системы взаимодействия «пользователь-машина» (HMI):

- профессиональная и бытовая аудиотехника (ручки громкости, эквалайзеры);
- бытовая техника (радио, климат-контроль);
- автомобильная техника (магнитолы, приемники, климат-контроль);
- медицинская техника (мониторы состояния пациента, лабораторное оборудование);
- измерительная техника (осциллографы, блоки питания, генераторы);
- промышленные системы управления (пульты операторов);

Бесконтактные датчики используются в тех же областях, но для более ответственных приложений, менее критичных к стоимости комплектующих. Кроме того, они используются в MMI-системах, например, для управления электродвигателями.

Обзор контактных серий энкодеров Bourns

Наиболее популярными сериями контактных энкодеров Bourns являются PEC11x, PEC12 и ECW (таблица 2).

Таблица 2. Серии контактных энкодеров производства Bourns

Параметр	Наименование										
	PEC11R	PEC11L	PEC11S	PEC12R	ECW	PEC16	EPS	PEL12S, PEL12D, EAW PEL12T			
Технология	Контактная										
Тип	Инкрементальный										
Установочный диаметр, мм	12	11	12	12	22	16	22	12	22		
Класс защиты	IP40	IP40	IP40	IP40	IP40	IP40	IP40	IP40	IP40		
Фиксация	+	+	+	+	+	+	+	+	-		
Дополнительный выключатель	+	+	+	+	-	+	+	+	-		
Материал вала	Металл			Пластик							
Материал крепежной гайки	Металл			Пластик Металл Пластика Металл Пластика							
Монтаж	В отверстия		SMD	В отверстия							
Разрешение, имп/об	12, 18, 24	15, 20	15	12, 24	6, 9, 12, 24, 36	12, 24	6, 9, 12, 24, 36	24		128	
Максимальная частота вращения, об/мин	60	60	60	100	120	100	120	100	120		
Нагрузка выводов, мА (В)	10 (5)	10 (5)	10 (5)	1 (5)	10 (10)	10 (5)	10 (12)	0,5 (5)	10 (10)		
Цикличность до сбоя, тысяч оборотов	30	100	15	30	200	200	200	60	50		
Диапазон рабочих температур, °C	-30...70	-20...80	-30...70	-30...85	-40...85	-30...70	1...85	-10...70	-40...85		

Серии **PEC11x** обладают самыми скромными характеристиками среди перечисленных семейств. Для них максимальная рабочая частота вращения не превышает 60 об/мин.

Серия **PEC11R** имеет исполнение для монтажа в отверстия. Максимальное разрешение – до 24 импульсов на оборот. Срок службы для таких энкодеров превышает 30 тысяч оборотов. Функционировать они могут в диапазоне температур -30...70°C.

PEC11S имеет схожие характеристики, но предназначена для монтажа на плату. Минимальный срок жизни для таких энкодеров составляет 15 тысяч оборотов.

PEC11L предназначена для монтажа в отверстия и имеет увеличенную износостойкость – 100 000 оборотов.

Серия **PEC12R**, по сравнению с **PEC11**, имеет увеличенную максимальную частоту вращения – 100 об/мин.

PEC16 отличается отличной износостойкостью, до 200 тысяч оборотов, и высокой максимальной частотой вращения.

EPS идеально подойдет для лабораторных блоков благодаря высокой износостойкости (до 200 тысяч) и высокой разрешающей способности (до 36 импульсов на оборот вала). Применение в промышленной электронике ограничено из-за узкого температурного диапазона (1...85°C).

Серия ECW имеет лучшие среди перечисленных серий характеристики: рабочая частота – до 120 об/мин, срок службы – 200 тысяч оборотов, разрешающая способность – до 36 импульсов на оборот вала.

Отдельно стоит отметить серии **PEL12x** и **EAW**.

PEL12x снабжены дополнительными светодиодами, а в качестве световода используется вал энкодера. Питание светодиодов производится с помощью дополнительных выводов. Электрические характеристики этих серий близки к характеристикам **PEC11** и **PEC12**. Серия **PEL12S** выпускается с одним светодиодом (красный, синий, зеленый, оранжевый, белый). Серия **PEL12D** выпускается с двумя светодиодами (четыре комбинации сочетаний цветов). Серия **PEL12T** имеет три светодиода комбинации RGB.

EAW – единственная контактная серия, реализующая абсолютное измерение положения. На выходе энкодера формируется 8-битный код. При этом, как и в случае с другими контактными энкодерами, выходы выполнены в виде сухих контактов, то есть должны быть подтянуты к напряжению питания.

Схема подключения контактных энкодеров Bourns достаточно проста (рисунок 6). Эквивалентная схема контактных квадратурных энкодеров представляет собой два параллельных ключа с общим выводом (вывод C). Для фиксации замыканий используется подтяжка к напряжению 5 В. Для серии EAW необходима подтяжка всех восьми выходных линий. Почти все серии имеют версии с дополнительным встроенным ключом.

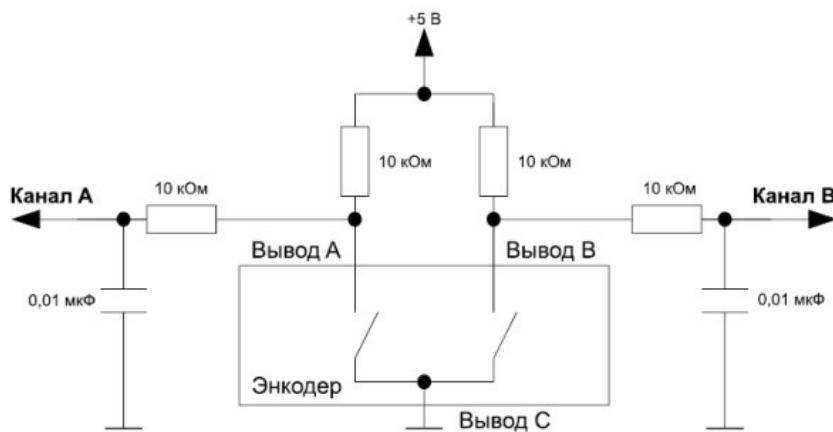


Рис. 6. Схема подключения контактных квадратурных энкодеров Bourns

Контактные серии оптимизированы для построения HMI-систем. Для таких систем небольшая максимальная частота вращения и ограниченный срок службы не являются критичными параметрами. Зато эти энкодеры имеют возможность фиксации положений вала, дополнительный встроенный выключатель и низкую стоимость. Основными областями применения серий являются:

- аудиотехника (ручки громкости);
- бытовая электроника (климат-контроль);
- музыкальные инструменты (гитары, микшеры);
- измерительные лабораторные приборы (генераторы, осциллографы);

Обзор серий оптических энкодеров серий EM14 и EN

Серии оптических энкодеров Bourns являются отличной альтернативой контактным сериям в приложениях, требующих повышенной чувствительности, производительности и увеличенного срока службы.

Оптические энкодеры EN и EM14 обладают всеми перечисленными свойствами (таблица 3).

Таблица 3. Серии бесконтактных оптических энкодеров Bourns

Параметр	Наименование	
	EM14	EN
Технология	Оптическая	
Тип	Инкрементальный	
Установочный диаметр, мм	14	21×16
Класс защиты	IP54	IP40
Фиксация	+	–
Дополнительный выключатель	+	–
Материал вала	Металл	
Ручка	Металл	
Монтаж	В отверстия или с помощью гибкого кабеля	
Разрешение, имп/об	8, 16, 32, 64	25, 50, 64, 100, 125, 128, 200, 256
Максимальная частота вращения, об/мин	120	300; в версии с дополнительным подшипником – до 3000
Уровень выходных сигналов	TTL, CMOS, HCMOS	TTL, CMOS
Цикличность до сбоя, миллионов оборотов	2	10 или 20

Серия EM14 является оптическим аналогом контактных серий. Максимальная частота для EM14 составляет 120 об/мин, срок жизни увеличен до 2 миллионов оборотов.

Еще одним преимуществом EM14 является базовое исполнение IP54, что делает возможным применение этой серии в промышленных приложениях.

Энкодеры EM14 идеально подходят для построения систем управления в различных областях электроники:

- в профессиональной аудиотехнике (мониторы, эквалайзеры, гитарные усилители);
- измерительной технике (осциллографы, анализаторы спектра);
- авиационной технике (авиационные учебные симуляторы, системы контроля авиастроения);
- промышленной технике (управление электродвигателями, промышленные джойстики, пульты операторов);
- медицинской технике (УЗИ, рентгеновские установки);

Серия EN имеет максимальное разрешение до 256 импульсов на оборот. Это позволяет применять данные энкодеры не только для определения направления и скорости вращения, но и для определения положения ротора электродвигателей и сервоприводов. Дополнительное преимущество серии EN – максимальная частота вращения до 3000 об/мин.

Использование подшипников позволило увеличить срок службы до 200 миллионов оборотов

Эта серия применяется в особо чувствительных приложениях (профессиональная аудиотехника), в промышленной и бытовой автоматизации (сервоприводы).

Оптические энкодерыются от напряжения 5 В (рисунок 7). Выходные сигналы каналов не требуют подтяжки и имеют уровень TTL / КМОП.



Рис. 7. Внутренняя схема оптических энкодеров Bourns

Обзор серии магнитных энкодеров EMS22

Серия EMS22 обладает всеми достоинствами магнитных энкодеров: большим сроком жизни, высокой максимальной частотой вращения, отличной разрешающей способностью (таблица 4).

Таблица 4. Серии бесконтактных магнитных энкодеров Bourns

Параметр	Наименование			
	EMS22A	EMS22D	EMS22P	EMS22Q

Технология	Магнитная		
Тип	Абсолютный	Направление/ шаг	ШИМ
Установочный диаметр, мм	21×16		Инкрементальный
Класс защиты	IP65		
Фиксация	—		
Дополнительный выключатель	—		
Материал вала	Металл		
Ручка	Металл		
Монтаж	В отверстия или с помощью гибкого кабеля		
Разрешение, имп/об	1024 состояний	64, 128, 256, 512	1024 состояний
Максимальная частота вращения, об/мин	10 000	64, 128, 256, 512	
Уровень выходных сигналов	TTL, CMOS		
Цикличность до сбоя, миллионов оборотов	100		
Диапазон рабочих температур, °C	-40...125		

Существует четыре модификации серии **EMS22**, отличающиеся типом выходного сигнала.

- **EMS22Q**. Квадратурные энкодеры. На выходе энкодера формируется пара, сдвинутых на 90° прямоугольных сигналов. Максимальное разрешение составляет 512 импульсов на оборот.
- **EMS22D** – энкодеры с выходными сигналами «направление/шаг». Максимальное разрешение составляет 512 импульсов на оборот.
- **EMS22A**. Абсолютные энкодеры. Формируют 10-битный код положения вала. Код передается по последовательному интерфейсу. Возможно каскадирование энкодеров (рисунок 8).
- **EMS22P**. Абсолютные энкодеры с ШИМ-выходом. На выходе формируют ШИМ-сигнал со скважностью, пропорциональной положению вала. Разрядность ШИМ – 10 бит.

Для всех модификаций напряжение питания составляет 5 В, а уровень выходных сигналов – TTL/CMOS.

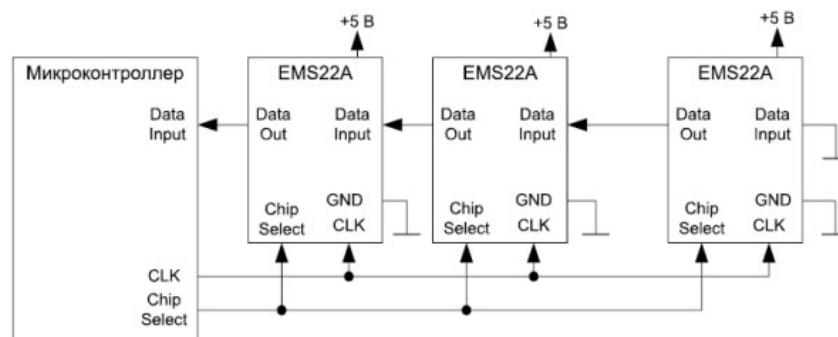


Рис. 8. Схема подключения магнитных энкодеров Bourns серии EMS22A

Стоит особо подчеркнуть, что серии **EMS22** созданы в первую очередь для построения MMI-систем. Они обладают всеми необходимыми для таких приложений свойствами:

- высокой максимальной частотой вращения до 10 000 оборотов;
- большим сроком жизни до 100 миллионов оборотов;
- отличной разрешающей способностью;
- расширенным диапазоном рабочих температур -40...125°C;
- высокой степенью пыле- и влагозащиты IP65.

Благодаря перечисленным качествам, **EMS22** могут применяться в широком спектре приложений, таких как управление бесколлекторными двигателями, сервоприводы, промышленные джойстики, робототехника; станки (гильотины, прессы) и так далее.

Заключение

В настоящее время существует три основных технологии энкодеров: контактные механические, бесконтактные оптические, бесконтактные магнитные. Бесконтактные энкодеры имеют значительное преимущество по сроку службы и максимальной частоте вращения. Однако механические энкодеры отличаются низкой стоимостью. Выбор конкретного типа прибора необходимо производить с учетом требований конкретного устройства.

Компания Bourns производит широкий спектр энкодеров, стараясь обеспечивать разработчиков технологически. В линейке Bourns можно отыскать энкодеры для практически любого применения.

КОМПЭЛ, как официальный партнер Bourns, поддерживает на складе наиболее популярные модели энкодеров, предоставляет техподдержку, образцы, специальные цены и плановые проектные поставки.

Литература

1. Sensors and Controls. SOLUTIONS GUIDE. Bourns, 2003.
2. Bourns® Rotary Encoders. Short Form Brochure. Bourns, 2011.
3. Encoders. DESIGN CONSIDERATIONS. TECHNICAL NOTE.
Bourns, 2010.
4. Bourns® Sensors & Controls. Model EM14 Brochure. Bourns, 2004.
5. Bourns® Model EMS22 Non-Contacting Magnetic Encoder. Sensors & Controls Product Brochure. Bourns, 2014.
6. Selecting the Appropriate Position Feedback Sensor for Factory Automation Valve Designs. WHITE PAPER. Bourns, 2011.
7. Bourns® Medical Industry Products. Focus Market Brochure.
Bourns, 2007.
8. <http://www.bourns.com/>.

Получение технической информации, заказ образцов, заказ и доставка.

...