

# Энкодеры



## Для чего нужны энкодеры?

- ▶ Энкодер это устройство, которое преобразует вращение в электрический сигнал.
- ▶ Электрический сигнал необходим контроллерам или преобразователям частоты для точного определения положения вращающихся валов.



## Где применяют энкодеры?

- ▶ Измерение длины при размотке катушек:  
Печатные машины, кабельное производство....
- ▶ Измерение скорости и положения:  
Упаковочное оборудование, конвейерные линии, лифты, подъёмники ...
- ▶ Контроль ху-координат:  
Полиграфия, положение деталей в системах с ЧПУ и робототехнике ...
- ▶ Управление приводами:  
обратная связь асинхронных и синхронных моторов.

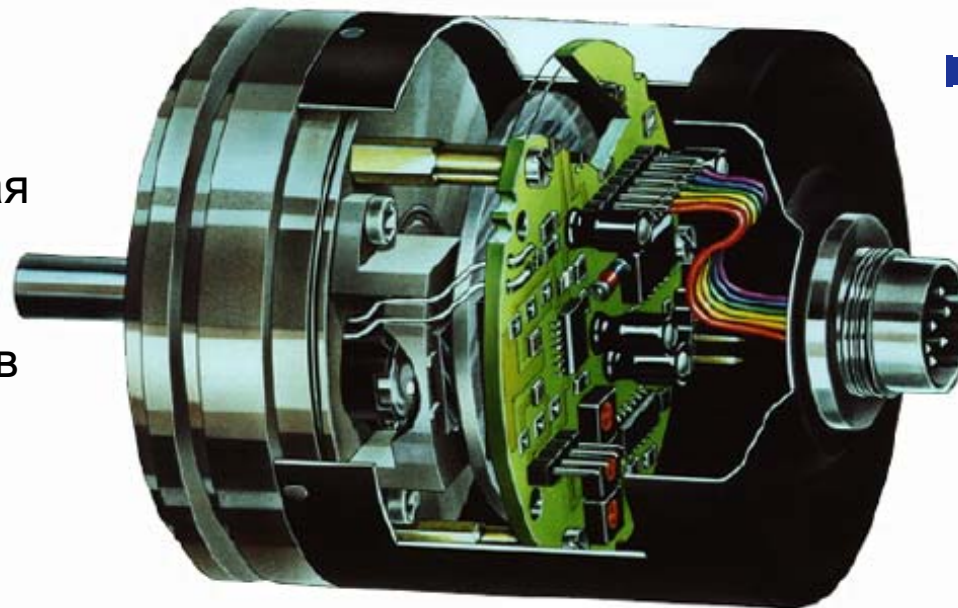
## Что внутри оптического энкодера?

### ▶ Оптика

Инфракрасный диод светит сквозь стеклянный диск с тёмными рисками после чего свет попадает на фотодиодную матрицу.

### ▶ Ось

Ось, закреплённая при помощи усиленных подшипников вращает стеклянный оптический диск.



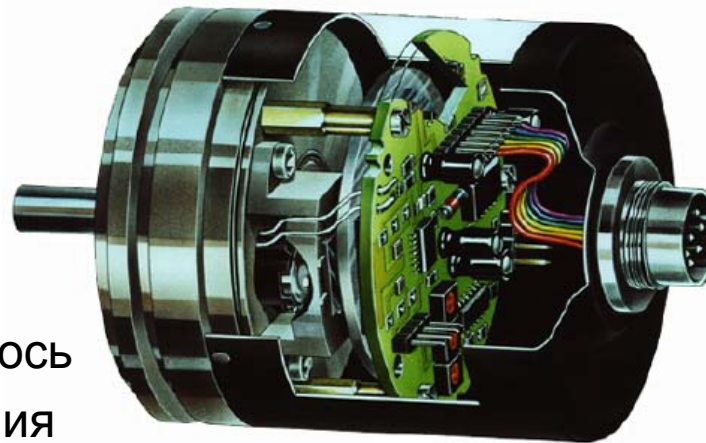
### ▶ Электрический выход

Плата выходных сигналов преобразует внутренние сигналы в нормализованные для контроллеров.

На что следует обращать внимание при выборе энкодера?

▶ **Оптический узел**

- ▶ Количество импульсов на оборот
- ▶ Наличие нулевой точки
- ▶ Определение направления вращения
- ▶ Точность считывания



▶ **Ось**

- ▶ нагрузки на ось
- ▶ Тип крепления
- ▶ Степень защиты сальника
- ▶ Вибростойкость
- ▶ Тип крепления

▶ **Электрический выход**

- ▶ Стандарт выходного сигнала
- ▶ Защита от короткого замыкания
- ▶ Устойчивость к помехам EMI (CE)
- ▶ тип разъёма

## Какие бывают оси у энкодеров ?

Энкодер с цилиндрической осью:

- ▶ Стандартный диаметр оси  $\varnothing$  4...12 mm
- ▶ Диаметр корпуса  $\varnothing$  18...92 mm
- ▶ Крепление корпуса за торцевой фланец или боковую фаску
- ▶ Крепление оси гибкой муфтой



Энкодер с полым валом с одной стороны

- ▶ Диаметр оси  $\varnothing$  1.5 ...50,8 mm
- ▶ Диаметр корпуса  $\varnothing$  18...80 mm
- ▶ Крепление оси цанговым зажимом, фиксация корпуса штифтом



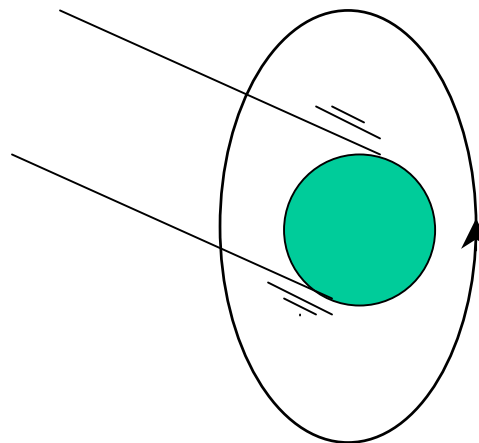
Энкодер с полым сквозным валом

- ▶ Диаметр вала  $\varnothing$  1.5 ...110 mm
- ▶ Диаметр корпуса  $\varnothing$  58...148 mm
- ▶ Крепление оси цанговым зажимом, фиксация корпуса реактивной тягой.



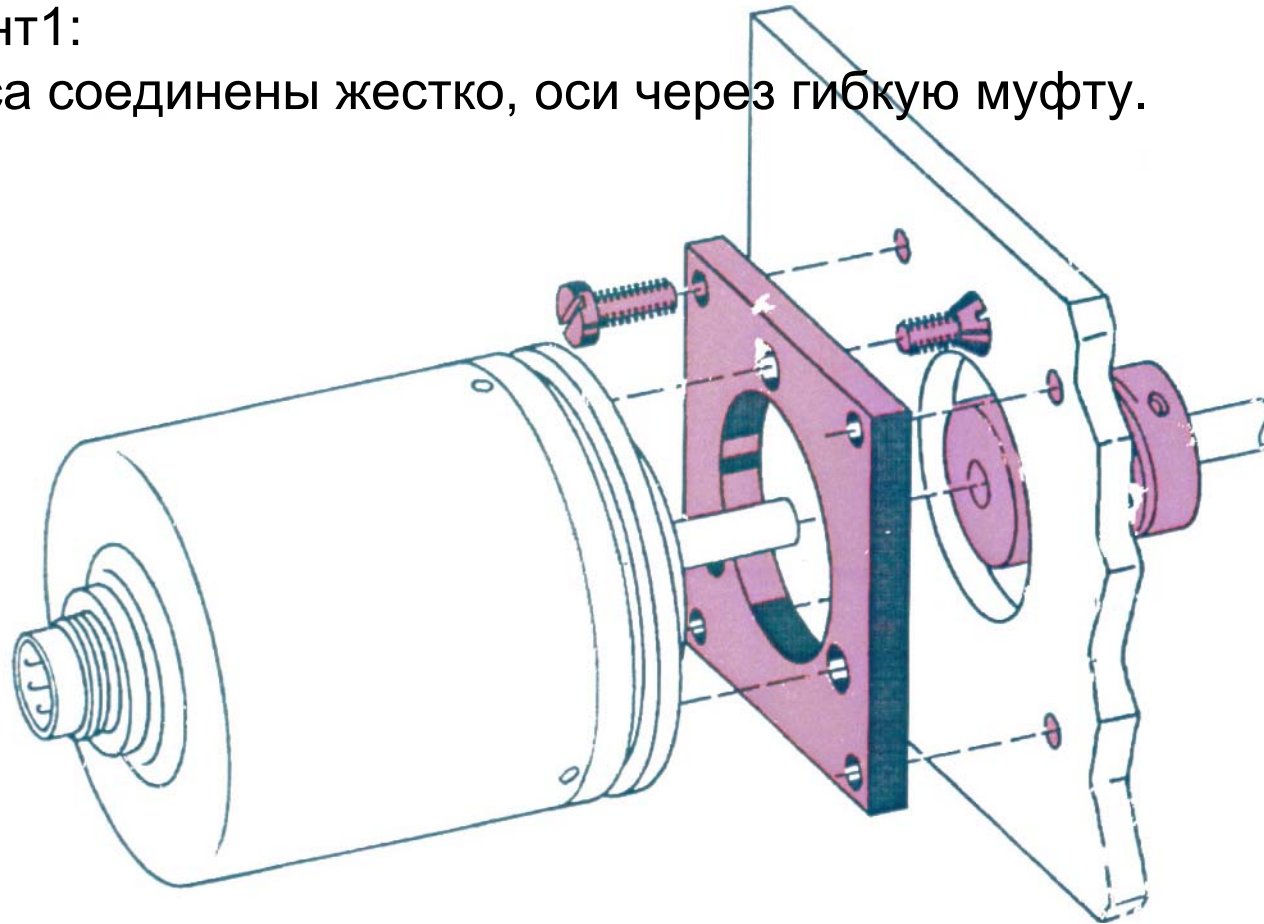
Что важно помнить при монтаже любого энкодера ?

- ▶ Всякая вращающаяся ось вибрирует вне зависимости от того, закреплён на ней энкодер или нет !



## Как следует устанавливать энкодеры ?

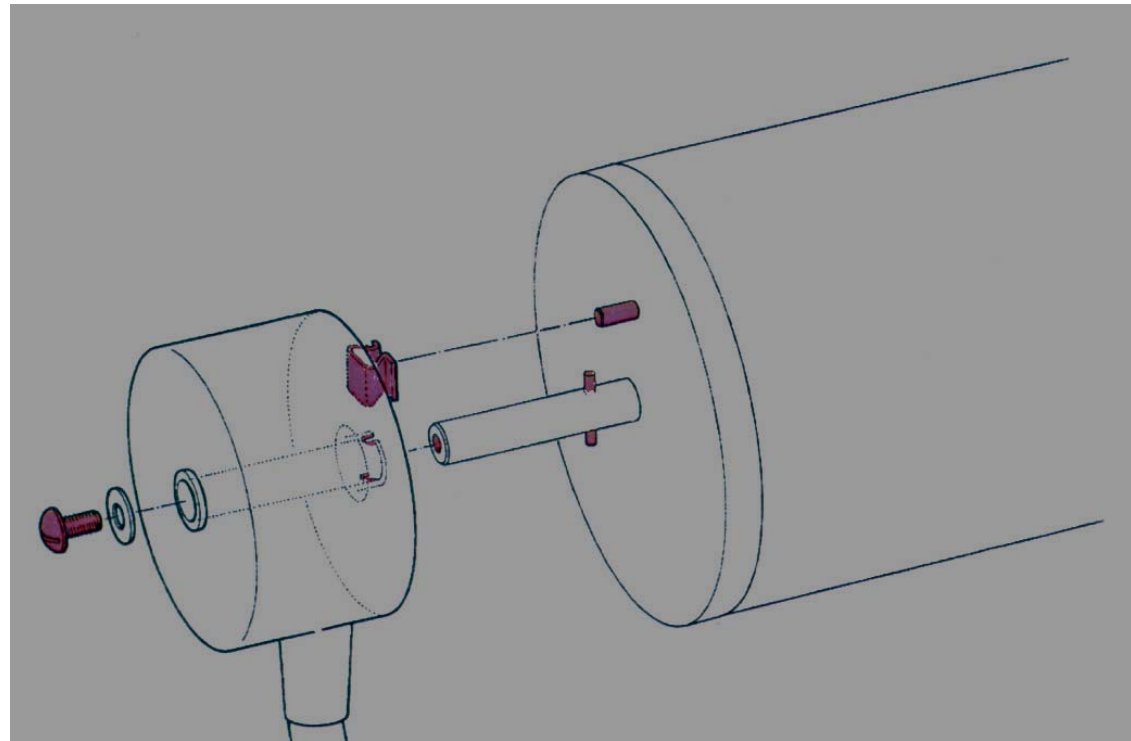
- ▶ Вариант 1:  
Корпуса соединены жестко, оси через гибкую муфту.





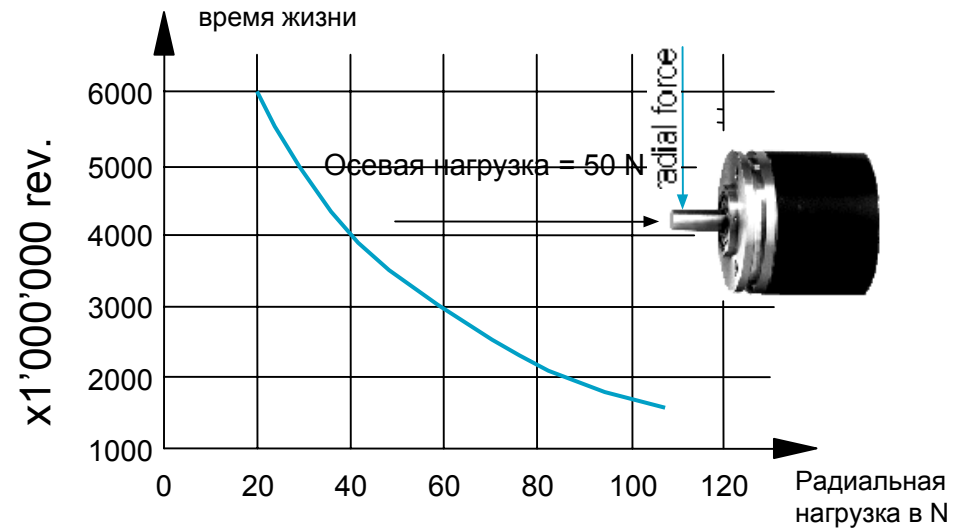
## Как следует устанавливать энкодеры ?

- ▶ Вариант 2:  
Оси соединены жестко, корпуса через штифт или гибкую скобу.



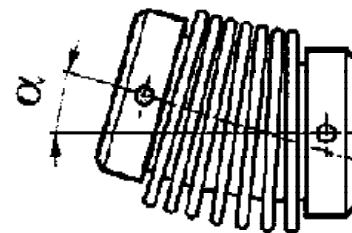
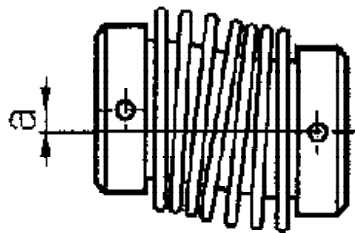
# Что влияет на срок службы энкодеров ?

- ▶ Нагрузка на вал
- ▶ Скорость вращения вала
- ▶ температура
- ▶ вибрация



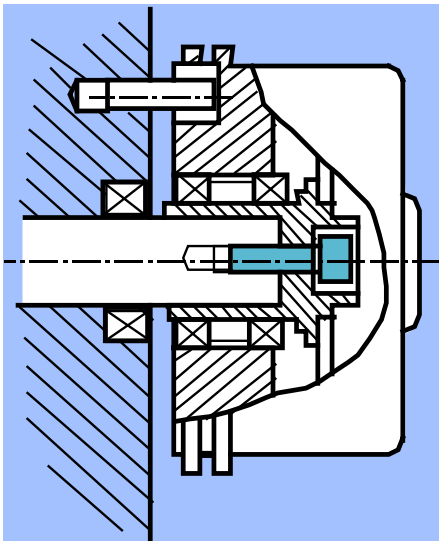
Гибкая муфта препятствует разрушению подшипников:

компенсация не параллельности валов



компенсация углового рассогласования валов

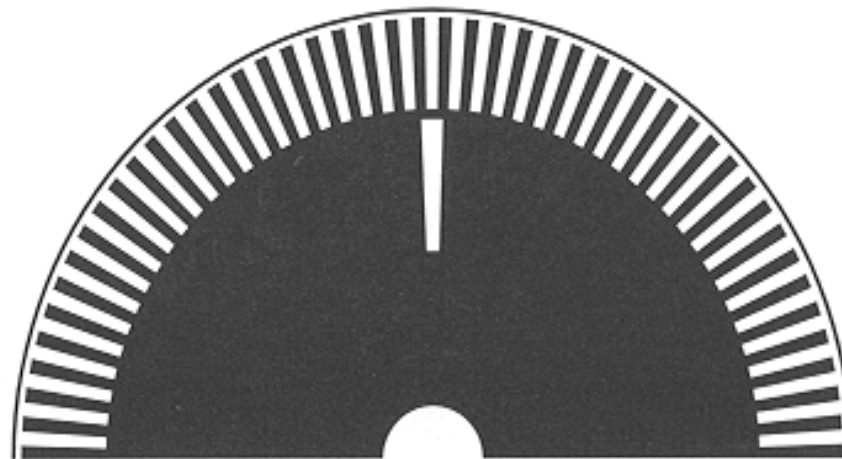
Какие преимущества при креплении за полу ось ?



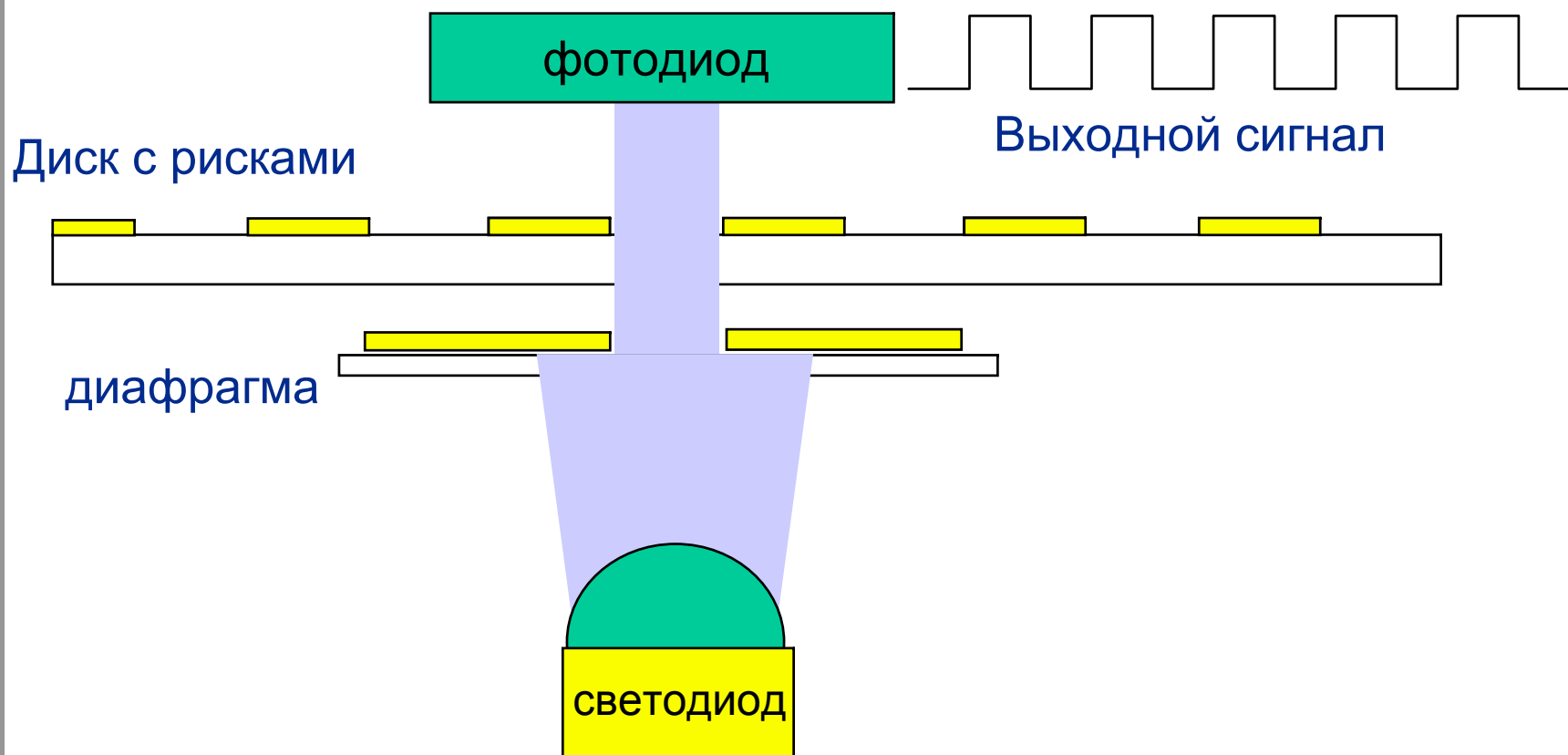
- ▶ Энкодер не сильно выступает
- ▶ Облегчённая установка энкодера с крепежом только за вал
- ▶ Возможность механической подстройки положения нуль-метки
- ▶ Малые радиальные и осевые нагрузки на подшипники энкодера
- ▶ Малый разогрев энкодера вследствие малого контакта с приводом

Что можно определить по сигналу инкрементального энкодера ?

- ▶ Скорость и направление вращения вала
- ▶ Угловое положение вала (после считывания нуль-метки)
- ▶ Разрешение энкодера определяется как количество импульсов на один оборот вала (**pulses per revolution (ppr)**)
- ▶ При пропадании питания значение положения вала инкрементального энкодера теряется, для нахождения нуль-метки вал нужно снова повернуть

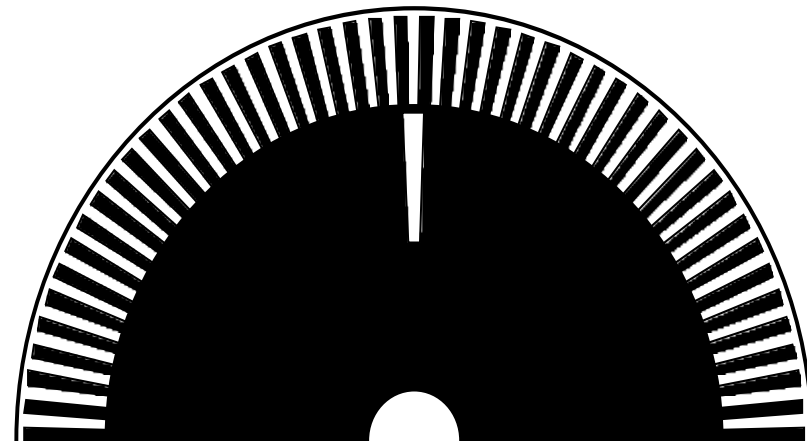
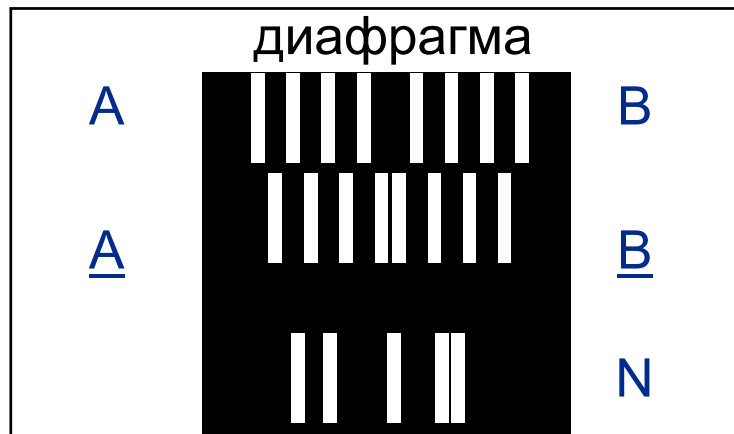


Каков принцип работы оптики в энкодере ?



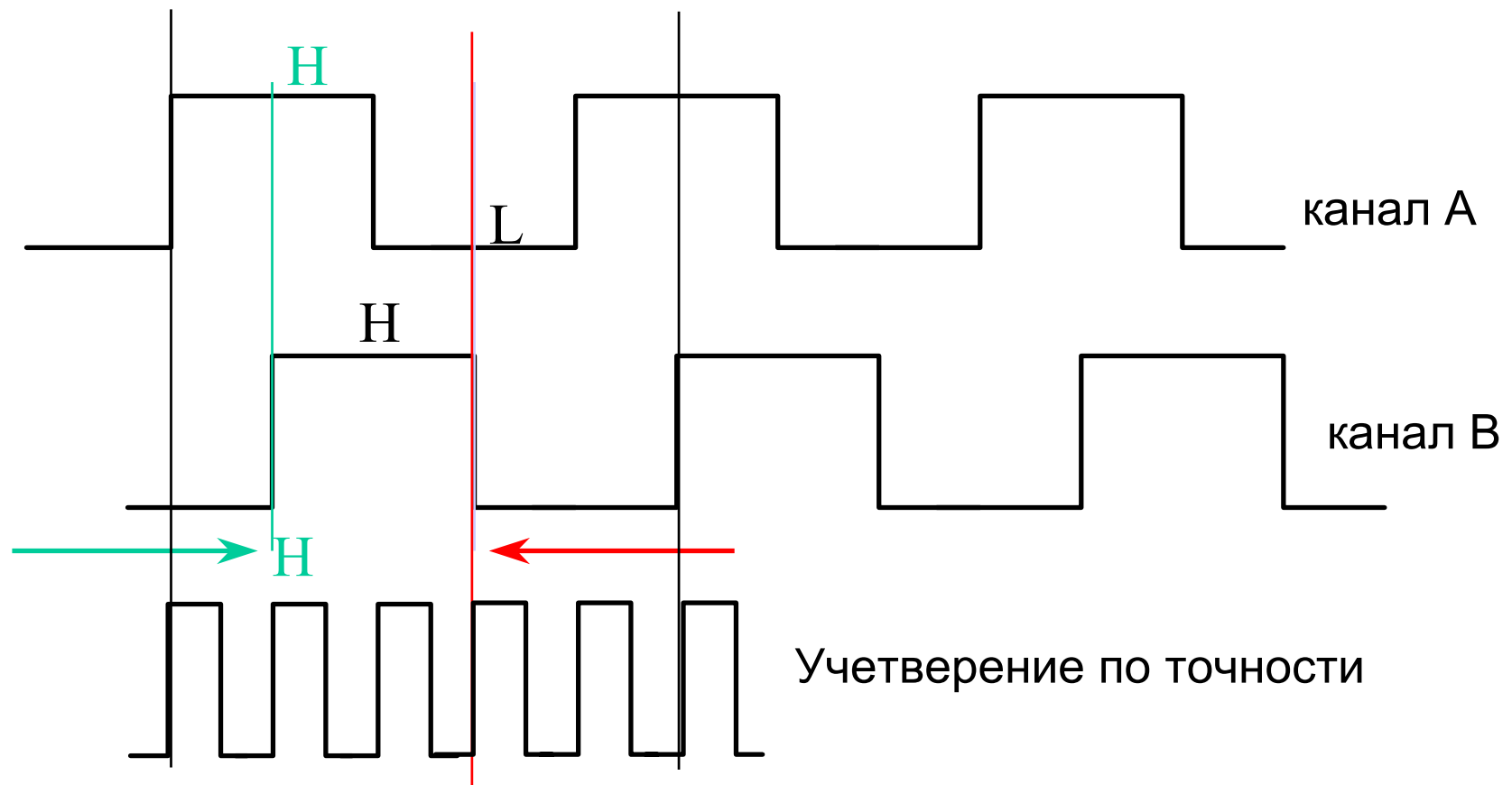
## Как устроен оптический диск и диафрагма ?

- ▶ Разрешение до 10'000 импульсов на оборот.
- ▶ Наличие инверсных сигналов
- ▶ Материал диска и диафрагмы: Стекло для максимального разрешения пластик и металл для среднего разрешения.



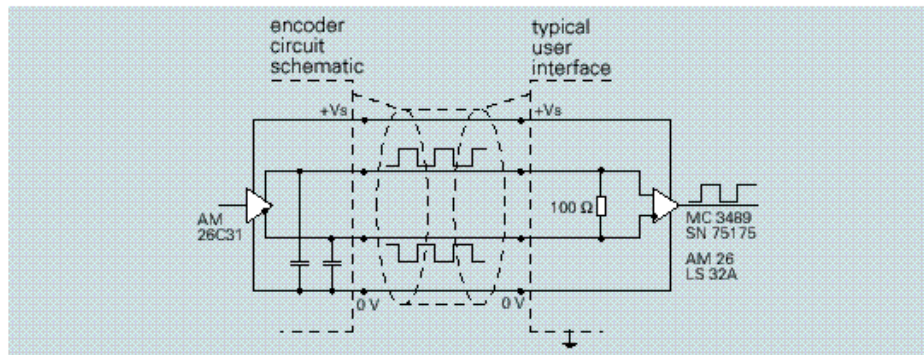
Как выглядит выходной сигнал ?

Как определить направление вращения вала ?



## Какие типы выходных сигналов бывают ?

### ► 05A Совместимый линейный драйвер



voltage supply	5 VDC $\pm$ 10%
level of signal	$U_{High} \geq 3,8 \text{ V}$ at $I_{High} = 20 \text{ mA}$ $U_{Low} \leq 0,4 \text{ V}$ at $I_{Low} = 20 \text{ mA}$
supply current	see product page
special features	EIA-standard RS-422
preferred application	when EMI is present and with long cable lengths

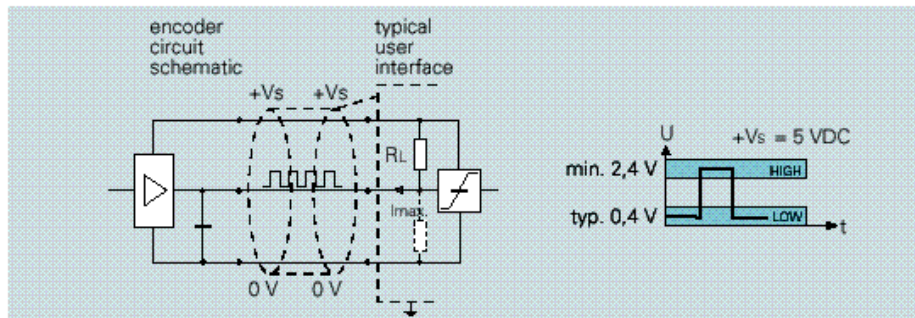
Применяется при:

- Большой скорости передачи данных
- Наличии электрических помех
- Большой протяжённости кабельных соединений (до 100 м)



## Какие типы выходных сигналов бывают ?

- ▶ 05K Push-pull с защитой от короткого замыкания



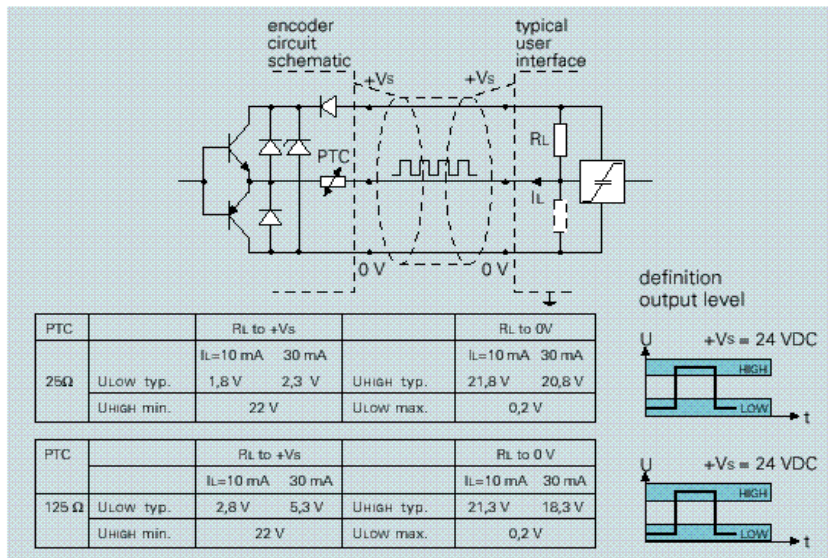
voltage supply	4,5 - 5,5 VDC $\pm 10\%$
level of signal	$U_{High} \geq 3,8 \text{ V}$ at $-I_{High} = 1 \text{ mA}$ $U_{Low} \leq 0,4 \text{ V}$ at $I_{Low} = 5 \text{ mA}$
supply current	see product page
preferred application	with short cable lengths

Применяется при :

- TTL уровнях сигналов
- Подключение к компьютеру
- Длине кабеля до 2 м
- небольших скоростях обмена до 200 кГц
- хорошей защите от электромагнитных полей EMI

## Какие типы выходных сигналов бывают ?

- ▶ 24V Push pul с защитой от короткого замыкания



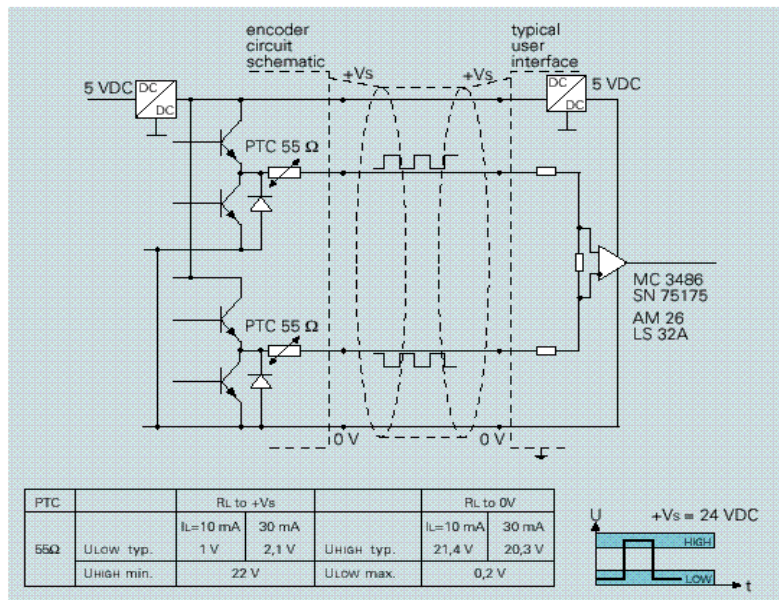
voltage supply	10 - 30 VDC reverse polarity protective
supply current	see product page
output current	max. 30 mA at 85 °C
PTC-resistance	25 Ω (BDK, BHK 125 Ω)

Применяется при:

- Подключении к контроллерам с 24 В взодом
- Длина кабеля до 20 м
- Скорость обмена до 200 кГц

## Какие типы выходных сигналов бывают ?

- ▶ 25W Push pull совместимый с защитой от короткого замыкания



voltage supply	4,5 - 30 VDC
supply current	see product page
output current	max. 40 mA (85 °C)
preferred application	when EMI is present and with long cable lengths

Применяется при:

- Подключении к контроллерам через коммутатор
- Большой длине линий связи до 100 м
- Не высокой скорости обмена до 200 кГц
- Наличию EMI электромагнитных помех

Какая связь между электрическим и механическим числом оборотов ?

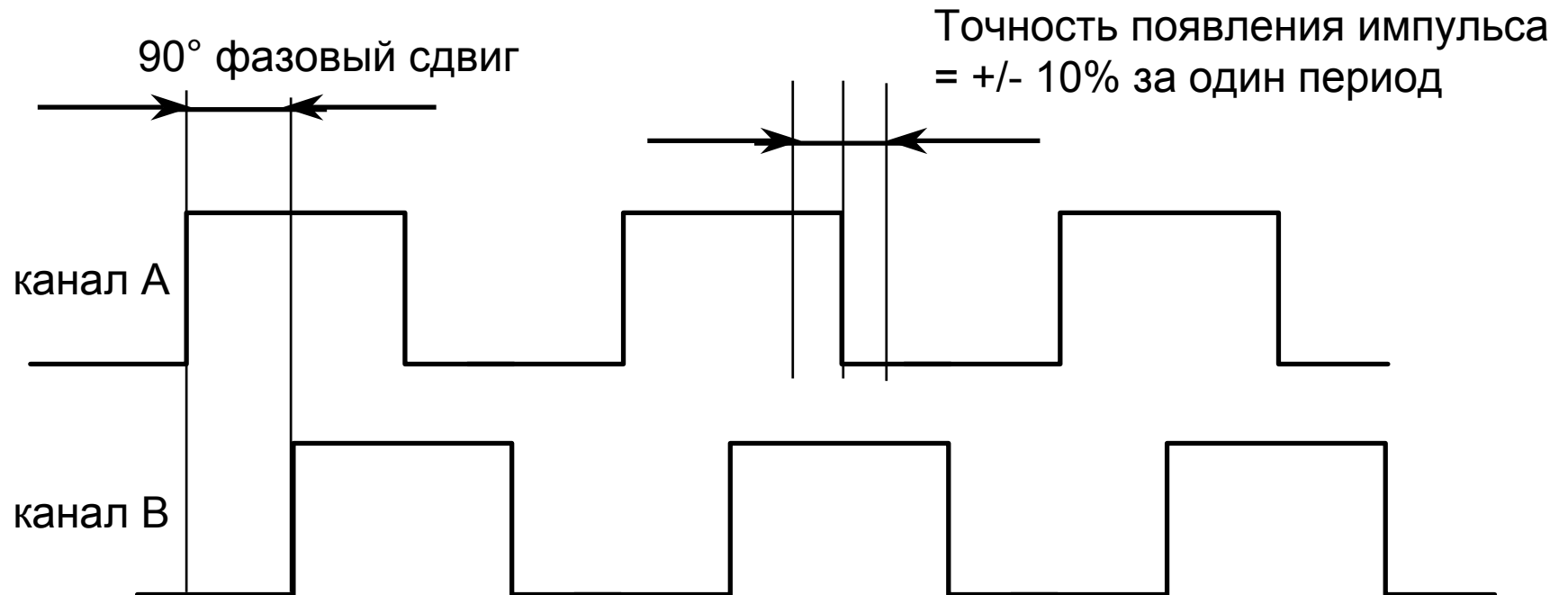
$$f_{\max.} = \frac{\text{rpm} \times \text{число импульсов за оборот}}{60}$$

Пример: Энкодер с 1000 импульсов на оборот, максимальная частота: 50 kHz

- ▶ Вопрос:  
С каким максимальным числом оборотов в минуту (rpm) можно вращать вал энкодера?
- ▶ Решение:  $\text{rpm} = (\text{максимальная частота} \times 60) / \text{число импульсов на оборот} = (50'000 \text{ Hz} \times 60 \text{ s}) / 1000 \text{ импульсов} = \underline{3000 \text{ rpm}}$

(Внимание: механическое предельное число оборотов всегда больше электрического !!!)

Что означает 10% точность инкрементального энкодера ?



Точность инкрементального энкодера с 1000 импульсами:

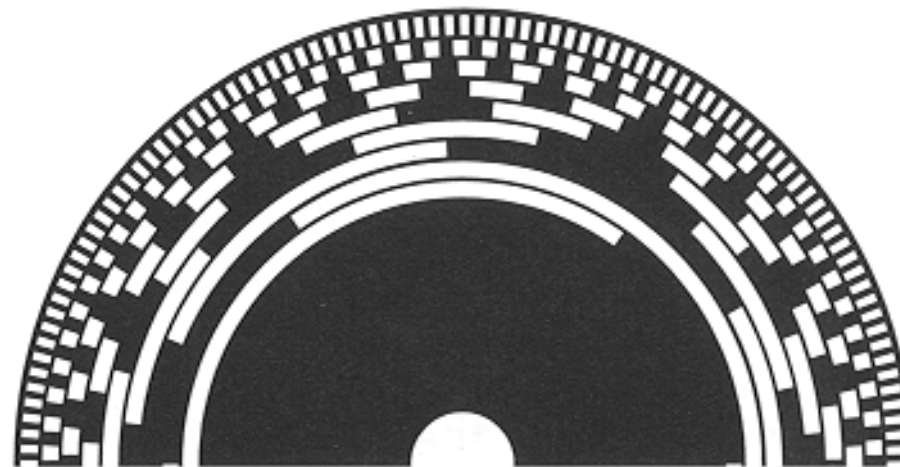
$$\text{точность} = 360^\circ / 1000 \text{ импульсов} * 10\% = 0.36^\circ * 10\% = \underline{\underline{0.036^\circ}}$$

## Какие есть типы инкрементальных энкодеров ?

тип	диаметр оси (мм)	диаметр корпуса	число имп./вых. частота
BTIV	4	цилиндр.ось 24 mm	10-2000 / 100kHz
BDK	5	цил.ось 30 mm	10-2048 / 100 kHz
BDH	12	цил.ось 58 mm	10-10000 / 750 kHz
BDT	12	цил.ось 58 mm	10-10000 / 750 kHz
BDM/W	12	цил.ось 58 mm	10-5000 / 300 kHz
BDC	12	цил.ось 92 mm	5000 / 300 kHz
BTIH	4	полая ось 24 mm	10-2000 / 100 kHz
BHL	6	полая ось 30 mm	10-2048 / 100 kHz
BHK	12	полая ось 40 mm	10-2048 / 100 kHz
BHF-T	12	полая ось 58 mm	10-10000 / 750 kHz
BHW	27	полая ось 80 mm	36000 / 750 kHz

## Что может абсолютный энкодер ?

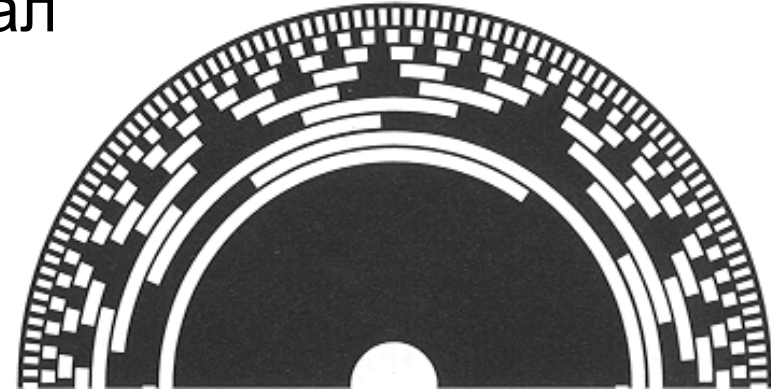
- ▶ Даёт **уникальный** сигнал для каждого углового положения вала от 0 до 360°.
- ▶ Информацию о положении вала можно получить сразу, даже если выключалось питание.
- ▶ Нет необходимости поиска нулевой метки как у инкрементального энкодера.
- ▶ Не нужно считать импульсы в контроллере.



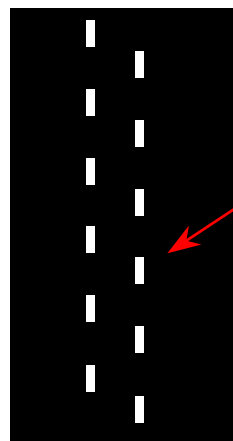
## Как работает абсолютный энкодер ?

### ▶ Абсолютный выходной сигнал

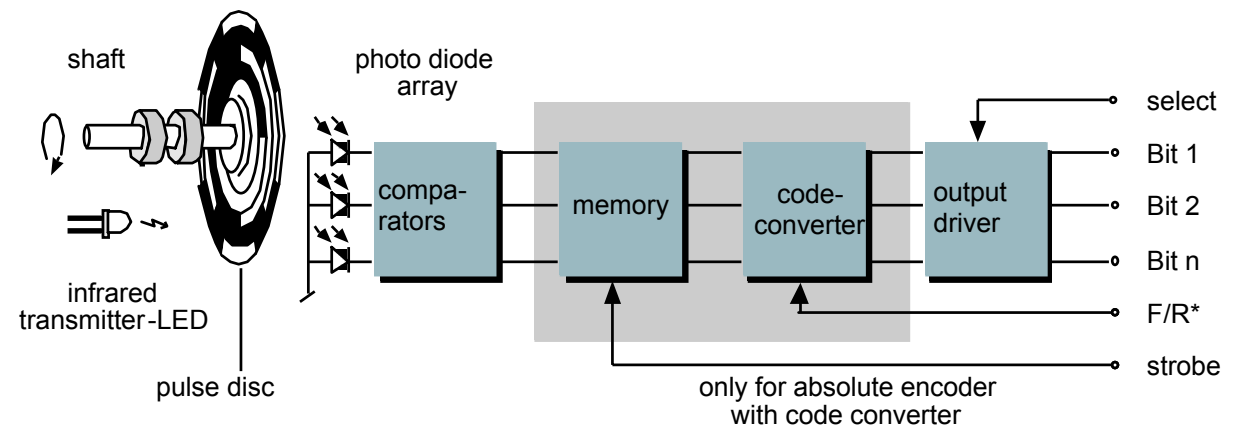
- До 18 bit положений вала на один оборот
- Данные в виде кода Грея или двоично-десятичного кода
- Фотодиодная матрица с высоким разрешением.



Конструкция диафрагмы



прорези





Какие типы кодирования сигнала применяют в абсолютных энкодерах ?

Код Грея

■ = 1    □ = 0

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

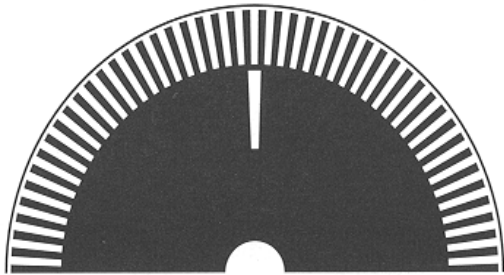
Двоично десятичный код

■ = 1    □ = 0

16																				
8																				
4																				
2																				
1																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

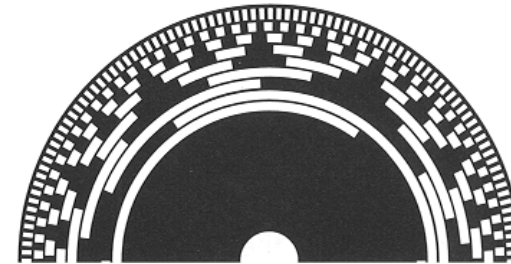
В чём отличие между  
инкрементальным и абсолютным энкодером ?

инкрементальный энкодер



- ▶ скорость и положение вала можно определить только если не выключалось питание
- ▶ При выключении питания значение положения теряется

Абсолютный энкодер



- ▶ Даёт информацию в виде кода, уникального для каждого положения вала
- ▶ Положение вала можно определить сразу после подачи напряжения питания, даже если в его отсутствие вал вращался

## Какие типы абсолютных энкодеров доступны?

Тип	диаметр оси		корпус	разрешение	
				на оборот	число оборотов
BAV	12мм	цилиндр	58 мм	12 бит	1
BFF/G	12мм	полая	58 мм	12 бит	1
BMA-F	10мм	цилиндр	58 мм	13 бит	12 бит
BMG	14мм	полая	75 мм	13 бит	12 бит
BMH	25мм	полая	90 мм	13 бит	12 бит
BMK	50мм	полая	116 мм	13 бит	12 бит

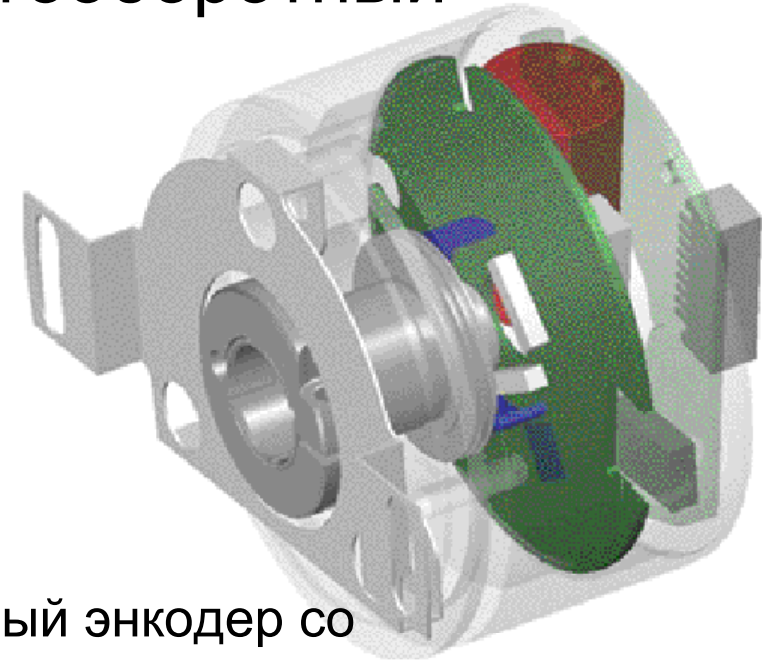
*MAGRES*

*ProCoder*

*Digitalizer*

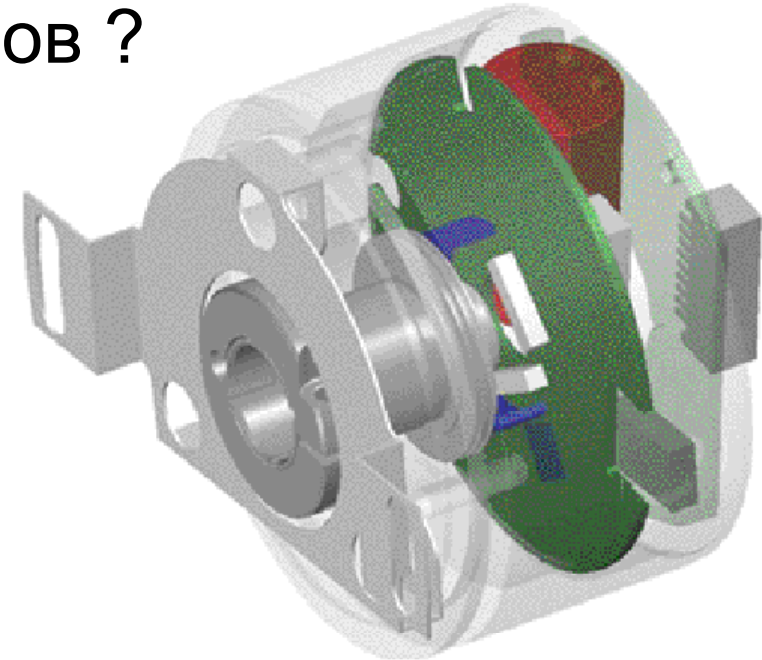
программируемые

## Что такое абсолютный многооборотный энкодер ?



- ▶ ...это абсолютный однооборотный энкодер со встроенным счётчиком оборотов
- ▶ Положение в пределах оборота определяется при помощи оптического диска.
- ▶ Число оборотов сохраняется в энергонезависимой памяти счётчика.

## Каковы преимущества многооборотных энкодеров ?

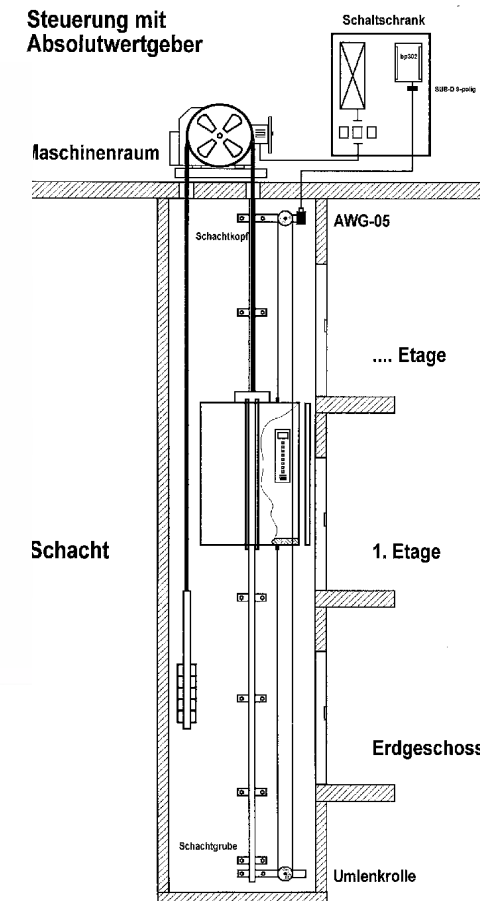


- ▶ Счётчик оборотов сохраняет значение за счёт литиевой батареи и может считать обороты даже при выключенном питании.
- ▶ Истинное положение вала можно узнать даже если вал вращали при выключенном питании.
- ▶ Не нужно после включения питания искать нулевую метку!

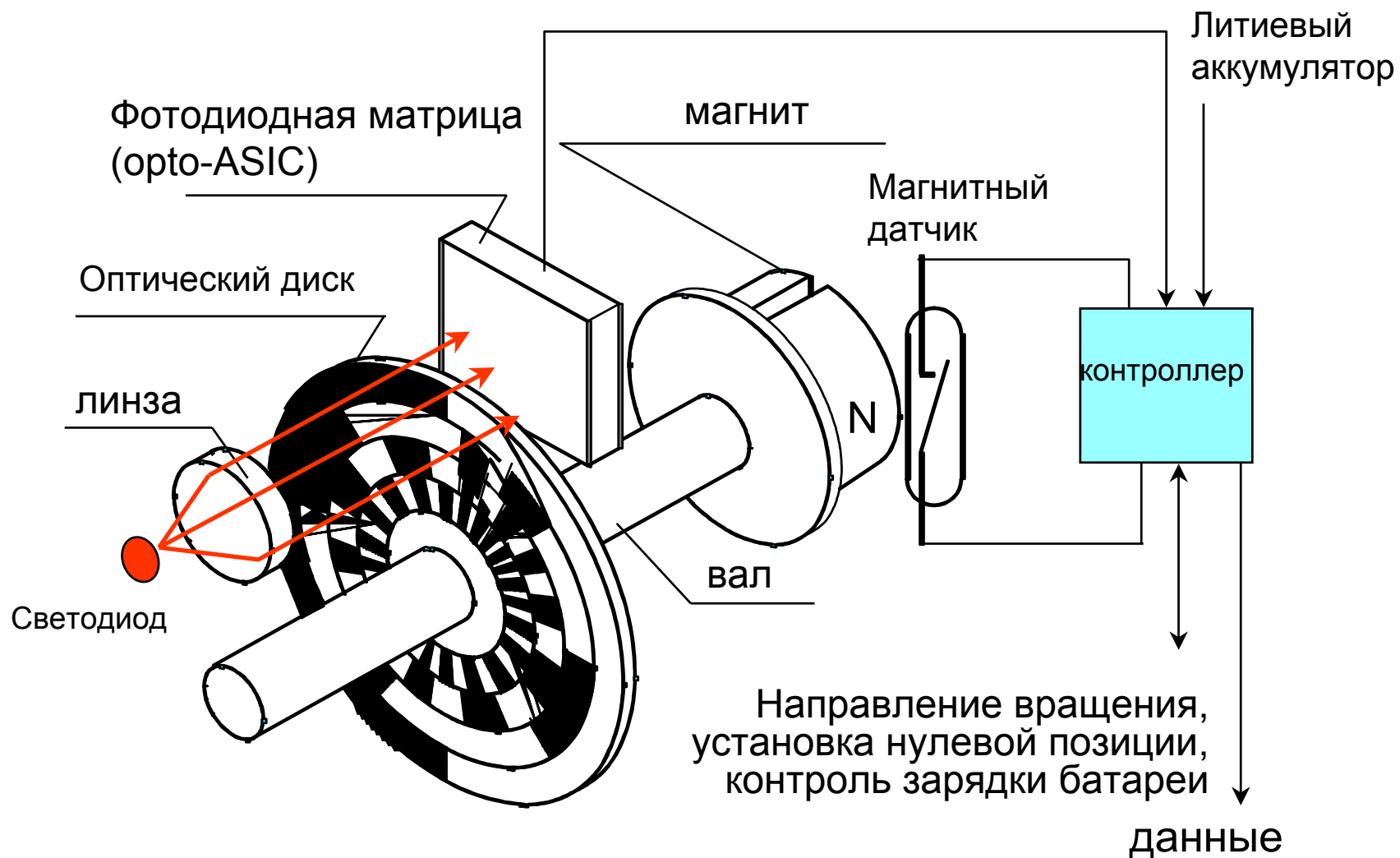
## Пример использования многооборотного энкодера

## Лифт

- ▶ Положение кабины должно быть всегда известно
- ▶ Для каждого этажа свой код энкодера
- ▶ Основная максимальная безопасность



## Как работает многооборотный абсолютный энкодер?



## В чём особенности электронных абсолютных многооборотных энкодеров ?

### Технологические характеристики

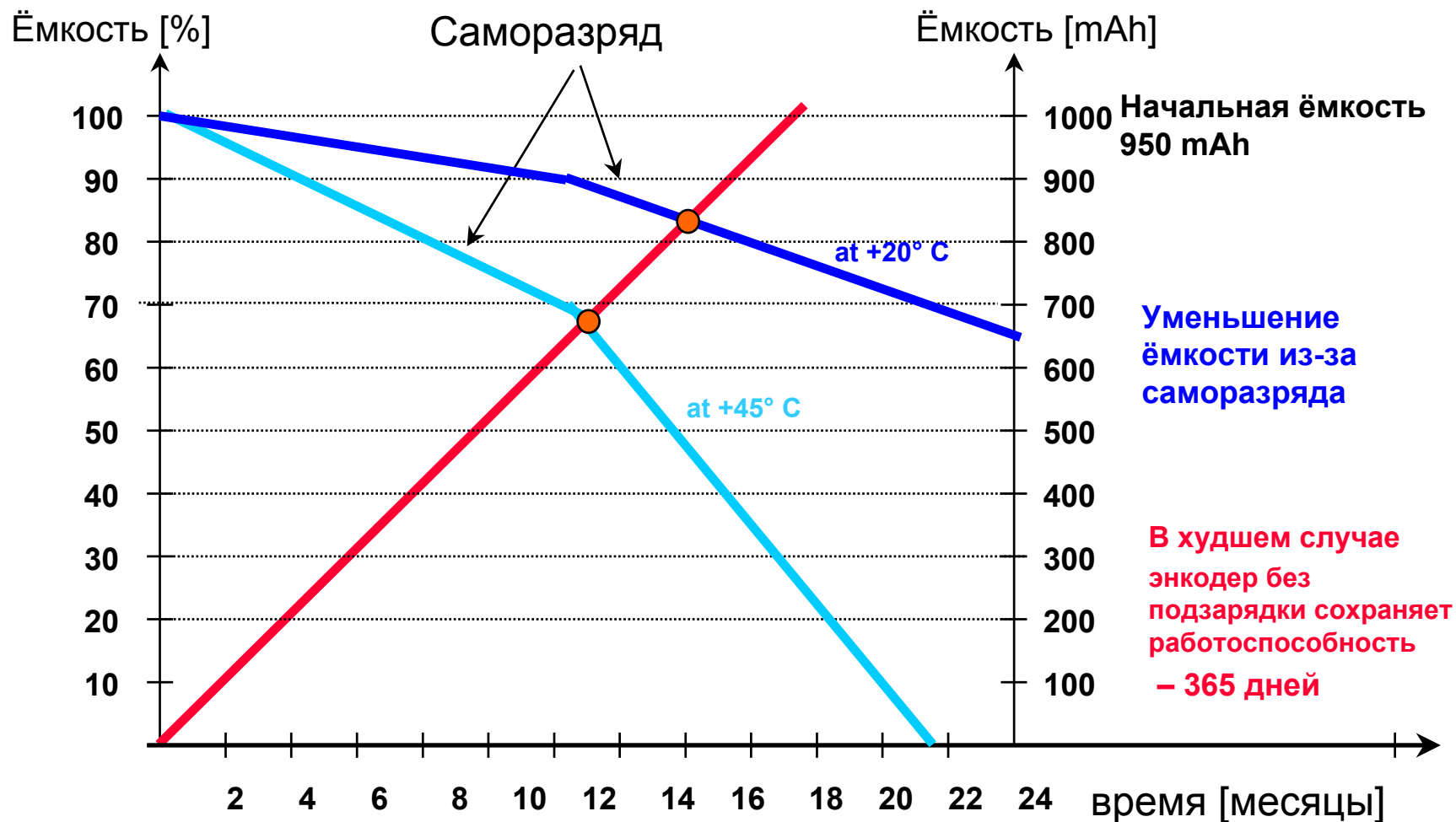
- ▶ Бесконтактный датчик оборотов
- ▶ Отсутствие механики и световых источников
- ▶ Постоянный счёт числа оборотов за счёт применения малопотребляющих радиоэлементов
- ▶ Применение литиевых батарей с высоким КПД

### Эксплуатационные возможности

- ▶ Малый ток потребления и самоподогрев микросхем
- ▶ Вибро и ударостойкость до 200 g / 6 ms
- ▶ Применение новейшего типа литиевых батарей, работоспособных до +125°C
- ▶ Время жизни литиевой батареи при 45°C более 10 лет в отсутствие подзарядки



## Как определить срок работы литиевого аккумулятора?



Какие виды выходных сигналов имеют абсолютные энкодеры ?

Параллельный

- ▶ Простое декодирование: один провод один бит
- ▶ Дорогостоящее подключение при большом количестве бит

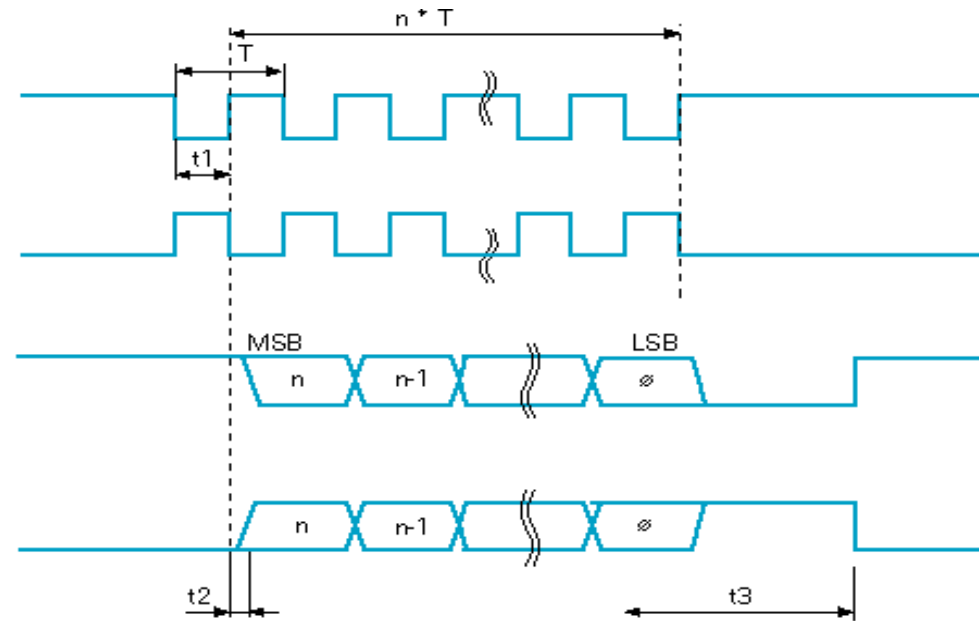
SSI (**S**ynchronous **S**erial **I**nterface)

- ▶ Прямое подключение к контроллеру только одного энкодера
- ▶ Высокая скорость передачи данных

Контроллерные интерфейсы для подключения по сети

- ▶ Profibus
- ▶ CANopen
- ▶ DeviceNet

# Как работает SSI интерфейс? (Synchronous Serial Interface)



$t_1 \geq 0,45 \mu s$   
 $t_2 \leq 800 \text{ ns}$  (bei 50 m Lichtleiter-Kabel)  
 $t_3 = 2 \text{ bis } 20 \mu s$   
 $n = 14 \text{ bis } 17 \text{ Bit}$   
 $T = 0,9 \text{ bis } 14 \mu s$

Где используют подключение по сети?

### Profibus

- ▶ Контроллеры Siemens, такие как S5, S7 (в основном на европейском рынке)

### DeviceNet

- ▶ Контроллеры Allen-Bradley / Rockwell (в основном в США)

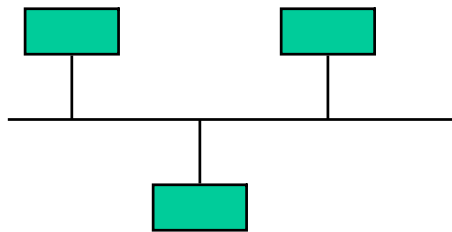
### CANopen

- ▶ Цифровые контроллеры, изготовленные Bosch, B&R, и другими производителями.
- ▶ Промышленные компьютеры.
- ▶ Автомобили.

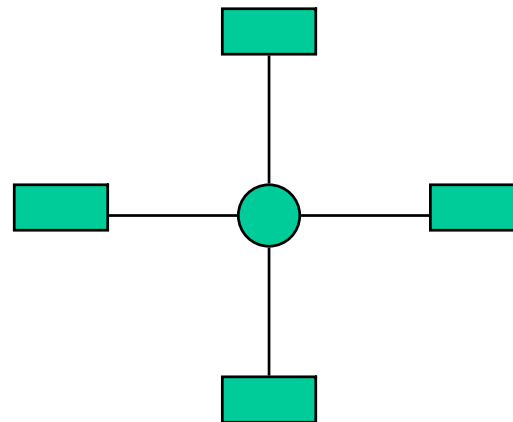
В чём разница подключения по сети и параллельного или SSI ?

- ▶ В одну сеть можно включить более одного энкодера. Нет необходимости подключать к каждому энкодеру свой контроллер как в случае SSI.

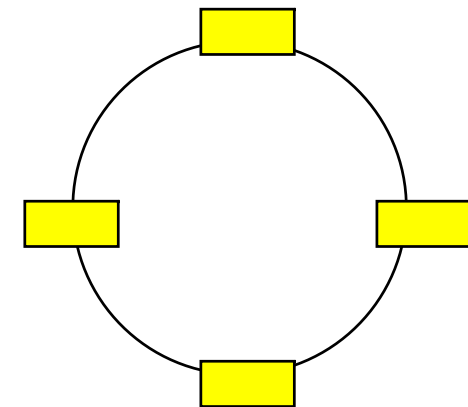
Соединение в линию



Соединение звездой



Соединение  
кольцом



## Особенности протокола Profibus?

- ▶ Протокол контроллеров Siemens
- ▶ Уровни сигналов идентичны RS485
- ▶ Соединение кабелем «витая пара»
- ▶ Скорость передачи данных до 12 Mbit/s
- ▶ Длина кабеля до 1200 м со скоростью 93,75 kbit/s
- ▶ До 32 устройств в сети (без повторителя),  
до 124 устройств на один управляющий контроллер
- ▶ Время ответа менее 1ms при 12 Mbit/s и 32 устройствах

## Особенности протокола CANopen?

- ▶ Совместная разработка Intel и Bosch для автомобильной промышленности
- ▶ Уровни сигналов совместимы с RS 485
- ▶ Скорость обмена до 1 Mbit/s
- ▶ Длина кабеля до 1200 м
- ▶ Мульти контроллерная структура связи: каждое устройство может посылать команды.
- ▶ До 100 устройств в сети
- ▶ Возможность работать в режиме реального времени
- ▶ Время ответа менее 130  $\mu$ s с 1Mbit/s при любом количестве устройств в сети.