

Щелевые оптические датчики положения для современной электронной техники. Обзор

Антти Суомалайнен

В статье рассматриваются классификация, модели, характеристики оптических щелевых датчиков положения иностранного и отечественного производств, а также варианты их применения.

Датчик – это устройство, изменяющее своё состояние в зависимости от воздействий в контролируемой среде [2]. Включённый в электрическую цепь датчик становится преобразователем внешнего сигнала (воздействия) в электрический ток. Это его свойство и используется в разработках РЭА.

В инженерных системах и промышленной автоматике датчики положения являются основным источником информации для определения физического положения механических узлов оборудования. В качестве датчиков для обеспечения тех же задач в прошлом веке применялись концевые выключатели. Недостатки их связаны с ограниченным ресурсом работы, низкой точностью и низким «быстродействием», механическим дребезгом контактов – это ухудшало помехоустойчивость других систем, расположенных рядом, – и в целом с невысокой надёжностью. На контактах использовалось напыление из драгметаллов, что также удорожало конструкцию. Кроме того, концевые выключатели – анахронизм эпохи. Они состояли из громоздких контактов, иногда с приводом, были предназначены для сред с тяжёлыми условиями эксплуатации: выдерживали определённой силы вибрацию, дето-

нацию, загрязнённость среды пылью, относительно высокую влажность и могли уверенно работать в широком диапазоне температур. Какое-то время им не было альтернатив, помимо герконов.

Датчики семейства оптоэлектрических

С развитием элементной базы современной электроники появились датчики, работающие на основе эффекта Холла, и бесконтактные оптические датчики положения. В основе устройства последних – оптический излучатель и фотоприёмник. В международной терминологии оптические датчики называют «PhotoCell Sensors» (фотодатчики) или «Light Sensors» (световые датчики). По принципу бесконтактной работы, основанной на прерывании или появлении светового потока, они получили название оптических [3]. Пример функционала оптоэлектронного датчика представлен на рис 1.

Форм-фактор может быть разным. Как правило, это цилиндрическое или прямоугольное исполнение. Таков, к примеру, диффузный датчик с «обучением» и множеством настроек. Есть датчики с рефлектором – отражателем света, катафотом. Несмотря на то что некоторые модели датчиков реагируют только на определённый участок спектра, например, ИК-оптоэлектронные датчики, что позволяет им чётко работать в условиях помех от солнечного света, искусственного освещения и условно плохой видимости, они зависимы от загрязнённости среды: пыли, грязи, задымления и других факторов. В некоторых оптических датчиках есть переключатель «Dark On / Light On», позволяющий менять режим наборы на инвертируемый. Так, в режиме «Light On» датчик активируется тогда, когда рабочая поверхность его приём-

ника засвечивается, и наоборот. Есть современные модели, где присутствует таймер, – выходной сигнал появляется через некоторое время после активации (срабатывания).

Важная конструктивная особенность оптоэлектрических датчиков – в свойстве гистерезиса, наличии триггерного элемента, снижающего «дребезг контактов» при пограничном состоянии включения/отключения. Для универсальности интеграции в систему РЭА и облегчения настройки в корпусе датчика устанавливают не только светодиодный индикатор активации, но и индикатор стабильного уровня сигнала. Если он горит, то это указывает, что обнаружение настроено стабильно, с достаточным уровнем сигнала, не на краю диапазона чувствительности.

Как правило, максимальное рабочее расстояние, на котором обеспечивается стабильная работа, у разных моделей от 5 до 10 м; большее затруднительно при жёстких условиях эксплуатации.

Щелевые оптические датчики положения

Совсем другое дело – современные щелевые оптические датчики положения, особый вид оптических датчиков с характерными техническими особенностями. О них не много пишут ввиду их специфического назначения. У таких датчиков есть даже сленговое название «вилкообразные» – по особенностям корпуса. Передатчик и приёмник разнесены, но расположены фактически в одном корпусе, в конструкции которого есть «щель». Также им свойственны названия «щелевой оптрон», «фотопрерыватель», «photointerrupter» («фотоинтерраптор»).

Световой поток от излучателя попадает на фотоприёмник, что вызывает определённое состояние датчика. Наличие непрозрачного объекта на пути светового луча приводит к изменению светового потока на фотоприёмнике, а значит, и к другому состоянию датчика. Когда в щель между излучателем и приёмником попадает активатор (предмет), датчик срабатывает. Щелевые датчики удобны

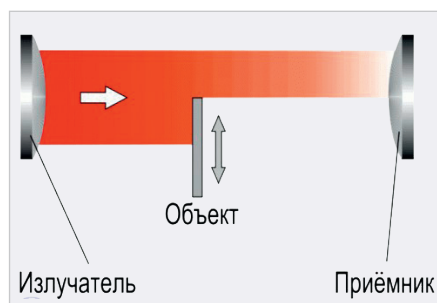


Рис. 1. Иллюстрация функционала бесконтактного оптоэлектронного датчика

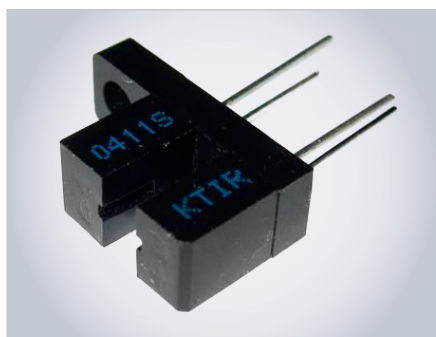


Рис. 2. Внешний вид щелевого оптического датчика положения KTR0411S

там, где объект, перемещение которого детектируется, имеет небольшую фиксированную толщину. Такая конструкция очень похожа на принцип действия инкрементного энкодера [5].

Одним из самых распространённых оптических датчиков положения является KTR0411S производства фирмы Kingbright. Внешний вид щелевого оптического датчика положения KTR0411S представлен на рис. 2.

Устройство и принцип действия датчика KTR0411S

Датчик KTR0411S предназначен для электрических цепей постоянного тока, выполнен в пластиковом литом корпусе, в котором оптический излучатель – арсенид-галлиевый светодиод; оптический приёмник – кремниевый фототранзистор. В корпусе датчика между излучателем и приёмником находится щель шириной приблизительно 3 мм (2,9...3,114 мм). Наличие или отсутствие в этой щели светонепроницаемого предмета и определяет щелевой датчик положения. Размеры и назначение выводов датчика KTR0411S подробно рассмотрены на сайте производителя [7]. На рис. 3 представлена цоколевка выводов щелевого оптрона KTR0411S и некоторые размеры датчика – в мм.

Для функционирования фотопрерывателя в электрической цепи постоянного тока через светодиод необходимо подать ток силой 20–30 мА (выводы + и E) и контролировать состояние выхода фототранзистора (выводы + и D). Ограничение по току и напряжению для транзистора таковы: напряжение не более 35 В и ток не более 20 мА. Для ограничения тока в схему введены ограничивающие резисторы (см. далее), номинал которых рассчитывают по закону Ома с известным напряжением конкретной электрической цепи и рекомендованным током

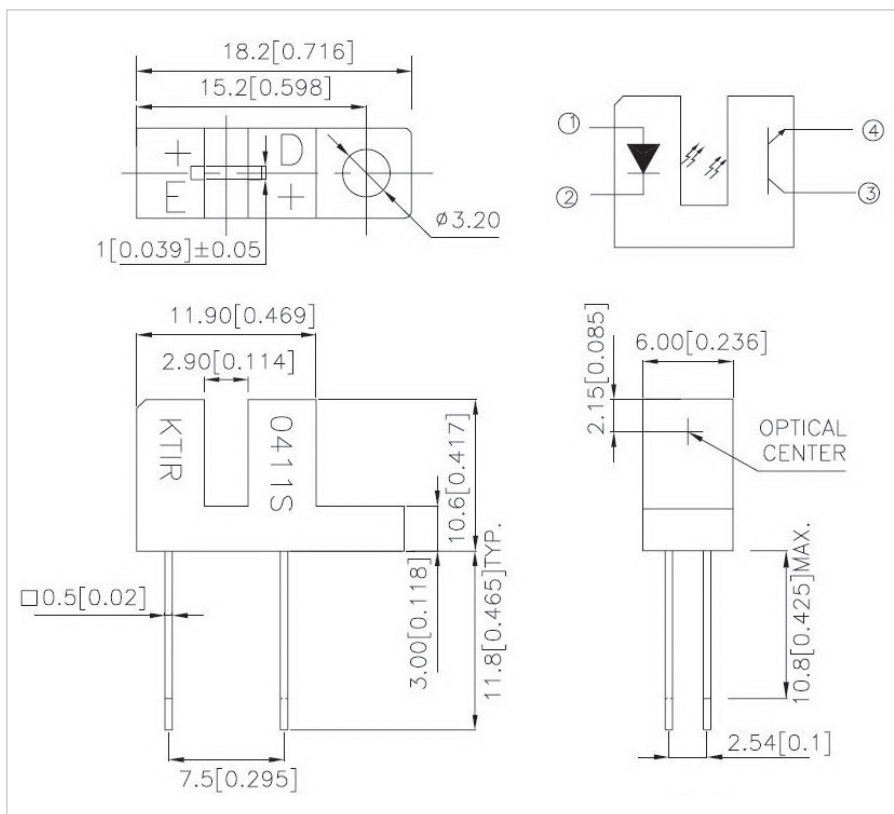


Рис. 3. Цоколевка выводов щелевого оптрона KTR0411S и некоторые размеры датчика

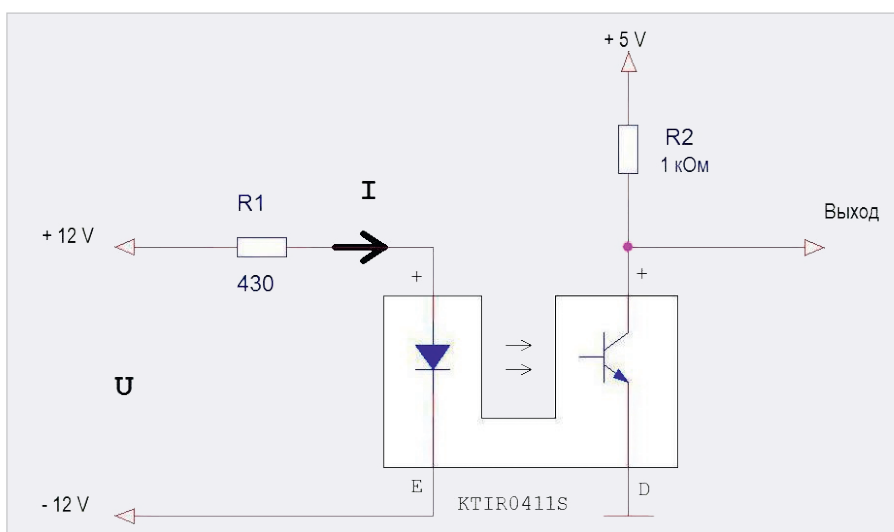


Рис. 4. Вариант электрической схемы включения датчика KTR0411S

(см. выше). Замкнутое (далее – НЗ – нормально замкнутое) состояние транзистора фотоприёмника означает, что световой поток не прерван. Вариантов схемы включения может быть несколько, один из них представлен на рис. 4.

Стрелкой показано направление тока. Резистор R1 ограничивает ток светодиода на уровне 25 мА, а резистор R2 – ток коллектора выходного транзистора на уровне 5 мА. Напряжение высокого логического уровня 5 В на выходе схемы означает, что светонепроницаемый предмет находится в рабочей зоне

датчика: в щели между приёмником и передатчиком. Предельно допустимые параметры щелевого оптического датчика KTR0411S представлены в табл. 1.

Один из иллюстративных практических вариантов применения такого датчика в механической конструкции узла позиционирования приёмного барабана – в автомате розлива. Щелевой оптический датчик KTR0411S соединён с контроллером станка розлива пива. В простой и надёжной конструкции общий вал – для шагового двигателя, барабана и диска с вырезами по окружностям.

Таблица 1. Предельно допустимые параметры щелевого оптического датчика KTIR0411S

Параметр	Обозначение	Значение
Входной светодиод		
Прямой ток светодиода	I_F	50 мА
Обратное напряжение светодиода	V_R	6 В
Мощность рассеивания светодиода	P_D	75 мВт
Пиковый прямой ток (длительность импульса < 100 мкс, скважность < 1%)	I_{FP}	1 А
Выходной транзистор		
Прямое напряжение коллектор-эмиттер	V_{CEO}	35 В
Обратное напряжение коллектор-эмиттер	V_{ECO}	6 В
Ток коллектора	I_C	20 мА
Мощность рассеивания выходного транзистора	P_C	75 мВт
Рабочий диапазон температур	T_{OPR}	-25...+85°C

Таблица 2. Эксплуатационные параметры оптического датчика положения KTIR0411S

Параметр	Обозначение	Значение
Входной светодиод		
Прямое напряжение на светодиоде (ток 20 мА)	V_F	1,2...1,5 В
Обратный ток светодиода (напряжение 5 В)	I_R	10 мкА
Выходной транзистор		
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер (ток коллектора 1 мА, ток светодиода 40 мА)	$V_{CE(sat)}$	0,4 В
Ток закрытого транзистора (напряжение коллектор-эмиттер 20 В)	I_{CEO}	100 нА
Передаточная характеристика		
Коэффициент передачи тока (напряжение коллектор-эмиттер 5 В, ток светодиода 20 мА)	CTR	38%
Время отклика на положительный фронт (напряжение коллектор-эмиттер 2 В, ток коллектора 2 мА)	t_r	5...25 мкс
Время отклика на отрицательный фронт (напряжение коллектор-эмиттер 2 В, ток коллектора 2 мА)	t_f	4...20 мкс

Диск проходит в прорезь оптоэлектронного датчика так, что краем входит в щель фотопрерывателя. При повороте барабана диск прерывает поток светового потока в положении, где заканчивается окошко. Соответственно, контроллер станка определяет положение барабана и останавливает его в местах, где начинаются окошки. Так работает простая линия розлива пива, фасовочного оборудования и не только.

Эксплуатационные параметры оптического датчика положения KTIR0411S представлены в табл. 2. Ток через светодиод датчика вычисляется по формуле: $I = (U - V_F) / R_1$ В электрической схеме, представленной на рис. 4, с учётом данных в табл. 2, расчёт будет таким: $I = (12 - 1,2) / 430 = 0,025$ А. Параметр CTR (коэффициент передачи тока) влияет на выбор тока через светодиод датчика. Максимальный выходной ток датчика $I_{MAX} = I_{\text{светодиода}} \times CTR / 100$. Для приведённой схемы максимальный выходной ток равен $0,025 \times 0,38 = 9,5$ мА. Резистор R2 должен ограничивать ток выходного транзистора на уровне не более 9,5 мА. Иначе ток ограничит сам

датчик, но напряжение на его выходе будет приподнято относительно общего провода [4]. На рис. 5 представлена иллюстрация оборудования для фасовки с двумя щелевыми оптоэлектронными датчиками типа OPU200.

Датчики оптические щелевые инфракрасные

Щелевой оптический инфракрасный датчик, реализованный на универсальном компараторе – микросхеме LM393, – представлен на рис. 6.

Принцип работы основан на излучающем в инфракрасном диапазоне светодиоде и регистрирующем это излучение чувствительном элементе. Любой непрозрачный для ИК-диапазона предмет в зоне датчика перекрывает излучение, что регистрируется чувствительным элементом. Датчик может использоваться как концевой выключатель. Совместно с щелевым диском датчик позволяет отслеживать углы вращения двигателя. Чувствительный элемент – H206.

Характеристики:

- напряжение питания: 3–5 В;



Рис. 5. Иллюстрация оборудования для фасовки с двумя щелевыми оптоэлектронными датчиками

- LED-индикатор питания и состояния;
 - ширина щели: $5 \pm 0,1$ мм;
 - диаметр монтажного отверстия: 3 мм;
 - размеры платы: 31×14 мм.
- Распиновка контактного разъёма:**
- VCC – питание;
 - GND – земля;
 - D0 – цифровой выход, высокий уровень при срабатывании датчика;
 - A0 – не используется.

При попадании светонепроницаемого предмета в щель датчика датчик срабатывает, и на выходе D0 присутствует высокий уровень сигнала, равный напряжению питания. При отсутствии предмета в чувствительной зоне датчика на выходе присутствует низкий уровень сигнала, равный 0,1–0,2 В.

Индикатор-светодиод светится при отсутствии предмета в чувствительной зоне датчика и гаснет при срабатывании датчика.

Есть вариант подобного датчика с широким пазом-щелью, равным 10 мм, и с тем же принципом работы. Чувствительный элемент – WYC H2010. Внешний вид модуля представлен на рис. 7.

Характеристики:

- напряжение питания: 3,6–5 В;
- ширина щели: $10 \pm 0,1$ мм;
- размеры модуля: 28×20×18 мм;
- диаметр монтажных отверстий: 3 мм, расстояние между центрами монтажных отверстий: 14 мм.

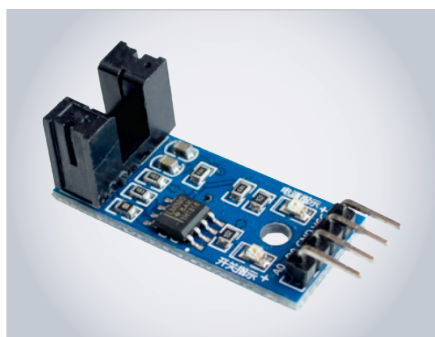


Рис. 6. Внешний вид модуля с щелевым оптическим инфракрасным датчиком на LM393

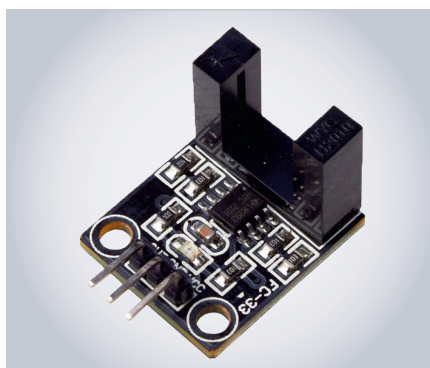


Рис. 7. Внешний вид модуля с датчиком WYC H2010

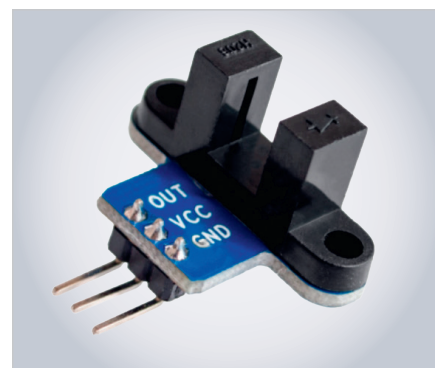


Рис. 8. Внешний вид модуля инфракрасного датчика VS1838

Распиновка контактного разъёма:

- OUT – цифровой выход, высокий уровень при срабатывании датчика;
- GND – земля;
- VCC – питание.

Модуль инфракрасного датчика VS1838, работающий по тому же принципу с сопоставимыми техническими характеристиками, представлен на рис. 8.

Полезьа и перспективы

Щелевые оптоэлектронные датчики не имеют распространённого недостатка, свойственного оптоэлектронным – из-за малых размеров первых и относительно близкого расположения приёмо-передающего узла в одном корпусе датчика им не нужно регулярное обслуживание, чистка рабочих поверхностей и проверка механической целостности. В щелевых оптических датчиках излучающий элемент, как правило – светодиод. Он имеет длительный, но всё же ограниченный ресурс работы, с годами интенсивность его излучения падает. Чтобы устранить этот фактор влияния, корректировка настройки контроллеров, работающих в цепях со щелевыми оптоэлектронными датчиками, обычно производится один раз в несколько лет. Этот тип приборов также не подвержен термической диффузии.

Промышленное и бытовое применение щелевых оптоэлектронных датчиков хоть и специфично, но разнообразно. Выше на примере датчика KTR0411S был рассмотрен принцип его работы и включения в низковольтную электрическую цепь. Если у разработчика возникает иная задача, к примеру, подключение к такому модулю нагрузки в виде слаботочного электромагнитного реле, то, учитывая уровень сигнала на выходе модуля (контакты OUT или D0 в рассмотренных выше в статье вариантах), надо только добавить через ограничительный резистор

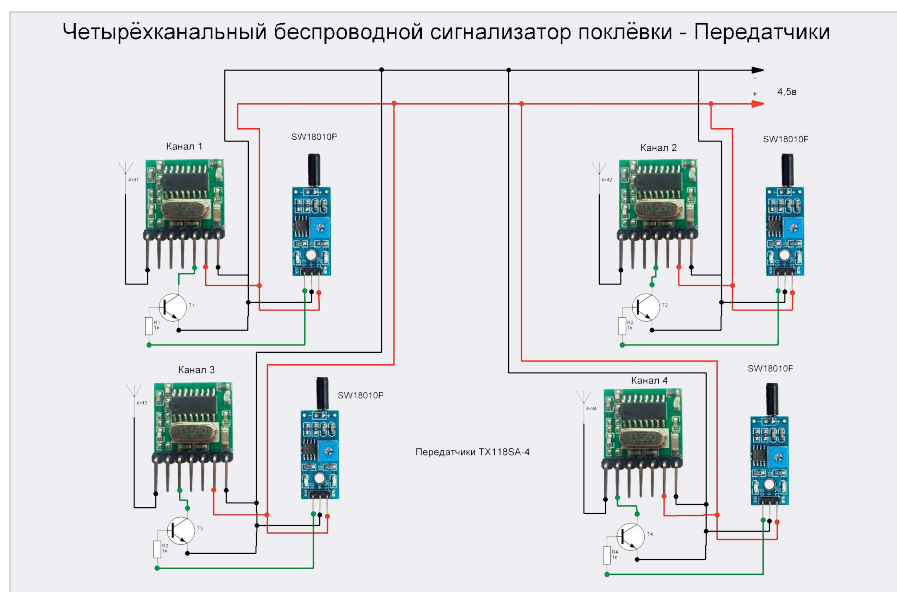


Рис. 9. Передатчик на модуле TX118SA-4

токовый ключ на транзисторе n-p-n проводимости или MOSFET.

Однако не обязательно «управляющая» заслонка в пазе датчика должна иметь плоскую форму или диск с отверстиями, это может быть и условно круглая конфигурация, как нитка, верёвка, канат, трос, пропущенный в паз датчика. В качестве примеров использования щелевых оптоэлектронных датчиков можно рассматривать контроллеры производственных процессов для таких форм. В бытовых условиях примеру соответствует популярный электронный сигнализатор поклевки для рыбаков.

Разберём несколько примеров, из которых можно понять, как применять щелевые оптоэлектронные датчики в конструкторах и разработках РЭА бытового назначения. Ибо промышленные оптоэлектронные щелевые датчики положения подходят для этого универсально.

Моделей устройств для рыбаков много, и устроены они по разным прин-

ципам: от настраиваемого по чувствительности датчика детонации с модулем SW18010P и беспроводным передатчиком TX118SA-4 до более дорогих и надёжных, защищённых от ложных срабатываний сигнализаторов поклевки на основе оптоэлектронных щелевых датчиков. Электронные системы могут быть собраны из блоков конструкторов типа Arduino, к которым универсально подходят щелевые оптоэлектронные датчики положения, рассмотренные выше [9]. Некоторые устройства способны контролировать до 8 удалённо расположенных удилищ, что удобно при донной ловле рыбы («донками»). Поэтому в устройствах реализован дистанционный принцип передачи информации с помощью приёмо-передающих модулей, работающих на частоте 433 МГц. К примеру, передающий узел устройства реализован на модуле TX118SA-4, представленном на рис. 9. Приёмник устройства реализован на модуле RX480E-4, представленном на рис. 10.



Рис. 10. Приёмник на модуле RX480E-4



Рис. 11. Внешний вид сигнализатора для рыбаков PRO SQ4 с датчиком VS1838



Рис. 12. Внешний вид оптоэлектронного щелевого датчика положения OU NC6P-43N-80-LZS4 фирмы ТЕКО

Эти иллюстрации приведены, чтобы понимать, как вместо датчика детонации SW1801OP (на рис. 9) установить согласно распиновке контактов щелевой оптоэлектронный датчик – один из рассмотренных в статье.

Есть и другой принцип действия – пропущенная в паз датчика леска. Её колебание, вибрация или обрыв – в зависимости от настройки контроллера – даёт сигнал световому или звуковому сигнализатору, извещающему рыбака о поклёвке. В этом примере в сигнализаторах поклёвки моделей SQ-4, PRO Q5, PRO RAM XD, HS-JY-25 и др. используются инфракрасные оптоэлектронные щелевые датчики типа VS1838 (рис. 8), H21HB1 – близкий аналог KTIR0411S – и аналогичные. На рис. 11 представлен электронный прибор PRO SQ4, имеющий популярность в рыболовной среде.

Таблица 3. Технические характеристики щелевого датчика положения OU NC6P-43N-80-LZS4 фирмы ТЕКО

Размер прямоугольного корпуса, Д×В×Ш	110×79×15 мм
Зона чувствительности / размер щели	80 мм
Способ подключения	Разъёмно-штекерное
Материал корпуса	Полиамид
Тип выключателя	Щелевая оптика
Тип корпуса	Щелевой
Максимальный рабочий ток, I _{max}	100 мА
Диапазон рабочих напряжений, U _{раб}	10...30 В DC
Падение напряжения при I _{max} , U _d	≤ 2,5 В
Тип контакта / структура выхода	NPN переключающий
Присоединение/подключение	Соединитель S19, S20
Световая индикация	Есть
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP67
Гистерезис	≤ 0,5 мм
Глубина вилки	46 мм
Допустимая ёмкость нагрузки	0,02 мкФ
Допустимая освещённость окружающей среды	5000 Люкс
Задержка включения/отключения, не более	1 мс
Защита от короткого замыкания	Есть
Защита от переплюсовки	Есть
Категория применения/применяемость	DC13
Кол-во проводов	4
Количество зон	20
Количество лучей	2
Диапазон рабочих температур	-15...+65°C
Разрешающая способность	1,5 мм
Регулировка чувствительности	Без регулировки
Собственный ток потребления, I _о	≤ 35 мА
Спектр излучения	Инфракрасный
Частота циклов оперирования, f	500 Гц

Возможности импортозамещения

Из щелевых оптических датчиков отечественного производства в каталоге челябинской фирмы ТЕКО име-

ется несколько моделей, к примеру, OU NC3A-43P-20-LZS4, OUR NC3A5-43P-R20-LZS4, OU NC6P-43N-80-LZS4, внешний вид которых представлен на рис. 12, и аналогичные. С каталогом

шие к созданию специальных технологий, нетипичных либо инновационных в производстве интегральных схем. К ним относились операции трёхмерного профилирования кристаллов кремния и бесклеевое присоединение кристалла к подложке. Стоимость датчиков определяется не только индивидуальной сборкой, настройкой, испытаниями и метрологической аттестацией, но и технологией производства. Условно низкая стоимость датчиков обуславливалась, прежде всего, большим количеством кристаллов, которые получали с одной пластины.

Высокие темпы роста применения микроэлектронных датчиков наблюдаются не только в автомобильной промышленности, на автоматизированных линиях и робототехнике, как было ещё 20 лет назад, но и в нейро-

хирургии, высоких медицинских технологиях и других сферах.

Литература:

1. *Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П.* Датчики (перспективные направления развития): учеб. пособие / под ред. проф. М.П. Цапенко. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. 176 с.
2. *Кашкаров А.П.* 500 схем для радиолюбителей. Электронные датчики. СПб.: Наука и Техника, 2007. 208 с., ил. (2-е изд., доп.).
3. *Кашкаров А.П.* Фото- и термодатчики в электронных схемах. М.: Альтекс, 2004. 212 с., ил.
4. Оптические и фотодатчики. Разновидности и принципы работы. URL: <https://samelectric.ru/promyshlennoe-2/opticheskie-i-fotodatchiki-raznovidnosti-i-printsipy-raboty.html>.
5. Разновидности и примеры реального применения энкодеров. URL: https://samelectric.ru/wp-content/uploads/downloads/2021/01/1_85_2019-Elec.ru-SamElectric.ru_.pdf.
6. Руководство по эксплуатации. Выключатель оптический бесконтактный OU NC6P-43N-80-LZS4. URL: <https://teko-com.ru/files/passports/OU-NC6P-43N-80-LZS4-passport.pdf>.
7. Сайт производителя оптоэлектронного щелевого датчика Ktir0411S. URL: <http://mypractic.ru/downloads/pdf/ktir0411s.pdf>.
8. Фирма ТЕКО. Каталог. Щелевые оптические датчики. URL: <https://teko-com.ru/pdf/2-shhelevye.pdf>.
9. Четырёхканальный беспроводной сигнализатор поклевки. Модульный конструктор Arduino. URL: <http://arduinoprom.ru/shemotehnika/294-chetyrehkanalnyj-besprovodnoj-signalizator-poklevki.html>. ©

НОВОСТИ МИРА

ChatGPT успешно сдал выпускной экзамен в одной из лучших школ бизнеса в мире

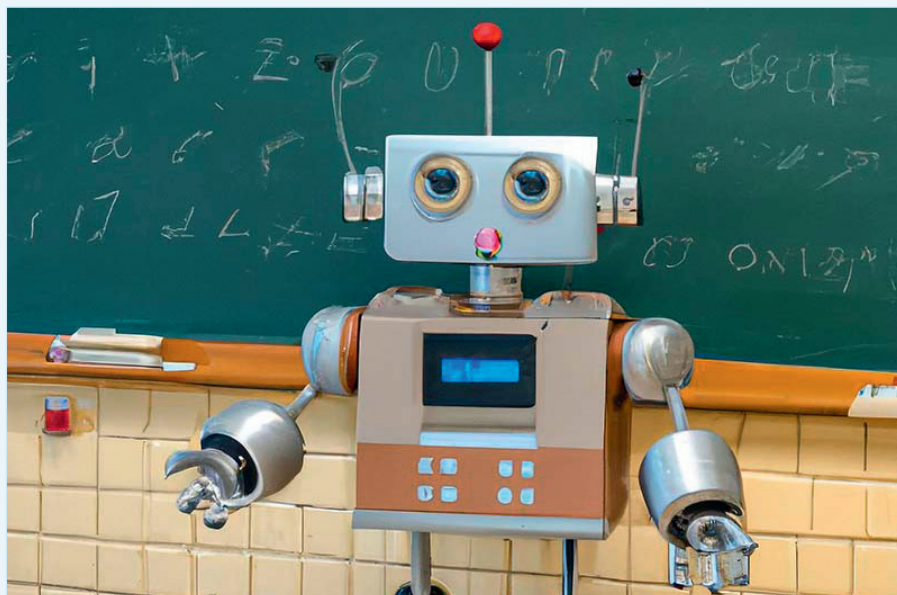
Хотя ИИ-бот ChatGPT компании OpenAI вызывает опасения учителей старших классов из-за его возможного использования при выполнении заданий, проблема не ограничивается только средней школой. Профессор Уортонской школы бизнеса университета Пенсильвании Кристиан Тервиш (Christian Terwiesch) сообщил, что ChatGPT без проблем сдал выпускной экзамен по основному курсу программы MBA «Управление операциями».

Выпускники школы, прошедшие обучение по программе MBA (Master of Business Administration), работают в качестве менеджеров среднего или высшего звена в бизнесе, на государственной или муниципальной службе.

Профессор отметил, что ИИ-бот «потрясающе справляется с основными вопросами управления операциями и анализа процессов, включая те, которые основаны на тематических исследованиях», добавив, что наблюдались и проблемы при ответах на «более сложные вопросы анализа процессов».

Однако, по мнению преподавателя, в итоге ChatGPT «получил бы на экзамене оценку от В до В-». Хотя это не высший балл, он является проходным, и экзамен считается сданным. Профессор также сообщил, что ИИ-бот «хорошо показал себя при подготовке юридических документов, и некоторые считают, что следующее поколение этой технологии может даже сдать экзамен на адвоката».

Предприниматель-миллиардер Марк Кьюбан (Mark Cuban) отметил, что ChatGPT находится «всего лишь в зачаточном со-



стоянии». «Представьте, как будет выглядеть GPT 10-го поколения», – добавил он.

С ним согласен Эндрю Кароли (Andrew Karolyi), декан бизнес-колледжа SC Johnson в Корнельском университете, заявивший на этой неделе газете Financial Times: «Мы все знаем наверняка, что ChatGPT никуда не денется. Во всяком случае, эти ИИ-технологии будут становиться всё лучше и лучше. Руководству факультетов и университетов необходимо инвестировать в образование».

«Я считаю, что ИИ не заменит людей, но люди, которые используют ИИ, собираются заменить людей», – сообщила Financial Times Кара МакВильямс (Kara McWilliams), глава лаборатории ETS Product Innovation Labs, разработавшей инструмент для выявления использования ИИ при ответах.

Тервиш отметил влияние, которое произвело появление электронных калькуляторов, и предположил, что нечто подобное может произойти с такими решениями, как ChatGPT. «До появления калькуляторов и других вычислительных устройств многие фирмы нанимали сотни сотрудников, чьей задачей было ручное выполнение математических операций, таких как умножение или преобразование матриц, – написал Тервиш в исследовании. – Очевидно, что такие задачи теперь автоматизированы, и ценность связанных с ними навыков резко снизилась. Точно так же любая автоматизация навыков, которым обучают на наших программах MBA, потенциально может снизить ценность образования».

3dnews.ru