

Интеллектуальный малогабаритный фотодатчик, работающий на отражение

При создании различных систем автоматизации производства, складского учета, учета движения и маркировки готовой продукции одной из основных задач является разработка фотодатчика движения продукции по транспортерной ленте (далее ФД). К ФД предъявляются достаточно жесткие требования. Он должен работать "на отражение", т. е. излучать определенный световой поток в сторону продвигающихся по транспортеру объектов и воспринимать отраженное от объектов излучение, должен быть малочувствителен к возможным внешним засветкам и фоновому облучению. Схема ФД должна позволять включать его в работающую систему без ее остановки. Она должна быть устойчива к сбоям по питанию, иметь защиту от зависаний. Еще одним из требований может быть обеспечение возможности работы в составе локальной сети. Кроме того, ФД должен иметь достаточно малые размеры и малое энергопотребление, а также питаться от одного источника питания. Данная статья знакомит читателей с вариантом реализации такого ФД, его элементной базой и программой работы.

Принципиальная схема ФД

Принципиальная схема основного варианта ФД представлена на рис. 1. Она реализует только основную функцию — определение наличия объекта перед фотодатчиком и выдачу строблирующего импульса.

Схема содержит следующие элементы: излучающий инфракрасный (ИК) диод SD1 со схемой управления на транзисторе VT1 и резисторах R4–R6; фотодиод приемника ИК сигналов FD1; предварительный усилитель фотодиода D1 (TBA2800); супервизор питания со схемой защиты от зависаний D2 (TL7705); микроконтроллер D3 (AT89C2051).

В качестве диода SD1 может быть применен любой ИК диод средней мощности. В настоящее время существует достаточно большой выбор таких устройств. Определяющими факторами при выборе светодиода являются соотношение мощность/стоимость и габаритные размеры. В табл. 1 приведены характеристики некоторых из доступных ИК диодов средней мощности. Отобраны только ИК диоды с длиной волны 900...1000 нм и мощностью свыше 1 мВт, обеспечивающие наиболее надежную работу.

Наилучшими характеристиками обладают диоды типа AL145Д. Они имеют оптимальное соотношение мощность/стоимость, а их спектральные характеристики наиболее соответствуют характеристикам фотодиода FD1 (ФД256). ИК диоды AL145Д имеют минимальное значение рабочего напряжения постоянного тока и достаточно большой импульс-

ный ток (до 1,1 А). Именно этот тип диодов используется в описываемом фотодатчике.

На ИК диод SD1 через транзистор VT1 и резистор R4 (1,8 Ом) подаются импульсы тока амплитудой около 400 мА и длительностью около 75 мкс при скважности 10. Светодиод SD1 и фотодиод FD1 расположены окнами в сторону объекта в дюралевой крышке цилиндрического корпуса, которая одновременно служит теплоотводом.

Фотодиод FD1 соединен со входом инфракрасного предварительного усилителя D1.

Предварительный усилитель ИК сигнала TBA2800 (фирмы Micronas Intermetall) предназначен для предварительного усиления импульсных ИК сигналов (рис. 2). Усилитель содержит четыре узла: управляемый усилитель I, усилитель II, усилитель выделения импульсов III и инвертор IV [1].

Назначение выводов микросхемы TBA2800: 1 — общий вывод входного сигнала; 2 — вывод подключения конденсатора к усилителю I; 3 — вывод напряжения питания; 4 — вход усилителя III; 5 — выход усилителя II; 6 — вывод для регулировки соотношения сигнал/шум; 7 — выход отрицательных импульсов; 8 — выход положительных импульсов; 9 — общий вывод выхода; 10 — тестовый вывод; 11 — вход усилителя II; 12 — выход усилителя I; 13 — общий вывод усилителя II; 14 — вход усилителя I.

Усилитель I имеет большой динамический диапазон. Благодаря этому гарантируется работоспособность при ярком окружающем свете и в условиях засветки модулированным светом частотой 50 Гц от

флуоресцентных ламп (ламп дневного света). Кроме того, работоспособность сохраняется и при засветке интенсивным ИК излучением. Такая ситуация возможна при непосредственной близости отражающей поверхности объекта от излучателя и фотоприемника. Усилитель II служит для дальнейшего усиления сигнала, а усилитель III — для отделения импульсной составляющей от шумов. Инвертор IV обеспечивает дополнительное инвертирование отрицательных импульсов с выхода усилителя III (выв. 7) в положительные (выв. 8). Введение дополнительного резистора между выв. 6

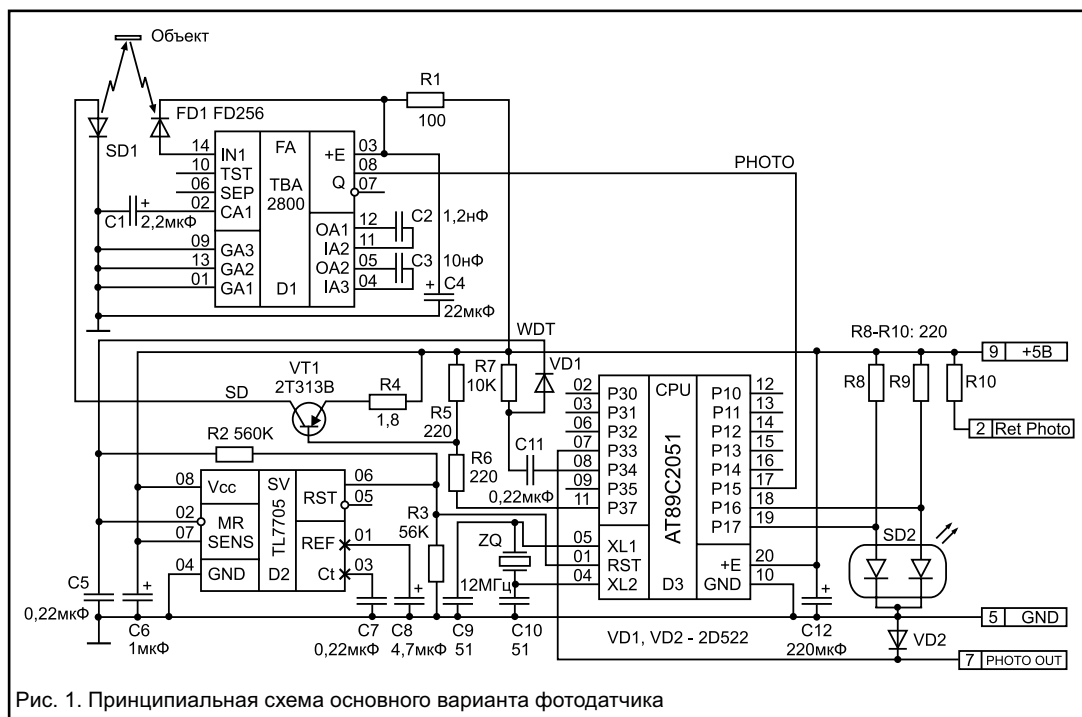


Рис. 1. Принципиальная схема основного варианта фотодатчика

Таблица 1. Инфракрасные светодиоды средней мощности

Марка	Мощность, мВт	Длина волны, нм	Упр/лпр, В/мА	лпр/имп, мА/А
АЛ106Г	1	920–935	1,7/100	110/1
АЛ106Д	1,5	920–935	1,7/100	110/1
АЛ108АМ	2	940	1,6/100	110/10
АЛ107А	5,5	940–965	1,8/100	100/0,6
АЛ145А	8	930–980	1,6/100	30/0,7
АЛ107Б	9	940–965	1,8/100	100/0,6
АЛ107В	9	940–965	1,5/100	100/0,6
АЛ115А	10	900–1000	2,0/50	50/0,6
АЛ145Б	10	930–980	1,6/100	100/1,1
АЛ107Г	12	940–965	1,8/100	100/0,6
АЛ145В	12	930–980	1,6/100	100/1,1
АЛ145Г	16	930–980	1,6/100	100/1,1
АЛ145Д	20	930–980	1,6/100	100/1,1
ЗЛ153А	60	900–960	2,2/300	300/0,3
АЛ119А	40	930–960	2,0/50	100/0,6
АЛ119Б	40	930–960	2,0/50	100/0,6
АЛ123А	80	920–960	2,0/300	400/10

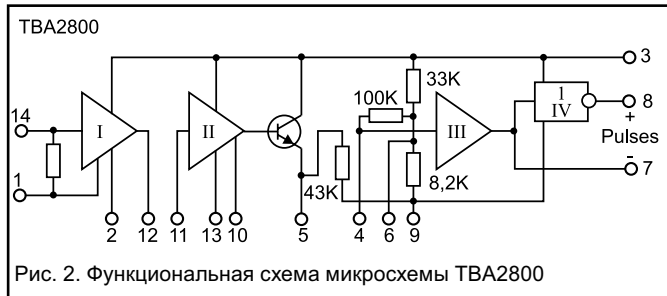


Рис. 2. Функциональная схема микросхемы TBA2800

и общим проводом увеличивает шумовую устойчивость, но снижает чувствительность по входу.

Конденсатор, подключаемый между выв. 2 и общим проводом питания, влияет на автоматическое изменение динамического диапазона усилителя I. Для его устойчивой работы емкость конденсатора должна быть более 1 мкФ. Микросхема сохраняет работоспособность при изменении напряжения питания в пределах 4,5...6 В. Максимальный потребляемый ток — не более 2 мА.

В описываемой схеме ФД (рис. 1) микросхема TBA2800 используется для усиления принятого фотодиодом FD1 модулированного ИК сигнала, излучаемого светодиодом SD1 и отраженного от движущегося мимо ФД объекта. Выходной сигнал Photo с микросхемы D1 (выв. 8) поступает на вход P1.5 (выв. 17) микроконтроллера D3.

На микросхеме D2 (TL7705) собран супервизор питания со схемой защиты от зависаний, которую принято называть WDT (Watchdog Timer). В функции супервизора питания входит формирование импульса сброса микроконтроллера при включении или при снижении напряжения питания ниже определенного уровня, а в функции WDT входит подача импульса сброса на микроконтроллер в случае его зависания. Зависание микроконтроллера возможно вследствие ряда причин как программных (ошибка в программе, самопроизвольное нарушение программы из-за сбоя питания), так и аппаратных. Общепринятый в настоящее время способ защиты от зависаний заключается в том, что микроконтроллер через определенные периоды времени, формирует импульс на одном из своих выводов. Этот импульс проходит через разделительный конденсатор (для исключения постоянной составляющей) и подзаряжает другой времязадающий интегрирующий конденсатор, соединенный со входом аналоговой схемы сравнения, на другой вход которой подается определенное опорное напряжение. В случае если микроконтроллер в силу каких-либо причин вовремя не подза-

рядит интегрирующий конденсатор, схема сравнения сработает и сформирует импульс сброса, устанавливающий микроконтроллер в исходное состояние.

Супервизор питания TL7705 (Texas Instruments) предназначен для формирования импульса сброса микроконтроллера при включении питания или при снижении его ниже определенной величины. Хотя микросхема TL7705 и не имеет встроенного WDT, однако она выгодно отличается от известных комбинированных микросхем фирмы Maxim доступностью и в 3–5 раз меньшей ценой. Функциональная схема микросхемы TL7705 [2] представлена на рис. 3.

Назначение выводов микросхемы TL7705: 1 — вывод подключения конденсатора фильтра опорного напряжения; 2 — цифровой вход внешнего сброса (активный уровень — лог. 0); 3 — вход подключения времязадающего конденсатора, определяющего длительность импульса сброса; 4 — вывод общего провода питания; 5 — вывод отрицательного (инверсного) импульса сброса; 6 — вывод положительного импульса сброса; 7 — вход анализа напряжения; 8 — вывод подключения питания.

Микросхема содержит следующие основные узлы: резистивный делитель (R1, R2) входного напряжения; стабилитрон на 2,5 В, питающийся от встроенного генератора тока; компаратор Comp1; схема 2И–НЕ; тиристор, питающийся от встроенного генератора тока; компаратор Comp2 с выходными транзисторами. Выпускаются микросхемы с различными номиналами делителя, предназначенные для тестирования различных напряжений (табл. на рис. 3). Выв. 7 подключается к тестируемому источнику напряжения, при этом на средней точке делителя R1, R2 напряжение оказывается больше опорного (2,5 В). Соответственно, на выходе компаратора Comp1 формируется уровень лог. 1, поступающий на второй вход элемента 2И–НЕ, а на первом входе этого элемента (если он не подключен) также присутствует лог. 1. При этом на выходе элемента 2И–НЕ получается лог. 0, тиристор выключен, напряжение на прямом входе второго компаратора Comp2 выше опорного (2,5 В), поступающего на инверсный вход компаратора, оба выходных транзистора закрыты. При уменьшении на выв. 7 тестируемого напряжения или при подаче на выв. 2 уровня лог. 0, на выходе элемента 2И–НЕ формируется сигнал лог. 1, включающий тиристор. При этом срабатывает компаратор Comp2, и открываются выходные транзисторы. Если к коллектору соответствующего транзистора подключен резистор нагрузки (с выв. 6 на общий провод или с выв. 5 на провод питания), на нем формируется соответствующий импульс сброса

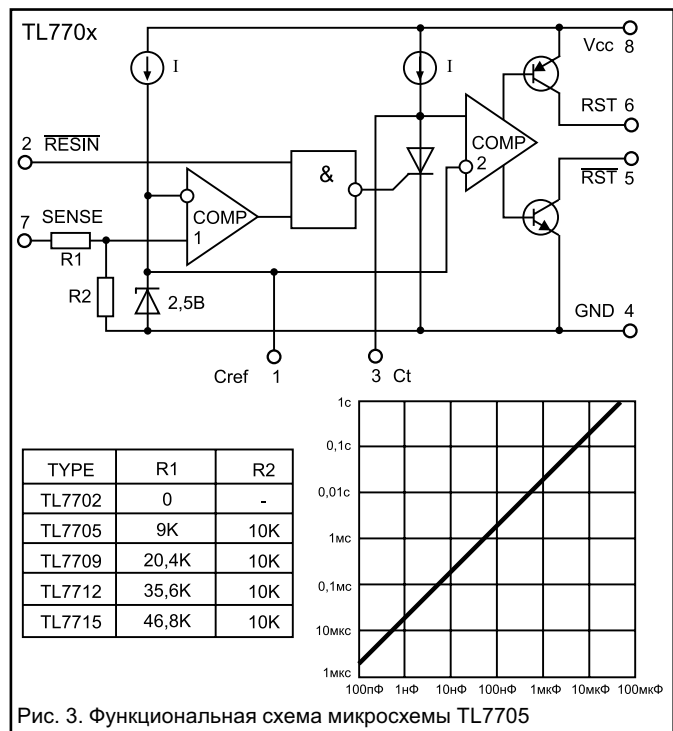


Рис. 3. Функциональная схема микросхемы TL7705

са (положительный на выв. 6, отрицательный на выв. 5). Длительность импульса сброса определяется емкостью конденсатора, подключенного между выв. 3 и общим проводом питания. Он подключен параллельно тиристор, и если вследствие снижения напряжения на выв. 2 или выв. 7 тиристор кратковременно открывается, то после его выключения конденсатор линейно заряжается через генератор тока, удерживая на время заряда импульс сброса на выв. 5, 6. Зависимость длительности импульса сброса от емкости конденсатора также приведена на рис. 3. Ко входу 1 подключается конденсатор фильтра опорного стабилитрона.

В описываемом варианте принципиальной схемы (рис. 1) ко входу 2 микросхемы D2 (TL7705) подключен конденсатор C5, который подзаряжается через резистор R2 во время импульса сброса и через цепочку C11, R7, VD1 в рабочем режиме. При этом, если интервал подачи подзаряжающих импульсов с микроконтроллера D3 (порт P3.4, выв. 8) не превышает определенной величины (в данном случае около 20 мс), напряжение на конденсаторе продолжает оставаться выше уровня восприятия лог. 1 (на выв. 2 микросхемы D2). В случае "зависания" микроконтроллера подача заряжающих импульсов прекращается, и напряжение на конденсаторе C5 снижается. Как следствие вырабатывается импульс сброса микроконтроллера. Таким образом, в рассматриваемой схеме реализована функция WDT.

В описываемом ФД использован микроконтроллер AT89C2051 (фирмы Atmel). Его подробное описание можно найти в литературе [3]. Отметим только некоторые особенности его включения. Микроконтроллер работает на тактовой частоте 12 МГц. Линии порта 3 используются следующим образом: P3.7 — выход отрицательных включающих импульсов для управления светодиодом SD1; P3.5 — используется как тестовый выход, на котором формируется эхо импульсов опознавания предмета (будет описан в следующем разделе); P3.4 — выход подзаряжающих импульсов на WDT. Линии порта 1 используются для следующих целей: P1.7 — управление зеленым светодиодом; P1.6 — управление красным светодиодом; P1.5 — вход для анализа сигналов от предварительного усилителя D1 фотодиода FD1.

Ниже приведен общий алгоритм работы ФД.

1. Микроконтроллер D3 переводит линию порта P3.7 в состояние лог. 0. Это состояние открывает транзистор VT1 и включает ИК светодиод SD1 на излучение.

2. Фотодиод FD1 принимает отраженный сигнал. Если перед ФД на расстоянии примерно 6–7 см имеется отражающая поверхность объекта, на выходе предварительного усилителя D1 (и, соответственно, на входной линии порта P1.5 микроконтроллера D3) длительность импульса достигает 40...70 мкс (в зависимости от наличия паразитных засветок ФД, расстояния до объекта, его формы, скорости и отражающих свойств поверхности). Если перед ФД нет объекта (или он находится слишком далеко от ФД), длительность импульса изменяется от 0 до 20 мкс.

3. Микроконтроллер шесть раз опрашивает состояние входной линии порта P1.5 и считает количество принятых импульсов, затем переводит линию порта P3.7 в состояние лог. 1 (отключает импульс на ИК светодиод).

4. Далее микроконтроллер выдает на тестовый выход P3.5 серию коротких положительных импульсов, количество которых равно количеству принятых импульсов. Длительность импульса — 1 мкс, период следования — 10 мкс.

5. Микроконтроллер анализирует количество принятых импульсов и сравнивает его с определенной пороговой величиной. Если превышение пороговой величины происходит впервые, то устанавливается внутренний флаг наличия объекта; если же наблюдается снижение количества принятых импульсов ниже пороговой величины, флаг наличия объекта сбрасывается.

6. Микроконтроллер проверяет установку флага наличия объекта и на выходе P3.3 формирует нулевой выходной импульс длительностью примерно 400 мкс. Одновременно микроконтроллер устанавливает вы-

ходные линии P1.6 и P1.7 соответствующим образом, включая зеленый светодиод сдвоенного индикатора SD2.

7. Микроконтроллер анализирует активность флага наличия объекта: если флаг взведен, микроконтроллер включает красный светодиод SD2, а если флаг сброшен — выключает оба светодиода.

8. Далее формируется временная задержка, и цикл повторяется вновь с первого пункта. Период следования импульсов инфракрасного светодиода составляет около 750 мкс при скважности 10.

Таким образом, в отсутствие объекта перед ФД индикатор работы, (установленный в заднем торце корпуса светодиода) выключен, при появлении объекта на 400 мкс включается зеленый светодиод, а затем — в течение всего времени нахождения этого же объекта — горит красный светодиод.

Программа, соответствующая описанному алгоритму, будет приведена далее.

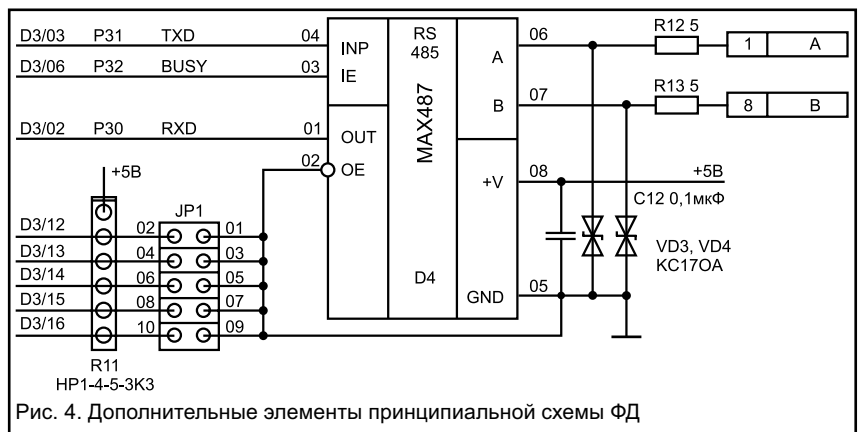
В заключение этого раздела отметим назначение некоторых элементов принципиальной схемы (рис. 1). Диод VD2 необходим для защиты выхода микроконтроллера от подачи на него отрицательного напряжения, резистор R10 — для контроля подключения ФД. Он может использоваться либо как нагрузка для выходного сигнала ФД, либо для организации в основном устройстве (к которому подключается ФД) опрашиваемого резистивного делителя, рассчитанного так, что, когда ФД отключен, на выходе делителя присутствует лог. 0, если же ФД подключен, то на выходе делителя присутствует лог. 1.

Потребляемый ФД ток не превышает 25 мА.

Фотодатчик размещен в дюралевом цилиндре диаметром 18 мм и длиной 110 мм. Цилиндр имеет две торцевые крышки, крепящиеся к корпусу винтами M2. В одной из них установлены светодиод SD1 и фотодиод FD1 (соответственно на расстоянии 5 мм), в другой — сдвоенный индикаторный светодиод SD2, и из этой же крышки выходит соединительный кабель длиной 1,5 м, снабженный штыревым разъемом DB9V. В отдельных случаях предусматривается регулировка чувствительности ФД, выполненная в виде вкручивающегося в окно фотодиода винта или специальной шторки. В зависимости от условий эксплуатации ФД может иметь открытые отверстия, в которые установлены светодиод SD1 и фотодиод FD1, либо отверстия, герметично закрытые материалом, прозрачным для ИК излучения. Фотодатчик собран на двухсторонней печатной плате с двухсторонним расположением элементов.

Расширенный вариант принципиальной схемы ФД

Как уже указывалось выше, описанная основная принципиальная схема реализует только главную функцию ФД — определение наличия объекта и выдачу импульса. Однако достаточно часто нужно объединить несколько ФД, например, для подсчета количества изделий сразу на нескольких транспортерах. В этом случае ФД дополняется еще одной микросхемой драйвера сети RS-485 (рис. 4). Из нескольких ФД организуется командно-информационная сеть, т. е. сеть, состоящая из одного персонального компьютера и нескольких микроконтроллеров (в данном случае — ФД). Принципы



функционалирования командно-информационных сетей, их алгоритмы работы и варианты программ были опубликованы в одном из предыдущих номеров журнала.

К свободным выводам микроконтроллера D3 подключаются подтягивающие резисторы R11 и переключки JP1. С помощью этих элементов устанавливается индивидуальный номер ФД. Микросхема D4 преобразует последовательный интерфейс микроконтроллера в интерфейс RS485. Диоды VD3, VD4 и резисторы R12, R13 обеспечивают защиту микросхемы D4. Показанное дополнение позволяет объединять в сеть до 32 фотодатчиков. В каждом из ФД организуется дополнительный программный счетчик, который считает количество прошедших мимо ФД объектов. По запросу от персонального компьютера содержимое счетчика передается в компьютер, и счетчик обнуляется. Таким образом, компьютер может вести учет изделий, проходящих как по каждому из транспортеров в отдельности, так и по всем транспортерам вместе.

Конструктивное оформление ФД с дополнительными возможностями такое же, как и в предыдущем случае, за исключением того, что длина такого ФД составляет 130 мм.

Рабочая программа для основного варианта ФД

В этом разделе приводится рабочая программа для основного варианта ФД, без сетевой поддержки. Программа написана на языке C для микроконтроллеров семейства x51.

```

/*****/
/* Photo Controller */
/*****/
#include "io51.h"

#define byte unsigned char
#define VER 12 /* Версия рабочей программы */

/* Определение линий портов ввода/вывода */
#define IN_PHOTO P1.5 /* Входной сигнал с предварительного усилителя D1 */
#define SD_RED P1.6 /* Управляющий выход на красный светодиод SD2 */
#define SD_GREEN P1.7 /* Управляющий выход на зеленый светодиод SD2 */
#define OUTPUT P3.3 /* Выход фотодатчика */
#define WD P3.4 /* Импульс на WDT */
#define TEST P3.5 /* Тестовый выход */
#define SD_OUT P3.7 /* Управление инфракрасным светодиодом SD1 */

#pragma memory = data
byte PTR; /* Счетчик количества принятых импульсов */
byte FLAG; /* Флаг наличия объекта */
byte i; /* Универсальный счетчик */
#pragma memory = default

/*****/
void WDT (void) {WD=1; WD=0;} /* PI/
программа импульса WDT */
void Time (int Delay) {while (Delay--) {WDT 0;}};
/* Подпрограмма задержки */
void RED (void) {SD_GREEN=0; SD_RED=1;}
/* Индикатор SD2 красный */
void GREEN (void) {SD_RED=0; SD_GREEN=1;}
/* Индикатор SD2 зеленый */
void BLACK (void) {SD_RED=0; SD_GREEN=0;} /* Индикатор SD2 выключен */
void Pause (void) {Time (32);}

void Delay (int Del)
/* Подпрограмма задержки */
{
byte j;

for (j=0; j<Del; j++)
{Time (1000); WDT 0;}
}

/*****/
void StartInit (void) /* Начальная инициализация микроконтроллера */
{
TEST=0; /* Установить тестовый выход =0 */
OUTPUT=1; /* Установить выход ФД =0 */
}

```

```

FLAG=0; /* Установить флаг наличия объекта =0 */
GREEN 0; /* Очистить зеленый индикатор */
Delay (59); /* Задержка — 1 S */
RED 0; /* Установить красный индикатор */
Delay (59); /* Задержка — 1 S */
GREEN 0; /* Установить зеленый индикатор */
Delay (59); /* Задержка — 1 S */
BLACK 0; /* Выключить индикатор */

IN_PHOTO=1; /* Фото вход */

void main (void)
{
StartInit 0; /* Начальная инициализация */
while (1)
{
PTR=0; /* Очистить счетчик */
SD_OUT=0; /* Включить инфракрасный светодиод */
for (i=0; i<6; i++) /* Сделать 6 циклов опроса */
if (IN_PHOTO!=0) /* Если на входе "1" */
PTR++; /* Увеличить счетчик */
SD_OUT=1; /* Выключить инфракрасный светодиод */
for (i=0; i<PTR; i++) /* Вывести на тестовый выход полученное количество импульсов */
{TEST=1; TEST=0;}

WDT 0;
if ((PTR>2)&(FLAG==0)) /* Если счетчик >2 (Обнаружен новый объект) & и флаг объекта был сброшен */
{
OUTPUT=0; /* Начать выходной импульс */
GREEN 0; /* Включить зеленый светодиод */
FLAG=1; /* Установить флаг объекта */
Time (22); /* Задержка */
OUTPUT=1; /* Завершить выходной импульс */
}
if (PTR<2) /* Если счетчик <2 */
{
FLAG=0; /* Сбросить флаг объекта */
BLACK 0; /* Выключить светодиод */
}
else
RED 0; /* Иначе (если объект перед фотодатчиком) Включить красный светодиод */
Pause 0; /* Пауза между импульсами ИК диода */
}
}
}

```

Описанные варианты реализации фотодатчика удовлетворяют всем предъявляемым требованиям. Они экономичны, просты в настройке и надежны в эксплуатации. Подобные фотодатчики позволяют считать до ста объектов в секунду. При этом возможное "дрожание" момента выдачи импульса относительно момента начала движения объекта ничтожно мало (менее 1 мм).

Приведенная программа занимает всего 245 байт кода и 3 байта оперативной памяти. Поэтому при необходимости программу можно легко дополнить для поддержки сети, а также произвести любые другие модификации. Повысить точность определения начала объекта можно, увеличив тактовую частоту микроконтроллера и заменив его, например, на AVR микроконтроллер AT90S2313 [4]. Переделка аппаратной части в этом случае будет сведена только к установке дополнительного резистора с D2/5 на +5 В и переносу связи сброса микроконтроллера с 6 на 5 выход микросхемы D2. Естественно, будет необходима и соответствующая коррекция программы, не изменяющая общий алгоритм. Но это тема для отдельной статьи.

Олег Николайчук,
onic@ch.moldpac.md

Литература

1. Tba2800.pdf, <http://www.micronas.com>
2. Slvae04.pdf, <http://www.ti.com>
3. Doc505.pdf, <http://www.atmel.com>, <http://www.atmel.ru>
4. 2313.pdf, <http://www.atmel.com>, <http://www.atmel.ru>