

---

# КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

УДК 53.087.92

## МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

**А.В. Вострухин, В.С. Ядыкин, М.А. Ерина,  
А.Н. Королькова, П.Ю. Пташкин, М.Ф. Горяинов**

*Подчеркивается актуальность построения датчиков на базе микроконтроллеров, приводится пример микроконтроллерного измерительного преобразователя для емкостного и резистивного датчиков влажности и температуры воздуха, в котором реализован метод измерения постоянной времени RC-цепи, приведены выражения по расчету значений образцовых элементов для обеспечения необходимой чувствительности микроконтроллерного датчика влажности и температуры.*

**Ключевые слова:** микроконтроллер, измерительный преобразователь, емкостный, резистивный, датчик.

**Key words:** microcontroller, measuring converter, capacity, resistance, sensor.

Большинство современных электронных измерительных приборов состоят из одного микроконтроллера (МК) и нескольких дополнительных конструктивных элементов. В качестве основных достоинств микроконтроллерных измерительных приборов можно отметить высокую производительность (до 1 миллиона операций в секунду на один МГц частоты тактового генератора микроконтроллера) и малый ток, потребляемый микроконтроллером в активном режиме (не более 200 мкА) [5].

Встроенный в измерительное средство МК придает ему новые качества: многофункциональность, самокалибровку, автоматизацию статистической обработки измерений, повышение экономичности и надежности, что позволяет решать много новых прикладных задач.

Уровень измерительной и управляющей системы определяют датчики, поэтому исследование и разработка новых датчиков на базе МК являются одной из приоритетных научных задач.

Емкостные датчики обладают высокими потенциальными возможностями, которые используются не полностью, по причине несовершенства измерительных преобразователей. Достоинства емкостных датчиков: простота конструкции, малые размеры и масса, высокие чувствительность, разрешающая способность и быстродействие. Недостатки: сравнительно низкий уровень выходного сигнала, нестабильность характеристик при изменении параметров окружающей среды, влияние паразитных емкостей. Перечисленные недостатки устраняемы, если работой датчика будет управлять МК.

Условимся считать следующее:

- **датчик** – это устройство, преобразующие изменение измеряемой физической величины в параметр, например, в емкость или сопротивление;
- **микроконтроллерный измерительный преобразователь (МИП)** – преобразователь какого-либо параметра, например, емкости или сопротивления, в двоичный код;
- **совокупность датчика и МИП** – это микроконтроллерный датчик (МКД).

Важнейшая функция МКД – преобразование измеряемой физической величины в двоичный код, который можно обрабатывать непосредственно в МК, а затем передавать в устройства более высокого иерархического уровня, освобождая их от простейших операций по предварительной обработке, например, фильтрации.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) снабжены аналоговыми и дискретными входами. Для подключения к ПЛК емкостных датчиков требуется преобразователь «емкость-напряжение», или «емкость-частота», или «емкость-ШИМ-сигнал». Вопросы преобразования емкости в ШИМ-сигнал рассмотрены в работах [1 с. 21; 2, с. 29]. При использовании МКД появляется возможность их объединения в локальную сеть, управляемую, например, компьютером или ПЛК. При этом могут быть использованы стандартные цифровые интерфейсы, например TWI ( $I^2C$ ).

Благодаря МКД получают распространение радиодатчики, позволяющие обмениваться информацией с центральным микропроцессорным устройством по радиоканалу, причем МКД управляет радиоприемопередатчиком.

Рассмотрим пример МКД влажности и температуры воздуха с использованием емкостного и резистивного датчиков. МКД построен на базе МК AVR корпорации Atmel. По соотношению «цена – производительность – энергопотребление» эти МК занимают одно из первых мест в мире среди 8-разрядных МК.

На рис 1. представлена схема МКД емкости и сопротивления, на который получен патент РФ [4]. МКД содержит МК ATTINY2313, источник опорного напряжения (ИОН), в качестве которого может быть использован резистивный делитель, резистор известного сопротивления  $R_o$ , емкостный датчик  $C_x$  влажности воздуха, терморезистор  $R_x$ , конденсатор образцовой емкости  $C_o$ , два сглаживающих RC-фильтра (элементы R, C), подключенные к соответствующим выходам двухканального, встроенного в МК ШИМ. На инвертирующий вход (вывод PB1) аналогового компаратора, встроенного в МК, подается с выхода ИОН-напряжение, равное  $0,63U_n$ , где  $U_n$  – напряжение источника питания МК. Неинвертирующий вход (вывод PB0) аналогового компаратора подключен к точке соединения выводов обоих резисторов  $R_o$  и  $R_x$ .

Рассмотрим алгоритм измерения емкости, так как алгоритм измерения сопротивления аналогичен и рассмотрен в работе [3].

МК отключает цепь, состоящую из терморезистора  $R_x$  и конденсатора  $C_o$ , путем перевода линий PB3 и PD3 в высокоомное состояние. Затем МК выводит в линии PB4 и PD4 логический 0 (лог. 0). Емкостный датчик  $C_x$  начинает разряжаться через резистор  $R_o$ . Через некоторое время, в течение которого емкостный датчик  $C_x$  полностью разрядится, МК выводит логическую 1 (лог. 1) в линию PB4 и запускает от генератора тактовых импульсов внутренний, заранее обнуленный 16-разрядный счетчик (TC1). Когда напряжение на емкостном датчике  $C_x$  достигнет уровня  $0,63U_n$ , на выходе аналогового компаратора будет сформирована лог. 1. По этому сигналу МК считывает содержимое счетчика TC1, т.е. двоичный код  $N_c$ , и сохраняет его в памяти. Двоичный код  $N_c$  пропорционален постоянной времени  $\tau_c = R_o \cdot C_x$  и определяется выражением  $N_c = \tau_c / T_T$ , где  $T_T$  – период тактовых импульсов МК – определяется  $T_T = 1 / f_T$ , где  $f_T$  – частота тактовых импульсов. МК определяет постоянную времени из выражения  $\tau_c = T_T \cdot N_c$ , а затем определяет емкость датчика:  $C_x = \tau_c / R_o$ .

## **КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ**

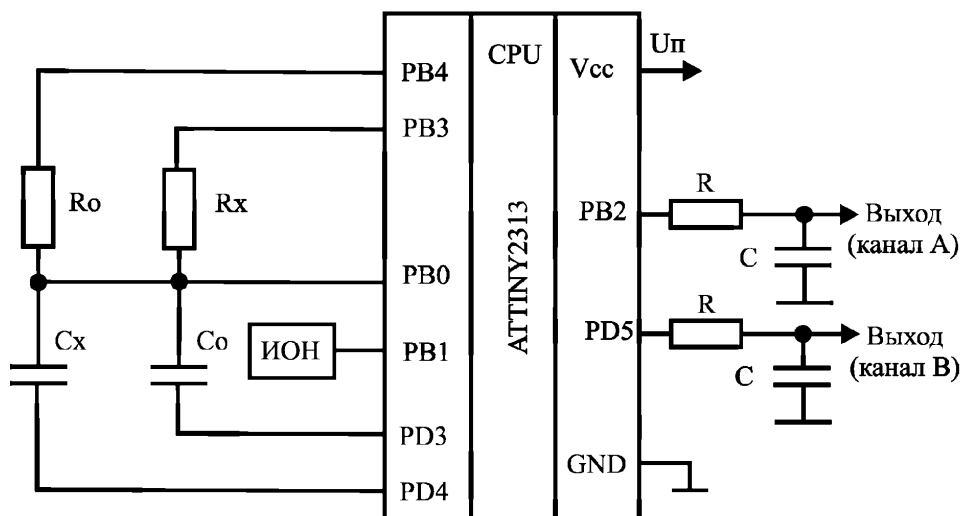


Рис. 1. Функциональная схема МКД влажности и температуры воздуха

Разрешающая способность МИП по емкости определяется выражением  $\Delta C = T_T / R_O$ . Для практических расчетов можно использовать формулу  $\Delta C = 10^3 / f_T \cdot R_O$  (единицы измерения величин  $f_T$ ,  $R_O$  и  $\Delta C$  МГц, кОм и пФ соответственно). При  $f_T = 10$  МГц и  $R_O = 100$  кОм разрешающая способность МИП составит  $\Delta C = 1$  нФ.

Для измерения влажности воздуха может быть использован емкостный датчик HCH-1000-002 фирмы Honeywell, чувствительность которого составляет  $S_C \approx 0,5 \text{ нФ} / 1\%$  относительной влажности. Допустим, требуется получить разрешающую способность МКД по относительной влажности в 1 %. Для этого определяют  $R_O$ , при котором будет обеспечена необходимая разрешающая способность МКД из выражения  $R_O = 10^3 / (f_T \cdot S_C)$ , тогда  $R_O = 10^3 / (10 \text{ МГц} \cdot 0,5 \text{ нФ}) = 200$  кОм. В данном случае при изменении относительной влажности воздуха на 1 % двоичный код МИП изменится на единицу в младшем разряде.

Разрешающая способность МИП по сопротивлению определяется выражением  $\Delta R = T_T / C_O$ . Для практических расчетов можно использовать формулу  $\Delta R = 10^3 / (f_T \cdot C_O)$  (единицы измерения величин  $f_T$ ,  $C_O$  и  $\Delta R$  МГц, пФ и кОм соответственно). При  $f_T = 10$  МГц и  $C_O = 100$  пФ разрешающая способность МИП составит  $\Delta R = 1$  кОм.

Для измерения температуры может быть использован полупроводниковый резистивный датчик КТУ81-210.112, обладающий сопротивлением 2 кОм при 25 °С. Чувствительность датчика КТУ81-210.112 составляет  $S_R = 16 \text{ Ом} / 1^\circ\text{С}$ . Допустим, требуется получить разрешающую способность МКД по температуре в 1 °С. Для этого из выражения  $C_O = 10^3 / (f_T \cdot S_R)$  определяют  $C_O$ , при котором будет обеспечена необходимая разрешающая способность, т.е.  $C_O = 10^3 / (10 \text{ МГц} \cdot 0,016 \text{ кОм}) = 6250$  пФ. В данном случае при изменении температуры воздуха на один градус двоичный код МИП будет изменяться на единицу в младшем разряде.

Преобразователь двоичного кода в ШИМ-сигнал реализован на базе встроенного в МК 8-разрядного таймера/счетчика, в котором предусмотрен режим ШИМ по двум каналам **А** и **В**. Используем канал **А** для вывода информационного сигнала о емкости  $C_x$ , канал **В** для вывода информационного сигнала о сопротивлении  $R_x$ . На рис. 2а приведена зависимость напряжения на выходе сглаживающего RC-фильтра по каналу **А** от емкости переменного конденсатора, включенного в качестве емкостного датчика  $C_x$ . Для снятия этой зависимости использован конденсатор переменной емкости с отградуированной шкалой. На рис. 2б приведена зависимость напряжения на выходе сглаживающего RC-фильтра по каналу **В** от сопротивления резистивного датчика  $R_x$  при  $C_o = 7500 \text{ нФ}$ . В качестве резистивного датчика использована цепь последовательно включенных двух переменных многооборотных резисторов и одного постоянного по 1 кОм. Данная цепь позволяет изменять сопротивление от 1 до 3 кОм.

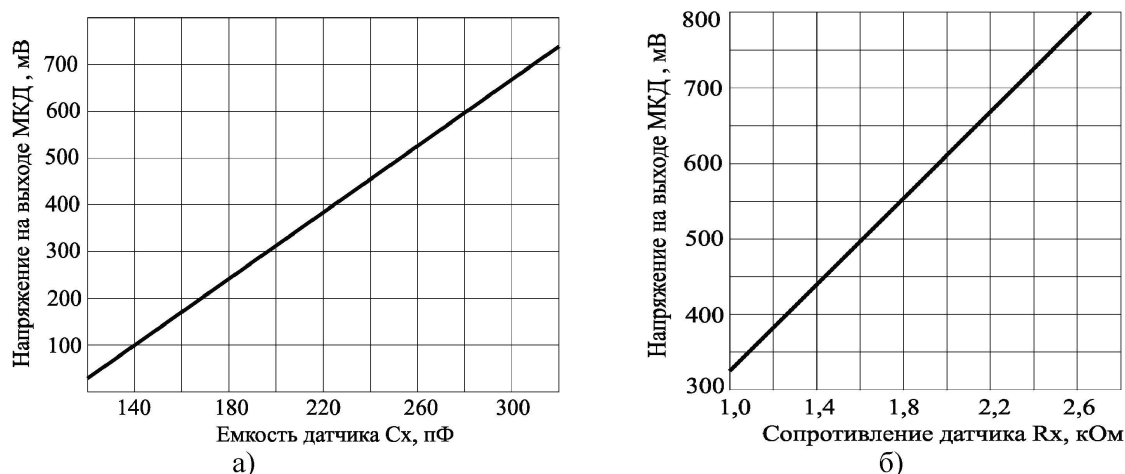


Рис. 2. Зависимости напряжения на выходе МКД

Результаты, приведенные в настоящей статье, могут быть использованы для построения МКД емкости и сопротивления на базе других семейств МК. Выполненные исследования свидетельствуют о возможности применения МКД для измерения влажности и температуры воздуха с помощью емкостных и резистивных датчиков, при этом следует решить задачу коррекции температурной погрешности емкостного датчика влажности воздуха.

#### Библиографический список

1. **Вострухин А. В.** Микроконтроллерное сопряжение емкостных датчиков с приборами АСУ ТП / А. В. Вострухин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 8. – С. 20–22.
2. **Вострухин А. В.** Микроконтроллерный измерительный преобразователь емкости и сопротивления с функцией самодиагностики / А. В. Вострухин, В. С. Ядыкин, М. А. Ерина // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения : мат-лы конф. (18–20 октября 2010 г.). – М. : Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2010.
3. **Вострухин А. В.** Преобразователь емкости в ШИМ-сигнал на микроконтроллере AVR / А. В. Вострухин // Датчики и системы. – 2009. – № 12. – С. 27–29.
4. **Пат. РФ № 2391677.** Микроконтроллерный измерительный преобразователь емкости и сопротивления в двоичный код / Е. Д. Лоскутов, А. В. Вострухин, В. С. Ядыкин и др. – Опубл. 2010, Бюл. № 16.
5. **Сидоренко Б.** Микроконтроллеры компании ATMELE – новые решения / Б. Сидоренко // Электроника: наука, технология бизнес. – 2009. – № 4. – С. 30–36.