

## Методы цифровой обработки сигналов тактильных чувствительных элементов мембранного типа

77-48211/368573

# 05, май 2012

Власов А. И., Стешенко В. Б., Нестеров В. А., Мысловский Э. В.

УДК 621.3

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[vlasov@iu4.bmstu.ru](mailto:vlasov@iu4.bmstu.ru)

### Введение

Тактильные датчики широко применяются в робототехнике, биомедицине, в строительстве и на механических производствах – везде, где необходимо реагировать на физическое прикосновение [1-5]. На рисунке 1 отображен простой тактильный датчик, обеспечивающий функции включения-выключения, состоящий из двух проводящих слоёв и прокладки между ними. Внутри прокладки сделаны круглые (или любой другой необходимой формы) отверстия. Один из проводящих слоёв заземлён, а второй подключен к нагрузочному резистору. Когда к верхнему проводнику прикладывается внешняя сила над отверстием в прокладке, он прогибается и соприкасается с нижним проводником, тем самым, устанавливая с ним электрический контакт, заземляющий нагрузочный резистор. При этом выходной сигнал становится равным нулю, что свидетельствует о приложенной силе.

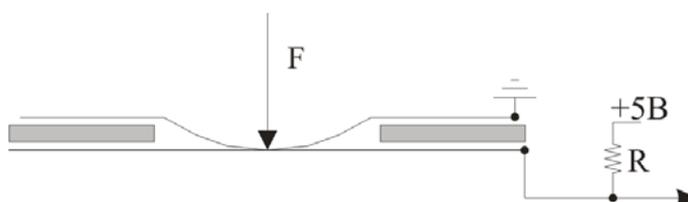


Рисунок 1 – Тактильный чувствительный элемент мембранного типа

В ряде случаев требуется контролировать большое количество чувствительных зон, что ведёт к увеличению числа чувствительных элементов].

Измерение давления при помощи подобных чувствительных элементов так же предусматривает использование матрицы чувствительных элементов [3-5]. Но с увеличением числа ЧЭ растёт и количество информационных выводов датчика, что является проблемой при дальнейшей передаче и обработке информации с датчика. Для решения этой проблемы необходимо преобразовать параллельный код, поступающий с матрицы ЧЭ, в последовательный. При этом, в целях миниатюризации конечного изделия, схема преобразования должна быть изготовлена в едином технологическом цикле с механической частью. Структурная схема преобразователя параллельного кода в последовательный показана на рисунке 2.

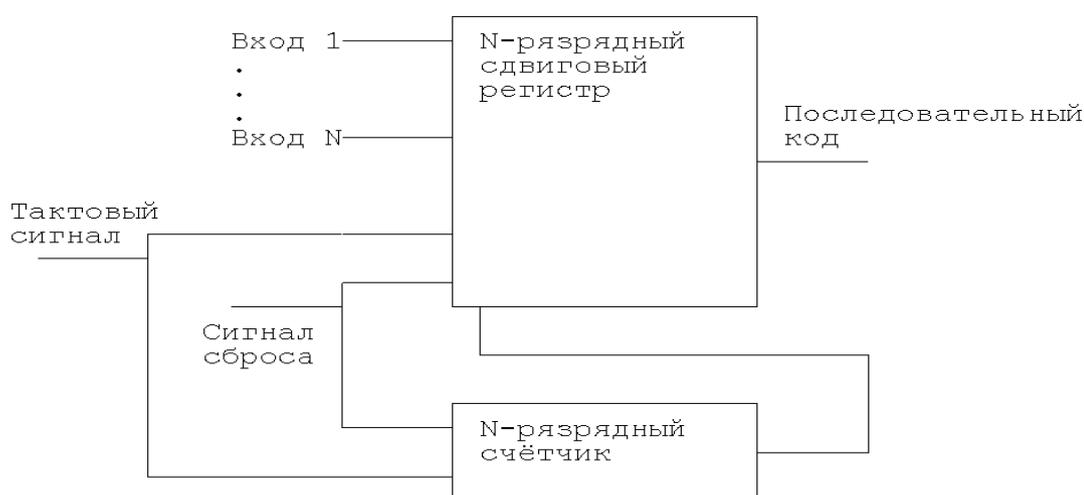


Рисунок 2 – Структурная схема преобразователя параллельного кода в последовательный

Для решения этой задачи удобно применить сдвиговый регистр и счётчик, разрядность которых соответствует количеству обрабатываемых входных сигналов. При этом данные с любого количества чувствительных элементов передаются на датчика при помощи одного проводника в виде последовательного цифрового кода.

### **Принципиальная электрическая схема и её особенности**

Схема реализована для тридцати двух тактильных датчиков и построена на библиотечных элементах на КМОП-структурах [1]. Сдвиговый регистр, показанный на структурной схеме (рис. 2), состоит из D-триггеров, непосредственно обеспечивающих сдвиг информации, и из мультиплексоров, позволяющих схеме работать в двух режимах: на первом такте происходит запись информации с

параллельных входов, а на последующих тридцати двух тактах – преобразование в последовательный код. Для сброса триггеров переключения мультиплексов используется 5-и разрядный счётчик, что максимально увеличивает быстродействие схемы (при тактовой частоте 2 МГц один цикл обработки составляет 80 мкс).

Принципиальная схема всего устройства отображена на рисунке 3.

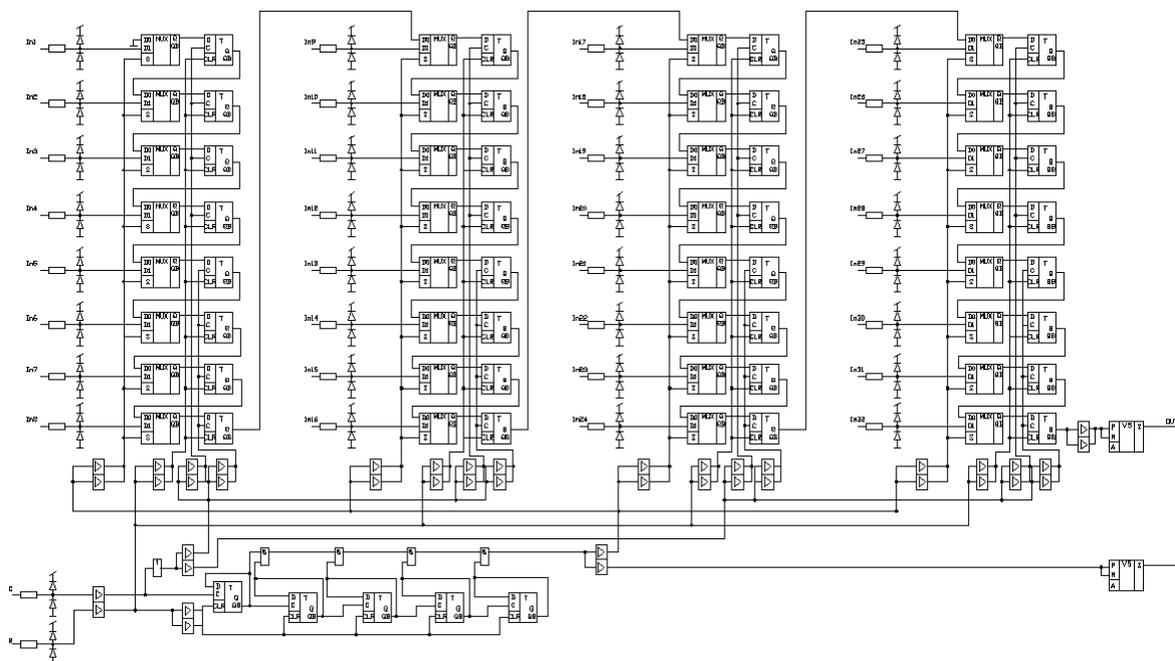


Рисунок 3 – Принципиальная схема устройства цифровой обработки сигналов тактильных датчиков

Большое количество буферов в схеме обусловлено нагрузочной способностью МДП-транзисторов – к буферу может быть подключено до 8 входов логических элементов без изменения функционирования.

### Реализация на СБИС

Для реализации использовался БМК серии 1806 и библиотечные логические элементы на КМОП-структурах с шириной затвора транзисторов 4.5 мкм и длиной затвора 50 мкм, 80 мкм и 200 мкм. Изготовленный кристалл показан на рисунке 4.

Микросхема преобразователя используется как основание для механической части. Т.е. микросхема покрывается слоем диэлектрика, поверх которого формируется матрица чувствительных элементов (рис. 5), которая соединяется со схемой преобразования через контактные окна в слое диэлектрика.

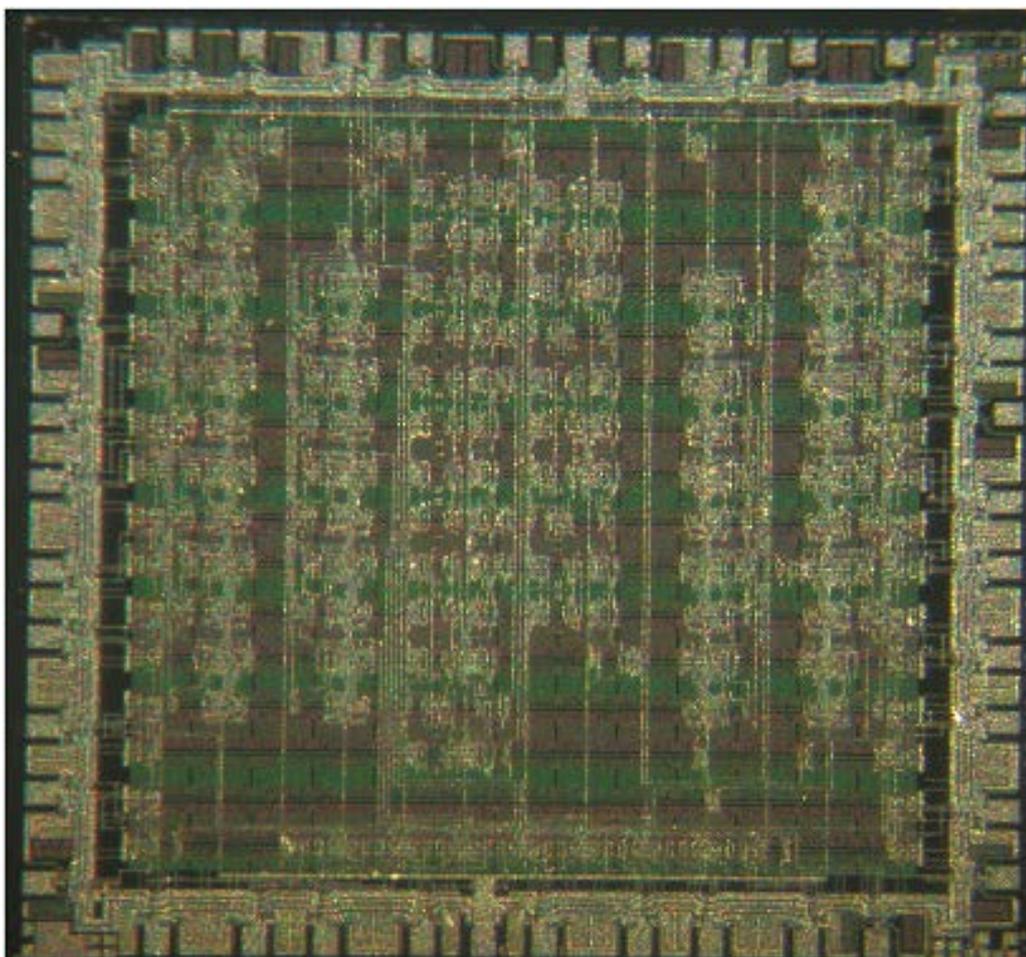


Рисунок 4 – Кристалл микросхемы

Технологический процесс условно разбивается на два этапа: изготовление схемы преобразователя сигналов матрицы ЧЭ и изготовление механической чувствительной части датчика давления. При этом, механическая часть датчика давления изготавливается поверх микросхемы преобразования сигналов и технологический процесс изготовления всего изделия непрерывен.

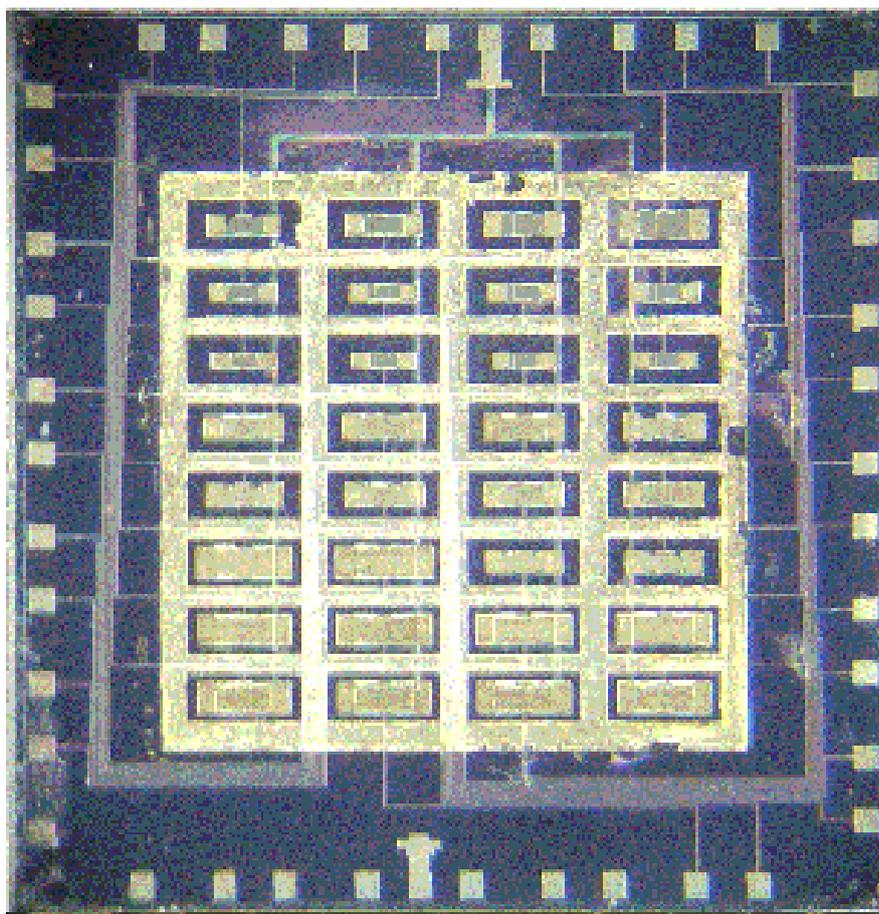


Рисунок 5 – Матрица из 32-х чувствительных элементов мембранного типа

Для повышения быстродействия схемы возможно использовать приоритетный шифратор, кодирующий параллельный код матрицы ЧЭ в двоичное число, которое также преобразуется в последовательный код. При этом, в случае использования 32-х чувствительных элементов, быстродействие схемы возрастает более чем в 5,3 раз. Однако, такая менее универсальная, так как при поступлении сигнала на старший разряд, значения сигналов на всех более младших разрядах игнорируются схемой. Поэтому для опытного образца было решено использовать схему преобразователя параллельного кода в последовательный без приоритетного шифратора, которая позволяет видеть состояние каждого ЧЭ независимо от остальных.

### **Тест микросхемы**

Для проверки работоспособности микросхемы осуществлялась проверка в три цикла преобразования:

1 - на первый вход схемы подается логический уровень «1», на все остальные – логический «0». Таким образом, на выходе микросхемы эта логическая «1» должна появиться на 31 такте (рис. 6.а).

2 - на чётные входы подается логический «0», на нечётные – логическая «1». На выходе должен наблюдаться последовательный код из чередующихся «0» и «1», при этом начинающийся с «0» и заканчивающийся «1» (рис.6.б.).

3 - на чётные входы подается логическую «1», на нечётные – логический «0». На выходе должен наблюдаться последовательный код из чередующихся «0» и «1», при этом начинающийся с «1» и заканчивающийся «0» (рис.6.в.).

Временная диаграмма проверки схемы показана на рисунке 6.

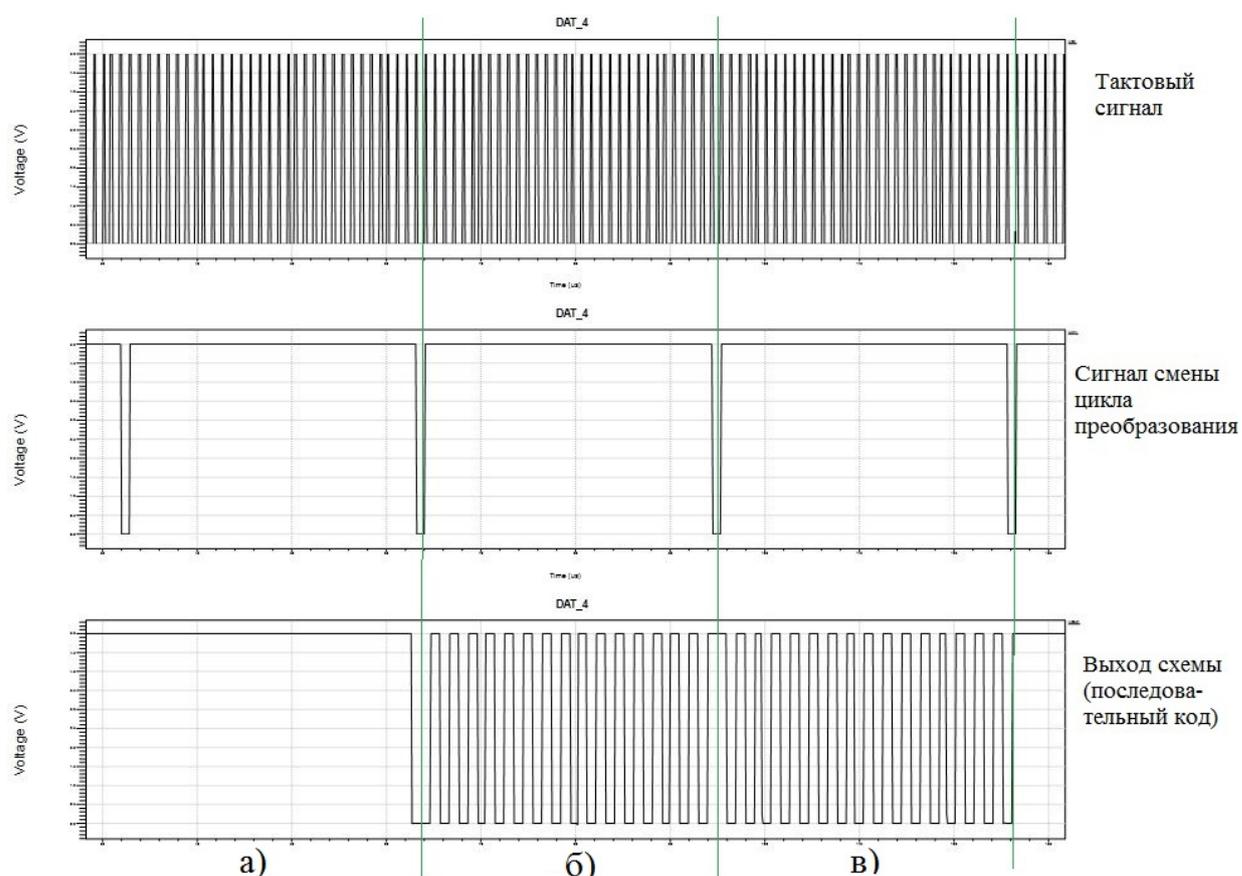


Рисунок 6 - Временная диаграмма работы преобразователя сигналов

Для проверки работоспособности готовой схемы использовалась зондовая станция и стандартное программное обеспечение. Тест для проверки был разработан при помощи языка описания (VHDL) и средств САПР Active-HDL [1, 4, 5], где в соответствии названиям входов и выходов ставились номера контактных площадок, задавались входные сигналы и формировались выходные сигналы 2-го уровня, то есть

с учётом временных задержек всех логических элементов, используемых в схеме. При помощи зондовой станции на кристалл подаются входные воздействия, а снимаемые выходные сигналы сравниваются со сформированными программой – таким образом отбираются годные и негодные кристаллы.

### **Выводы**

Предложенная схема цифровой обработки сигналов тактильных чувствительных элементов мембранного типа позволяет преобразовать входной параллельный код в последовательный, что существенно упрощает дальнейшую передачу и обработку информации. При этом количество тактовых импульсов, за которое происходит один цикл преобразования равно количеству чувствительных элементов (разрядности параллельного кода, поступающего с матрицы ЧЭ).

Реализация схемы на КМОП-структурах в свою очередь позволяет снизить потребляемую мощность, повысить быстродействие, помехоустойчивость и почти полностью использовать напряжение питания.

### **Литература**

1. В.Б. Стешенко EDA. Практика автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств - 2002.
2. Тактильные чувствительные элементы // Датчики и сенсоры - электронный журнал [Электронный ресурс, строка доступа <http://datchikisensor.narod.ru/084.html>, проверено 19.03.2012].
3. А.И. Власов, А.В. Назаров Основы моделирования микро- и наносистем: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 144 с.: ил. (Библиотека "Наноинженерия": в 17 кн. Кн.14).
4. А.И. Власов, Л.А. Зинченко, В.В. Макачук, И.А. Родионов Автоматизированное проектирование наносистем: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 184 с.: ил. (Библиотека "Наноинженерия": в 17 кн. Кн. 13).
5. А.А. Денисов, В.А. Кальнов, В.А. Шахнов Проектирование наносенсоров: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 128 с.: ил. (Библиотека "Наноинженерия": в 17 кн. Кн. 6).

## Methods of digital signal processing of diaphragm type tactile sensors

77-48211/368573

# 05, May 2012

Vlasov A.I., Steshenko V.B., V.A. Nesterov, Myslovskii E.V.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

[vlasov@iu4.bmstu.ru](mailto:vlasov@iu4.bmstu.ru)

Nowadays, tactile sensors are widely used in robotics, biomedicine, construction activities and mechanical industry – everywhere, where it's necessary to respond to physical contact. This article considers methods of digital signal processing of diaphragm type tactile sensors.

---

Publications with keywords: [digital signal processing](#), [diaphragm type element](#), [tactile sensor](#)

Publications with words: [digital signal processing](#), [diaphragm type element](#), [tactile sensor](#)

---

### References

1. Steshenko V.B. EDA. *Praktika avtomatizirovannogo proektirovaniia radioelektronnykh ustroystv* [The practice of computer-aided design of radio-electronic devices]. Nolidzh, 2002. 768 p.
2. Taktil'nye chuvstvitel'nye element [Tactile sensing elements]. *Datchiki i sensory* [Gages and sensors]. Available at: <http://datchikisensor.narod.ru/084.html> , accessed 19.03.2012.
3. Vlasov A.I., Nazarov A.V. *Osnovy modelirovaniia mikro- i nanosistem* [The bases of modelling of micro - and nanosystems]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011. 144 p. (*Biblioteka "Nanoinzheneriia"*: v 17 kn. Kn. 14 [Library "Nanoengineering". Iin 17 books. Book 14]).
4. Vlasov A.I., Zinchenko L.A., Makarchuk V.V., Rodionov I.A. *Avtomatizirovannoe proektirovanie nanosistem* [Computer-aided design of nanosystems]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011. 184 p. (*Biblioteka "Nanoinzheneriia"*: v 17 kn. Kn. 13 [Library Nanoengineering". In 17 books. Book 13]).
5. Denisov A.A., Kal'nov V.A., Shakhnov V.A. *Proektirovanie nanosensorov* [Design of nanosensors]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011. 128 p. (*Biblioteka "Nanoinzheneriia"*: v 17 kn. Kn. 6 [Library "Nanoengineering". In 17 books. Book 6]).