

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

*В 2003 году академику В.М. Глушкову исполнилось бы 80 лет. Выдающийся ученый еще много лет назад предвидел, что компьютеры будущего не только будут иметь интеллект, сравнимый с интеллектом человека, но и смогут общаться с человеком на его языке, обладать органами чувств такими же, как у человека, т.е. обонянием, слухом, зрением и т.д. Органы чувств современных и будущих компьютеров – это сенсоры плюс преобразователи формы информации. Проблеме развития последних посвящена настоящая публикация.*

© В.А. Багацкий, П.С. Клочан,  
В.А. Романов, Л.В. Тесленко,  
2003

УДК 681.3

В.А. БАГАЦКИЙ, П.С. КЛОЧАН, В.А. РОМАНОВ,  
Л.В. ТЕСЛЕНКО

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ФОРМЫ ИНФОРМАЦИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Преобразователи формы информации (ПФИ) или Data Converters – обобщенное название аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей, а также других преобразователей данных, предназначенных для ввода в ЭВМ и первичной обработки информации, представленной в аналоговой форме [1].

Исследования и разработки в области ПФИ начались в Украине по инициативе академика С.А. Лебедева в период создания первой отечественной ЭВМ МЭСМ (1948 - 1951гг.). В 60-х годах в Институте кибернетики под руководством академика В.М. Глушкова на базе УВМ «Днепр» впервые в стране были созданы автоматизированные системы управления производством кальцинированной соды (Славянский содовый завод) и управления бессемеровским конвертором (Днепродзержинский металлургический завод). В этих АСУ использовались разработанные в институте АЦП и ЦАП [2]. Тогда же по инициативе академика В.М. Глушкова в Институте кибернетики была создана лаборатория, а затем и отдел преобразователей формы информации, который возглавил профессор А.И. Кондалев. С этого времени исследования в области ПФИ в Украине приобрели комплексный характер. В 1965 г. профессор А.И. Кондалев опубликовал первую в Украине монографию, посвященную проблеме создания преобразователей формы информации [3]. В течение

последующих 25 лет отдел преобразователей формы информации активно участвовал в выполнении межгосударственных и государственных программ и проектов, а также многочисленных хозяйственных договоров. Теоретические и прикладные результаты этих работ подробно изложены в монографиях и журнальных публикациях сотрудников отдела [4–17].

Среди разработок отдела не только экспериментальные и опытно-конструкторские образцы, но и серийные изделия. Основные из них:

- модули профориентации для ПЭВМ ЕС1840/41/42;
- микропроцессорный комплект гибридных интегральных схем для построения надежных систем управления, контроля и обработки данных;
- модули ввода и вывода непрерывных сигналов ФФ5005 и ФФ5010 в составе технологического контроллера ФК5001;
- модуль АЦП типа Ф5286 в составе ИВК-6, ИВК-20 и ИВК-25.

Кроме того, совместно с НИИ “Вента” были разработаны кремниевые БИС серийных ЦАП К594ПА1, К1118ПА1 и арсенид-галлиевые БИС экспериментальных ЦАП.

В начале 90-х годов после распада СССР микроэлектронная промышленность Украины практически прекратила свое существование. Однако появилась возможность широкого использования микроэлектронной элементной базы лучших мировых производителей. Это привело к необходимости гармонизации международных нормативных документов и созданию на этой основе новых государственных и международных стандартов, учитывающих требования рынка стран ЕС и СНГ к ПФИ [18 - 22].

Совершенствование микроэлектронных технологий привело к созданию нового класса микросхем, получивших название “системы на кристалле” или System-On-Chip. В составе таких микросхем, кроме преобразователей данных, содержатся микроконтроллеры или сигнальные процессоры, постоянная и оперативная память, источники опорных напряжений и токов, таймеры и формирователи ШИМ-сигналов, последовательные и параллельные интерфейсы, дискретные входы/выходы. Эти микросхемы имеют режимы с пониженным потреблением, их напряжение питания может составлять 3.3 В. Выпускаются они в миниатюрных корпусах для поверхностного монтажа. Наиболее перспективными ИМС этого направления являются микроконвертеры фирмы Analog Devices. Параметры некоторых из них приведены в таблице.

Таким образом, современные ПФИ могут быть выполнены в одной ИМС, включать в себя средства цифровой обработки, хранения и передачи данных, имеют экономичные режимы питания. Напряжение питания, как правило, однополярное и может составлять от 2.7 до 5.5 В. Миниатюрный корпус этих ИМС позволяет использовать их в непосредственной близости от датчика или объекта управления. При этом (как следует из таблицы) современные ПФИ отличаются высокой точностью (до 24 двоичных разрядов), быстродействием (частота преобразования более 1 МГц), высокой производительностью обработки данных (десятки MIPS) и помехозащищенностью (коэффициент ослабления синфазного сигнала более 80 дБ).

ТАБЛИЦА. Параметры микроконвертеров фирмы Analog Devices

Тип	Параметры		Память		Производительность, MIPS
	АЦП	ЦАП	программ Flash/EE, кбайт	данных Flash/EE, RAM, байт	
ADuC814	12 бит, 6 каналов, 247 кГц	2×12 бит	8	640, 256	1.3
ADuC816	2×16 бит, 105 Гц	12 бит	8	640, 256	1
ADuC824	2×24 бит, 16 бит, 105 Гц	12 бит	8	640, 256	1
ADuC831 ADuC832	12 бит, 8 каналов, 247 кГц	2×12 бит, 2 ШИМ-выхода	62	4К, 2К+256	1.3
ADuC834	2×24 бит, 16 бит, 105 Гц	12 бит, 2 ШИМ-выхода	62	4К, 2К+256	1
ADuC836	2×16 бит, 105 Гц	12 бит, 2 ШИМ-выхода	62	4К, 2К+256	1
ADuC841 ADuC842	12 бит, 8 каналов, 400 кГц	2×12 бит, 2 ШИМ-выхода	62, 32, 8	4К, 2К, 640 2К+256, 256	25, 16
ADuC843	12 бит, 8 каналов, 400 кГц	2 ШИМ-выхода	32, 8	2К, 640 2К+256, 256	16
ADuC844	2×24 бит, 16 бит, 105 Гц	12 бит, 2 ШИМ-выхода	62, 32, 8	4К, 2К, 640 2К+256, 256	12
ADuC846	2×16 бит, 105 Гц	12 бит, 2 ШИМ-выхода	62, 32, 8	4К, 2К, 640 2К+256, 256	12

Это открывает новые перспективы в области создания портативных компьютеризированных приборов и устройств с батарейным питанием, в частности:

- портативной медицинской аппаратуры;
- портативного тестового и измерительного оборудования;
- распределенных и автономных систем управления климатом;
- портативных средств связи;
- средств автомобильной электроники и т.п.

Кроме того, достижения микроэлектроники в сочетании с достижениями микроэлектромеханики (iMEMs-технологии) открывают новые возможности в области создания устройств, ранее отсутствовавших на рынке информационных технологий. К таким устройствам относятся «электронный нос», «электронный глаз», «электронный язык» [23, 24], бесконтактные измерители температуры, влажности, ускорения и т.п. [25, 26]. Внедрение информационных технологий в медицину и биологию привело к появлению новых неинвазивных приборов для определения количественных показателей крови (неинвазивные гемоглобинометры, глюкометры) [27, 28], качества продуктов питания, питьевой воды, параметров окружающей среды [29]. Подобные исследования успешно развиваются в Институте кибернетики НАН Украины.

На рисунке показана схема одной из таких разработок – идентификатора запахов («электронный нос»), в составе которой полупроводниковые мультисенсоры [30], аналоговый интерфейс, микроконвертер ADuC812 и портативный компьютер.

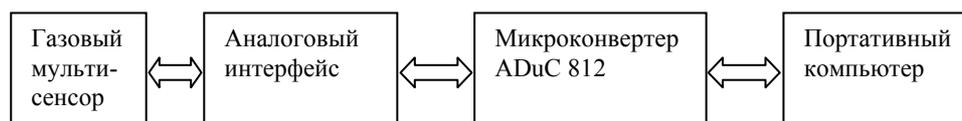


РИСУНОК. Структурная схема идентификатора запахов

Микроконвертер не только определяет концентрацию газов (идентифицирует запахи), но и управляет температурой подложки мультисенсора, изменяя тем самым его чувствительность к тому или иному газу в составе анализируемой смеси. Подобное устройство может работать в автономном режиме без ПК. Основное назначение устройства - анализ состояния окружающей среды в условиях промышленного производства, в горнодобывающей и угольной промышленности, в условиях ведения боевых действий и т.д.

Исходя из назначения и условий эксплуатации, изменились требования, предъявляемые к ПФИ на современном этапе. Если ранее разработчики стремились в первую очередь повысить точность и быстродействие преобразователей, то в настоящее время (в связи с тем, что промышленностью освоены 24-разрядные ПФИ, а быстродействие лучших преобразователей достигает сотен мегагерц) на первый план выдвигаются требования к повышению надежности, снижению энергопотребления, переходу к однополярному низковольтному питанию. Все это должно сопровождаться дальнейшей микроминиатюризацией и снижением стоимости ПФИ. Преобразователи должны иметь встроенный контроль с программнорегулируемой передаточной характеристикой (DigiTrim-технология).

Полученный в Институте кибернетики опыт при создании сверхнадежных ГИС позволил разработать требования к надежности современных средств вычислительной техники (в том числе и к ПФИ), которые, кроме общеизвестных свойств надежности (безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости и долговечности), включают отказоустойчивость и живучесть. Эти требования были нормативно оформлены в виде государственных стандартов [18, 19]. Выполнение данных требований при проектировании ПФИ позволит обеспечить его работоспособность при наличии находящихся в состоянии отказа узлов, причем отказ этих узлов может быть вызван воздействиями, не предусмотренными условиями эксплуатации. Это особенно важно при использовании ПФИ в полевых условиях или условиях, близких к боевым.

Современные ПФИ выпускаются, как правило, в микрокорпусах для поверхностного монтажа, размеры которых не превышают размеры кристалла (chip-scale packages или CSP-корпуса). Размеры печатной платы, на которой расположены устройства в микрокорпусах, приближаются к размерам микросборки. Для надежной работы таких устройств требуется новая технология сборки [31], мощность рассеяния кристаллов должна быть минимальной в связи с высокой плотностью их компоновки на печатной плате, при этом какие-либо регулировки параметров с помощью подстроечных электромеханических резисторов и конденсаторов должны быть сведены к минимуму, так как механические воздействия могут привести к разрушению устройства в целом.

Для решения проблемы диагностики и регулировки параметров с помощью DiGiTrim-технологии в Институте кибернетики разработаны средства встроенного контроля, тестирования и самотестирования, самоконтроля, самодиагностики и локализации неисправностей как в процессе метрологической аттестации, определительных и сертификационных испытаний, так и в процессе эксплуатации ПФИ с целью метрологической проверки, калибровки или корректирования параметров и характеристик [32, 33]. Причем

- *тестирование* или *самотестирование* - автоматизированный функциональный контроль. Осуществляется как для проверки функциональной пригодности устройств ПФИ, так и для комплексной динамической настройки после ремонтно-восстановительных работ или замены отдельных устройств;

- *самоконтроль* - автоматизированный параметрический контроль. Осуществляется в условиях эксплуатации ПФИ для проверки достоверности результатов преобразования в границах межповерочных интервалов;

- *самодиагностика* - автоматизированный контроль по выделенным показателям и при изменении режимов эксплуатации. Осуществляется для прогнозирования метрологической надежности устройств ПФИ и локализации неисправностей в случае их возникновения.

Выводы.

1. Совершенствование ПФИ, улучшение их параметров позволит в недалеком будущем создавать средства вычислительной техники, обладающие способностью воспринимать человеческую речь и зрительные образы, различать запахи и вкусовые свойства продуктов питания, определять в реальном времени параметры окружающей среды и т.п.

2. Основными параметрами ПФИ, к которым будут предъявляться повышенные требования, являются надежность (отказоустойчивость и живучесть), энергопотребление, рассеиваемая мощность и массогабаритные показатели.

3. Повысятся требования к диагностике и регулировке основных параметров, выполнение которых должно осуществляться программным путем без использования электромеханических подстроечных элементов и внешних устройств.

4. При проектировании устройств на базе ПФИ должны быть решены проблемы компоновки и сборки с учетом допустимой рассеиваемой мощности.

5. Выполняемые в Институте кибернетики исследования позволяют комплексно решить сформулированные в предыдущих пунктах проблемы.

1. *Кондалев А.И., Романов В.А., Багацкий В.А., Клочан П.С.* Вклад Украины в развитие системных преобразователей формы информации // Комп'ютери у Європі. Минуле, сучасне та майбутнє. – К.: Фенікс, 1998. – С. 140 – 145.
2. *Сергієнко І.В.* Информатика в Україні: становлення, розвиток, проблеми. – К.: Наук. думка, 1999. – 354 с.
3. *Кондалев А.И.* Преобразователи формы информации. – Киев: Наук. думка, 1965. – 176 с.
4. *Кондалев А.И.* Системные преобразователи формы информации. – Киев: Наук. думка, 1974. – 336 с.
5. *Вопросы проектирования преобразователей формы информации / Под общ. ред. А.И. Кондалева* – Киев: Наук. думка, 1977. – 244 с.
6. *Кондалев А.И., Багацкий В.А., Романов В.А., Фабричев В.А.* Преобразователи формы информации для малых ЭВМ. – Киев: Наук. думка, 1982. – 312 с.
7. *Кондалев А.И., Багацкий В.А., Романов В.А., Фабричев В.А.* Высокопроизводительные преобразователи формы информации. – Киев: Наук. думка, 1987. – 280 с.
8. *Багацкий В.А., Грешищев Ю.М., Самус И.В., Фабричев В.А.* Преобразователи формы информации с обработкой данных. – Киев: Наук. думка, 1992. – 264 с.
9. *Палагин А.В., Романов В.А., Брайко Ю.А., Клочан П.С., Лаврентьев В.Н., Фабричев В.А.* Микропроцессорный комплект гибридных интегральных схем для построения надежных систем управления // Электронное моделирование. – 1993. – №3. – С. 43 – 51.
10. *Багацкий В.А., Самус И.В., Коновальский В.И.* Модули ввода и вывода непрерывных сигналов программируемого контроллера // Вопросы проектирования и практического использования ПФИ в управляющих и вычислительных комплексах. – Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 1990. – С. 12 – 15.
11. *Хачатуров С.Д., Стокай В.П.* Многоканальный преобразователь сигналов от терморпар и термометров сопротивлений // Приборы и системы управления. – 1972. – №8. – С. 40– 43.
12. *Кондалев А.И., Никитин А.Н., Сиверский П.М.* Классификация методов и алгоритмов АЦП электрических напряжений // АЦП и ЦАП. – Киев: Ин-т кибернетики АН УССР, 1969. – №1. – С. 3 – 14.
13. *Кондалев А.И., Овчарук М.Е., Сиверский П.М.* Некоторые особенности построения структур быстродействующих АЦП на туннельных диодах // АЦП и ЦАП. – Киев: Ин-т кибернетики АН УССР, 1969. – №1. – С. 99 – 106.
14. *Справочник по персональным ЭВМ / Н.И. Алишов, Н.В. Нестеренко, В.А. Романов и др.; Под ред. чл.-кор. АН УССР Б.Н. Малиновского.* – К.: Техника, 1990. – 384 с.
15. *Клочан П.С., Реутов В.Б., Романов В.А.* ГИС повышенной надежности и их метрологическое обеспечение. – К.: Об-во «Знание», 1990. – 20 с.
16. *Клочан П.С., Романов В.А.* Набор гибридных микросборок для построения надежных систем управления, контроля и обработки данных. – Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 1991. – 72 с.
17. *Кондалев А.И., Багацкий В.А., Марчук А.А., Красноруцкая Н.Н.* Аналого-цифровой преобразователь Ф5286 // Управляющие системы и машины. – 1983. – №4. – С. 125 – 127.

18. ДСТУ 2504-94. Засоби обчислювальної техніки. Відмовостійкість і живучість. Методи випробувань / В.О. Романов, В.П. Стрельников, П.С. Клочан. – Введ. 01. 07. 95. – 45 с.
19. ДСТУ 2506-94. Засоби обчислювальної техніки. Відмовостійкість і живучість. Загальні технічні вимоги / В.О. Романов, В.П. Стрельников, В.Д. Шпак, П.С. Клочан, Л.С. Стойкова. – Введ. 01. 07. 95. – 6 с.
20. ДСТУ 3486-96. (ГОСТ 30484-97) Засоби обчислювальної техніки. Системи мікропроцесорні таймерні. Загальні технічні вимоги / В. Бардаченко, П. Клочан, Т. Гончарук, Л. Тесленко. – Введ. 30. 12. 96. – 8 с.
21. ДСТУ 3636-98. (ГОСТ 30606-98) Перетворювачі цифрового коду у напругу або струм вимірювальні. Основні параметри. Загальні технічні вимоги. Методи випробувань / П. Клочан, Т. Гончарук, Л. Леженко. – Введ. 14. 05. 99. – 9 с.
22. ДСТУ 3744-98. (ГОСТ 30605-98) Перетворювачі вимірювальні напруги та струму цифрові. Загальні технічні умови / П.С.Клочан, Л.В. Бібік, Т.І. Гончарук, В.Н. Лаврентьев. – Введ. 14. 05. 99. – 11 с.
23. Романов В. Электронный нос: элементная база и принципы построения // Электронные компоненты и системы. – 2002. – №10. – С. 6–9.
24. Романов В. Элементная база для электронного глаза // Электронные компоненты и системы. – 2003. – №4. – С. 3.
25. Романов В. Сенсоры влажности для промышленных применений // Электронные компоненты и системы. – 2003. – №2. – С. 3.
26. Романов В. Бесконтактный измеритель температуры // Электронные компоненты и системы. – 2003. – №5. – С. 3.
27. Романов В. Неинвазивные мониторы приходят на смену инвазивным сенсорам // Электронные компоненты и системы. – 2002. – №8. – С. 15–16.
28. Романов В. Анализ крови с помощью биочипа // Электронные компоненты и системы. – 2002. – №8. – С. 14–15.
29. Романов В. Микроэлектронные биосенсорные системы // Электронные компоненты и системы. – 2003. – №3. – С. 5–6.
30. High Tech Sensoric – made for your success. Каталог фирмы Umwelt Sensor Technik. – Германия, 2002. – 46 с.
31. Грачев А., Малиновский Н. Поверхностный монтаж электронных компонентов // Электронные компоненты и системы. – 2002. – №1. – С. 28–47.
32. Клочан П.С., Тесленко Л.В. Стан та перспективи вдосконалення контролю метрологічних показників АЦП // Нові комп'ютерні засоби, обчислювальні машини та мережі. – К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2001. – Т.1. – С. 8–14.
33. Клочан П.С., Тесленко Л.В., Бедненко Т.В. Особливості розвитку методів тестування комп'ютерних засобів і систем // Засоби комп'ютерної техніки з віртуальними функціями і нові інформаційні технології. – К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2002. – Т.2. – С. 7–14.

Получено 15. 06. 2003