

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КАБИНЕТ ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

ВИННИЦКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.П.Марценюк,

В.И.Моисеев, В.Я.Стейскал

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ

НА ОСНОВЕ ИЗБЫТОЧНЫХ СИСТЕМ СЧИСЛЕНИЯ

Утверждено

советом Учебно-методического кабинета по высшему
образованию при Минвузе УССР в качестве учебного
пособия для студентов специальности

" Вычислительные машины, комплексы, системы и сети "

Киев УМК ВО 1988

Высокопроизводительные преобразователи информации на основе избыточных систем счисления: Учеб. пособие /Сост. А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.П.Марценюк и др.; Под общей ред. д-ра техн.наук А.П.Стахова.- К.: УМК ВО, 1988. - 160 с.

В данном пособии рассматриваются вопросы создания самокорректирующихся аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей (АЦП и ЦАП) на основе избыточных систем счисления. Излагаются пути улучшения метрологических характеристик АЦП и ЦАП. Приводятся параметры высокоточных отечественных и зарубежных преобразователей информации. Анализируются принципы построения высокоточных структур АЦП и ЦАП на основе ИИК и схемотехника аналоговых элементов.

Пособие предназначено для студентов специальностей "Преобразователи информации", "Аналоговые и гибридные вычислительные машины", "Схемотехника ЭВМ", "Прикладная теория цифровых автоматов", а также может быть рекомендовано специалистам в области разработки и применения высокопроизводительных преобразователей информации.

Ил. 58 Табл. 20 Библиогр.: 110 назв.

Рецензенты: М.Э.Грузман, канд.пед.наук
В.И.Сачанюк



Учебно-методический кабинет по
высшему образованию при
Минвузе УССР, 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

Требования к техническим характеристикам аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей (АЦП и ЦАП), особенно в плане точности, быстродействия, температурной и временной стабильности продолжают расти, что вынуждает искать новые пути их совершенствования.

В 70-х и начале 80-х годов в нашей стране вышли в свет содержательные книги в области АЦП и ЦАП по результатам научно-исследовательских работ, выполненных под руководством ведущих отечественных специалистов в области преобразователей информации Э.И.Гитиса, А.И.Кондалева, В.Б.Смолова, Б.И.Швецкого, В.М.Шляндина и др. Однако в этих книгах недостаточно отражены принципы использования избыточности для совершенствования АЦП и ЦАП.

В последнее время внимание разработчиков преобразователей информации в СССР и за рубежом привлекают избыточные системы счисления, основание которых меньше 2. В США, например, выпускаются интегральные АЦП, использующие код с основанием 1,85. Применяя указанные системы в технике аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования, получаем ряд преимуществ по сравнению с классическим двоичным кодом. При построении прецизионных преобразователей информации отпадает, в частности, необходимость лазерной подгонки их входов разрядов, появляется возможность стабилизировать метрологические характеристики указанных устройств.

В работе излагаются принципы построения самокорректирующихся АЦП и ЦАП на основе избыточных измерительных кодов (ИИК), обладающих повышенной метрологической стабильностью. Рассматриваются существующие пути улучшения метрологических характеристик АЦП и ЦАП, а также

преимущества и недостатки известных подходов. Приводятся параметры высокоточных отечественных и зарубежных преобразователей информации. Исследуются свойства избыточных измерительных кодов, в частности, кодов "золотой" пропорции и кодов Фибоначчи применительно к АЦП и ЦАП. Получены расчетные соотношения для построения резистивных делителей тока и напряжения в зависимости от основания A системы счисления выбранного избыточного кода.

Рассматриваются способы определения отклонений, а также реальных значений весов разрядов АЦП и ЦАП на основе ИИК без использования специальных образцовых мер и сигналов. Описываются методы повышения точности преобразователей информации на основе ИИК с помощью специализированных цифровых вычислительных устройств. Приводятся структурные схемы самоверяющихся и самокорректирующихся АЦП и ЦАП на основе ИИК. Показано, что предлагаемый подход позволяет создавать устройства с заранее заданными значениями погрешностей преобразования, построенные на низкоточных аналоговых узлах. Возможность проведения систематической самопроверки таких АЦП и ЦАП позволяет поддерживать метрологические характеристики в широком температурном диапазоне и в течение практически всего жизненного цикла. Излагаются схемотехнические особенности построения высокочувствительных схем сравнения токов (ССТ) на основе преобразователя ток-напряжение. Такие ССТ используются для построения АЦП с высокой разрешающей способностью (до $17 - 18$ двоичных разрядов). Рассматриваются результаты исследований диодных ключевых элементов, применяемых в высокоточных многоразрядных преобразователях информации. Описываются аналоговые узлы и структуры макета высокоточного самокорректирующегося АЦП на основе кода "золотой" пропорции.

Над пособием работал коллектив авторов. Введение написано А.П.Стаховым, гл.1 - В.П.Марценюком, А.П.Стаховым, гл.2 - А.Д.Азаровым, В.И.Моисеевым, гл.3 - А.П.Стаховым, А.Д.Азаровым, В.И.Моисеевым, гл.4 - В.П.Марценюком, В.Я.Стейскалом.

ВВЕДЕНИЕ

При создании систем автоматического управления с применением ЦАП, цифровых систем передачи и обработки сигналов, систем цифровой звукозаписи и воспроизведения сигналов, информационно-измерительных и контрольно-диагностических систем одной из актуальных проблем является разработка высокоточных, быстродействующих и метрологически стабильных АЦП и ЦАП.

Улучшение технических характеристик АЦП и ЦАП осуществляется двумя путями: совершенствованием элементной базы и совершенствованием структур АЦП и ЦАП.

Первое направление, называемое конструктивно-технологическим, предполагает широкое использование новых физических явлений, технологий и достижений микроэлектроники для улучшения параметров АЦП и ЦАП. Однако по мере повышения требований к метрологическим характеристикам АЦП и ЦАП, изготавливаемых на основе гибридной и интегральной технологии, возникают фундаментальные технологические ограничения, обусловленные стабильностью параметров аналоговых узлов. Как отмечается в обзоре "Новое о преобразователях данных", написанном по материалам американских разработок, "...даже самые сложные гибридные разработки не могут показать, по крайней мере пока, точности, действительно соответствующей 12-разрядному аналого-цифровому преобразователю в рабочем диапазоне температур преобразователя в течение всего срока службы" [1, с.23].

В последние годы значительное внимание уделялось структурно-кибернетическому направлению совершенствования АЦП и ЦАП. Значительные успехи в этой области достигнуты в СССР благодаря научно-исследовательским работам, выполненным под руководством ведущих отечественных специалистов по преобразовательной технике: Э.И.Гитиса, А.И.Кондалова, В.Б.Смолова, В.М.Шляндина, Б.И.Швецкого и др.

Одним из эффективных средств структурно-кибернетических способов улучшения технических параметров цифровых информационных систем является использование избыточных кодов. Общий принцип построения

n - разрядного избыточного кода состоит, как известно [2], в разбиении множества всех n - разрядных двоичных слов на два непересекающихся подмножества: разрешенных и запрещенных кодовых комбинаций (КК) и использовании для кодирования лишь разрешенных КК. Однако при создании АЦП и ЦАП классические избыточные коды широкого пространства не получили. Это обусловлено двумя принципиальными особенностями аналого-цифрового и цифроаналогового каналов по сравнению с традиционным цифровым каналом.

1. Цифровой канал характеризуется однородностью представления входной и выходной информации, причем код, поступающий на кодирующее устройство, известен перед началом кодирования и из него по определенным правилам формируется избыточный код. В АЦП и ЦАП формы представления входной и выходной информации принципиально различны. В АЦП исходное сообщение является непрерывной величиной, причем значение этой величины перед началом кодирования неизвестно. Задача АЦП состоит в том, чтобы раскрыть эту неопределенность, т.е. превратить неизвестное значение величины в известный код. Поэтому при первом рассмотрении возникает естественное сомнение в правомерности применения к АЦП идеи избыточного кодирования, так как неясен способ, позволяющий выделять разрешенные и запрещенные КВ в процессе аналого-цифрового преобразования величины, значение которой неизвестно. Еще сомнительнее, на первый взгляд, представляется применение избыточных кодов в ЦАП, ибо в данном случае в непрерывной форме представлена выходная информация.

2. Для цифрового канала безразлично, является поступающая в него кодовая информация изображением числа или кодовым представлением буквенного символа, тогда как принцип действия АЦП и ЦАП полностью определяется способом представления, кодирования числа, т.е. системой счисления, применяемой в этих преобразователях. Отсюда вытекает вывод о тесной связи методов введения в АЦП и ЦАП кодовой избыточности с развитием теории избыточных позиционных систем счисления.

В 1957 г. Дж. Бергманом была предложена позиционная двоичная система счисления [3], основанием которой является иррациональное число $\alpha = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$, известное в математике под названием "золотое сечение" или "золотая пропорция" [4]. Свою систему Бергман назвал системой счисления с иррациональным основанием. С точки зрения практического применения тогда она не привлекла внимания инженеров. Сам же автор по этому поводу пишет так: "Я не знаю ни одного практического применения подобных систем, кроме как умственного упражнения и приятного времяпровождения, хотя эта система может быть пригодна для алгебраической теории чисел" [3, с.119].

В последние годы развитие так называемого алгоритмического направления в теории измерения [5] позволило разработать достаточно широкий класс систем счисления с иррациональными основаниями [6 - 7], включающих систему Бергмана в качестве частного случая. Исследования по синтезу новых (оптимальных) алгоритмов измерения и новых способов позиционной нумерации чисел с самого начала имели прикладной характер и были направлены на решение следующих актуальных задач цифровой техники:

использование естественной избыточности предложенных систем счисления для решения задач "сквозного" контроля ЦВМ [8];

использование особенностей кодового представления информации в предложенных системах счисления для улучшения символической синхронизации, контроля и коррекции ошибок в цифровой магнитной записи и цифровых системах связи [9];

использование многозначности представлений чисел в избыточных системах счисления, получивших название "избыточных измерительных кодов", для улучшения технических характеристик АЦП и ЦАП [10];

В настоящее время сформировалось три основных направления эффективного применения избыточных измерительных кодов в технике АЦП и ЦАП:

создание самоконтролирующихся АЦП и ЦАП, в которых за счет избыточного соотношения между весами разрядов упрощается метрологический контроль аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования, а также повышается надежность; теоретические основы построения таких АЦП и ЦАП изложены в [10]; структуры таких АЦП защищены авторскими свидетельствами и зарубежными патентами [11 - 15];

создание программно-корректируемых АЦП и ЦАП, в которых избыточность кода используется для снижения требований к технологической точности изготовления резистивной сетки ЦАП; впервые идея построения программно-корректируемого АЦП в избыточном измерительном коде с основанием 1,85 реализована в разработке фирмы "Intersil" [16];

создание самокорректирующихся АЦП и ЦАП, в которых избыточность кода используется не только для снижения требований к технологической точности изготовления аналоговых узлов ЦАП, но и для коррекции температурных и временных погрешностей аналоговых узлов; теоретические основы построения таких АЦП изложены в работах [10, 17]; впервые идея построения самокорректирующегося АЦП в избыточном измерительном коде с основанием 1,618 реализована в разработке кафедры вычислительной техники Винницкого политехнического института [18].

Самокорректирующиеся АЦП и ЦАП содержат в своем составе специализированное цифровое вычислительное устройство (ЦВУ), обеспечивающее вычисление значений систематических погрешностей, хранение цифровых эквивалентов погрешностей, определение скорректированных значений выходных кодов, преобразование избыточного измерительного кода в классический двоичный код, управление процессом аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования. По количеству цифрового оборудования такие АЦП и ЦАП являются достаточно сложными. Учитывая современные достижения микропроцессорной техники и перспективы ее развития,

проблему сложности цифрового оборудования нельзя, однако, в настоящее время считать препятствием для практической реализации программно-корректируемых и самокорректирующихся АЦП и ЦАП (о чем свидетельствует, в частности, опыт разработки фирмы "Intersil" и кафедры вычислительной техники ВПИ).

Кроме того, достигаемое в самокорректирующихся АЦП и ЦАП резкое (на один-два порядка) снижение требований к технологической точности изготовления аналоговых узлов и повышение температурной и временной стабильности метрологических характеристик АЦП и ЦАП являются качественными преимуществами таких устройств, способствующими быстрой практической реализации самокорректирующихся преобразователей формы информации (в частности, в микроэлектронном исполнении).

Исследования по созданию самокорректирующихся АЦП и ЦАП в настоящее время активно развиваются. Поэтому представленный в пособии материал отражает только определенный этап в развитии этого направления, основанный на результатах исследований, выполненных на кафедре вычислительной техники ВПИ в период с 1977 по 1983 г.

Список литературы

1. Новое о преобразователях данных // Электроника. - 1980. - № 16. - С.23-38.
2. Харкевич А.А. Борьба с помехами. - М.: Физматгиз, 1963. - 276 с.
3. Bergman G. A number system with an irrational base // *Basell-Mathematics Magazine*. - 1957. - № 31. - P. 98-119.
4. Воробьев Н.Н. Числа Фибоначчи. - М.: Наука, 1978. - 144 с.
5. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерения. - М.: Сов. радио, 1977. - 268 с.
6. Stakhov A. Fibonacci and "golden" Ratio Codes : Fault-tolerant systems and Diagnostic - In : *Gdansk*, 1978. - P. 276-285.
7. Стахов А.П. "Золотая" пропорция в цифровой технике // Автоматика и вычислительная техника. - 1980. - № 1. - С.27-33.
8. Стахов А.П., Лукецкий В.А. Машинная арифметика ЦМ в кодах Фибоначчи и "золотой" пропорции. - М.: Науч. Совет АН СССР по комплексной проблеме "Кибернетика", 1981. - 64 с.
9. Орлович Б.П., Стахов А.П. Анализ самосинхронизирующихся сигналов цифровой магнитной записи на основе кодов Фибоначчи // Техника связи. Сер. общетехническая. - 1980. - Вып.2 (12). - С.15-26.

10. Стахов А.П. Перспективы применения систем счисления с иррациональными основаниями в технике аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования // Измерение, контроль, автоматизация, вып.6, 1981. - С.3-9.

11. А.С.947955. Цифроаналоговый преобразователь / А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.И.Моисеев, Ю.Н.Ужвак. - Оpubл. в ВИ, 1982, № 28.

12. А.С.947956. Аналого-цифровой преобразователь. / А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.А.Лукецкий. - Оpubл. в ВИ 1982, № 28.

13. Пат. 2033631 Англия. Цифроаналоговый преобразователь / А.П.Стахов.

14. Пат. 7900329 - 2446035 Франция. Аналого-цифровой преобразователь / А.П.Стахов.

15. Пат. 8104127 - 2500971 Франция. Аналого-цифровой преобразователь / А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.А.Лукецкий.

16. *Increase analog-system accuracy with a 14-bit monolithic ADC. EDN, August, 18-1982. - P.137-140.*

17. Азаров А.Д. Исследование принципов построения и разработка преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями: Дис... канд.техн.наук. - Винница, 1980. 000 с.

18. Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И., Ужвак Ю.Н., Марценюк В.П. Высокоточный самокорректирующийся аналого-цифровой преобразователь на основе кодов с иррациональными основаниями. - К.: ИК АН УССР, 1982. - 35 с. (Препр. АН УССР; 82.84).

К гл. I

1. Преобразование информации в аналого-цифровых вычислительных устройствах и системах /Под ред. Г.М.Петрова - М.: Машиностроение, 1973. - 360 с.

2. Шляндин В.М. Цифровые измерительные устройства: Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М., Высш. шк., 1981. - 335 с.

3. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. - 4-е изд. - К.: Выда шк., 1980. - 560 с.

4. Кондалев А.И. Производительность - главный фактор системной эффективности ПФИ // Проблемы создания преобразователей информации: Тез. докл. LV Всесоюз. симпозиума. - К.: Наук. думка, 1980. - Ч.2. - С.212.

5. *Marshall W, Brown C. Take a bit of advice use 16-bit converters carejully // Electronics. - V. 45 - N21. - P. 96-97.*
6. Стахов А.П., Азаров А.Д., Марценюк В.П., Моисеев В.И. Параметры и схемотехника высокопроизводительных АЦП // Зарубежная радиоэлектроника. - 1984. - № 2. - С.
7. Спюффорд В.Р. Цифроаналоговые преобразователи в электронных системах // Электроника. - 1970. - № 22. - С.26-34.
8. Осокин Ю.В. и др. Параметры, области применения и перспективы развития полупроводниковых преобразователей // Микроэлектронные и полупроводниковые приборы. - М.: Радио и связь, 1983. - С.272.
9. Карп Х.Р. Цифроаналоговые преобразователи: Методика технико-экономического анализа // Электроника. - 1972. - № 6. - С.34.
10. *Tewksbury S.K. Terminology related to the performance of S/A, A/D and D/A circuits // IEEE Trans on Circuits and Syst. - 1978. - V.25. - N7. - P. 419-426.*
11. Гитис Э.И., Пискулов Е.А. Аналого-цифровые преобразователи. - М.: Энергоиздат, 1981. - 360 с.
12. Бахтиаров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи. - М.: Сов радио, 1980. - 280 с.
13. *Gordon B.M. Linear electronic analog/digital conversion architectures, their origins, parameters, limitations and applications. IEEE Trans. Circuits and Syst. - 1979. - V.25. - N7. - P. 391-418.*
14. Кондалев А.И., Багацкий В.А. Анализ системных параметров зарубежных АЦП и ЦАП // Управляющие системы и машины. - 1976. - № 1. - С.52-60.
15. Бринтон Д. Линейный 14-разрядный интегральный ЦАП // Электроника. - 1980. - № 25. - С.84-85.
16. Каталог фирмы *Analog Devices Inc, Data acquisition products catalog, 1978.*
17. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации /Под ред. В.Б.Смолова. - Л.: Энергия, 1976. - 336 с.
18. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерения. - М.: Сов. радио, 1977. - 268 с.
19. Азаров А.Д. Исследование принципов построения и разработка преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основанилями: Дис... канд.техн.наук. - Харьков, 1980. - 174 с.

20. *Stakhov A.P. Fibonacci and „golden” Ratio Codes Fault-tolerant systems and Diagnostic // FTSP-78, Gdamk. - 1978. - P. 276-285.*

21. Пат. 141233 ГДР. Аналого-цифровой преобразователь по методу сравнения и вычитания / А.П. Стахов. - Оpubл. 16.04.80.

22. Малинин В.В. Схемы микроэлектронных цифроаналоговых преобразователей с суммированием токов // Микроэлектроника, сер.3. - 43 с. (По данным зарубежной печати за 1971-1976 гг. Вып.3 (467)).

23. Галимова Р.Г. Вопросы построения высокоточных и быстродействующих цифроаналоговых преобразователей и компараторов // Зарубежная радиотехника. - 1976. - № 6. - С.90-101.

24. Бринтон Д.Б. 16-разрядный гибридный ЦАП // Электроника. - 1976. - № 9. - С.96-97.

25. ЦАП со временем преобразования 10 мкс и погрешностью 0,003% // Электроника. - 1979. - № 18. - С.76-79.

26. Берисфорд Р. Компоненты // Электроника. - 1981. - С.49-53.

27. *Houn A.I Trends in data acquisition // Instrum and Contr. Syst. - 1981. - V.54. - N4. - P. 69-73.*

28. Маршал В., Браун С. Построение 16-разрядного цифроаналогового преобразователя средствами интегральной технологии // Электроника. - 1972. - № 20. - С.64-70.

29. 16-разрядный ЦАП сопрягающийся с микропроцессором // Электроника. - 1980. - № 7. - С.101-102.

30. Ямный В.Е. Аналого-цифровые преобразователи напряжения в широком динамическом диапазоне. - Минск: БГУ. - 1980. - 192 с.

31. *Zander D.R. An ultralinear 16-bit digital-to-analog current converter // Rev. Sei Instrum. - 1971. - V.42. - N6-p. 797-800.*

32. *Schoenwetter H.H. A high-speed low-noise 18-bit digital-to-analog converter // IEEE Trans. Instrum and Means. - 1978. - V.27. - N4. - P.413-417.*

33. *16-bit d/a converters // Electronic Disgn. - 1974. - N2. - P.118-119.*

34. Пат. 140187 ГДР. Цифроаналоговый преобразователь / А.П. Стахов. Оpubл. 13.02.80.

35. Прейзак П. Разработчику о дрейфе преобразователей данных // Электроника. - 1977. - № 23. - С.48-53.

36. Берни У. Автоматическая система контроля аналого-цифровых преобразователей // Электроника. - 1981. - № 19. - С.57-63.

37. 16-разрядный модуль для системы сбора данных // Электроника, - 1979. - № 2. - С.101, 102.
38. 16 разрядов за 6 мкс // Электроника. - 1980. - № 6. - С.115.
39. Мохофф Н. Быстродействующий 16-разрядный АЦП // Электроника. - 1979. - № 10. - С.88-89.
40. *Dhr S. Converters attain 16-bit resolution 1/4 - LCB accuracy // Electron Des. - 1981. - V.29. - N4. - P.88-92.*
41. Ллойд. Быстродействующая 17-разрядная система измерения напряжения // Электроника. - 1979. - № 4. - С.9-10.
42. Филдс. Быстродействующий аналого-цифровой преобразователь // Электроника. - 1972. - № 25. - С.62,63.
43. Сатуччи Д. Системы сбора данных // Электроника. - 1975. - № 24. - С.51-59.
44. Бьянкомало В., Ален Р. Компоненты // Электроника. - 1979. - № 22. - С.74-77.
45. Аналого-цифровые преобразователи с накоплением результата // Контрольно-измерительная техника. - 1979. - № 39. - С.21-30.
46. Кенан, Ридхолм. Аналого-цифровое преобразование с оперативной коррекцией погрешностей // Электроника. - 1979. - № 18. - С. 24-31.
47. Празак П., Мрозовски А. Цифровая коррекция погрешностей в системах сбора данных // Электроника. - 1979. - № 24. - С.47-54.
48. *Zlya Boyacigiller, Steve Sockolov. Increase analog system accuracy with a 14-bit monolithic//ADC EDN. - 1982. - P. 137-144.*
49. Уильямс Д. Линейный 20-разрядный интегрирующий АЦП // Электроника. - 1980. - № 24. - С.55-62.
50. Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И., Ужвак Д.Н., Марценюк В.П. Высокоточный самокорректирующийся аналого-цифровой преобразователь на основе кодов с иррациональными основаниями. - К: ИК АН УССР, 1982. - 35 с.
51. Разработка высокоточных самокорректирующихся приборов; Отчет по НИР (заключительный)/Винницкий политехнический институт (ВПИ); А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.П.Мартынюк и др. - Инв. № Б996511. - М., 1982. - 132 с.
52. Марценюк В.П., Азаров А.Д. Некоторые свойства модифицированных позиционных кодов и особенности их использования в технике АЦ и ЦА преобразований // Автоматизация измерений. - Рязань: РРТИ, 1982. - С.46-52.

1. *Kautz W.H. Fibonacci Codes for Synchronization Control - IEEE Trans Inform Theory - 1965. - V. 11 - N8. - P. 284-292.*

2. Стахов А.П. Алгоритмическая теория измерения. - М.: Знание, 1979. - № 6. - 64 с.

3. Кодирование информации (двоичные коды) /Н.Т.Березюк, А.Г.Андрущенко, С.С.Мощицкий и др. - Харьков, Выща шк., 1978. - 252 с.

4. Электронные цифровые вычислительные машины /К.П.Самофалов, В.И.Корнейчук, В.П.Тарасенко. - К.: Выща шк., 1976. - 460 с.

5. Гитис И.Э. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. - М.: Энергия, 1975. - 448 с.

6. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации /Под ред. Смолова В.Б. - Л.: Энергия, 1976. - 312 с.

7. Бергельсон Н.М., Клебанский Р.Б. Методы контроля преобразователей напряжения в код и кода в напряжение с помощью корректирующих кодов // Автоматика и вычислительная техника. - 1969. - № I. - С.73-78.

8. Гельман М.М. Схемотехника микроАЦД системного применения // Электронная промышленность. - 1960. - Вып. 7(91). - С.18-23.

9. Стахов А.П. Цифровая метрология в кодах Фибоначчи и кодах "золотой" пропорции // Современные проблемы метрологии. - М.: ВЗМИ, 19. - С.51-65.

10. Стахов А.П. Перспективы применения систем счисления с иррациональными основаниями в технике аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования // Измерения, контроль, автоматизация. - 1961. - № 6 (40). - С.3-9.

11. Стахов А.П. Использование естественной избыточности "фибоначчиевых" систем счисления для контроля вычислительных систем // Автоматика и вычислительная техника. - 1975. - № 6. - С.80-87.

12. Карцев М.А., Брик В.А. Вычислительные системы и синхронная арифметика. - М.: Радио и связь, 1981. - 359 с.

13. Стахов А.П. "Золотая" пропорция в цифровой технике // Автоматика и вычислительная техника. - 1980. - № I. - С.27-33.

14. Азаров А.Д. Исследования принципов построения и разработка преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями: Дис... канд.техн.наук. - Харьков, 1980. - 174 с.

15. Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И., Ужвак Ю.Н., Марценюк В.П. Высокоточный, самокорректирующийся аналого-цифровой преобразователь на основе кодов с иррациональными основаниями. - К.: ИК АН УССР, 1982. - 35 с. (Препр.АН УССР, Ин-т кибернетики, 82-84).

16. Карцев А.А. Арифметика цифровых машин. - М.: Наука, 1969. - 576 с.

17. Шило В.Д. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. - 2-е изд. испр. и доп./Под ред. Е.И.Гальперина. - М.: Сов. радио, 1979. - 368 с.

18. Гребен А.В. Проектирование аналоговых интегральных схем / Пер. с англ. - М.: Энергия, 1976. - 39 с.

К гл.3

I. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации /Под ред. В.В.Смолова. - Л.: Энергия, 1976. - 312 с.

2. Машинная арифметика ЦВМ в кодах Фибоначчи и "золотой" пропорции / А.П.Стахов, В.А.Луцкий. - М.: АН УССР, 1981. - 64 с.

3. А.с. 768372 СССР. Аналого-цифровой преобразователь /А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.И.Моисеев. - Оpubл. в БИ. - 1980. - № 47.

4. А.с. 783979 СССР. Аналого-цифровой преобразователь /А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.И.Моисеев. - Оpubл. в БИ. - 1980. - № 44.

5. А.с. 911720 СССР. Аналого-цифровой преобразователь /А.П.Стахов, А.Д.Азаров, Ю.А.Петросюк, В.П.Волков. - Оpubл. в БИ. - 1982. - № 5.

6. А.с. 928632 СССР. Аналого-цифровой преобразователь /А.П.Стахов, А.Д.Азаров, Ю.А.Петросюк, В.П.Волков. - Оpubл. в БИ. - 1982. - № 18.

7. А.с. 947956 СССР. Аналого-цифровой преобразователь /А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.А.Луцкий. - Оpubл. в БИ. - 1982. - № 28.

8. А.с. 864548 СССР. Цифроаналоговый преобразователь /А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.И.Моисеев, Ю.А.Петросюк. - Оpubл. в БИ. - 1981. - № 34.

9. Сторожук Ю.А. Логическая защита информации в БВМ канале цифровой магнитной записи // Техника средств связи. - 1980. - Вып. 2(12). - С.1-3.

10. Азаров А.Д. Исследование принципов построения и разработка преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями: Дис... канд.техн.наук. - Харьков, 1980, - 174 с.

II. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерения - М.: Сов.радио, 1977. - 288 с.

1. Вопросы проектирования преобразователей формы информации /А.И.Кондалев, А.Н.Никитин, В.А.Багацкий и др. - К., Наук.думка, 1977. - 242 с.
2. Брагин А.А. и др. Построение аналого-цифровых преобразователей на токовых элементах. - Тез. докл. Всесоюз. НТ конференции ИИС-75. - Т. II. - С.104.
3. Балакай В.Г., Крюк И.П., Лукьянов Л.М. Интегральные схемы АЦП и ЦАП. - М.: Энергия, 1978. - 256 с.
4. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи /Под ред. В.В.Смолова. - Л.: Энергия, 1976. - 336 с.
5. Шидо В.Л. Линейные интегральные схемы. - М.: Сов. радио, 1979. - 368 с.
6. Диденко В.И. Компараторы напряжения // Измерение, контроль, автоматизация. - 1977. - № 2 (10). - С.11-16.
7. Проектирование и применение операционных усилителей /Под ред. Дж. Грема. - М.: Мир, 1974. - 512 с.
8. Фролкин В.Г., Попов Л.Н. Импульсные устройства. - М.: Сов. радио, 1980. - 368 с.
9. Проектирование и применение операционных усилителей /Под ред. И.Н.Тепляка. - М.: Мир, 1974.
10. Бахтиаров Г.Д., Мамро В.М. Аналоговые компараторы напряжения // Зарубежная электроника. - 1976. - № 3. - С.28-61.
11. Осипов В.Н. и др. Преобразователь мгновенных значений в цифровой код повышенной точности // Контрольно-измерительная техника. - 1977. - № 22. - С.41-48.
12. *Electronic Design. - 1975. - № 8. - С. 66-70*
13. Червонный С.И., Калашников В.И. Нуль-орган с применением туннельного диода для аналого-цифровых устройств // Аналоговая аналого-цифровая вычислительная техника. - 1968. - Вып.2. - С.252-257.
14. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. - Л.: Энергия, 1980. - 248 с.
15. Гребен А.В. Проектирование аналоговых интегральных схем. - М.: Энергия, 1976. - 256 с.
16. Патент 4114149 США, кл. НКМ 340/347 Ад (НОЗК I3/03). Токовый компаратор для АЦП. - Оpubл. 12.08.78.
17. Электроника. - 1972. - № 3. - С.53.
18. Прейзак П. Разработчику о дрейфе преобразователей данных // Электроника. - 1977. - № 23. - С.48.

19. Марценюк В.П. Быстродействующий аналого-цифровой преобразователь поразрядного уравнивания на интегральных микросхемах // Электрические устройства и аппаратура электрогидроимпульсных установок: Сб. науч. тр. - К.: Наук. думка, 1981. - С.67-72.

20. Бонцарович Г.Г. и др. АЦП поразрядного уравнивания на БИС, - ПТЭ, - 1977. - № 3. - С.76-77.

21. Марценюк В.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И. Анализ схем сравнения токов на основе ПГНОУ // Гибридные вычислительные машины и комплексы. - К.: Наук. думка. - Вып.6. - 1983.

22. Моисеев В.И., Азаров А.Д., Марценюк В.П. Принципы построения и особенности реализации прецизионных АЦП на основе избыточных кодов для систем автоматизированного контроля интегральных схем // Измерение и контроль при автоматизации производственных процессов: Тез.докл. - Барнаул, 1982. - С.114-115.

23. Марценюк В.П. Особенности построения аналоговых узлов самокорректирующихся АЦП и ЦАП в избыточных измерительных кодах // Преобразование, передача и обработка информации в высокопроизводительных микропроцессорных системах, - К.: ИК АН УССР, 1983. - С.13-19.

24. Гришанов А.А., Кондрюкова Е.М., Редькин Б.Э. Интегрирующие цифровые вольтметры. - М.: Энергоиздат, 1981. - 120 с.

25. Высокоточный самокорректирующийся аналого-цифровой преобразователь на основе кодов с иррациональными основаниями /А.П.Стахов, А.Д.Азаров, В.И.Моисеев и др. К.: ИК АН УССР, 1982. - 35 с. Препр. 82.24 /АН УССР. Ин-т Кибернетики/.

26. Устранение нелинейных искажений ОУ при помощи усилителя мощности // Электроника. - 1971. - № 7. - С.54.

27. Стахов А.П. Перспективы применения систем счисления с иррациональными основаниями в технике аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования // Измерение, контроль, автоматизация. - 1981. - № 6 (40). - С.3-9.

28. МИ 118-77. Методика поверки цифровых вольтметров, аналого-цифровых преобразователей напряжения и комбинированных цифровых приборов постоянного и переменного тока. - М.: Изд-во стандартов, 1978.

29. РД 50-206-50. Методические указания. Нормирование и определение метрологических характеристик измерительных преобразователей тока в постоянное напряжение и ток. - М.: Изд-во стандартов, 1981. - 32 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
1. Общие сведения о высокопроизводительных преобразователях информации	8
2. Избыточные измерительные коды	41
3. Уменьшение инструментальных погрешностей преобразователей информации на основе избыточных измерительных кодов	77
4. Схемотехнические исследования самокорректирующихся АЦП и ЦАП на основе избыточных измерительных кодов	124
Список литературы	171

Учебное издание

Стахов Алексей Петрович
Азаров Алексей Дмитриевич
Мярценюк Валерий Пантелеймонович
Моисеев Вячеслав Иванович
Стейскал Виктор Ярославович

Высокопроизводительные преобразователи информации на основе
избыточных систем счисления

Учебное пособие

Под общей редакцией доктора технических наук А.П.Стахова

Редактор О.П.Бондаренко
Корректоры: П.И.Гольд, Н.И.Дзема,
М.Б.Бусыгина, А.Ф.Островершенко

Св. план 1980, поз. 77

Подп. к печ. 03.12.81 БЮ 03196 Формат 60x84¹/₁₆. Бумага
тип. № 3 . Печать офсетная. Усл. печ. л. 1046 . Усл. кр.-итт. 1057.
Уч.-изд. л. 11,49 . Изд. № 2881 . Тираж 1000
Заказ № 6851 . Цена 40 коп.

УМК ВО при Минвузе УССР
252136, г. Киев-136, проспект Победы, 10

ГП ЦПО «Украинполиграф»
252151, г. Киев, ул. Вольнская, 60.