

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P10-85-205

А.Н.Парфенов, А.В.Пиляр

16-РАЗРЯДНЫЙ
ЦИФРОАНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Направлено в ПТЭ

1985

В настоящее время широкое применение для управления регулируемыми параметрами в измерительных и управляющих системах находят цифроаналоговые преобразователи (ЦАП). В ускорительной технике их используют для задания формы ^{1,2/}кривой токов и напряжений в источниках питания в цикле ускорения.

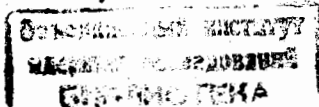
По принципу получения аналогового сигнала различают ЦАП с прямым преобразованием цифрового кода в аналоговую величину и косвенным, при котором код преобразуется в промежуточный сигнал с последующим преобразованием в аналоговую величину. Первые из них, например, построенные на матрицах резисторов $R-2R^{3/}$, более быстродействующие, но требуют специальной подгонки резисторов; вторые, например, ЦАП, построенные на принципе широтно-импульсного преобразования ^{3/}, имеют малое быстродействие, но более просты в изготовлении.

В данной работе описывается 16-разрядный цифроаналоговый преобразователь, разработанный для автоматизированной системы управления токами магнитов модельного сверхпроводящего синхротрона ^{4/}. Требуемый динамический диапазон выходного сигнала преобразователя составляет -10^5 при точности -10^{-4} и времени преобразования не более 50 мкс.

Поскольку промышленных 16-разрядных микросхем цифроаналоговых преобразователей нет, то наиболее простым способом построения преобразователя с динамическим диапазоном -10^5 (2^{16}) является использование принципа широтно-импульсного преобразования, однако требование на быстродействие -50 мкс не позволяет применить этот способ. Построение преобразователя с использованием резисторной матрицы $R-2R$ также представляется неприемлемым из-за необходимости трудоемкой индивидуальной настройки. С учетом того, что требование к точности преобразователя ниже, чем требование к его динамическому диапазону, и составляет -10^{-4} , был выбран компромиссный вариант последовательного соединения двух 12-разрядных преобразователей. При этом динамический диапазон выходных сигналов определяется произведением динамических диапазонов каждого преобразователя, а точность — суммой их точностей.

В преобразователе применено устройство подавления "выбросов" напряжения, которое позволяет устранить на выходе ложные скачки напряжения, возникающие в моменты изменения кодов.

Для облегчения применения модуля в измерительных и следящих системах в нем имеется устройство сравнения сигнала, выработанного цифроаналоговым преобразователем, с внешним сигналом.



Построенный преобразователь выполнен в виде выносного модуля, что выгодно отличает его от известных преобразователей, выполненных в виде блоков КАМАК^{5,6/}, поскольку это позволяет максимально приблизить его к объекту управления. Благодаря этому могут быть значительно снижены наводки на выходной сигнал.

Структурная схема модуля приведена на рис. 1. Входные управляющие сигналы, пройдя приемники сигналов с линий, записываются во входных регистрах двух цифроаналоговых преобразователей.

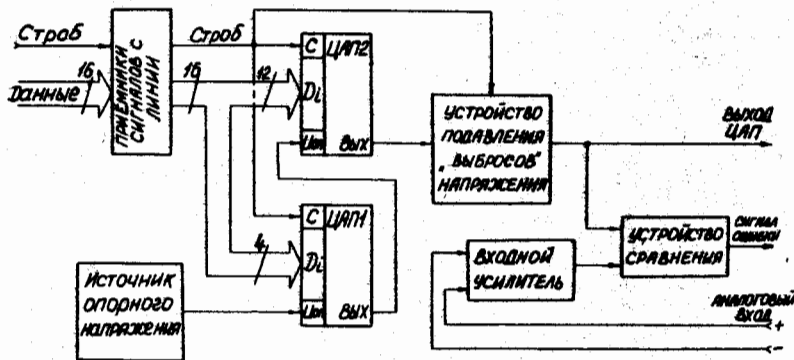


Рис. 1. Структурная схема цифроаналогового преобразователя.

Первым, 4-разрядным преобразователем ЦАП1 задается опорное напряжение для второго, 12-разрядного умножающего преобразователя ЦАП2. Таким образом, первым преобразователем задается диапазон выходных напряжений — 16 градаций от -10 до +10В, а вторым преобразователем вырабатывается выходное напряжение — 4096 градаций в диапазоне, заданном первым преобразователем.

С выхода второго преобразователя через устройство подавления "выбросов" напряжения сигнал поступает на выход модуля, а также на схему сравнения с внешним сигналом, например, сигналом с измерительного шунта или другого устройства.

Усиленный сигнал ошибки, определяемой разностью напряжений внешнего сигнала и сигнала с цифроаналогового преобразователя, также поступает на выход модуля.

Упрощенная принципиальная схема преобразователя приведена на рис. 2.

В качестве преобразователя ЦАП1, задающего диапазон выходных напряжений, использована интегральная схема 12-разрядного цифроаналогового преобразователя К 594ПА1^{7/} с операционным усилителем К 140УД7 на выходе. При этом на младшие разряды с 1-го по 7-й постоянно подан логический "0", на 8-й разряд постоянно подана логическая "1". Диапазон выходных напряжений задается состоянием

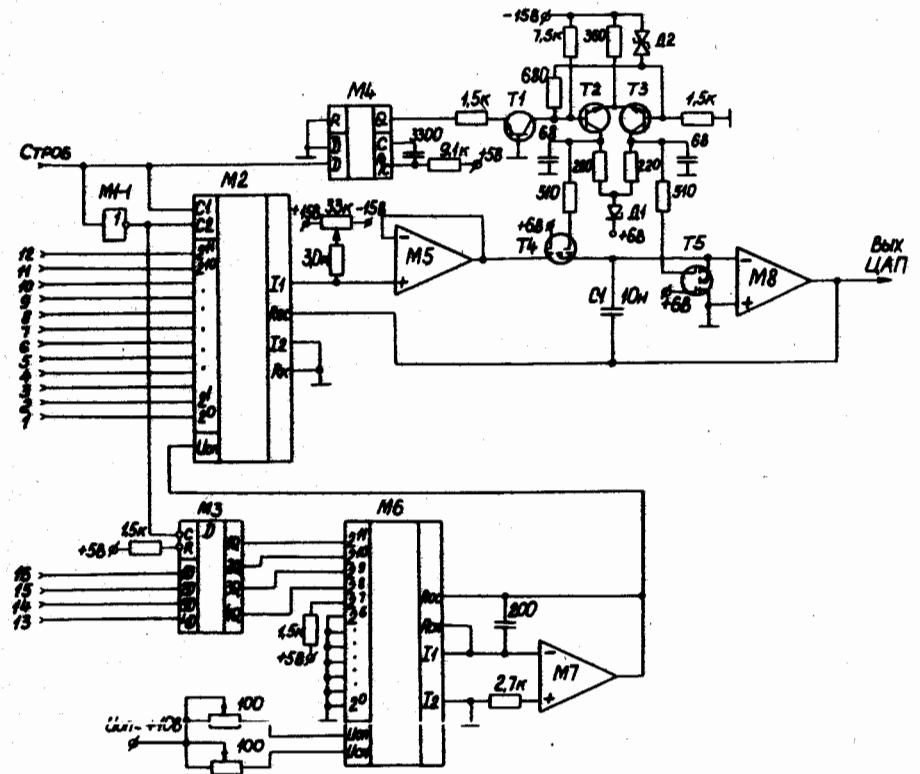


Рис. 2. Упрощенная принципиальная схема цифроаналогового преобразователя. Микросхемы М1 — К155ЛН1; М2 — К572ПА2А; М3 — К155ТМ8; М4 — К155АГ1; М5, М7, М8 — К140УД7; М6 — К594ПА1. Транзисторы Т1 — КТ326БМ; Т2, Т3 — КТ316БМ; Т4, Т5 — КП306Б. Диоды Д1 — КС139; Д2 — КС175А.

четырёх старших разрядов, которые подключены к входному регистру М3 (К 155ТМ8).

На схеме не показан стабильный источник опорного напряжения для ЦАП1, построенный на микросхеме регулятора напряжения μ А723 и операционном усилителе КМ551 УД1А. Использование стабильных резисторов типа С2-29 и задание рабочей точки стабилитрона, соответствующей его минимальному температурному дрейфу, позволили получить относительный температурный дрейф источника опорного напряжения $\Delta U_{оп} / U_{оп} \cdot \Delta T$ не хуже $1 \cdot 10^{-7} 1/^\circ\text{C}$.

При построении цифроаналоговых преобразователей важным моментом является правильный выбор операционного усилителя. Как известно, относительное изменение выходного сигнала, обусловленное температурным дрейфом входного тока используемого операционного усилителя, определяется по формуле^{8/}

$$\frac{\Delta U_I}{U \cdot \Delta T} = \frac{\Delta I_{вх} \cdot R_{ос}}{\Delta T \cdot U} \quad (1)$$

Относительное изменение выходного сигнала, обусловленное температурным дрейфом напряжения смещения операционного усилителя при двухполярном включении преобразователя, определяется формулой ^{8/}

$$\frac{\Delta U_{ц}}{U \cdot \Delta T} = \frac{\Delta U_{см} \cdot \left(1 + \frac{R_{ос}}{4 \text{ КОМ}}\right)}{\Delta T \cdot U} \quad (2)$$

Из (1) и (2) легко видеть, что для обеспечения точности $\sim 10^{-4}$, соответствующей 12-разрядному преобразователю, вполне приемлем операционный усилитель общего назначения К140УД7. У этого усилителя

$$\frac{\Delta I_{вх}}{\Delta T} \approx 0,4 \text{ нА/}^\circ\text{С} \quad , \quad \frac{\Delta U_{см}}{\Delta T} \approx 6 \text{ мкВ/}^\circ\text{С} \quad .$$

При этом относительное изменение выходного сигнала, обусловленное дрейфом входного тока, составляет $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{С}$, а изменение, обусловленное дрейфом напряжения смещения — $1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{С}$. Таким образом, видно, что в рабочем диапазоне температур погрешность, обусловленная выбранным операционным усилителем, существенно ниже погрешности, обусловленной самой микросхемой цифроаналогового преобразователя.

В целом температурный дрейф цифроаналогового преобразователя ЦАП составил $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{С}$.

В качестве второго цифроаналогового преобразователя умножающего типа в модуле использована интегральная микросхема К 572ПА2 ^{9/} с операционным усилителем К140УД7 на выходе.

Известно, что при изменении кодов цифроаналогового преобразователя на его выходе могут появляться "выбросы" напряжения, обусловленные неодновременным переключением ключей в разных разрядах. Так, для микросхемы К572ПА2 при переходе от кода 0111...1 к коду 100...0 этот выброс составил 2 В. Для борьбы с такого рода помехой выход 2-го цифроаналогового преобразователя через операционный усилитель М5 подключен к устройству выборки и хранения, выполненному по традиционной схеме на МОП-транзисторных ключах Т₄ и Т₅ и запоминающей емкости С₁. В нормальном состоянии сигнал с выхода ЦАП2 проходит на выход модуля. При переключении разрядов ЦАП транзистор Т₄ запирается, а Т₅ открывается, и на выходе в течение времени, задаваемого одновибратором М₄, сохраняется напряжение, соответствующее предыдущему коду. После окончания переходных процессов во 2-м цифроаналоговом преобразователе примерно через 20 мкс схема возвращается в исходное

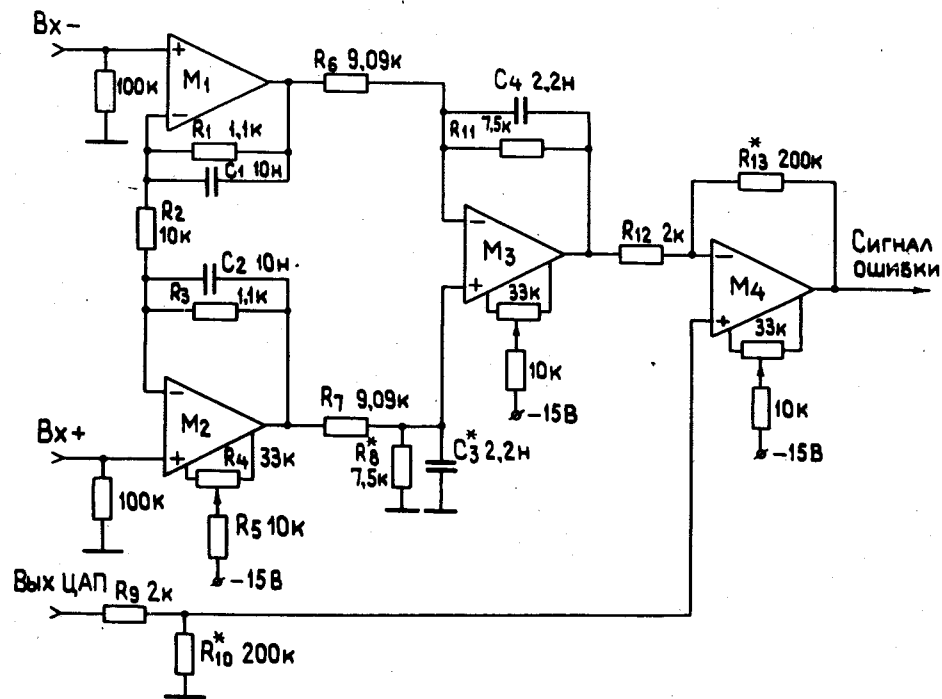


Рис. 3. Принципиальная схема устройства сравнения. Микросхемы М₁ ÷ М₄ — К140УД7.

состояние и на выход проходит сигнал, соответствующий новому коду. Для уменьшения на выходе схемы помехи, вызванной управляющими сигналами, в устройстве хранения и выборки применены МОП тетроды КП306Б, имеющие малую ($\sim 0,07 \text{ пФ}$) проходную емкость С_{зс}.

Схема сравнения сигнала с цифроаналогового преобразователя с внешним сигналом приведена на рис. 3. Она представляет собой традиционный инструментальный усилитель, построенный на трех операционных усилителях М₁ ÷ М₃ и служащий для подавления синфазной помехи.

Сигнал с выхода инструментального усилителя подается на инвертирующий вход дифференциального усилителя. На неинвертирующий вход этого усилителя поступает сигнал, вырабатываемый цифроаналоговым преобразователем. Сигнал ошибки, равный разности сигналов с ЦАП и внешнего, усиленный в 100 раз, поступает на выход устройства.

Краткие характеристики

Входы данных	16 разрядов с записью по сигналу строб. 4 разряда задают диапазон выходных сигналов, 1 разрядов — значение сигнал в выбранном диапазоне.
Уровни	"0" — +3 В "1" — 0 В
Импеданс	130 Ом, (резисторы, присоединенные к шине +3 В)
Минимальная длительность	200 нс
Время преобразования	30 мкс
Амплитуда выходных сигналов	± 10 В
Динамический диапазон выходных сигналов	2^{16}
Температурный дрейф	$1,8 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$
Потребляемые токи	+6 В — 70 мА +24 В — 30 мА -24 В — 70 мА
Размеры блока	185 x 50 x 155 мм ³

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить П.К.Маньякова за полезные обсуждения, а также В.И.Максименкову за помощь в изготовлении блока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lisser G., Bouwknecht K. IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1981, vol. NS-28 No. 3, p.2859.
2. Potts C. et al. IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1981, vol. NS-28, No. 3, p.3020
3. Балакай В.Г. и др. Интегральные схемы АЦП и ЦАП. "Энергия" М., 1978.
4. Ефимов Л.Г. и др. ОИЯИ, 10-83-592, Дубна, 1983.
5. SAMAC. The Compatible Modular Interface System. Borer Electronics AG, 4501 solothurn, Switzerland, 1979.
6. Вьюхин В.Н., Касперович А.Н. Автометрия, 1981, №2, с.65.
7. Марцинкявичюс А.-И.К., Пошюкас Р.Л. Электронная промышленность, 1983, вып. 4 (121), с.47-48.
8. Burr-Brown General Catalog, Tucson, Arizona 1979.
9. Шило В.Л. Функциональные аналоговые интегральные микросхемы. "Радио и связь", М., 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 марта 1985 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

Парфенов А.Н., Пиляр А.В.
16-разрядный цифроаналоговый преобразователь

P10-85-205

Описывается 16-разрядный цифроаналоговый преобразователь, имеющий время преобразования ≈ 30 мкс, предназначенный для применения в управляющих и измерительных системах. Устройство выполнено в виде выносного модуля, что позволяет максимально приблизить его к объекту управления, благодаря этому могут быть значительно снижены наводки на выходной сигнал. Наличие в схеме устройства подавления "выбросов" напряжения позволяет избавиться от помех при смене управляющих кодов. Устройство сравнения сигнала, вырабатываемого преобразователем, с отслеживаемым сигналом упрощает применение блока в управляющих системах. Температурная стабильность преобразователя $-1,8 \cdot 10^{-5}$ 1/° C.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод Л.Н.Барабаш

Parfionov A.N., Pilyar A.V.
16-Bit Digital-To-Analog Converter

P10-85-205

A 16-bit digital-to-analog converter (DAC) having a settling time of ~ 30 μ s is described. It is designed for use in control and measuring systems. The converter is made as a remote module which allows one to place it in proximity to a control system. Due to this, the noise ratio can be significantly decreased. A deglitcher available in the converter makes it possible to get rid of spikes when input codes are changed. The application of the unit in control systems is simplified by an instrumentation amplifier used to compare a signal from the DAC with another external signal. The gain temperature coefficient is -18 ppm/° C.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energy Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985