

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.317.725

М. М. КАРЛИНЕР, В. И. НИФОНТОВ, А. Д. ОРЕШКОВ  
(Новосибирск)

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

В системе управления накопителем ВЭПП-3 с помощью ЭВМ, описанной в [1], необходимы цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) потенциометрического типа, удовлетворяющие следующим требованиям: один ЦАП должен обеспечивать относительную погрешность коэффициента деления менее  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$  при коэффициенте, меняющемся от 0,1 до 1; остальные ЦАП должны обеспечивать погрешность коэффициента деления менее  $\pm 3 \cdot 10^{-4}$  для входного напряжения, меняющегося от 0,5 до 5В. Преобразователи должны иметь гальваническую развязку аналоговой части от цепей управления. Указанные требования определили схему преобразователя и выбор элементов.

В настоящей статье описывается практическая схема ЦАП, методика отбора элементов для него и методика его проверки.

Преобразователи выполнены на основе омической декодирующей сетки  $R - 2R$  [2] и двухпозиционных транзисторных ключей. В цепях управления ключами применены трансформаторные связи, которые обеспечивают необходимую гальваническую развязку делителя от цифровой части преобразователя. Цифровая часть состоит из триггерного регистра, в который записывается позиционный код, и схем управления, в функцию которых входит управление записью кода в регистр и контроль состояния этого регистра. Так как в системе используется много ЦАП, они снабжены дешифраторами адресов (двоичных, позиционных). В преобразователях также есть генераторы управляющих сигналов, которые служат для управления ключами. Принципиальная схема преобразователя приведена на рис. 1. На цифровой вход преобразователя поступает двоичный позиционный код и записывается в регистр памяти. Напряжения с выходов триггеров памяти подаются на схемы И, на которые также поступает высокочастотный сигнал управления. Таким образом, если на входе одной из схем И присутствует сигнал О, то управляющий сигнал отсутствует на выходе схемы И; если же на вход схемы И подан сигнал 1, то управляющий сигнал появляется на выходе. К выходам схем И присоединены обмотки трансформаторов так, что при прохождении управляющего сигнала через схему на выходной обмотке трансформатора имеется переменное напряжение (меандр), которое выпрямляется диодным выпрямителем. Это напряжение отпирает ключ ( $K_1$ ), второй ключ ( $K_2$ ) будет в этот момент закрыт, так как на другие схемы И в этот момент поступает запрещающее напряжение «О» со второго выхода триггера памяти. Следовательно, точка А (см. рис. 1) резисторного делителя  $R - 2R$  будет подключена либо к первой аналоговой шине, либо ко второй — в зависимости от кода, записанного в данный триггер.

Высокочастотный управляющий сигнал, формируемый мультвибратором, подается на счетный вход триггера 2ТК171 (см. рис. 1), с выходов которого противофазные сигналы поступают на усилители мощности и разводятся по разрядам. Противофазное возбуждение предохраняет от намагничивания трансформатор. Симметричность схемы возбуждения позволяет также уменьшить паразитные наводки на аналоговую часть преобразователя. Частота управляющего напряжения выбрана равной 0,1 МГц. Имеется возможность синхронизации всех преобразователей путем питания от общего генератора.

Выбор ЦАП производится при помощи схемы дешифратора адреса, причем адрес ЦАП определяется распайкой на разъемах в стойке. Этим самым достигается полная взаимозаменяемость ЦАП, что удобно в условиях длительной эксплуатации большого количества преобразователей. Для записи в ЦАП на кодовых шинах устанавливается код, а на шину записи подается управляющий импульс. Код записывается в ЦАП, адрес которого задан на адресных шинах. В системе предусмотрен контроль состояния триггеров регистра памяти, для чего необходимо подать на шину считывания

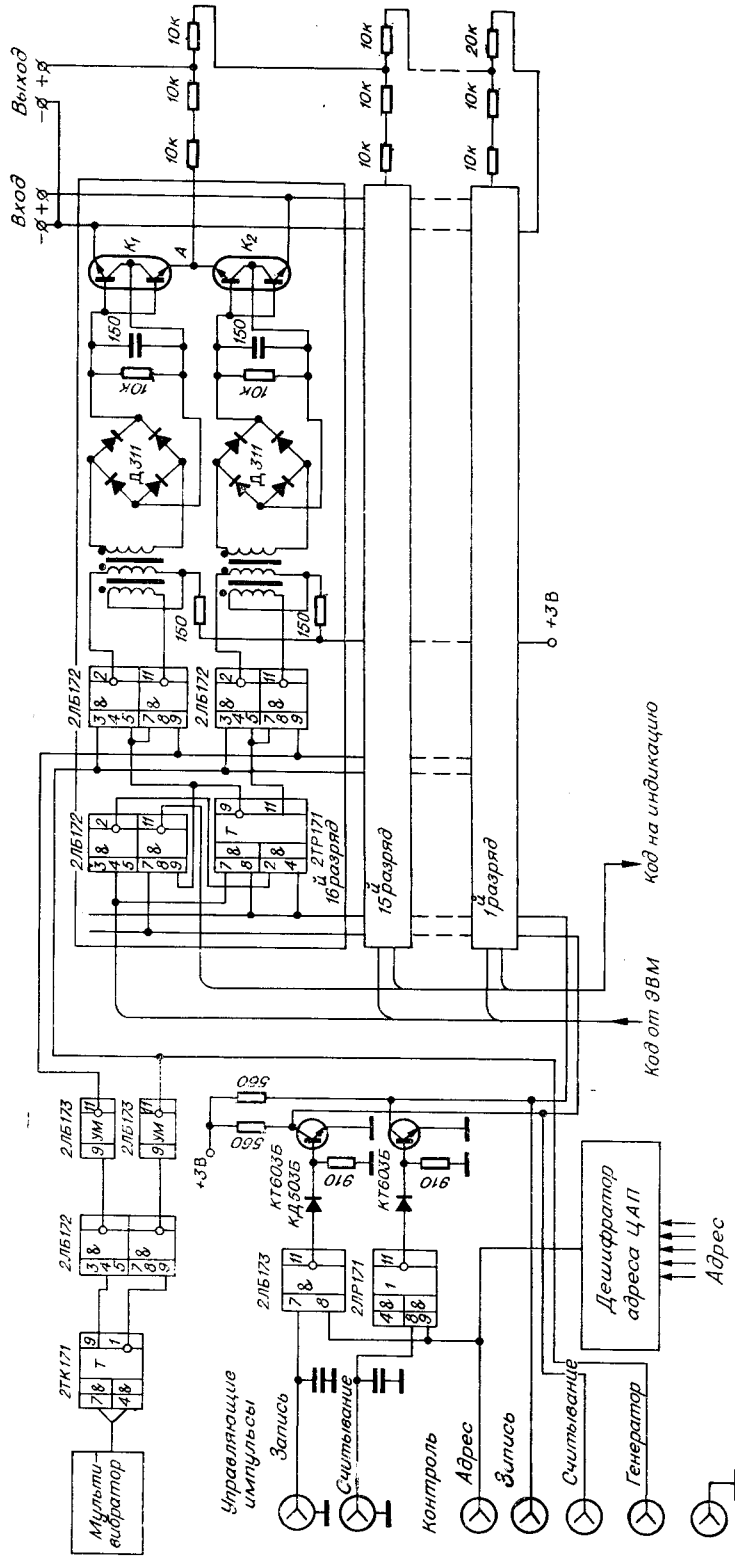


Рис. 1.

Экспериментальные характеристики интегральных прерывателей

Параметры	Значение	1КТ011А	1КТ621
Напряжение между эмитерами при $I_{\text{б}1} + I_{\text{б}2} = 4 \text{ мА}$ $U_{\text{э}1\text{э}2}^*$	среднее	25 мкВ	150 мкВ
	максимальное	60 мкВ	220 мкВ
Температурный коэффициент $U_{\text{э}1\text{э}2}^*$	—	1 мкВ/град	1—2 мкВ/град
Напряжение эмитер-коллектор $U_{\text{эк}}$	(среднее)	2,7 мВ	2,8 мВ
Сопротивление динамическое $R_{\text{д}}$ при $I_{\text{б}1} + I_{\text{б}2} = 4 \text{ мА}$	среднее	15 Ом	33 Ом
	максимальное	20 Ом	39 Ом
Температурный коэффициент $R_{\text{д}}^*$	—	0,01 Ом/град	0,01 Ом/град
Ток утечки между эмитерами для закрытого ключа	среднее	$2 \cdot 10^{-9} \text{ А}$ при $U_{\text{э}1\text{э}2} = 6,5 \text{ В}$	$5 \cdot 10^{-9} \text{ А}$ при $U_{\text{э}1\text{э}2} = 30 \text{ В}$
	максимальное	$12,8 \cdot 10^{-9} \text{ А}$ при $U_{\text{э}1\text{э}2} = 6,5 \text{ В}$	$8,7 \cdot 10^{-9} \text{ А}$ при $U_{\text{э}1\text{э}2} = 30 \text{ В}$

\* Температурные коэффициенты измерялись в диапазоне 20—50° С.

управляющий импульс. Появляющийся на кодовых шинах считывания код отправляется либо в блок индикации, либо в ЭВМ; при этом состояние триггеров регистра памяти не изменяется. Адресные шины и кодовые шины записи и считывания разводятся по всем преобразователям параллельно.

В качестве ключевых элементов используются интегральные прерыватели 1КТ011А и 1КТ621, обладающие характеристиками, представленными в табл. 1. Емкость каждого разряда ЦАП на аналоговую часть определяется проходной емкостью трансформатора и составляет 120 пФ. Рассмотрение известных типов сопротивлений показало, что наиболее подходящими свойствами для ЦАП обладают проволочные сопротивления типа С5-5, имеющие следующие параметры: температурный коэффициент (ТК)  $R \sim 0,001\%/град$ ;  $R = 10 \text{ кОм}$ ; погрешность от  $\pm 5$  до  $\pm 0,05\%$ . Измерения показали, что 20% сопротивлений класса точности  $\pm 0,05\%$  имеют отклонение от номинала  $\pm 0,001\%$ , 74% сопротивлений —  $\pm 0,005\%$ , отклонение остальных не превышает  $\pm 0,02\%$ . Измерения также выявили, что сопротивления, изготовляемые разными предприятиями, имеют различные ТК  $R$ . Для изготовления 16-разрядного преобразователя были отобраны сопротивления с однонаковым ТК  $R$  с малым разбросом по абсолютному значению. Подбор сопротивлений и ключей производился по следующему правилу: в младшие 4 разряда ставились сопротивления МЛТ с 5% разбросом по номиналам и ключи, обладающие худшими свойствами; в остальные разряды ставились сопротивления С5-5, причем в В старшие 8 разрядов 16-разрядного ЦАП ставились сопротивления, имеющие отклонение  $\pm 0,005\%$ . В старшие 8 разрядов 16-разрядного ЦАП сопротивления подбирались с отклонением  $\pm 0,001\%$ . Это не вызывает затруднений, так как сопротивление  $2R$  составляется из двух резисторов, имеющих одинаковое отклонение от номинального (10К), но разных знаков. Ключи отбирались по динамическому сопротивлению в открытом состоя-

Таблица 2

Напряжение на выходе 16-разрядного преобразователя в точках «удлиненных переходов»

Номер точки	Код 16 разрядов	Напряжение (мВ) при 22°С	Напряжение (мВ) при 54°С
...	...	...	...
12	000001. . .111 000010. . .000	284,05 284,22	284,10 284,23
13	00001. . .111 00010. . .000	568,14 568,24	568,18 568,27
14	00011. . .111 00100. . .000	1136,53 1136,66	1136,60 1136,69
15	00111. . .111 01000. . .000	2272,97 2273,11	2273,13 2273,19
16	01111. . .111 10000. . .000	4546,00 4546,16	4546,29 4546,49
Опорное напряжение на входе преобразователя		$9092,15 \pm 0,05$	$9092,80 \pm 0,05$

нии  $R_d$ , причем базовый ток задавался таким, каким он будет в рабочей схеме преобразователя (6 мА). В каждый разряд ставится пара ключей с одинаковыми  $R_d$ . Если в готовом преобразователе вес разряда больше расчетного, то его можно уменьшить, присоединяя последовательно с  $2R$  низкоомное сопротивление (типа МОН), в противном случае низкоомное сопротивление присоединяется последовательно с сопротивлением  $R$ .

Проверка собранных преобразователей показала, что дополнительную подгонку приходится делать начиная с 12-го разряда и выше. Проверялись наиболее характерные отсчеты, так называемые точки «удлиненных переходов» [3]:

011 . . . 111      100 . . . 000  
001 . . . 111      010 . . . 000 и т. д.

Результаты проверки 16-разрядного ЦАП приведены в табл. 2. В качестве основной измерительной аппаратуры использовался полуавтоматический потенциометр Р309. Опорный источник напряжения в процессе измерений контролировался дважды: до начала измерений и после окончания измерений.

Проделав предварительные калибровочные измерения резисторов и ключей можно изготовить точный ЦАП, используя практически все стандартные элементы, так как ключи и сопротивления с неудовлетворительными параметрами можно ставить в младшие разряды преобразователя, где требования к ним более слабые. Для изготовления данной партии ЦАП были проведены измерения параметров 600 сопротивлений С5-5, 400 интегральных прерывателей КТ011А и 40 интегральных прерывателей КТ621.

Разработанные преобразователи имеют следующие параметры: диапазон входных и выходных напряжений  $\pm 6,3$  В для ЦАП с ключами КТ011А,  $\pm 30$  В для ЦАП с ключами КТ621; количество разрядов для ЦАП с ключами КТ011А—12, для ЦАП с ключами КТ621—16; погрешность коэффициента деления: для ЦАП первого типа  $\pm 10^{-4}$  (для входных напряжений, меняющихся от 0,5 до 5 В); для ЦАП второго типа  $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ ; температурный дрейф коэффициента деления в диапазоне температур от 20 до 60°С для ЦАП первого типа менее  $\pm 3 \cdot 10^{-6}$  /град; для ЦАП второго типа порядка  $\pm 2 \cdot 10^{-6}$  /град; температурный дрейф нуля  $\leq 5$  мкВ/град; постоянная времени установления выходного напряжения на выходе ЦАП порядка 2 мкс; выходное сопротивление преобразователя равно 10 кОм; цифровая часть преобразователя на интегральных схемах серии 217. Питание преобразователя:  $+6$  В,  $\pm 5\%$ , 300 мА;  $+3$  В,  $\pm 5\%$ , 200 мА.

Преобразователь выполнен на одной печатной плате из стеклотекстолита. Общий вид его представлен на рис. 2. Для работы в системе было изготовлено 16 преобразователей; 12-разрядные преобразователи выполнены на ключах КТ011А, а 16-разряд-

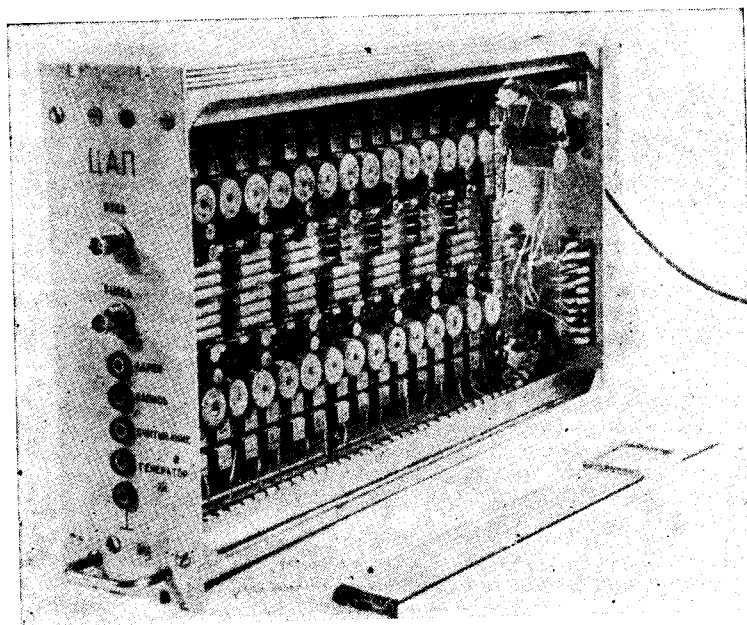


Рис. 2.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Карлинер, Э. А. Купер, В. И. Нифонтов, А. Д. Орешков, Ю. И. Ощепков. Система для управления с помощью ЭВМ установкой встречных лучков ВЭПП-3.— *Автометрия*, 1972, № 2.
2. P. Sampriche. Etude d'un convertisseur numerique analogique. JSR-PO/70-22. Geneve, 1970.
3. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи напряжения. Под ред. В. Б. Смолова и Н. А. Смирнова. Л., «Энергия», 1967.

*Поступило в редакцию  
9 сентября 1971 г.*

УДК 681.142.621

*В. Н. ДЬЯКОНОВ, В. М. КУНОВ  
(Новосибирск)*

### **ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛУЧОМ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ**

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), имеющий 11 разрядов, с током старшего разряда 1024 мА разработан для управления лучом электроннолучевой трубки (ЭЛТ) высокоразрешающего автомата, предназначенного для обработки फिल्मовой информации и, в частности, голографических интерферограмм.

Цифровое управление лучом ЭЛТ используется в различных устройствах. Помимо упомянутого автомата, сюда относятся системы взаимодействия человека с ЦВМ, визуализаторы в информационных измерительных системах с памятью, установки электронно-лучевой технологии. В зависимости от конкретного применения требования к устройству управления лучом ЭЛТ различны. В одних случаях необходимо максимальное быстроедействие, а в других (к которому относится и наш)— главным требованием является обеспечение высокой точности установки луча при несколько меньшем быстроедействии. В последнем случае, как правило, используются высокоразрешающие ЭЛТ с магнитным отклонением, а ЦАП преобразует код в ток и работает на индуктивную нагрузку. Типичная величина индуктивности отклоняющей системы составляет 200 мкГ, а ток отклонения 1—5 А.

Обычно ЦАП для подобных целей строят по схеме «маломощный ЦАП — усилитель тока». Погрешность такого устройства определяется погрешностью маломощного преобразователя и, кроме того, нестабильностью коэффициента передачи усилителя постоянного тока и дрейфом его нулевого уровня. Реализация мощного широкополосного усилителя, имеющего погрешность меньшую, чем маломощный ЦАП, является достаточно сложной задачей. Имея в виду это обстоятельство, авторы попытались реализовать мощный ЦАП без выходного усилителя. Преобразователь выполнен по принципу суммирования взвешенных токов. Принципиальная схема разряда на 1024 мА представлена на рисунке.

Разряд состоит из генератора тока (1УТ221, Т<sub>1</sub>—Т<sub>5</sub>) и диодного ключа (Д<sub>3</sub>—Д<sub>6</sub>) с транзисторным управлением (Т<sub>6</sub>—Т<sub>8</sub>). В схеме генератора тока используется принцип, хорошо зарекомендовавший себя при построении маломощных ЦАП\*. Работа схемы

\* В. Н. Вьюхин. Высокостабильный источник тока на микросхемах.— *Автометрия*, 1969, № 5.