ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКЕ

М. А. Кузьмичев, А. А. Чистюхин, А. В. Шатохин

Харьков

Принцип последовательного разложения фотоизображений с помощью камеры «бегущего луча» широко используется в телевидении, радиолокации и электронной микроскопии. За последние годы был разработан ряд систем [1, 2, 3, 6] для прецизионного считывания и ввода изображений в ЭВМ. Наиболее перспективными из них являются системы на электронно-лучевой трубке (ЭЛТ), использующие программную цифровую развертку. Основными достоинствами этих систем являются: возможность программного осмотра изображения (т. е. порядок анализа определяется внешним устройством, например ЭВМ, и меняется в зависимости от содержания изображения и цели осмотра); большое быстродействие ($10^4 \div 5 \cdot 10^5$ точек в секунду); высокая разрешающая способность ($2 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-4}$ от линейного размера изображения).

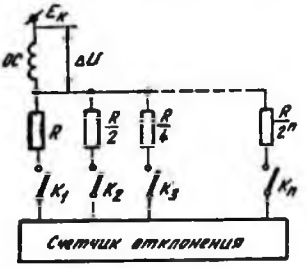

Рис. 1. Блок-схема преобразователя код — ток с весовыми сопротивлениями.

В процессе создания таких систем серьезные трудности возникают при проектировании цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП), преобразующих цифровой код в отклоняющий ток (для получения растра с высокой разрешающей способностью применяются ЭЛТ с магнитными фокусировкой и отклонением луча).

В данной работе обосновывается выбор рационального варианта ЦАП и обсуждаются некоторые результаты.

Известен [3, 7] прямой способ получения отклоняющих токов включением весовых сопротивлений $R, \frac{R}{2}, \frac{R}{4}, \ldots \frac{R}{2^n}$ последовательно с отклоняющей системой (ОС) и источником стабилизированного напряжения $E_к$ (рис. 1). Из рисунка видно, что падение напряжения на омическом сопротивлении ОС — ΔU является дестабилизирующим фактором. Несложно показать, что для нормальной работы схемы ΔU при максимальном отклоняющем токе не должно превышать

$$\Delta U \leqslant \frac{E_к}{2^{n+1}},$$

где n — число разрядов преобразователя,
или

$$R_{откл} \frac{E_к}{\frac{R}{2^n - 1}} \leqslant \frac{E_к}{2^{n+1}},$$

где $R_{откл}$ — омическое сопротивление отклоняющей системы;
R — сопротивление младшего разряда преобразователя.
Отсюда

$$R_{откл} \leqslant \frac{R}{2^{n+1}(2^n - 1)} \leqslant \frac{R}{2^{2n+1}}. \qquad (1)$$

Роль ключей $K_1 \div K_n$ выполняют либо транзисторы, либо ламповые схемы, поэтому неравенство (1) при $n \geqslant 7$ практически невыполнимо вследствие ограничений по $E_к$ и конечной величины остаточного сопротивления ключа.

В ряде устройств [5] для получения отклоняющих токов используется метод стабилизаторов тока, настроенных на токи, пропорциональные весу разряда преобразователя. По-видимому, этот метод принципиально не отличается от предыдущего, хотя позволяет получить значительно лучшие результаты. Стабилизатор тока обладает низким статическим внутренним сопротивлением $R_{i\,ст}$ и высоким динамическим $R_{i\,дин}$:

$$R_{i\,ст} = \frac{E_к}{I_{нагр}};$$

$$R_{i\,дин} = \frac{E_к - \Delta U}{\Delta I_{нагр}},$$

где $I_{нагр}$ и $\Delta I_{нагр}$ — соответственно ток и изменение тока нагрузки стабилизатора тока.

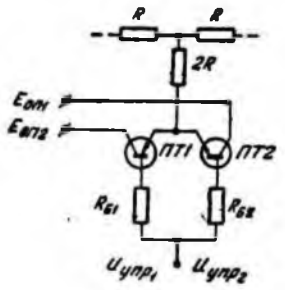

Рис. 2. Схема переключателя на транзисторах $p-n-p$ и $n-p-n$ проводимости.

Недостаток ЦАП с токовыми стабилизаторами — необходимость иметь набор стабилизаторов тока с различными характеристиками, что связано с трудностями при температурной балансировке ЦАП. Кроме того, токовые ключи, работающие в старших разрядах, должны быть сильноточными (1—5, *а*), а это удорожает схему, усложняет получение хороших переходных характеристик ключей. В результате область применения таких преобразователей ограничивается числом разрядов $n = 8 \div 10$.

Наиболее рационален, по-видимому, ЦАП, состоящий из маломощного преобразователя код—напряжение и линейного усилителя мощности.

В работе [8] было рассмотрено построение линейного усилителя мощности и показано, что основным требованием к выходным уровням маломощного преобразователя является уменьшение динамического диапазона усилителя и постоянно рассеиваемой мощности на коллекторе выходного транзистора.

Авторами были построены и исследованы два 10-разрядных преобразователя код — напряжение, состоящих из матрицы декодирующих сопротивлений $R - 2R$ и двухтранзисторных ключей на транзисторах различной проводимости. При проектировании ЦАП пользовались рекомендациями работы [4] по выбору типа транзисторов и режима их работы. При этом следует:

использовать плоскостные германиевые транзисторы, допустимый коллекторный ток которых в режиме переключения составляет около 100 *ма*;

выбрать разность эталонных уровней напряжения близкой к предельно допустимым для данного типа транзисторов;

использовать коллекторные токи (0,5—1) *ма* и базовые токи $I_б > I_к$.

Схема ключа приведена на рис. 2.

Для обеспечения надежного запирания и насыщения ключевых транзисторов применяется схема формирователя управляющих напряжений (рис. 3), преобразующего стандартные уровни 0 и — 6 *в* в уровни

$$U_{упр1} = E_{оп1} - 2\ в;$$

$$U_{упр2} = E_{оп2} + 2\ в.$$

При выбранных параметрах схемы были сняты остаточные напряжения на ключах, результаты которых приведены на гистограмме (рис. 4). Как видно из гистограмм, максимум остаточного напряжения для транзисторов МП16Б и МП37Б не превышает 5 *мв*.

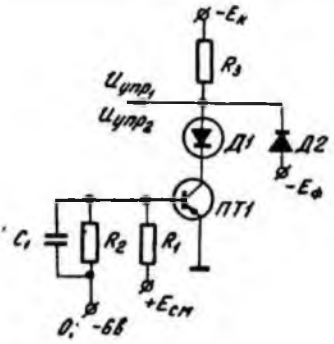

Рис. 3. Схема формирователя управляющих напряжений.

Наиболее характерными для этих транзисторов являются остаточные напряжения 1—2 *мв*. Транзисторы не требуют специальной отбраковки, проверяется только соответствие техническим условиям. Погрешность 10-разрядного преобразователя не должна превышать половины шага квантования, т. е.

$$\xi \leqslant \frac{E_{оп_1} - E_{оп_2}}{2^{n+1}} = \frac{18}{2^{11}} = 8{,}8 \cdot 10^{-3} в.$$

По данным гистограмм видно, что все ключи соответствуют точности $n = 10$. Проверка ключей в динамическом режиме показала, что время переключения составляет 0,4 — 0,5 *мксек*. За время переключения принята наибольшая длительность переднего или заднего фронтов. Общее время установления максимального перепада напряжения от $E_{оп_1} \rightleftarrows E_{оп_2}$ не превышало 3 *мксек* для матрицы бороуглеродистых сопротивлений БЛП-15К-0,25. Эти результаты несколько неожиданны и подлежат более детальному рассмотрению.



Рис. 4. Гистограммы остаточных напряжений
а — для транзисторов МП16Б; *б* — для транзисторов МП37Б.

Действительно, время выключения транзистора

$$\tau_\alpha = \frac{1}{2\pi f_\alpha} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^6} \approx 0{,}2 \cdot 10^{-6} \text{ сек},$$

где f_α — граничная частота используемого транзистора ($f_\alpha = 10^6$ *гц*), оказывается соизмеримой со временем переключения ключа, несмотря на режим глубокого насыщения $\left(\frac{I_б}{I_н} = 2\right)$ и большое эмиттерное сопротивление

$$R_э = \frac{3}{2} 2R = \frac{3}{2} \cdot 15 \cdot 10^3 = 22{,}5 \cdot 10^3 \text{ ом}.$$

Быстрое переключение транзисторного ключа следует объяснять, повидимому, тем, что низкоомные сопротивления в области базы обеспечивают быстрое рассасывание избыточных носителей базы, а емкость $C_к$ закрытого транзистора шунтируется малым сопротивлением открытого

транзистора. Поэтому в быстродействующих ЦАП необходимо применять транзисторы с хорошими частотными свойствами и формировать сильные управляющие сигналы при переводе транзистора из одного состояния в другое.

В работе [4], как и в ряде других работ, большое внимание уделено защите ключей от пробоя в момент переключения. Это осуществляется коррекцией коммутирующего напряжения для обеспечения неодновременного срабатывания транзисторов, что приводит к усложнению схемы и ее наладки, а также к снижению быстродействия.

В разработанном ЦАП для предупреждения выхода транзисторов из строя из-за пробоя в качестве источников опорных напряжений были применены параметрические стабилизаторы напряжения на транзисторах с $I_{ном} = 30$ *ма*. Ввиду инерционности стабилизирующего элемента возможность нарастания тока за время переключения 0,5 *мксек* до значительной величины исключена.

За полгода эксплуатации двух 10-разрядных преобразователей по 4—6 часов в сутки не наблюдалось ни одного выхода ключей из строя.

Схема ЦАП использовалась со счетными регистрами, выполненными на потенциальных элементах «Мир-1». При правильно выполненном монтаже она не требует отладки, а также обеспечивает надежную работу на частоте 100 *кгц*.

ВЫВОДЫ

1. При создании сканирующих систем, использующих программно-управляемую развертку, наиболее рациональным является построение преобразователя цифрового кода в отклоняющий ток при помощи маломощного преобразователя код—напряжение и широкополосного усилителя постоянного тока с большим динамическим диапазоном и высокой стабильностью.

2. При малых выходных сопротивлениях источников опорных напряжений и использовании в цифровой части потенциальных статических триггеров схему разряда ЦАП можно упростить за счет перехода к потенциальному управлению ключами ЦАП.

3. Уменьшения погрешности ЦАП из-за остаточных напряжений транзисторов можно достичь, подбирая в пары транзисторы разной проводимости с близкими значениями остаточных напряжений и выбирая оптимальные токи управления

$$I_б = (2 \div 5)\ ма \text{ и } I_э = (0{,}5 \div 2)\ ма.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. П. П. Ярославский. Устройства ввода — вывода изображений для цифровых вычислительных машин. Изд-во «Энергия», 1968.

2. В. И. Рыбак, О. Ф. Цурин. Фотоэлектрический преобразователь устройства обработки оптической информации с помощью ЭВМ. Труды семинара «Распознавание образов и конструирование читающих автоматов», вып. 1, Киев, Изд-во ИК АН УССР, 1968.

3. В. В. Бесов. Высокоскоростной блок ввода читающего автомата. Труды III Всесоюзной конференции по информационно-поисковым системам и автоматизированной обработке информации, т. 3. Изд-во ВИНИТИ АН СССР, 1967.

4. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи напряжения. Изд-во «Энергия», 1967.

5. Ю. М. Кучин, Е. В. Крютченко. Преобразователь код—отклоняющий ток для электронно-лучевой трубки измерительного автомата. Препринт ИФВЭ 69—28, Серпухов, 1969.

6. Proceedings of the International Conference on Programming for Flying Spot Devices, Munich, 1967.

7. Каридес, Коттингем, Фельтман, Гроссман, Лейпунер, Маринуцци, Швендер. Автоматическое устройство с ЭЛТ для сканирования снимков. «Приборы для научных исследований», 1967, № 10.

8. Н. П. Кириченко, Н. А. Кузьмичев, А. М. Пряницкий, А. А. Чистюхин, А. В. Шатохин. Особенности построения выходных каскадов быстродействующей программно-управляемой развертки. Сб. «Приборы и устройства автоматики», вып. 17. Харьков, Изд-во ХГУ, 1971.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОГРАЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ

Н. Ф. Котляренко, И. З. Скрыпин, В. А. Кругляк

Харьков

В последнее время в СССР большое значение в общей системе транспорта приобретают автомобильные перевозки (рис. 1). Увеличению удельного веса автотранспорта способствовало его существенное техническое перевооружение, создание специализированных дорожных машин и механизмов, развитие сети дорог с твердым покрытием. Магистральные автомобильные перевозки, как грузовые, так и пассажирские, составляют значительную часть всех перевозок в стране (рис. 2). В связи с этим железнодорожные переезды в местах пересечения автомобильных и железных дорог становятся причиной растущих простоев автотранспорта и повышенной опасности для людей и техники.

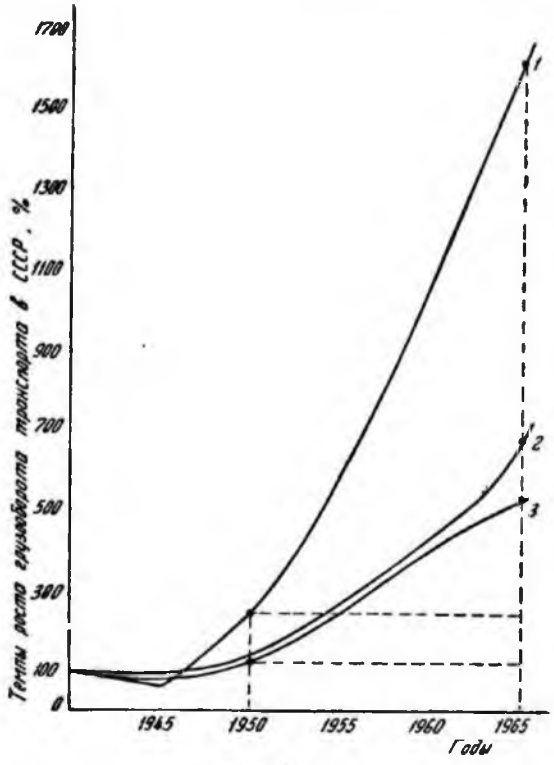

Рис. 1.

(*1* — автотранспорт; *2* — все виды транспорта; *3* — ж/д транспорт).

Строительство развязок в разных уровнях, широко практикуемое в местах пересечения дорог с наибольшей интенсивностью движения, ограничивается местными условиями и требует больших капитальных затрат. Поэтому большой интерес представляет повышение эффективности существующих систем ограждения железнодорожных переездов, которая определяется безопасностью движения и пропускной способностью переездов (для автотранспорта). Эти два фактора взаимосвязаны и далеко не всегда оптимальны даже при наиболее совершенных системах ограждения переездов.

Основным устройством автоматического ограждения является в настоящее время автоматическая переездная сигнализация с автошлагбаумами и без них, построенная по принципу фиксированного расстояния. При