НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВЫБОРА И АНАЛИЗА СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОД — АНАЛОГ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ РАЗВЕРТКИ

Э. П. Чорноштан

Харьков

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В последнее время большое внимание уделяется вопросам исследования и проектирования средств ввода в вычислительные машины буквенной и цифровой информации. Основными устройствами автоматического ввода знаковой информации в ЭВМ являются читающие автоматы (ЧА). Так как принципиальные вопросы считывания и распознавания знаков в основном уже решены, то на первое место выступают проблемы, связанные с совершенствованием качественных показателей читающих автоматов. В связи с этим возникает необходимость исследования возможностей отдельных узлов читающих автоматов и выработки рекомендаций по их расчету.

Быстродействие, эффективность использования, надежность распознавания знаков — основные качественные показатели ЧА. Все они тесно связаны друг с другом. Например, увеличение скорости обработки знаковой информации повышает эффективность использования ЧА, а также надежность распознавания знаков за счет многократного сканирования при сохранении требуемого быстродействия.

Быстродействие ЧА в большой степени определяется скоростью работы считывающего устройства, основным узлом которого является преобразователь код — аналог (ПКА). Кроме большой скорости преобразования к ПКА считывающего устройства предъявляются высокие требования к точности преобразования. Для получения достаточно высокой разрешающей способности электронно-оптического узла ЧА на экране ЭЛТ необходимо обеспечить, по крайней мере, 1024×1024 точки, что соответствует точности преобразования 0,1%. Так как обеспечить такую разрешающую способность при достаточно высокой линейности может только ЭЛТ с магнитным отклонением, то на выходе ПКА необходимо получить токи порядка 0,3—0,5 *а*. При непосредственном преобразовании кода в ток очень трудно получить погрешность меньше 1%, поэтому для обеспечения более высоких точностей преобразования в ЧА используется принцип преобразования кода в напряжении с последующим усилением по току.

К настоящему времени разработано большое количество различных вариантов преобразователей [1, 2]. Но обеспечить большую скорость преобразования с достаточно высокой точностью могут лишь преобразователи, учитывающие при суммировании веса разрядов цифрового кода. Эти преобразователи делятся на две группы: схемы с суммированием эталонных напряжений (преобразователи типа код — напряжение) и схемы с суммированием эталонных токов (преобразователи типа код — ток). С точки зрения точности преобразования обе группы примерно равноценны, но с точки зрения быстродействия большими возможностями обладают преобразователи типа код — ток. Как показано в работах [3, 4], постоянная времени переключения единичного разряда в преобразователях типа код — напряжение находится в пределах 5—15 *мксек*, а время установления максимального кода в ПКА, работающего в комплексе с усилителем типа УПТ-20М, достигает 1 *мсек*. Столь большое время декодирования объясняется тем, что для получения малых остаточных напряжений транзисторы разрядных ключей преобразователей вводятся в глубокое насыщение, которое приводит к увеличению времени рассасывания основных носителей в области базы. В преобразователях же типа код — ток транзисторы работают в активной области характеристики, что способствует обеспечению высокой скорости декодирования.

ОПИСАНИЕ СХЕМЫ

На рис. 1 представлена схема цифро-аналогового преобразователя типа код — ток. Декодирующая сетка (ДС) преобразователя состоит из сопротивлений двух номиналов R и $2R$. Это дает возможность использовать источники тока с одинаковой величиной его во всех разрядах, что в значительной степени облегчает настройку и расчет схемы. Для получения высокой скорости преобразования и высокой температурной стабильности в качестве источников разрядных токов используются однотранзисторные стабилизаторы тока, построенные по схеме с общей базой.

Для управления источниками токов используются простейшие однодиодные ключи (D_1—D_n). При наличии отрицательного напряжения на

выходе K-го триггера регистра диод $D_к$ отпирается и напряжение на эмиттерном сопротивлении запирает транзистор источника тока. Этим самым данный разряд исключается из формирования выходного напряжения.

Каждый источник тока нагружен на

$$R_н = \frac{2}{3} R. \tag{1}$$

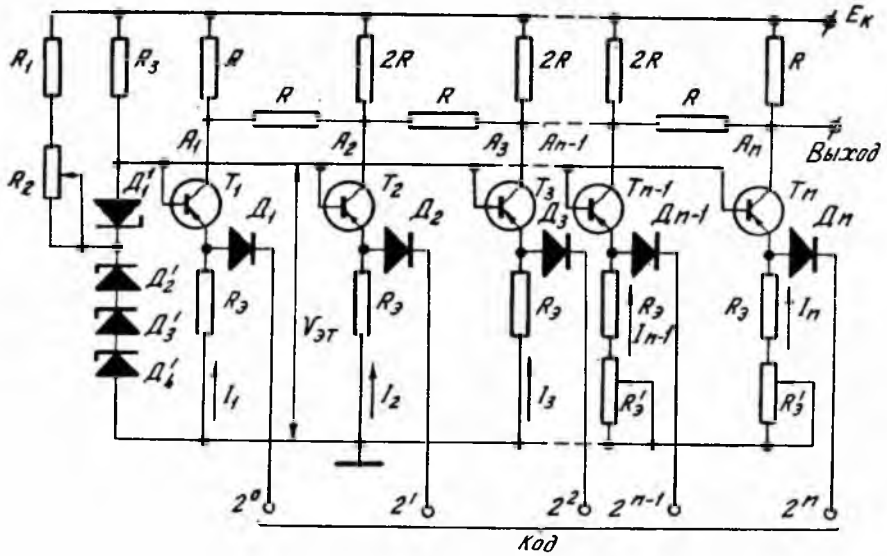


Рис. 1.

Сопротивления декодирующей сетки расположены таким образом, что выходное напряжение $U_{вых(n-1)}$ $(n-1)$-го разряда на выходе преобразователя уменьшается в 2 раза по сравнению с $U_{вых\,n}$, выходное напряжение $(n-2)$-го разряда уменьшается в 4 раза и т. д. В общем случае, если декодирующее число представлено в виде

$$p = a_1 2^0 + a_2 2^1 + a_3 2^2 + \ldots + a_n 2^{n-1},$$

где a_i принимает значения «0» или «1», то

$$U_{вых} = U \frac{1}{2^{n-1}} p, \tag{2}$$

где

$$U = U_{вых1} = U_{вых2} = \ldots = U_{вых\,n} = \frac{2}{3} R I_0.$$

ТОЧНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Этому вопросу посвящена работа [4], согласно которой суммарная относительная погрешность преобразования определяется уравнением

$$\delta U_{вых} = \delta I + \frac{2}{3} \delta R, \tag{3}$$

где δI — относительная погрешность источников токов;

δR — относительная погрешность декодирующей сетки.

При этом автор предполагает, что от источников токов, построенных на лампах, легко можно получить стабильность порядка $\delta I = 0{,}05\%$.

Получить такую же высокую стабильность источников токов на транзисторах значительно труднее, поэтому мы особо остановимся на этом вопросе.

В общем случае ток разряда

$$I = f(R_э,\ E_к,\ U_к,\ U_{э.б},\ U_{э.т},\ t^0).$$

Рассмотрим влияние на погрешность преобразования каждой из составляющих этого уравнения.

1. Разброс величин сопротивлений $R_э$, так же, как и разброс величин сопротивлений декодирующей сетки, устраняется регулированием величин токов в разрядах с помощью добавочных сопротивлений. Поэтому требования к точности $R_э$, R и $2R$ в преобразователях типа код — ток не очень высокие, однако во времени сопротивления должны быть как можно более постоянными и в малой степени зависеть от температуры, что легко удовлетворить применением проволочных сопротивлений или термостабильных сопротивлений типа С5-5.

2. Так как в каждом разряде имеется стабилизатор тока, достаточно обеспечить $\delta E_к = 1 \div 2\%$, чтобы исключить влияние изменения $E_к$ на величину общей погрешности.

3. Погрешность, возникающая вследствие зависимости $I = f(U_к)$, проявляется во взаимном влиянии источников разрядных токов. Это влияние сказывается в том, что величина коллекторного напряжения источников токов измеряется в сравнительно широких пределах, являясь функцией кода. А так как выходное сопротивление транзистора имеет конечную величину, то с изменением коллекторного напряжения изменяется величина разрядного тока. Для оценки величины изменения коллекторных напряжений разрядов в данной работе приведена таблица взаимных влияний разрядных токов десятиразрядного преобразователя. Эту таблицу нужно читать следующим образом: под воздействием тока, допустим, шестого разряда (I_6) потенциал коллектора транзистора второго разряда (точка A_2) уменьшается на $\frac{1}{16}U$, а потенциал точки A_8 под воздействием тока пятого разряда уменьшается на $\frac{1}{8}U$ и т. д. В конце таблицы приведены значения величин изменения напряжений узлов преобразователя при наличии максимального кода на входе преобразователя. Нетрудно заметить, что максимальное изменение коллекторного напряжения приходится на средние разряды преобразователя. Предел этого изменения можно определить, используя следующее уравнение, которое получено на основе анализа таблицы взаимных влияний,

$$U_{\max A_i} = U\left[\sum_{k=1}^{n-i}\frac{1}{2^{k-1}} + \left(\sum_{k=0}^{i-1}\frac{1}{2^x} - 1\right)\right], \qquad (5)$$

где $U_{\max A_i}$ — величина максимального изменения напряжения i-го узла для n-разрядного преобразователя.

Под знаком суммы уравнения (5) представлены геометрические прогрессии.

Предел первой суммы этого уравнения

$$\lim \sum_{k=1}^{n-1}\frac{1}{2^{k-1}} = 2$$

и предел второй суммы

$$\lim \sum_{k=0}^{i-1}\frac{1}{2^k} = 2.$$

Узел \ Ток	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	$U_{A_i \max}$
A_1	U	$\frac{U}{2}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{32}$	$\frac{U}{64}$	$\frac{U}{128}$	$\frac{U}{256}$	$\frac{U}{512}$	$2U$
A_2	$\frac{U}{2}$	U	$\frac{U}{2}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{32}$	$\frac{U}{64}$	$\frac{U}{128}$	$\frac{U}{256}$	$2{,}5U$
A_3	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{2}$	U	$\frac{U}{2}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{32}$	$\frac{U}{64}$	$\frac{U}{128}$	$2{,}72U$
A_4	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{2}$	U	$\frac{U}{2}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{32}$	$\frac{U}{64}$	$2{,}82U$
A_5	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{2}$	U	$\frac{U}{2}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{32}$	$2{,}9U$
A_6	$\frac{U}{32}$	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{2}$	U	$\frac{U}{2}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{16}$	$2{,}9U$
A_7	$\frac{U}{64}$	$\frac{U}{32}$	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{2}$	U	$\frac{U}{2}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{8}$	$2{,}82U$
A_8	$\frac{U}{128}$	$\frac{U}{64}$	$\frac{U}{32}$	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{2}$	U	$\frac{U}{2}$	$\frac{U}{4}$	$2{,}72U$
A_9	$\frac{U}{256}$	$\frac{U}{128}$	$\frac{U}{64}$	$\frac{U}{32}$	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{2}$	U	$\frac{U}{2}$	$2{,}5U$
A_{10}	$\frac{U}{512}$	$\frac{U}{256}$	$\frac{U}{128}$	$\frac{U}{64}$	$\frac{U}{32}$	$\frac{U}{16}$	$\frac{U}{8}$	$\frac{U}{4}$	$\frac{U}{2}$	U	$2U$

Подставив полученные результаты в уравнение (5), найдем величину максимального изменения коллекторного напряжения средних разрядов

$$U_{\max A_{\text{ср}}} = 3U, \tag{6}$$

а для первого и последнего разрядов —

$$U_{\max A_n} = U_{\max A_1} = 2U. \tag{7}$$

Несмотря на то, что напряжения средних разрядов изменяются сильнее всего, их влияние на погрешность преобразования сказывается в значительно меньшей степени, чем влияние старших разрядов. На рис. 2 показано семейство выходных характеристик транзистора, включенного по схеме с общей базой. Когда какой-нибудь источник тока подключен к декодирующей сетке (ДС), а все остальные источники токов отключены, то рабочая точка этого разряда находится в положении B_1. По мере подключения к ДС остальных источников рабочая точка данного ключа перемещается в сторону оси токов. При наличии максимального кода рабочие точки ключей A_1 и A_2 находятся в положении B_2, а рабочие точки средних разрядов — в положении B_3. Исходя из этого, максимальное изменение тока ключей средних разрядов определяется уравнением

$$\Delta I_m = \Delta U_m h_{22} = 2U h_{22}.$$

Если воспользоваться данными последнего столбца таблицы, то можно получить значение максимальной абсолютной погрешности, возникающей за счет взаимного влияния разрядов:

$$\delta J_{U_k} = \frac{h_{22}}{l}\left[U + (1{,}5U)\frac{1}{2} + (1{,}72U)\frac{1}{4} + (1{,}82U)\frac{1}{8} + (1{,}9U)\frac{1}{16}\right] \approx$$

$$\approx \frac{h_{22}}{l} 2{,}6U = 1{,}75 R h_{22}.$$

Так как стабилизаторы тока построены по схеме с общей базой, влияние температуры на погрешность преобразования сказывается, в основном, только в изменениях величины напряжения эмиттер — база транзисторов и величины опорного напряжения. При этом влияние изменения обратных токов транзисторов на величину погрешности весьма незначительно. Вследствие того, что температурные изменения $U_{э.б}$, а также изменения прямого и обратного напряжений стабилитрона носят практически линейный характер, имеется возможность термокомпенсации с помощью встречного включения опорных диодов [5]. Этим методом можно получить термостабильность схемы порядка 0,001—0,01%.

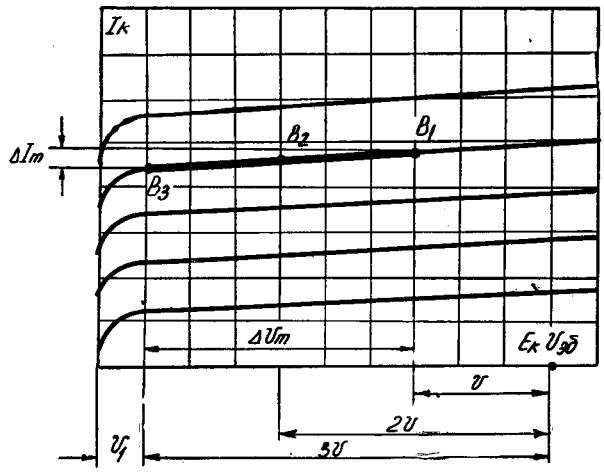


Рис. 2.

В итоге рассмотрения влияния температуры на погрешность преобразования необходимо отметить следующую особенность применения ПКА для формирования ступенчатых отклоняющих напряжений: температурная нестабильность может вызвать погрешность считывания только в том случае, когда изменения токов, вызванные изменением температуры, приводят к различным по величине изменениям тока в различных разрядах. Если же транзисторы находятся в одинаковых температурных условиях и токи всех разрядов уменьшаются или увеличиваются с изменением температуры в одинаковой степени, это приводит только лишь к изменению размаха отклоняющих напряжений. А так как температурные изменения окружающей среды происходят сравнительно медленно, то они не вызывают погрешности считывания, особенно при высокой скорости обработки знаковой информации. Это говорит о том, что в случае применения ПКА для формирования отклоняющих напряжений нерационально предъявлять к ним высокие требования относительно температурной нестабильности.

ВЫВОДЫ

1. Для формирования управляемых отклоняющих напряжений электронно-оптических узлов читающих автоматов, рассчитанных на большую скорость обработки знаковой информации, наиболее рационально использовать цифро-аналоговые преобразователи типа код — ток. При построении таких преобразователей исходное положение рабочей точки B_1 токовых ключей необходимо выбирать таким образом, чтобы обеспечить

работу ключей на линейном участке характеристики. Для этого, согласно уравнению (6) и рис. 1, 2, минимальное значение коллекторного напряжения необходимо выбрать равным $E_k = U_{э.т} + U_1 + 3U$.

2. Так как погрешность преобразования, возникающая за счет взаимного влияния ключей, в сильной степени зависит от величины h_{22} (см. уравнение (7)), а h_{22}, в свою очередь, является функцией тока эмиттера (рис. 3), для построения высокоточных преобразователей необходимо использовать транзисторы с большим выходным сопротивлением, а ток эмиттера выбирать в пределах 2—3 *ма*. При этом величина максимальной относительной погрешности вычисляется согласно уравнению

$$\delta U_{вых} = \frac{2}{3}\delta R + \delta I_{U_k}.$$

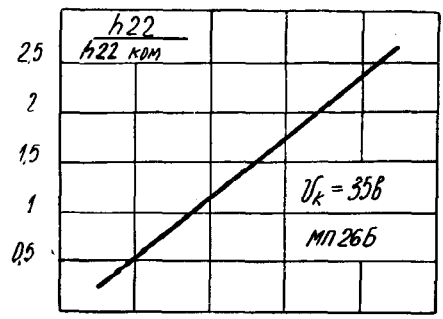


Рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. И. Гитис. Преобразователи информации для электронных вычислительных устройств. Госэнергоиздат, 1961.

2. Полупроводниковые кодирующие и декодирующие преобразователи. Изд-во «Энергия», М., 1967.

3. Б. Н. Борде. Динамические характеристики транзисторных переключателей и эффективная разрядность цифро-аналоговых преобразователей. Сб. «Вычислительная техника в управлении». Изд-во «Наука», М., 1966.

4. Г. В. Москаленко, Г. Н. Сабаев, Ю. А. Шубин. Унифицированный ряд преобразователей. Сб. «Средства аналоговой и аналого-цифровой техники». Изд-во «Машиностроение». М., 1968.

5. С. Д. Додик. Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. Изд-во «Сов. радио», М., 1962.

6. В. Д. Курганов. Анализ точности декодирующего устройства с источниками тока в разрядах. Сб. «Вычислительная техника», вып. 3. Оборонгиз, М., 1969.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ УДАРОВ

Э. М. Болычевцев
Харьков

Рассматривается задача построения системы амортизации, защищающей объект от недопустимо высоких перегрузок и имеющей наименьший возможный свободный ход. Упрощенная постановка задачи такова.

1. Дано уравнение движения амортизируемого объекта

$$\ddot{x} + u(x, \dot{x}) = f(t), \tag{1}$$

где $x(t)$ — смещение объекта относительно основания;

$u(x, \dot{x})$ — характеристика амортизатора;

$f(t)$ — известный на $[t_0, t_1]$ закон изменения перегрузки основания.

Требование ограниченности абсолютного ускорения объекта соответствует условию

$$|u(x, \dot{x})| \leqslant u_0, \tag{2}$$

где u_0 — заданная положительная постоянная.