

УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОД-АНАЛОГ

С. И. Червонный

Харьков

В устройствах вывода графиков из ЭЦВМ возникает необходимость преобразования кода в напряжение для отклонения луча электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Преобразователи кода в напряжение (ПКН) с токовыми ключами в качестве выходного узла содержат усилитель с малым входным сопротивлением. В ПКН для электронного моделирования применяются операционные усилители. Ток, соответствующий аналоговой величине, подключается в суммирующую точку. Серийные операционные усилители сложны, узкополосны, не обеспечивают размах выходного напряжения, необходимой для отклонения луча в ЭЛТ с большим экраном. Поэтому возможности применения их для управления лучом ограничены.

В предлагаемом усилителе используется каскадное соединение полупроводникового триода проводимости $n-p-n$ с электровакуумным триодом (рис. 1). Применение полупроводникового триода в схеме с общей базой позволяет получить низкое входное сопротивление схемы, что обеспечивает нормальную работу токовых ключей ПКН. Применение же электровакуумного триода позволяет получить большой размах выходного напряжения схемы. Цель данной работы — изложить результаты исследования линейности поперечного сопротивления $R_{\Pi} = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}$ стабильности начального уровня, полосы пропускания такого усилителя, дать рекомендации по улучшению отдельных параметров и применению усилителя.

Свойства каскадных усилителей описаны в работе [1]. Для рассматриваемого соединения справедливо равенство

$$R_{ik} = r_k (\mu + 1) + R_i,$$

где R_{ik} — внутреннее сопротивление каскадного соединения;

R_i — внутреннее сопротивление электровакуумного триода;

μ — статический коэффициент усиления электровакуумного триода по напряжению;

r_k — внутреннее сопротивление полупроводникового триода в схеме с общей базой при высоком внутреннем сопротивлении источника входного сигнала.

R_{ik} весьма высоко. Например, соединение полупроводникового триода типа П11 и электровакуумного 6Н6П одной половины имеет $R_{ik} \approx 9 \text{ мом.}$

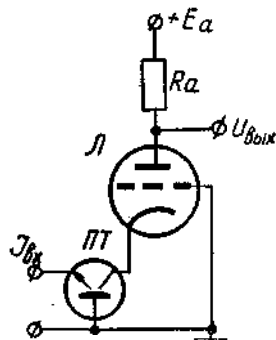


Рис. 1. Принципиальная схема усилителя Л — $\frac{1}{2}$ 6Н6П ПТ — П11, $R_a = 43 \text{ ком.}$, $E_a = 600 \text{ в.}$

Как правило, $R_{ik} \gg R_a$. Поэтому при емкостной нагрузке отклоняющие пластины ЭЛТ

$$U_{\text{вых}} = E_a - I_{\text{вх}} \alpha_0 R_a, \quad (1)$$

где E_a — напряжение анодного питания усилителя;

$I_{\text{вх}}$ — входной ток;

R_a — сопротивление анодной нагрузки;

α_0 — коэффициент усиления по току полупроводникового триода в схеме с общей базой для области низких частот.

Из равенства (1) следует, что единственной причиной существенной нелинейности поперечного сопротивления R_n при отсутствии сеточных токов является зависимость коэффициента α_0 от тока эмиттера. Указанная зависимость исследована в работах [2, 3, 4]. Относительное изменение коэффициента усиления по току $\gamma = \frac{\Delta \alpha_0}{\alpha_0 \text{ макс}}$ в диапазоне токов эмит-

тера 0,1—20 ма для маломощных транзисторов при использовании данных работ [2, 4] может быть оценено $\gamma < 0,02$. Данные экспериментов [2] свидетельствуют о том, что полупроводниковые триоды проводимости $n-p-n$ обладают лучшей стабильностью коэффициента α_0 в области малых токов эмиттера. Экспериментальная проверка нескольких образцов триодов типа П11 позволила оценить $\gamma < 0,01$ в диапазоне токов эмиттера 0,1—20 ма в динамическом режиме. Коэффициент γ характеризует линейность поперечного сопротивления усилителя.

Стабильность начального уровня выходного напряжения усилителя определяется стабильностью напряжения питания анодной цепи и температурным дрейфом тока коллектора. Влияние же изменения напряжения накала лампы сводится в основном к перемещению границ диапазона линейной работы усилителя. Это происходит потому, что

$$r_k \gg R_{\text{вх}}; \quad R_{\text{вх}} \approx \frac{1}{S},$$

где $R_{\text{вх}}$ — входное сопротивление электровакуумного триода в схеме с общей сеткой для низких частот;

S — крутизна характеристики электровакуумного триода.

Изменение крутизны мало влияет на ток в анодной цепи и отражается лишь на изменении напряжения катода.

Вследствие высокого внутреннего сопротивления каскадного соединения приращения напряжения анодного питания через R_a будут переданы на выход усилителя. Стабильность начального уровня выходного напряжения может быть значительно повышена при применении компенсации по схеме рис. 2. Компенсация возможна при условии одинакового относительного изменения напряжений источника анодного питания E_a и источника смещения. Так как для схемы рис. 2 при $I_{\text{вх}} = 0$ справедливо

$$U_{\text{вых}} = (E_a + \Delta E_a) - R_a \alpha_0 \left[\frac{(E_{\text{см}} + \Delta E_{\text{см}}) - E_{\text{ст}} - U_{\text{эб}}}{R_{\text{см}}} \right],$$

где ΔE_a , $\Delta E_{\text{см}}$ — приращения напряжений источников анодного питания и смещения;

$R_{\text{см}}$ — сопротивление в цепи смещения;

$E_{\text{ст}}$ — напряжение стабилизации кремниевого стабилитрона;

$U_{\text{эб}}$ — напряжение на эмиттерном переходе,

то для приращений следует

$$\Delta E_a = R_a \alpha_0 \frac{\Delta E_{\text{см}}}{R_{\text{см}}}.$$

Отсюда находим условие компенсации

$$\frac{R_a \alpha_0}{R_{cm}} = \frac{\Delta E_a}{\Delta E_{cm}} = \frac{E_a}{E_{cm}}.$$

Полной компенсации получить не удастся вследствие нелинейности динамического сопротивления стабилитрона и входного сопротивления полупроводникового триода. Влияние этих нелинейных сопротивлений уменьшается при повышении E_{cm} . Поэтому в схеме рис. 2 компенсация изменений $U_{вых}$ до значений $\Delta U_{вых} < 0,01 E_a$ возможна при $E_{cm} > 20$ в.

Температурная нестабильность $U_{вых}$ (рис. 1) обусловлена температурными изменениями α_0 и I_{k0} полупроводникового триода. Теоретические и экспериментальные исследования зависимости α_0 от температуры, приведенные в работе [3], свидетельствуют о том, что для германиевых триодов в диапазоне $+20 - +70^\circ\text{C}$ она отличается постоянством с точностью 0,01. Значительные изменения α_0 наблюдаются у отдельных образцов триодов в области температур ниже -20°C . Таким образом, в диапазоне температур $+20 - +70^\circ\text{C}$ нестабильность из-за температурных изменений α_0 может быть оценена

$$\Delta U_{вых} < 0,01 I_{вх. макс} R_a,$$

где $I_{вх. макс}$ — максимальный входной ток усилителя.

Влияние изменений обратного тока коллекторного перехода найдем, пользуясь выражением из работы [4], справедливым для германиевых триодов,

$$I_{k0t} = 0,21 I_{k020} e^{0,077t},$$

где I_{k0t} — обратный ток коллекторного перехода при температуре t ;
 I_{k020} — обратный ток коллекторного перехода при температуре $t = 20^\circ\text{C}$.

Очевидно,

$$\Delta U_{вых} = (I_{k0t} - I_{k020}) R_a = R_a I_{k020} (0,21 e^{0,077t} - 1).$$

В схеме рис. 1 в диапазоне температур $+20 - +70^\circ\text{C}$ было получено $\Delta U_{вых} = 5$ в. Нестабильность выходного напряжения из-за температурного дрейфа I_{k0} может быть существенной.

С точностью, приемлемой для практических расчетов, можно полагать, что входной ток усилителя проходит последовательно через три инерционных звена: полупроводниковый триод, входную цепь лампы, выходную цепь. Частотные свойства этих звеньев можно охарактеризовать постоянными времени:

$$\tau_1 = \frac{1}{\omega_a},$$

где $\omega_a = 2\pi f_a$;

f_a — граничная частота усиления полупроводникового триода по току в схеме с общей базой.

$$\tau_2 = \frac{1}{S} (C_k + C_{вх}).$$

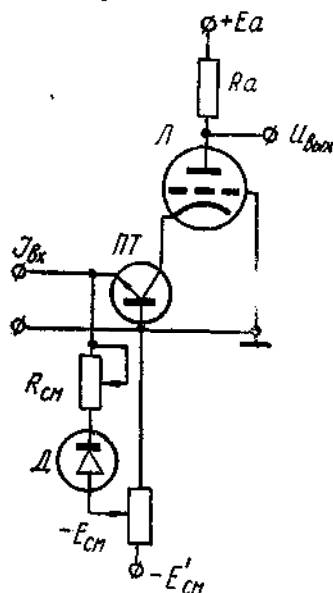


Рис. 2. Принципиальная схема усилителя с компенсацией влияния нестабильности E_a и E_{cm} .

Здесь C_k — емкость коллекторного перехода полупроводникового триода;
 $C_{вх}$ — входная емкость электровакуумного триода.

$$\tau_3 = R_a \left(C_n + C_{пр} + \frac{C_k C_{вых}}{C_k + C_{вых}} \right),$$

где C_n — емкость нагрузки на выходе усилителя;
 $C_{пр}$ — проходная емкость электровакуумного триода;
 $C_{вых}$ — выходная емкость электровакуумного триода.

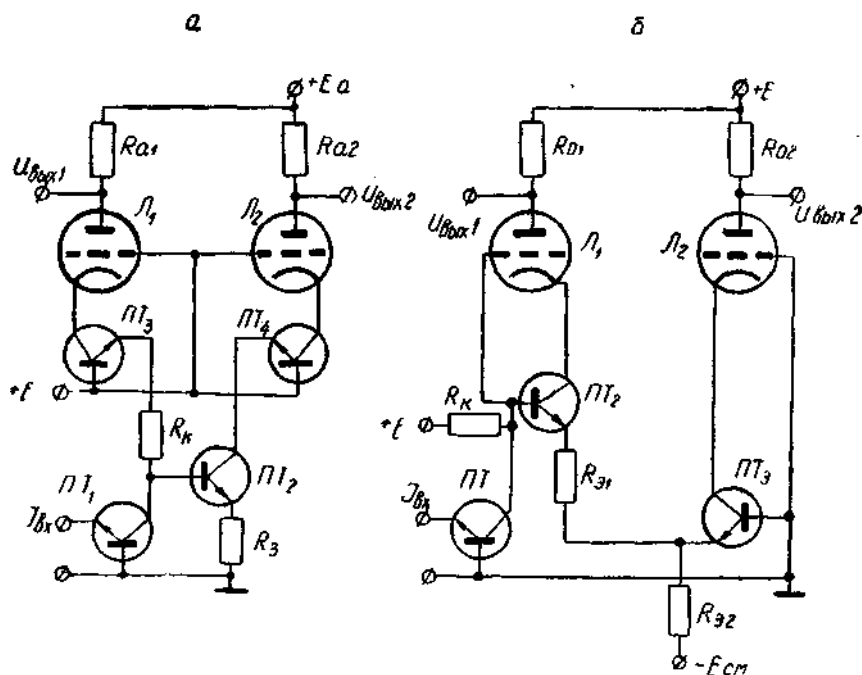


Рис. 3. Принципиальные схемы усилителей отклонения с парафазным выходным напряжением.

Пренебрегая влиянием звена с наименьшей постоянной времени (как правило, это τ_2) на ширину полосы пропускания усилителя, можно найти граничную частоту $f_{гр}$, определяющую полосу пропускания, из формулы [5]

$$f_{гр} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2a - b^2 + \sqrt{(2a - b^2)^2 + 4a^2}}{2a^2}},$$

где $a = \tau_1 \tau_3$; $b = \tau_1 + \tau_3$.

В усилителе рис. 1 при $C_n = 10$ пф $f_{гр} = 800$ кГц, что подтверждено экспериментом.

Для отклонения луча ЭЛТ требуется парафазное напряжение, которое при применении данного усилителя может быть получено двумя способами:

- при помощи двух преобразователей код — ток для получения токов, соответствующих прямому и обратному кодам, и двух усилителей (рис. 1);
- путем получения дополняющего тока при помощи специальных схем (рис. 3).

Для первого способа справедливы приведенные оценки точности, стабильности и полосы пропускания. Второй способ позволяет построить усилитель с несколько худшими показателями. Экспериментальный усилитель для отклонения луча в ЭЛТ типа 31Л033В (рис. 3, а) имел диа-

пазон линейной работы $\Delta U_{\text{вых}} = 500$ в для одной половины схемы при $I_{\text{вх}} = 0,1 - 10$ ма. Относительное изменение поперечного сопротивления было не более 0,015. Полоса пропускания усилителя была в пределах 0—300 кГц при $C_n = 7$ пф.

Во время работы усилителя полупроводниковые триоды находятся в наиболее тяжелом режиме при обесточенной эмиттерной цепи. В этом случае возможно возникновение на коллекторе напряжения выше $U_{k \text{ доп}}$ в соответствии со входными характеристиками лампы в схеме с общей сеткой. Если применение смещения по току в цепи эмиттера, которое позволяет устранить такое состояние схемы, нежелательно, можно использовать другую схему (рис. 4). В такой схеме наибольшее напряжение, возможное на коллекторе, значительно снижается, но возрастает величина остаточного напряжения на аноде.

Описанный усилитель весьма прост в наладке и может применяться в лабораторных условиях для отклонения луча с цифро-аналоговым преобразованием с точностью не выше 1%.

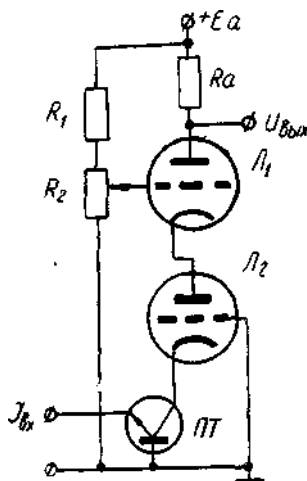


Рис. 4. Принципиальная схема усилителя с облегченным режимом полупроводникового триода.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Ложников, Е. К. Сонин. Каскадные усилители. ГЭИ, 1961.
2. W. M. Webster. On variation of junction — transistor current amplification factor with emitter current. Proc. IRE, 1954, v. 42, June, pp. 914—920.
3. Л. А. Петров. Исследование температурной зависимости параметров плоскостных германиевых триодов типа П1. Сб. «Полупроводниковые приборы и их применение», вып. I, под ред. Я. А. Федотова. Изд-во «Советское радио», 1956.
4. Н. С. Яковчук, В. Е. Челноков, М. П. Гейфман. Плоскостные транзисторы. Судпромгиз, 1961.
5. Я. С. Ицхоки. Импульсные устройства. Изд-во «Советское радио», 1959.