

Ц 719

3-68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2845



А.Д. Злобин, А.А. Сафрошкина, В.Н. Шкунденков

ВЫХОДНОЙ КАСКАД РАЗВЕРТКИ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ
С МАГНИТНЫМ ОТКЛОНЕНИЕМ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1966

4429/1 пр.

А.Д. Злобин, А.А. Сафрошкина, В.Н. Шкуяденков

ВЫХОДНОЙ КАСКАД РАЗВЕРТКИ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ
С МАГНИТНЫМ ОТКЛОНЕНИЕМ

УДОВОЛЕНИЕ ПЕЧАТАЮ
ЦЕНТРАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ
СЛУЖБА

В в е д е н и е

При решении некоторых технических задач, связанных с использованием электронно-лучевой трубки (в частности, при создании сканирующего автомата для обмера фотоснимков с трековых камер), имеют место следующие случаи:

- а) требуется создать медленную (с периодом в несколько секунд) развертку;
- б) требуется создать шаговую (основанную на использовании счетчика на триггерах) развертку, причем должна иметься возможность останавливать луч в любом месте экрана электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) на неопределенно долгое время.

Такого рода задачи приводят к необходимости построения схем разверток на основе гальванических связей между каскадами и применения (при использовании ЭЛТ с магнитным отклонением луча) на выходе приборов, являющихся мощными источниками тока. Эти требования вызывают необходимость построения таких схем на транзисторах с непосредственным включением отклоняющей катушки в оконечную цепь выходного транзистора.^{/1,2,3/}

На рис. 1 в качестве примера приведена типичная схема выходного каскада "медленной" телевизионной развертки^{/1/}. Недостатком таких схем является протекание постоянной составляющей тока выходного транзистора через отклоняющую катушку. Для компенсации влияния этой постоянной составляющей и вывода развертки в нужную часть экрана ЭЛТ применяют дополнительные обмотки (на рис. 1 катушка L') с питанием током, создающим соответствующее встречное направление магнитного поля. Поскольку промышленность не выпускает отклоняющих систем с такими дополнительными катушками, то их приходится делать собственными силами. Вместе с тем отклоняющие системы для ЭЛТ с высоким разрешением являются достаточно сложными приборами и переделка их кустарными методами может привести к ухудшению их характеристик.

В данной работе описывается схема выходного каскада телевизионной развертки, позволяющая при решении указанных выше задач также осуществлять вывод развертки в нужную часть экрана ЭЛТ без применения дополнительных обмоток в отклоняющей системе.

Кроме указанных проблем, связанных с построением схем "медленных" разверток, в работе применительно к описываемому выходному каскаду рассмотрен вопрос о влиянии индуктивности отклоняющей катушки на линейность "быстрой" (с периодом в несколько мсек и меньше) непрерывной (пилообразной) развертки и на время установления переходного процесса при шаговой развертке.

Определенное внимание при расчете выходного каскада уделено оптимальному с точки зрения стабильности выбору параметров элементов схемы.

Схема выходного каскада телевизионной развертки

Упрощенная схема каскада приведена на рис. 2. Схема представляет собой усилитель мощности, охваченный отрицательной обратной связью по току. Постоянная составляющая тока i_0 через отклоняющую катушку L компенсируется током i от источника E . Сопротивление R_1 ставится для повышения сопротивления со стороны эмиттера транзистора T_2 и выбирается порядка или больше активного сопротивления отклоняющей катушки L плюс R_0 . Сопротивление R_2 выбирается таким, чтобы цепь источника питания E не шунтировала индуктивность L и сопротивление R_0 .

Проведем анализ описанной схемы с целью оценки влияния индуктивности L на линейность развертки. Найдем выражение тока $i_L(t)$ в отклоняющей катушке при линейно нарастающем напряжении на входе схемы. Пренебрегая током базы транзистора T_1 , можем записать:

$$i_L(t) = \frac{U_{R_0}(t)}{R_0} \quad (1)$$

где $U_{R_0}(t)$ — напряжение на сопротивлении R_0 .

Найдем $U_{R_0}(t)$. Пренебрегая в ряде случаев влиянием входных сопротивлений, сопротивлений внутренних обратных связей и собственно внутренних сопротивлений транзисторов, а также шунтирующим влиянием сопротивления R_2 , запишем матрицу проводимости схемы в операционном виде ^{/5/}:

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & S_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ 2 & -S_2 & \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{bx2}} & S_1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_1 + R_L + pL} & -\frac{1}{R_1 + R_L + pL} \\ 4 & 0 & -S_2 & -\frac{1}{R_1 + R_L + pL} & S_2 + \frac{1}{R_1 + R_L + pL} \end{bmatrix}$$

где S_1 и S_2 - крутизны характеристик соответственно транзисторов Т1 и Т2; R_L - активное сопротивление катушки L ; R_{11} - внутреннее сопротивление транзистора Т1; R_{bx2} - входное сопротивление транзистора Т2. Отсюда находим^{/5/} изображение коэффициента передачи напряжения $K_{R_0}(p)$:

$$K_{R_0}(p) = -\frac{\Delta_{13}}{\Delta_{11}} = K \frac{R_0}{R_0(1+K)+R_1+R_L} \cdot \frac{1}{1+pr}, \quad (2)$$

где $K = \frac{S_1}{\frac{1}{R_k} + \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{bx2}}}$ - коэффициент усиления напряжения транзистором Т1 при разобранной цепи отрицательной обратной связи; $r = \frac{L}{R_0(1+K)+R_1+R_L}$. Учитывая выражения (1) и (2), находим изображение тока в отклоняющей катушке при поступлении на вход схемы линейно нарастающего напряжения, $U_{bx}(t) = at$:

$$i_L(p) = -\frac{U_{bx}(p) \cdot K_{R_0}(p)}{R_0} = \frac{aK}{R_0(1+K)+R_1+R_L} \cdot \frac{1}{1+pr} \cdot \frac{1}{p} \quad (3)$$

Используя таблицы перехода от изображения к оригиналу^{/6/}, находим:

$$i_L(t) = -\frac{aK}{R_0(1+K)+R_1+R_L} \cdot [t - r(1 - e^{-\frac{t}{r}})] \quad (4)$$

На рис. 3 приведен ход функции (4). Как видим, изменение величины тока носит монотонный характер, и поэтому в соответствии с определением коэффициента нелинейности развертки^{/4/} можем записать:

$$\gamma = \frac{\left. \frac{di_L}{dt} \right|_{t=T} - \left. \frac{di_L}{dt} \right|_{t=t_0}}{\left. \frac{di_L}{dt} \right|_{t=T}} \quad (5)$$

где γ - коэффициент нелинейности развертки; T - момент времени, соответствующий концу прямого хода развертки; t_0 - момент времени, соответствующий началу используемой части прямого хода развертки.

^{x)} При нахождении выражения $U_{bx}(p)$ использована формула Хевисайда-Карсона.

Условием пригодности схемы для формирования линейной (с допустимым коэффициентом нелинейности) развертки на большей части прямого хода является:

$$t_0 \ll T, \quad (6)$$

или, подставив (4) в (5) и определив отсюда t_0 , считая в соответствии с (6) $T \rightarrow \infty$, получим:

$$\frac{L}{R_0(1+K)+R_1+R_L} \cdot \ln \frac{1}{\gamma} \ll T, \quad (7)$$

Задавшись допустимым коэффициентом нелинейности γ при заданной длительности прямого хода развертки T , можно подобрать необходимые величины параметров, входящих в выражение (7), и оценить техническую осуществимость заданных требований.

При использовании описанного выходного каскада для формирования шаговой (ступенчатой) развертки основной характеристикой его является время установления переходного процесса тока в отклоняющей катушке при воздействии на вход каскада ступени напряжения $U_{\text{вх}} = U_{\sigma}$. Используя (2), находим:

$$i_L(p) = \frac{U_{\sigma}(p) \cdot KR_0(p)}{R_0} = \frac{U_0 K}{R_0(1+K)+R_1+R_L} \frac{1}{1+pr},$$

откуда

$$i_L(t) = \frac{U_0 K}{R_0(1+K)+R_1+R_L} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{r}}), \quad (8)$$

где

$$r = \frac{L}{R_0(1+K)+R_1+R_L}.$$

Отсюда находим время установления переходного процесса тока в отклоняющей катушке:

$$t = r \cdot \ln \left(1 - \frac{\Delta i}{i_0} \right),$$

где i_0 - ток ступени в установившемся режиме; Δi - разница между мгновенным значением тока в переходном процессе и установившимся значением. Последнюю формулу, считая, что отклонение в первом приближении пропорционально току в отклоняющих катушках, можно записать следующим образом:

$$t = r \cdot \ln \left(1 - \frac{\Delta h}{h_0} \right). \quad (9)$$

Здесь h_0 - величина ступени смещения светового пятна на экране электронно-лучевой трубки в установившемся режиме; Δh - разница между мгновенным значением положения светового пятна в переходном режиме и установившимся значением.

При эксплуатации схемы предполагается проведение периодического (не реже чем раз в несколько суток) контроля за уходом параметров. При таких условиях на нестабильность работы схемы будет влиять в основном изменение температуры.

Проведем анализ температурной стабильности схемы. Рассматривая наилучший случай, когда при изменении температуры случайный статистический разброс параметров схемы совпадает по знаку (т.е. рассматривая влияние этих параметров через их сумму), находим величину относительной нестабильности тока в отклоняющей катушке:

$$\frac{\Delta i_L}{i_L} = \frac{1}{i_L} \cdot \sum_{x=R_0, R_1, R_L, K} \frac{\partial i_L}{\partial x} \cdot \Delta x (\Delta t^\circ) \quad (10)$$

Подставив выражение (4) при $T \rightarrow \infty$ в (8), получим:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta i_L}{i_L} = & \frac{R_1}{R_0 K + R_1 + R_L} \cdot \frac{\Delta K (\Delta t^\circ)}{K} - \frac{R_0 K}{R_0 K + R_1 + R_L} \cdot \frac{\Delta R_0 (\Delta t^\circ)}{R_0} - \\ & - \frac{R_1}{R_0 K + R_1 + R_L} \cdot \frac{\Delta R_1 (\Delta t^\circ)}{R_1} - \frac{R_L}{R_0 K + R_1 + R_L} \cdot \frac{\Delta R_L (\Delta t^\circ)}{R_L} \quad (11) \end{aligned}$$

Определив значения не зависящих от нас параметров, входящих в выражение (9), можно подобрать оптимальные (с точки зрения относительного влияния и технической осуществимости) требования к остальным параметрам, тем самым максимально используя заложенные в схеме возможности^{/8/}. Считая, что изменение температуры соответствует повышению от $t^\circ = 20^\circ\text{C}$ до $t^\circ = 50^\circ\text{C}$ и считая, что изменение коэффициента усиления K в основном зависит от изменения крутизны характеристики S , находим^{/7/} $\frac{\Delta K}{K} = \frac{\Delta S_1}{S_1} \leq 0,3$. Температурные коэффициенты сопротивлений, входящих в схему, считаем отрицательными. Температурный коэффициент активного сопротивления катушки R_L , намотанной медным проводом, равен 0,004. Считая величины R_0 и $R_1 + R_L$ отличающимися не более чем на порядок ($R_1 + R_L$ больше R_0) и считая коэффициент усиления $K = 300 - 500$, можно рассматривать как оптимальный следующий выбор остальных параметров, входящих в выражение (9): температурный коэффициент сопротивления R_1 , равный $\leq 10^{-3}$; температурный коэффициент сопротивления R_0 , равный $\leq 2 \cdot 10^{-4}$. При подстановке указанных параметров в формулу (9) получим изменение амплитуды тока при изменении температуры в указанных выше пределах равным 2%. Реально следует ожидать несколько большего изменения тока, поскольку при расчете не был учтен ряд сравнительно мало влияющих на это параметров.

На рис. 4 приведена практическая схема выходного каскада телевизионной развертки. Задавшись коэффициентом нелинейности развертки $\gamma = 0,02$, для данной схемы согласно выражению (7) находим:

$$\frac{L}{R_0(1+K)+R_1+R_L} \cdot \ln \frac{1}{\gamma} = \frac{10^{-2}}{5(1+300)+50+10} \cdot \ln \frac{1}{0,02} \approx 30 \cdot 10^{-6}$$

Следовательно, при длительности прямого хода развертки $T > 300 \cdot 10^{-6}$ сек может быть использовано больше 90% размера развертки. Остальную, начальную, часть развертки можно отбросить, например подав на электронно-лучевую трубку гасящие импульсы соответствующей длительности. При использовании схемы для формирования шаговой развертки согласно (9) находим, что при величине шага $h_0 = 20$ мкм и точности установления соответствующей $\Delta h = 2$ мкм требуется

$$t = \frac{10^{-2}}{5(1+30)+50+10} \cdot \ln \left(1 - \frac{2}{20} \right) = 15 \cdot 10^{-6} \text{ сек.}$$

Аналогично для $h_0 = 40$ мкм и $\Delta h = 10$ мкм требуется $t = 80 \cdot 10^{-6}$ сек. Схема позволяет получить на выходе амплитуду тока развертки $i_{L_{max}} = 400$ ма. При необходимости иметь большую амплитуду выходного тока можно или уменьшить сопротивление R_1 , или увеличить напряжение питания при увеличении напряжения сигнала на входе, или увеличить мощность стоящих на выходе транзисторов. Стоящие в схеме сопротивления $R_1 = 50$ ом и $R_2 = 300$ ом имеют допустимую мощность рассеивания соответственно 50 и 100 ватт. Площадь поверхности радиатора последнего транзистора равна 800 см^2 . Схема испытывалась на стабильность работы в течение 7 час при постоянной температуре окружающей среды $t^0 = 23^{\circ}\text{C}$, а также при повышении температуры до $t^0 = 55^{\circ}\text{C}$. Измерения велись с точностью до 1%. В первом случае изменения амплитуды выходного тока не наблюдалось, во втором - наблюдалось ее увеличение на 3%. На рис. 5 приведена осциллограмма тока в отклоняющей катушке при длительности прямого хода развертки $T = 4 \cdot 10^{-3}$ сек. На рис. 6 приведена полная схема формирования развертки с периодом 2,5 сек.

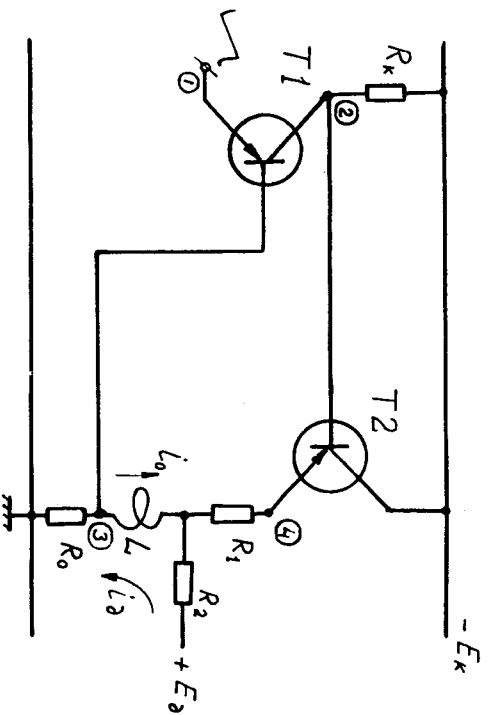
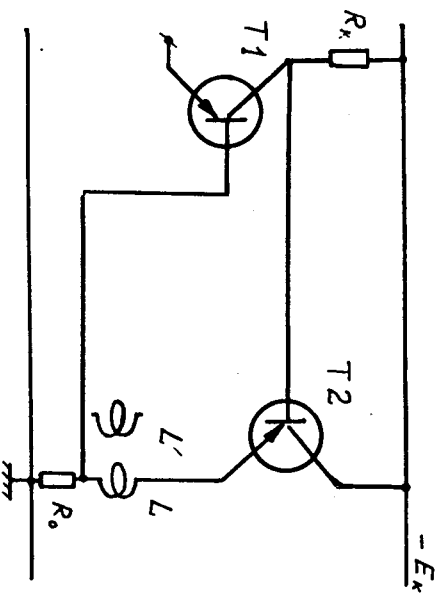
Авторы считают приятным долгом поблагодарить М.И. Резника за оказанную помощь при разработке схемы, а также А.Н. Сиваева за ряд полезных замечаний при обсуждении статьи.

Л и т е р а т у р а

1. А.З. Модель, В.В. Дрангнис. Радиотехника, 13, № 7 (1961).
2. А.З. Модель, Г.Н. Шашков. Вопросы радиоэлектроники, сер. 1X, вып. 4 (1961).
3. А.З. Модель, Г.Н. Шашков. Радиотехника, 20, № 9 (1965).

4. В.Ф. Самойлов. Генераторы пилообразного тока в телевизоре. Гос. изд. лит. по вопросам связи и радио, М, 1980.
5. В.П. Сигорский. Анализ электронных схем. Гостехиздат, УССР, Киев, 1983.
6. С.Г. Гинзбург. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. "Сов. радио". М., 1958.
7. И.П. Степаненко. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. Госэнергоиздат, М-Л, 1963, стр. 105.
8. В.Н. Шкунденков. Преприят ОИЯИ, 1828, Дубна, 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 августа 1986 г.



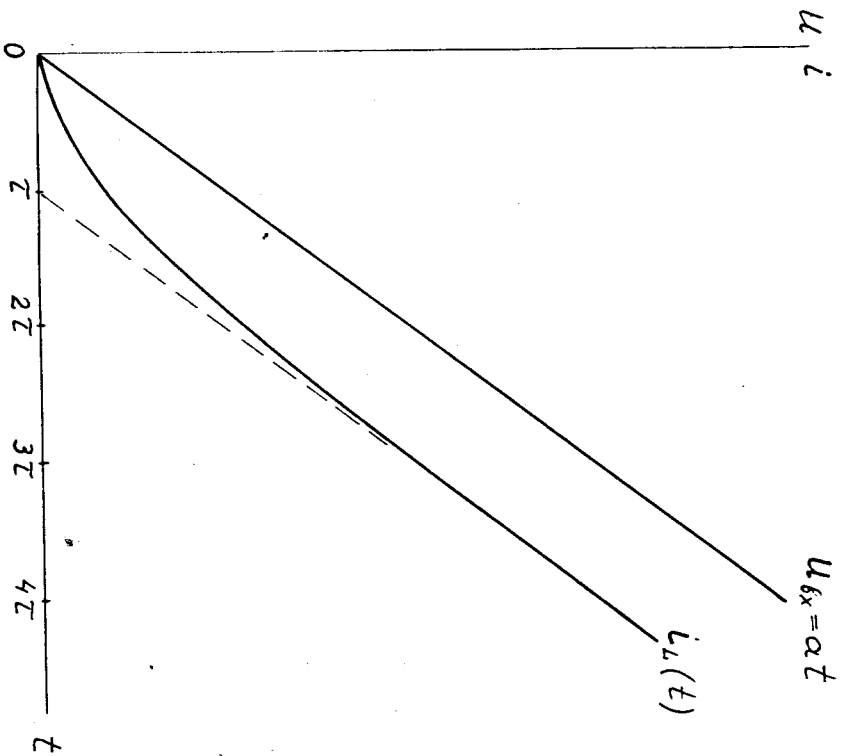


Рис. 3.

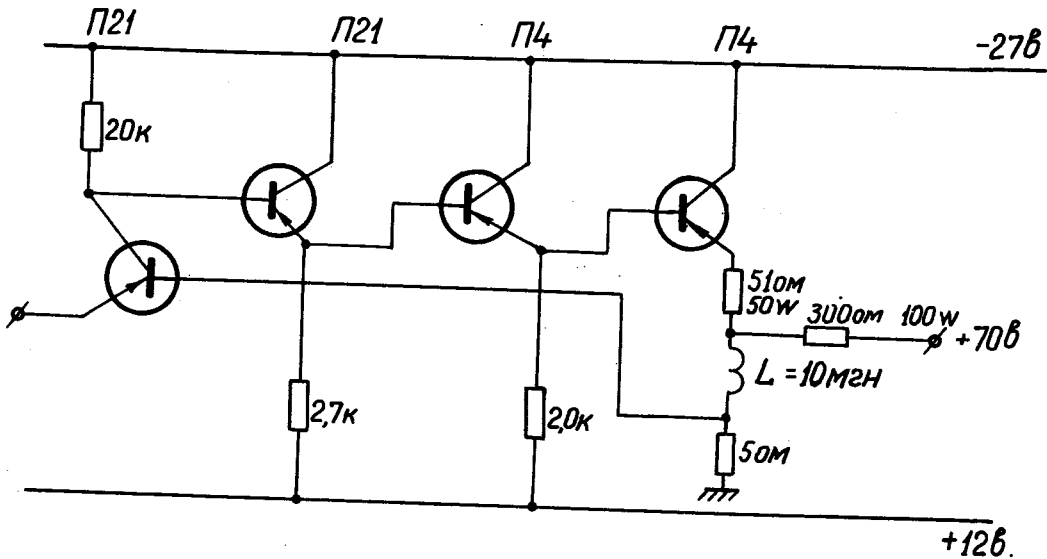


Рис. 4.

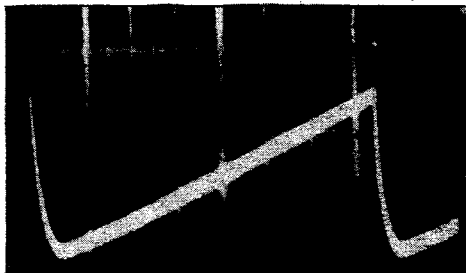


Рис. 5.

