

источник питания отдельный. Блоки синтезатора выполнены в виде металлических шасси с отсеками для печатных плат узлов. Всего в синтезаторе использовано 180 резонансных контуров.

В заключение приведем основные параметры синтезатора частот: число каналов 2; диапазоны частот 26—50, 52—100 МГц; время переключения частот  $< 1$  мкс; число частот с кварцевой стабилизацией 120; число частот с диапазонно-кварцевой стабилизацией 1000 (стабильность не хуже 0,05%); относительный уровень паразитных частот, некратных частоте выходного сигнала,  $< -30$  дБ; неравномерность АЧХ  $\pm 1$  дБ; выходная мощность 2 Вт на нагрузке 50 Ом.

Синтезатор частот используется в составе двухкоординатного АОД с акустооптическими ячейками из молибдата свинца. АОД управляется от ЭВМ «Электроника-100» через интерфейсы программного канала. С помощью специальных цепей выходы синтезатора согласованы с акустооптическими ячейками в полосе 30 МГц при уровне дифракции не менее 40% по каждой координате.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Вьюхин, В. В. Курочкин. Вопросы проектирования систем управления акустооптических дефлекторов. — «Автоматрия», 1976, № 3, с. 35.
2. В. А. Левин. Стабилизация дискретного множества частот. М., «Энергия», 1970. 327 с.
3. М. Е. Мовшович. Полупроводниковые преобразователи частоты. Л., «Энергия», 1974. 310 с.
4. Е. Г. Лапицкий, А. М. Семенов, Л. М. Сосновкин. Расчет диапазонных радиопередатчиков. Л., «Энергия», 1974. 270 с.
5. Ю. Л. Симонов. Усилители промежуточной частоты. М., «Сов. радио», 1973. 360 с.
6. Г. Ханзел. Справочник по расчету фильтров М., «Сов. радио», 1974. 288 с.
7. В. Н. Вьюхин, Е. А. Ковалев, В. В. Курочкин, В. П. Юношев. Система управления акустооптического дефлектора. — «Автоматрия», 1975, № 3, с. 126—130.
8. И. С. Гоноровский. Радиотехнические цепи и сигналы. М., «Сов. радио», 1971. 327 с.

*Поступила в редакцию 14 мая 1975 г.*

УДК 681.327.2:621.373

**В. Н. ВЬЮХИН, В. В. КУРОЧКИН**

*(Новосибирск)*

### **ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ДЕФЛЕКТОРА**

В связи с развитием исследований по голограммным запоминающим устройствам (ГЗУ) возникла задача создания быстродействующих дискретных дефлекторов лазерного луча с произвольной адресацией. Из двух альтернативных способов построения дискретных дефлекторов — электрооптического и акустооптического — последний позволяет создать более дешевые и малогабаритные устройства, так как требует только одного — двух отклоняющих элементов для двухкоординатного отклонения. Акустооптический дефлектор (АОД) состоит из трех главных частей: акустооптической ячейки (АОЯ), элементов оптической

схемы и системы управления (СУ). Задача СУ — формировать по командам ЭВМ сигналы, частота которых соответствует адресуемой позиции, а остальные параметры должны удовлетворять определенным требованиям.

В литературе имеется много публикаций [1—5] по вопросам исследования и разработки АОЯ, в то время как разработка и исследование СУ АОД освещены слабо, а описаний реальных СУ в отечественной литературе практически нет. Поэтому возникла необходимость проанализировать общие вопросы проектирования, а также один из вариантов реальной СУ.

Рассмотрим, каким требованиям должна удовлетворять система управления АОД. Предварительно отметим, что поскольку в настоящее время нет серийно-выпускаемых АОД, то разрабатываемая СУ должна быть достаточно универсальной по отношению к параметрам АОЯ.

1. Диапазон частот СУ целесообразно выбрать равным октаве частот по следующим причинам. Известно [2], что полоса рабочих частот АОЯ, работающей в режиме дифракции Брегга, ограничена резонансными свойствами пьезопреобразователя и допустимым изменением угла Брегга в полосе частот. При конструировании АОЯ существуют противоречивые требования к выбору длины взаимодействия света и звука  $l$ . С одной стороны, для осуществления чисто брегговского взаимодействия, при котором рассеяние света осуществляется только в один дифракционный порядок, и уменьшения акустической мощности величина  $l$  должна выбираться большой. С другой стороны, оптическая полоса обратно пропорциональна  $l$ , поэтому АОЯ, как правило, работают в переходном режиме между дифракцией Брегга и Рамана — Ната, что обуславливает появление высших дифракционных порядков. При полосе частот АОЯ, большей октавы, в рабочем поле дефлектора наряду с основным будет присутствовать 2-й дифракционный порядок, создавая паразитный фон. Наличие в спектре сигнала управления гармоник основной частоты также увеличивает рассеивание света в высшие дифракционные порядки.

На основе анализа известных АОЯ и общих требований к АОД в ГЗУ целесообразно выбрать в качестве рабочих следующие октавы частот: 25—50, 50—100 и 100—200 МГц. Следовательно, система управления должна формировать набор частот в одной из указанных октав, другие октавы могут быть получены применением делителей и умножителей частоты. С целью реализации СУ на элементах с сосредоточенными параметрами в качестве исходной предпочтительно выбрать октаву 25—50 МГц. Октавы 50—100 и 100—200 МГц получаются с помощью двух удвоителей частоты. Следует отметить, что АОД, в которых используется управление акустическим пучком или оптическая анизотропия, могут иметь полосу больше октавы [3].

2. Относительная нестабильность частоты  $\delta f$  в АОД определяется требуемой стабильностью положения отклоненного луча из соотношения

$$\delta f \leq \delta_n K (\Delta f / f_m N). \quad (1)$$

Здесь  $N$  — число реальных позиций дефлектора (при заданном уровне фона в невыбранных позициях);  $f_m$  и  $\Delta f$  — верхняя граничная частота и полоса частот дефлектора соответственно;  $\delta_n$  — допускаемое в ГЗУ относительное смещение луча;  $\delta_n = \Delta N / N$ , где  $\Delta N$  — абсолютное смещение луча, а  $N$  — расстояния между соседними позициями (шаг). Коэффициент  $K$  учитывает тот факт, что нестабильность угла отклонения зависит также и от дрейфа параметров АОЯ:  $K = \delta'_n / \delta_n$  ( $\delta'_n$  — относительное смещение, обусловленное лишь  $\delta_f$ ).

Учитывая, что обычно  $0,25 < \Delta f/f_m < 0,5$  и требуемое в ГЗУ  $\delta_n = 0,1$ , а также приняв  $K = 0,5$ , получим из (1)

$$\delta f \leq (1,25 - 2,5/N) \% . \quad (2)$$

В [4] отмечено, что тепловой дрейф параметров АОЯ накладывает фундаментальные ограничения на число позиций в АОД. Поэтому при большом числе позиций дефлектора  $N > (64 - 100)$  в (2) необходимо подставлять значение  $K \ll 1$ , что приводит к условию  $\delta f < 10^{-4}$ .

3. Время переключения частоты  $\tau_1$  в СУ определяет одну из составляющих времени коммутации луча, вторая составляющая которого определяется временем установления акустического столба  $\tau_2$  в АОЯ. При допустимом времени выбора голограммы в ГЗУ порядка 10 мкс время переключения частоты  $\tau_1$  должно быть менее 5 мкс. Однако в АОЯ число разрешимых позиций  $N$  пропорционально  $\tau_2$ , поэтому желательно иметь  $\tau_1 < \tau_2$ , что приводит к значению времени переключения частоты  $\tau_1$  на уровне 1 мкс.

4. Паразитные частоты в спектре выходного сигнала СУ, некратные его основной частоте, создают фон в рабочем поле дефлектора, и при требуемой в ГЗУ развязке позиций дефлектора — 20 дБ уровень каждой из паразитных частот, находящихся в полосе дефлектора, не должен превышать —30 дБ. Требования к содержанию в выходном сигнале паразитных частот, кратных выходной частоте (гармоник и субгармоник), менее жесткие, так как они создают фон вне рабочего поля дефлектора и их допустимый уровень необходимо определять исходя из влияния на неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). Поэтому в выходном сигнале СУ могут содержаться гармоники, некратные рабочим частотам АОЯ. По уровню эти гармоники не должны превышать величину —20 дБ. В тех случаях, когда полоса частот дефлектора больше октавы, относительный уровень гармоник и субгармоник в выходном сигнале также должен быть ограничен значением —30 дБ.

5. Акустическая мощность, требуемая для получения дифракционной эффективности  $\eta = 70\%$ , определяется [5] таким образом:

$$P_{\text{ак}} = 54 (h/lM_2) \cdot (\lambda_1/\lambda_{\text{He-Ne}})^2, \quad (3)$$

где  $h$  и  $l$  — высота и длина пьезопреобразователя;  $M_2$  — коэффициент акустооптического качества материала АОЯ;  $\lambda_1$  — длина волны света;  $\lambda_{\text{He-Ne}} = 0,63$  мк.

С учетом потерь на преобразование 3—6 дБ требуемая электрическая мощность в 2—4 раза выше  $P_{\text{ак}}$ , найденной из (3). Зависимость  $P_{\text{ак}} = f(\eta)$  нелинейная и для конкретной АОЯ может быть выражена с точностью до постоянного коэффициента  $K$  [2]:

$$P_{\text{ак}} = K (\arcsin \sqrt{\eta})^2. \quad (4)$$

Из анализа уравнения (4), в частности, следует, что при высоких значениях  $\eta$  частотная характеристика дефлектора по свету более равномерная, чем по управляющей электрической мощности, и что при  $\eta = 0,5$  значение  $P_{\text{ак}} = 0,25 P_m$ , где  $P_m$  — мощность при  $\eta = 1$ . Следовательно, если тепловые проблемы не ограничивают характеристики дефлектора, то необходимо работать при высоких значениях  $\eta = 0,7 - 0,8$ ; в противном случае — при низких значениях  $\eta$ , при которых управляющая мощность и тепловой дрейф параметров АОЯ существенно снижаются.

6. Число фиксированных частот  $N'$  универсальной по отношению к параметрам АОЯ системы управления целесообразно выбирать исходя из требуемого числа реальных позиций дефлектора  $N$  с запасом, равным коэффициенту использования октавы  $m$ , т. е.  $N' = N/m$ ;  $m = \Delta f/f_n$ , где  $\Delta f$  и  $f_n$  — полоса частот дефлектора и нижняя частота октавы со-

ответственно. У известных дефлекторов значение  $m$  колеблется в пределах  $1/3—1$ , поэтому необходим трехкратный запас.

В ряде случаев, например при управлении АОЯ, использующей оптическую анизотропию [1], также для преобразования углового сканирования в линейное с постоянным шагом [6] необходимо формировать сетку частот с неравномерным шагом. Эта задача может быть решена созданием СУ с очень малым постоянным шагом по частоте  $\Delta f' \ll \Delta f/N'$  или  $N' \gg N$ , что также повышает универсальность СУ.

7. Для выходного усилителя системы управления АОЯ представляет нагрузку типа RC-цепи с частотозависимыми параметрами. Задача согласования усилителя мощности с АОЯ решается, с известными ограничениями, с помощью согласующей цепи, содержащей эквивалентный трансформатор и полосовой фильтр [7]. Использование согласующей цепи позволяет уменьшить потери на отражение, повысить КБВ (коэффициент бегущей волны) АОЯ, а также сформировать требуемую АЧХ напряжения на акустооптической ячейке.

Для управления АОЯ могут быть использованы: аналоговые генераторы управляемой частоты (ГУЧ); цифровые синтезаторы частоты; комбинированные аналого-цифровые синтезаторы частоты.

В качестве управляемого элемента ГУЧ обычно используются варикапы, включаемые в контур автогенератора, а управляющий сигнал формируется цифроаналоговым преобразователем (ЦАП). ГУЧ конструктивно наиболее просты, но имеют сравнительно невысокую стабильность частоты и нелинейную зависимость  $f = \Psi(U_{\text{упр}})$ . При условии термостатирования (или термокомпенсации) задающего контура возможно использование ГУЧ в составе дискретного АОД с небольшим числом позиций  $N \leq 32$ . Существенным преимуществом ГУЧ является возможность получения большого числа частот  $N'$ , ограничиваемого лишь разрядностью ЦАП. Это расширяет возможности дефлектора и позволяет при управлении АОД от ЭВМ не считаться с нелинейностью характеристики ГУЧ путем присвоения адресам позиций соответствующих кодов. Поскольку коэффициент перекрытия емкости варикапов при приемлемых значениях управляющего напряжения не позволяет перекрыть одним ГУЧ октаву частот, то для получения диапазона частот, равного октаве, нужны два ГУЧ с коммутируемыми выходами или же необходимо иметь один генератор с фиксированной настройкой (например, 50 МГц), второй — перестраиваемый (например, на 100—150 МГц) и в качестве выходного сигнала использовать их разностную частоту. Время переключения частоты ГУЧ определяется постоянной времени контура автогенератора  $\tau_k = 2Q/\omega$  ( $Q$  — добротность контура,  $\omega$  — частота ГУЧ), инерционностью элементов цепи развязки управляющего сигнала от контура и быстродействием ЦАП. Так как для повышения стабильности частоты необходимо повышать  $Q$ , что увеличивает время перестройки контура, то поэтому для обеспечения приемлемого значения  $\tau_k$  необходимо повышать частоту ГУЧ. При этом условии достижимо время переключения частоты ГУЧ  $\leq 5$  мкс.

Различные типы цифровых синтезаторов частот [8] объединяются в две группы: синтезаторы, построенные по методу прямого синтеза; синтезаторы косвенного синтеза. Требование быстрого переключения частоты в АОД ( $\sim 1$  мкс) практически исключает возможность применения в дефлекторе синтезаторов косвенного синтеза, которые хотя и значительно проще, чем синтезаторы прямого синтеза, но имеют типовое время переключения частот порядка 1 мс. Синтезаторы, выполненные по методу прямого синтеза, могут обеспечить время переключения 0,5—5 мкс в зависимости от числа фиксированных частот.

Поскольку быстродействие, аппаратные затраты и объем настройки зависят от числа частот синтезатора, то в ряде случаев оптимальным решением будет комбинированный вариант — аналого-цифро-

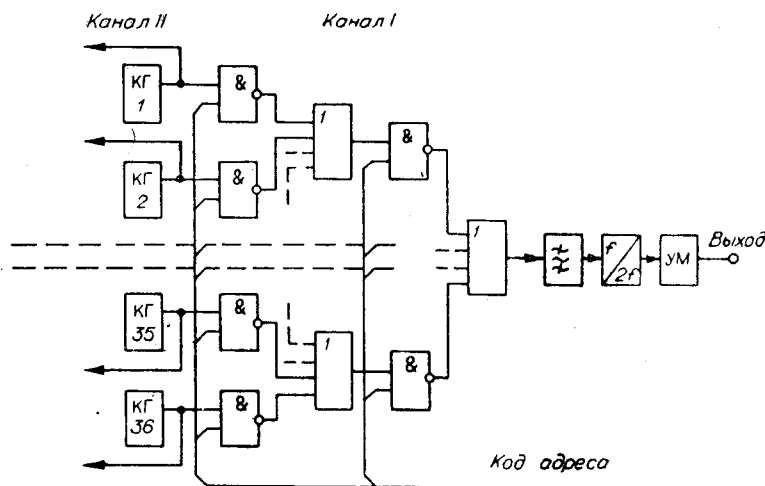


Рис. 1.

вой синтезатор или генератор с диапазонно-кварцевой стабилизацией, который может обеспечить большое число частот при их достаточно высокой стабильности и малом времени переключения.

Одним из простых решений задачи формирования быстросменной сетки частот является генератор сетки частот, содержащий набор автогенераторов, стабилизированных кварцевыми резонаторами, сигналы которых коммутируются на выход устройства с помощью системы ключей. В работе [6] рассмотрены вопросы разработки такого устройства на дискретных элементах. Ниже описан проект генератора сетки частот (ГСЧ) на ЭСЛ микросхемах серии 138. Такой генератор хотя и требует большого количества кварцевых резонаторов на разные частоты, но обеспечивает время переключения на уровне десятков наносекунд, не нуждается в настройке и в отличие от синтезатора частот может обеспечить формирование сетки частот с неравномерным шагом.

На рис. 1 приведена структурная схема ГСЧ на кварцевых генераторах (КГ) для АОД на  $32 \times 32$  позиции. Выходной сигнал одного из 36 КГ через схемы И и ИЛИ поступает на фильтр, который выделяет 1-ю гармонику, и далее через удвоитель частоты подается на усилитель мощности (УМ). Логические схемы И и ИЛИ используются здесь как ключи и элементы многоступенчатого дешифратора кода адреса. Функция ИЛИ может быть реализована соединением выходов схем И («проводное ИЛИ»). КГ работают в диапазоне частот 25—50 МГц, диапазон частот на выходе генератора 50—100 МГц. Количество КГ выбрано равным 36 с учетом возможного разброса полос АОЯ по двум координатам. Канал II, начиная с выходов КГ, идентичен каналу I. С учетом указанного в п. 6 трехкратного запаса требуемое число кварцевых резонаторов составит 100 в диапазоне 25—50 МГц через 0,25 МГц. Для конкретных АОЯ необходимые частоты подбираются путем установки соответствующих резонаторов без каких-либо перестроек. Все узлы генератора, исключая фильтр, удвоитель частоты и УМ, выполняются на микросхемах серии 138.

На рис. 2 приведена принципиальная схема КГ. Резистора-

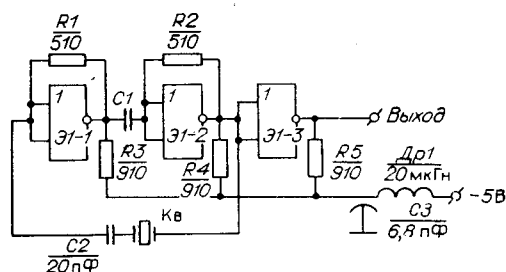


Рис. 2.

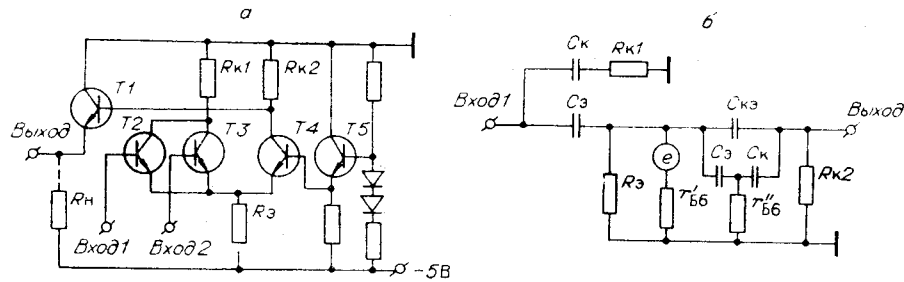


Рис. 3.

ми  $R1$  и  $R2$  вентили микросхемы 1ЛБ383 выводятся в режим линейных усилителей и совместно с конденсаторами  $C1$  и  $C2$  образуют мультивибратор. Выбором номиналов  $R1$ ,  $R2$ ,  $C1$ ,  $C2$  частота колебаний мультивибратора устанавливается приблизительно равной требуемой частоте, а кварцевый резонатор  $Кв$  поддерживает ее равной собственной частоте. Проведенные исследования показали, что такая схема устойчиво работает в диапазоне частот 20—70 МГц.

Коммутация сигналов КГ осуществляется вентилями (рис. 3, а) на микросхемах 1ЛБ382, выполняющих логическую функцию И. На вход 1 поступает высокочастотный сигнал, а на вход 2 — сигнал управления. Рассмотрим характеристики вентиля как высокочастотного ключа. Очевидно, что коэффициент передачи ключа в состоянии «Замкнуто» равен 1. Для определения коэффициента передачи ключа в состоянии «Разомкнуто»  $K_p$  проанализируем эквивалентную схему вентиля (см. рис. 3, б), где приняты следующие обозначения:  $C_k$ ,  $C_3$ ,  $C_{кз}$  — емкости переходов коллектор-база, эмиттер-база и коллектор-эмиттер транзисторов вентиля;  $r'_{об}$ ,  $r''_{об}$  — входные сопротивления транзисторов  $T3$  и  $T5$  со стороны эмиттеров;  $e$  — генератор напряжения высокочастотного сигнала, возникающего в результате отпирания  $T2$  в момент достижения входным сигналом верхнего уровня — 0,7 В.

В серии 138 используются транзисторы, имеющие  $f_t > 1$  ГГц,  $C_k$ ,  $C_3$ ,  $C_{кз} \leq 2,5$  пФ. Значения  $r'_{об}$ ,  $r''_{об}$  — входные сопротивления каскада с общей базой — не превышают 5—10 Ом. Значение  $e$  определяется как изменение напряжения на эмиттере  $T3$  при уменьшении его эмиттерного тока вдвое:

$$e = \varphi_T \ln 2 \approx 20 \text{ мВ.} \quad (5)$$

Учитывая, что в рабочем диапазоне  $r'_{об}$ ,  $r''_{об}$ ,  $R_{к2} \ll 1/\omega C_3$ ,  $1/\omega C_k$ , найдем

$$K_p = U_{вых} / U_{вх} = [(e + U_{вх} \omega r'_{об} C_3) \omega C_{кз} R_{к2} / U_{вх}]. \quad (6)$$

Подставляя в (7)  $U_{вх} = 0,8$  В,  $R_{к2} = 150$  Ом,  $f = 50$  МГц и ранее приведенные значения  $e$ ,  $r'_{об}$ ,  $C_3$ ,  $C_{кз}$ , получим  $K_p \approx -50$  дБ. Практически в макете генератора на 4 позиции значения  $K_p = -50$  дБ при  $f = 30$  МГц и  $K_p = -45$  дБ при  $f = 50$  МГц. Для получения высокой спектральной чистоты сигнала на выходе ГСЧ необходимо применять экранирование и фильтрацию цепей питания и управления во всех узлах генератора. Время переключения частоты ГСЧ составляет 10—20 нс в октаве частот 25—50 МГц и 0,1—0,2 мкс в октаве 50—100 МГц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Балодис. Акустооптическое сканирование лазерного излучения. — Обзор по электронной технике. Сер. Электровакuumные и газоразрядные приборы» (ЦНИИ «Электроника»), 1972, № 3 (26), с. 52.
2. Гордон. Обзор по акустооптическим отклоняющим и модулирующим устройствам. — «ТИИЭР», 1966, т. 54, № 10, с. 181—192.

3. A. W. Warner, D. L. White, W. A. Bomer. Acousto-optic light deflectors using optical activity in paratellurite.—“J. Appl. Phys.”, 1972, vol. 43, № 11, p. 4489—4495.
4. D. Pinnow. Physical properties of lead molybdate relevant to acousto-optic device application.—“J. Appl. Phys.”, 1971, № 6, p. 2162—2171.
5. D. Pinnow. Guide lines for the selection of acousto-optical materials.—“IEEE J. Quant. Electron.”, 1970, vol. QE-6, № 4, p. 223—238.
6. А. А. Зарецкий, И. И. Климов, Р. П. Шидловский. Система адресной коммутации на основе акустооптической ячейки для голографического запоминающего устройства.—«Вопросы радиоэлектроники. ЭВТ», 1974, вып. 7, с. 77—86.
7. О. В. Алексеев, А. И. Животовский, Г. Г. Чавка. Широкополосное согласование простых типов нагрузок.—«Вопросы радиоэлектроники. ТРС», 1968, вып. 2, с. 3—11.
8. Нурденас. Синтезаторы частот. (Обзор методов построения приборов.)—«Зарубеж. радиоэлектроника», 1970, № 5, с. 115—138.

*Поступила в редакцию 14 мая 1975 г.;  
окончательный вариант — 14 ноября 1975 г.*

УДК 681.142.52

**С. Т. ВАСЬКОВ, А. Н. КАСПЕРОВИЧ,  
И. М. САХАРОВ, Ю. В. ШАЛАГИНОВ**

(Новосибирск)

### **ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ «КОД — СВЕТ» В ЗАДАЧАХ ВЫВОДА ИЗОБРАЖЕНИЙ ИЗ ЭВМ НА ФОТОМАТЕРИАЛ**

При применении ЭВМ для улучшения качества изображений в работах по распознаванию образов и передаче оптической информации по каналам связи возникает необходимость воспроизведения и записи на фотоматериал изображений по кодам плотности элементов этого изображения, хранящихся в памяти ЭВМ. К качеству выведенных из ЭВМ изображений предъявляются достаточно высокие требования. Например, для изображений, предназначенных для рассматривания человеком, относительная погрешность воспроизведения яркости элементов изображения не должна превышать 4—5% [1].

Точность воспроизведения оптической плотности элементов изображения во многом зависит от согласования характеристики «код плотности — свет» устройства, преобразующего код плотности элементов изображения в световой поток, с характеристической кривой фотоматериала. Поэтому для практики построения прецизионных устройств вывода из ЭВМ изображений важно определить количественные соотношения между параметрами характеристической кривой фотоматериала и параметрами характеристики «код — свет» устройства записи, которая определяет закон изменения экспозиции  $H$  от кода  $N_d$ , эквивалентного значению оптической плотности  $D$  любого элемента изображения.

Уравнение характеристической кривой фотоматериала, как известно, может быть представлено в виде

$$D = f\{\lg(H)\}, \quad (1)$$

где  $H$  — экспозиция.

Найдем простое аналитическое описание характеристической кривой. Для этого аппроксимируем выражение (1) двумя кривыми — линейной и экспоненциальной. Заметим, что использование других известных [2, 3] способов аппроксимации приводит к неоправданно сложностям при определении параметров характеристики «код — свет». Уравнение характеристической кривой для прямолинейного участка может быть записано в виде

$$D = D_0 + k_2(\lg H - \lg H_0) \text{ для } H \geq H_0, \quad (2)$$