

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА

Л. Н. ЩЕЛОВАНОВ

СИСТЕМЫ ФАКСИМИЛЬНОЙ СВЯЗИ

2305, 2306

Учебное пособие

Ленинград
1991

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА

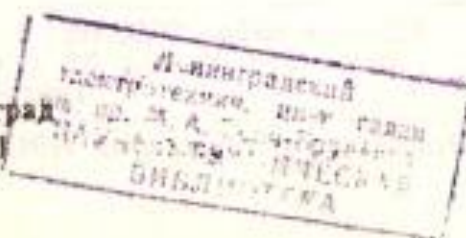
Л. Н. ЩЕЛОВАНОВ

СИСТЕМЫ ФАКСИМИЛЬНОЙ СВЯЗИ

2305, 2306

Учебное пособие

Ленинград
1991



Щелованов Л. Н. Системы факсимильной связи. 2305, 2306: Учеб. пособие / ЛЭИС. — Л., 1991.

Одобрено редакционно-издательским советом института.
Протокол № 2 от 27 декабря 1990 г.

Рассмотрены характеристики и принципы построения аналоговых и цифровых факсимильных систем различного назначения. Раскрыты особенности реализации отдельных узлов факсимильной системы: анализирующего и синтезирующего устройств, УПС, устройств синхронизации и фазирования. Особое внимание уделено физическим процессам, протекающим в отдельных узлах факсимильной системы, и методам повышения качества изображения.

Учебное пособие предназначено для студентов старших курсов специальностей 2305 и 2306 дневного, вечернего и заочного обучения. Пособие может быть рекомендовано для углубленного изучения вопросов факсимильной связи при самостоятельной и учебно-исследовательской работе студентов, а также при дипломном проектировании.

Ответственный редактор Л. Н. Щелованов.

Рецензенты: А. М. Чуднов, Е. М. Доронин.

© Издание Ленинградского электротехнического института связи им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. 1991.

Редактор Е. Ю. Пономарева

Корректоры: А. И. Бурганова, В. И. Смазри

Сдано в набор 26.03.1991 г. Подписано к печати 00.00.91 г.

Заказ 360. Уч.-изд. 3,5 л. Объем 3,75 п. л. Цена 57 коп.

Тираж 800 экз.

Отпечатано в типографии ЛЭИС. 198320, Ленинград, Свободы, 31.

ВВЕДЕНИЕ

Факсимильная связь — это вид электросвязи, обеспечивающий передачу и воспроизведение неподвижных изображений. Средствами факсимильной связи одинаково удобно передавать текст, напечатанный или написанный на любом языке, черно-белые и цветные фотографии и чертежи. Развитие техники факсимильной связи в нашей стране проходило весьма неравномерно. Практическое применение факсимильной техники началось в конце 1920-х гг. Послевоенный период (1957—58 гг.) ознаменован значительными успехами в разработке факсимильных систем в СССР. Отечественная фотофаксимильная аппаратура «Нева» и факсимильная аппаратура с плоскостной разверткой «Березка» на международной выставке в Брюсселе в 1958 г. получила наивысшую награду «Гран-при». Наиболее интенсивно и успешно системы факсимильной связи в нашей стране используются для передачи газетных полос и метеорологической информации. Весьма успешно специальные факсимильные системы использовались для научных исследований, в частности, факсимильные методы оказались незаменимыми для исследования космоса. С помощью специальной факсимильной аппаратуры было осуществлено фотографирование обратной стороны Луны, получение панорамных снимков поверхности Луны и ее микроструктуры. В начале 1960-х гг. в нашей стране ослабевает интерес к факсимильной связи как к средству связи общего пользования. Одной из причин этого является неправильное отношение к факсимильной связи, когда ее отождествляют с телеграфной связью и не учитывают уникальные дополнительные возможности — передавать любые изображения. Это привело к значительному отставанию по сравнению с развитыми в экономическом отношении странами (США, Япония, ФРГ, Англия, Франция, ...) в создании новых высокоэффективных образцов факсимильных аппаратов общего пользования.

В настоящее время во всем мире проявляется повышенный интерес к факсимильной связи, и она начинает занимать должное заслуженное место среди других видов документальной электросвязи. Особенно этому способствовало интенсивное развитие цифровых систем и всеобщая компьютеризация народного хозяйства. Цифровые факсимильные системы (4-я группа факсимильных аппаратов) незаменимы в сфере управления, и они составляют основу новой информационной службы «Телематики» (электронной почты).

Целью настоящего учебного пособия является целенаправленное изложение основ построения систем факсимильной связи. Особое внимание уделено физическим процессам, протека-

ющим в отдельных узлах факсимильной системы, и методам повышения качества изображения. При написании учебного пособия использованы материалы лекций, читаемых автором в течение многих лет в ЛЭИС по факсимильной связи.

1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАКСИМИЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Изображение, передаваемое с помощью факсимильной системы, будем называть оригиналом, а принимаемое — репродукцией. Необходимо более подробно остановиться на характеристике различных изображений (оригиналов), так как от характера оригинала во многом зависят принципы построения соответствующей факсимильной аппаратуры.

Подлежащие передаче черно-белые плоские факсимильные изображения являются двумерными, хотя могут быть специальные факсимильные системы, которые рассчитаны на передачу трехмерных (объемных) изображений. Черно-белые изображения могут быть многоградационные (полутонные) и двухградационные. К многоградационным изображениям относятся различные фотографии (фотопортреты, видовые фото и др.), а к двухградационным — буквенно-цифровой текст, графические изображения.



Рис. 1.1. Растровый способ формирования полутонного клина

Особую группу составляют полиграфические изображения. Полиграфические изображения представляют собой сочетание иллюстраций и текста. Специфическую структуру имеют иллюстрации, полутона на которых формируются растровым способом, например, с помощью черных точек разных размеров на белом фоне (рис. 1.1). Такое изображение является двухградационным, но за счет растровой структуры создается впечатление полутона. Растровые элементы могут иметь и другую форму. Из краткого обзора факсимильных изображений (оригиналов) можно заключить, что особенности изображений, подлежащих передаче факсимильным методом, влияют на принципы построения соответствующей факсимильной системы. Так, факсимильная аппаратура для передачи полутонных изображений (фотографий) отличается от аппаратуры для передачи растровых изображений и двухградационной графической информации. Наиболее информативными являются цветные изображения (оригиналы). Наряду с общими для черно-белых и цветных изображений параметрами цветные

изображения несут дополнительную информацию о цвете различных объектов, составляющих изображение. Объективно изображение характеризуется светотехническими категориями, а субъективное восприятие изображения зависит от свойств зрения.

Для математического описания изображения и преобразований, происходящих при его передаче и приеме, необходимо рассмотреть основные светотехнические характеристики. Для того чтобы увидеть предмет, необходимо его осветить. Предметы могут быть освещены естественным или искусственным светом. Источниками естественного света являются: солнце, звезды... Источниками искусственного светового излучения служат различные осветительные лампы. Часть спектра электромагнитных колебаний, длины волн которых расположены в диапазоне от 0,01 мкм до 340 мкм, относится к оптическому излучению. Оптическое излучение включает в себя ультрафиолетовое (0,01—0,38 мкм), видимое (0,38—0,77 мкм) и инфракрасное (0,77—340 мкм) излучения. Основными светохимическими характеристиками являются: сила света I , световой поток F , освещенность E , яркость B . Силой света называется световой поток dF , отнесенный к телесному углу $d\omega$, в котором он распространяется: $I = \frac{dF}{d\omega}$.

Световой поток F измеряется в люменах (лм), причем за единицу светового потока (1 лм) принят световой поток, излучаемый абсолютно черным телом с площади $5,3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$ при температуре затвердевания платины $T = 2046^\circ$.

За единицу силы света 1 кандела (кд) принята сила света эталонного излучателя, когда световой поток dF равен 1 люмену, а телесный угол $d\omega$ — 1 стерadianу.

Освещенностью E называется световой поток dF , отнесенный к поверхности dS освещаемого тела:

$$E = \frac{dF}{dS}.$$

Освещенность измеряется в люксах: $1 \text{ лк} = \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ м}^2}$.

Яркостью B излучающей поверхности называют отношение силы света dI к излучающей площади dS , перпендикулярной направлению рассматривания: $B = \frac{dI}{dS}$.

За единицу яркости принят один нит, равный $1 \text{ нт} = \frac{1 \text{ кд}}{1 \text{ м}^2}$.

Для характеристики изображений (оригиналов и репродукций) также используют ряд коэффициентов. Коэффициент отражения ρ характеризует свойство непрозрачных материалов (например бумаги) отражать световую энергию. Коэффициент

отражения равен отношению отраженного светового потока F_p к падающему $F_{\text{пад}}$ $\rho = \frac{F_p}{F_{\text{пад}}}$ $\rho < 1$.

Прозрачные материалы (пленки, стекла) характеризуются коэффициентом прозрачности τ , который равен отношению светового потока F_τ , прошедшего через материал, к падающему световому потоку $F_{\text{пад}}$ $\tau = \frac{F_\tau}{F_{\text{пад}}}$ $\tau < 1$.

Также в научной фотографии, полиграфии, теории электрической передачи изображений (телевидении и факсимильной связи) используется характеристика, называемая оптической плотностью. Оптическая плотность D_r для непрозрачных материалов (бумаг) равна $D_r = \lg \frac{1}{\rho}$, а для прозрачных материалов (пленок, стекол...)

$$D = \lg \frac{1}{\tau}.$$

Оптическая плотность характеризует степень почернения отдельных участков изображения, чем больше оптическая плотность, тем чернее соответствующий участок изображения. Логарифмический масштаб учитывает свойство зрительных ощущений, подчиняющихся общему психофизическому закону Вебера — Фехнера. Согласно закону Вебера — Фехнера любое ощущение (в том числе и зрительное) пропорционально логарифму от возбуждающего стимула. Применительно к зрительным ощущениям этот закон может быть представлен в виде

$$A = \Theta \lg B,$$

где A — зрительные ощущения, Θ — коэффициент пропорциональности.

Механизм восприятия цветного изображения можно пояснить на основе теории трехкомпонентного цветного зрения. Согласно этой теории в сетчатой оболочке глаза имеются три типа колбочек, обладающих различной спектральной чувствительностью. Возбуждение колбочек одного типа дает ощущение красного цвета, другого — зеленого, третьего — синего цвета. Световые лучи, падающие от наблюдаемого предмета на сетчатку, воздействуют одновременно на колбочки всех трех типов. В виде света глаз воспринимает электромагнитные колебания с длиной волны λ от 0,38 до 0,78 мкм. Ощущение цвета зависит от спектрального состава светового излучения, падающего на сетчатку глаза. Если на пути световых лучей от источника белого света помещать светофильтры со все более узкополосными спектральными характеристиками, то будут получаться цвета, по своему зрительному впечатлению все более и более отличающиеся от белого цвета. В пределе при та-

ком сужении полосы пропускаемого излучения из спектра источника будет выделяться излучение с какой-то одной длиной волны — монохроматическое излучение. Цвета, воспринимаемые при наблюдении монохроматических излучений, называются чистыми спектральными цветами.

Другой способ получения цветов, называемый аддитивным (слагательным), заключается в сложении (смешении) световых потоков от нескольких источников, иначе говоря, происходит смешение цветов. При соответствующем выборе трех цветов подбором соотношений между их количествами можно получить другие цвета. Аддитивный способ получения цветов используется в цветном телевидении и цветном факсимиле. В качестве основных единичных цветов в цветном телевидении используются следующие монохроматические излучения: красный — при $\lambda = 0,7$ мкм; зеленый — при $\lambda = 0,5461$ мкм и синий — при $\lambda = 0,4358$ мкм. Все остальные видимые цвета могут быть получены смешением этих трех основных, если взять их в соответствующих пропорциях.

Важное свойство человеческого зрения, которое использовано при создании кино и телевидения, это инерционность. Так, человеческий глаз замечает мелькания экрана, если частота засвечивания экрана будет менее 48—50 Гц. Это значение частоты называется критическим. Порог мелькания экрана зависит от многих факторов: яркости экрана, углового размера, под которым ведется рассматривание экрана, цвета свечения экрана, адаптации глаза и др. Знание критической частоты мельканий также необходимо при создании дисплеев.

Как было сказано выше, полутонные оригиналы полиграфических изображений имеют растровую структуру, а именно впечатление полутона создается растровым способом, например, в черно-белом изображении с помощью черных точек различной величины (рис. 1.1). Полутона получаются за счет изменения соотношения площадей печатного S_p и пробельного $S_{пр}$ элементов в пределах некоторой элементарной площади на растровом изображении. Число растровых элементов L , приходящихся на единицу длины (на 1 см), называется линеатурой. $L = 1/b$ [лин/см], где b — расстояние между центрами соседних растровых элементов.

В газетных иллюстрациях линеатура составляет 25 лин/см, размеры самых малых растровых точек — менее 100 мкм. При рассматривании растрового изображения невооруженным глазом получается впечатление полутонов, так как размеры элементов раstra соизмеримы с разрешающей способностью глаза. Интегральная оптическая плотность элементарной площади полиграфического изображения, величина которого равна $S_s = S_p + S_{пр}$, рассчитывается по формуле Шеберстова—Муррея—Девиса [1] $D = -\lg[S_p \cdot 10^{-D_p} + (1 - S_p) \cdot 10^{-D_{пр}}]$,

где D_r — оптическая плотность растровой точки;
 $D_{пр}$ — оптическая плотность пробела;
 S_r — относительная суммарная площадь растровых элементов, определяемая соотношением $S_r = S_r' / S_s$;
 S_r' — абсолютная площадь запечатанного участка в пределах элементарной площади S_s .

2. ПРИНЦИПЫ ПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА ФАКСИМИЛЬНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Плоское черно-белое полутоновое изображение характеризуется двумерной функцией распределения яркости на изображении $B(x, y)$. Чтобы отличить оригинал от репродукции, будем выражение оригинала помечать штрихом — $B'(x, y)$. Наиболее удобно черно-белое факсимильное изображение представлять в виде двумерной функции коэффициента отражения $\rho'(x, y)$ или оптической плотности $D_r'(x, y)$. Для передачи факсимильного изображения необходимо двумерную функцию $D_r'(x, y)$ преобразовать в одномерную функцию времени $u'(t)$ — сигнал изображения. Преобразование вида $D_r'(x, y) \rightarrow u'(t)$ называется электрооптическим анализом изображения.

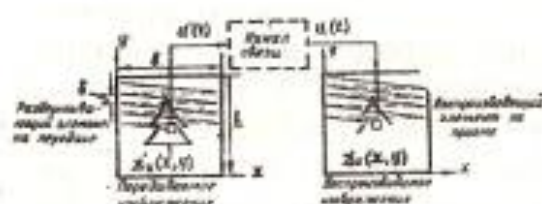


Рис. 2.1. Принцип передачи и приема изображения

Указанное преобразование (рис. 2.1) осуществляется путем разложения поверхности передаваемого изображения на достаточно малые элементарные площадки и образования изменяющегося во времени сигнала изображения $u'(t)$, несущего информацию об оптической плотности поочередно

передаваемых элементов изображения. Сигнал изображения $u'(t)$ передается по каналу связи и в приемнике факсимильного аппарата осуществляется обратное преобразование: одномерный сигнал изображения $u(t)$ преобразуется в изображение (репродукцию) $D_r(x, y)$ — двумерную функцию. Обратное преобразование $u(t) \rightarrow D_r(x, y)$ носит название электрооптического синтеза изображения или просто синтеза изображения. Синтез изображения производится путем поочередного «раскрашивания» элементарных площадок бумаги, на которой происходит запись изображения, в соответствии с принимаемым сигналом. Элемент поверхности передаваемого или воспроизводимого изображения называется развертывающим или растровым элементом (растрэлементом). Путь движения развертывающего элемента по поверхности изображения, определяющий последовательность передачи и приема отдельных элементов изо-

бражения, называют разверткой. Линия движения развертывающего элемента от одного края изображения до другого называется строкой, а расстояние δ между двумя соседними строками — шагом развертки (рис. 2.1). Шаг развертки, как правило, берется равным высоте (диаметру) развертывающего элемента. Число элементов n , на которое разлагают поверхность изображения при его анализе и синтезе, равно

$$n = \frac{h \cdot b}{\delta^2},$$

где h — высота кадра (бланка), b — длина строки.

Движение развертывающих элементов при анализе и синтезе изображения должно быть синхронным и синфазным.

Одна из возможных реализаций идеи передачи факсимильного изображения представлена на функциональной схеме рис. 2.2. Передаваемое изображение и приемный бланк укрепляются на барабанах соответственно передающего и приемного аппаратов. Процесс электрооптического анализа передаваемого изображения осуществляется анализирующим устройством,



Рис. 2.2. Функциональная схема анализирующего устройства



Рис. 2.3. Функциональная схема синтезирующего устройства

предназначенным для поочередного выделения элементарных площадок (растрэлементов) на передаваемом изображении в процессе развертки и образования сигнала изображения в соответствии со средней яркостью каждого растрэлемента. Анализирующее устройство состоит из:

- устройства, формирующего развертывающий элемент;
- развертывающего устройства (на рис. 2.2 изображена барабанная развертка), перемещающего развертывающий элемент по поверхности изображения;

- фотоэлектрического преобразователя, преобразующего яркости (оптические плотности) передаваемых элементов изображения в сигнал изображения.

В синтезирующем устройстве (рис. 2.3) при фотографическом способе записи используют модулятор света, при помощи которого экспонируют фотобумагу (фотопленку). Барабан с

фотобумагой размещается в светонепроницаемой кассете и вращается синхронно и синфазно с барабаном передающего аппарата. В качестве модулятора света используют, например, точечную газосветную лампу, кратер которой проецируется при помощи объектива на фотобумагу (фотопленку). Развертывающий элемент строго определенных размеров и формы формируется с помощью растровой диафрагмы D . При передаче белого элемента оригинала ($Q_{\text{макс}} = 0,6-0,8$) отраженный от растрэлемента световой поток принимает максимальное значение $F_{\text{макс}}$, следовательно, фототок и выходной сигнал также максимальные ($i'_{\text{макс}}$). Максимальный входной сигнал обусловит максимальный ток точечной газосветной лампы и максимальную яркость свечения ее кратера. Вследствие максимальной экспозиции на фотобумаге после проявления получается максимально черный элемент. В результате на приемном бланке получается негативное изображение. Для обеспечения позитивной записи в схеме факсимильного аппарата применяют позитивное устройство, преобразующее максимальную амплитуду сигнала в минимальную и минимальную — в максимальную. Таким образом, в процессе синтеза изображения отдельные элементы приемного бланка «окрашиваются» в соответствии с сигналами изображения $u(t)$ и оптическими плотностями оригинала (передаваемого изображения).

3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАКСИМИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Параметрами факсимильных аппаратов являются: формат передаваемого бланка $b \times h$ (b — длина строки, h — высота бланка); шаг развертки δ , равный расстоянию между серединами соседних строк; размер и форма развертывающего элемента (апертуры); скорость развертки N , измеряемая числом строк, передаваемых в единицу времени (в одну минуту); модуль взаимодействия $M = \frac{b}{\pi \delta}$. Наиболее распространенным является формат бланка А4 ($b \times h = 210 \times 297$ мм²). Шаг развертки δ , как правило, равен высоте развертывающего элемента (апертуры). Апертура может иметь форму прямоугольника, квадрата или круга. Модуль взаимодействия M введен для определения возможности работы между собой факсимильных аппаратов (передающего и приемного) с различными параметрами (разных марок). Для воспроизведения изображения без геометрических (масштабных) искажений необходимо равенство скоростей строчной развертки ($N' = N$) и равенство модулей взаимодействия $M' = M$. Действительно, при равенстве модулей взаимодействия передающего и приемного аппа-

ратов $\left(\frac{b'}{\pi\delta'} = \frac{b}{\pi\delta}\right)$ не будет масштабных искажений (размер по осям x и y изменится одинаково). Например, если передается окружность, то и на приемном бланке будет окружность, но размеры окружностей могут быть различные (если $b' \neq b$).

Время передачи бланка $T_{бл}$ может быть найдено, если известны: скорость развертки N , высота бланка h и шаг развертки δ

$$T_{бл} = \frac{1}{N} \cdot \frac{h}{\delta} \text{ мин},$$

где $\frac{1}{N}$ — время передачи одной строки в минутах,

$\frac{h}{\delta} = Z$ — число строк, содержащихся в бланке.

Полоса частот факсимильного сигнала. При определении полосы частот факсимильного сигнала рассматривают изображения, при которых получается минимальная $F_{\text{мин}}$ и максимальная $F_{\text{макс}}$ частоты сигнала на выходе фотоэлектрического преобразователя. Тогда полоса частот сигналов, образующихся на выходе ФЭП, будет равна $\Delta F = F_{\text{макс}} - F_{\text{мин}}$. При передаче однородного поля яркости, например белого, на выходе ФЭП образуется сигнал, частота которого равна нулю. Итак, $F_{\text{мин}} = 0$.

Сигналы с максимальной частотой образуются при передаче изображения, содержащего большое (максимальное для данного аппарата) количество мелких деталей. Таким изображением является группа чередующихся черных и белых штрихов одинаковой ширины, равной размеру развертывающего элемента δ (рис. 3.1). При равномерном распределении яркости в пределах апертуры сигнал на выходе ФЭП с линейной характеристикой представляет собой последовательность треугольных импульсов. Такая форма сигнала обусловлена апертурными искажениями, сущность которых рассмотрена ниже. Чтобы определить максимальную частоту $F_{\text{макс}}$, найдем число периодов $T_{\text{мин}}$ в одну секунду. При анализе одной строки образуется количество периодов $T_{\text{мин}}$, равное $\frac{b}{2\delta}$. Тогда максимальная частота $F_{\text{макс}}$, равная числу периодов $T_{\text{мин}}$ в одну секунду, равна

$$F_{\text{макс}} = \frac{b}{2\delta} \cdot \frac{N}{60},$$

где $\frac{N}{60}$ — количество строк, передаваемых в одну секунду.

Таким образом, полоса частот сигналов Гц, образуемых на выходе ФЭП, равна $\Delta F = \frac{b}{2\delta} \cdot \frac{N}{60}$.

Характеристики факсимильного сигнала. Рассмотрим временную и частотную характеристики сигнала изображения. Примерный вид сигнала изображения $u(t)$ одной строки показан на рис. 3.2. Сигнал изображения обладает

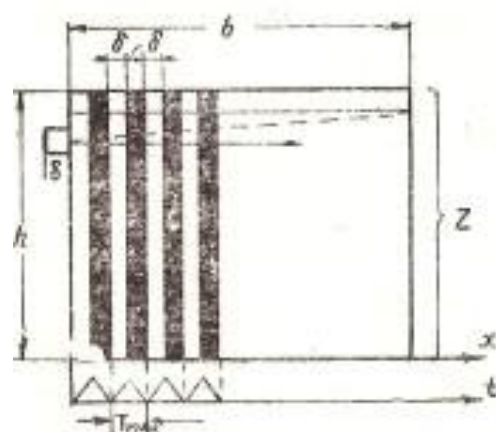


Рис. 3.1. К определению максимальной частоты сигнала изображения

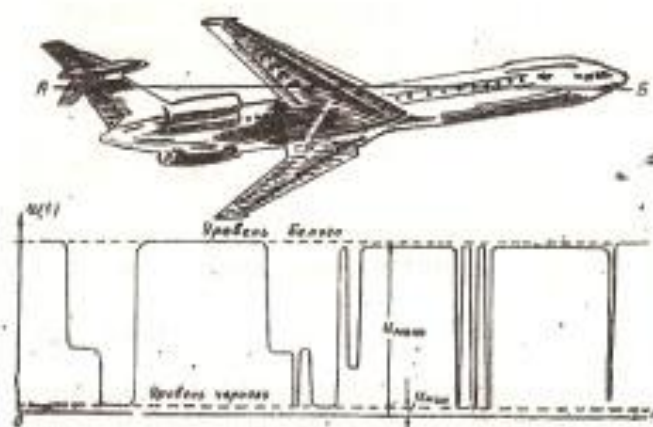


Рис. 3.2. Процесс образования сигнала изображения. Сигнал строки АБ

некоторыми характерными и важными особенностями:

вследствие того, что яркость (оптическая плотность) может быть только положительной, он униполярен;

уровень $U_{B=0} = U_{\min}$ называется уровнем черного;

уровень $U_{B \max} = U_{\max}$, соответствующий максимальному сигналу, называется уровнем белого.

Различают позитивный и негативный сигналы. Если светлым элементам изображения соответствует большой уровень сигнала, а темным — малый, то такой сигнал называется негативным, так как при записи таким сигналом изображение (репродукция) будет негативное. Когда же светлым элементам изображения соответствует малый уровень сигнала, а темным — большой, то сигнал называется позитивным.

Важной характеристикой факсимильного сигнала является его структура спектра. Предполагается выяснить, какой спектр сигнала изображения: дискретный или непрерывный, какие составляющие спектра преобладают. Для более глубокого раскрытия физических процессов, связанных со структурой спектра сигнала изображения, рассмотрим сначала, какая структура спектра сигнала в многокадровой (телевизионной) системе. Рассмотрим три случая.

Первый случай. С помощью многокадровой системы передается неподвижное изображение. Частотный спектр будет дискретным (рис. 3.3), так как при электрооптическом анализе неподвижного изображения временной сигнал — периодический. Наибольшей энергией при этом обладают составляющие,

кратные частоте строк ($f_c, 2f_c, 3f_c, \dots$), так как в изображении имеются сильные межстрочные корреляционные связи. Составляющие спектра, кратные частоте строк, образуют первичный спектр. Около составляющих спектра, кратных частоте строк,



Рис. 3.3. Структура спектра телевизионного сигнала при передаче неподвижного изображения

располагаются составляющие спектра, кратные частоте кадров, которые образуют вторичный спектр. В интервалах между частотами, кратными частоте строк, составляющие спектра практически отсутствуют. Эти интервалы в цветном телевидении используются для передачи дополнительной информации (информации о цвете).

Второй случай. С помощью многокадровой системы передается движущееся изображение, но движения в передаваемом сюжете мало. В этом случае временной сигнал — не периоди-

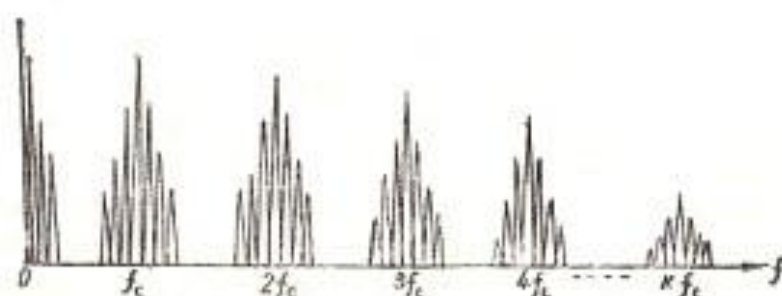


Рис. 3.4. Структура спектра телевизионного сигнала при передаче движущегося изображения

ческий и спектр будет непрерывный, но характер спектра сохранится (рис. 3.4). На частотах, кратных частоте строк и частоте кадров, образуются «лепестки» непрерывного спектра. С увеличением движения будет увеличиваться размытие лепестков, непрерывный спектр становится более богатым.

Третий случай. Неподвижное изображение передается с помощью однокадровой (факсимильной) системы. Спектр будет непрерывный (рис. 3.5), но на частотах, кратных частоте строк ($f_c, 2f_c, \dots$), сохранятся максимумы энергии, а в интервалах между этими частотами будут «энергетические провалы». На-

личие максимумов спектра на частотах, кратных частоте строк, объясняется сильными межстрочными корреляционными связями в изображении.

Из рассмотренных случаев видно, что структура спектра меняется с изменением передаваемой информации. Наименьшее количество информации передается в первом случае, при этом спектр — дискретный, наиболее бедный. С увеличением передаваемой информации (второй случай) спектр становится непрерывным, причем с увеличением движения в передавае-



Рис. 3.5. Структура спектра факсимильного сигнала



Рис. 3.6. Полутоновой (градиентный) клин

мом сюжете (больше информации) непрерывный спектр становится более богатым. Наибольшее количество информации передается в третьем случае, когда система однокадровая (факсимильная). В этом случае получается наиболее богатый спектр. Таким образом, можно сделать вывод: с увеличением передаваемой информации спектр сигнала изображения становится более богатым. Качество факсимильной системы оценивается такими характеристиками (частными критериями качества), как разрешающая способность и полутоновая характеристика. Для оценки качества воспроизведения факсимильной системой мелких деталей используется критерий — разрешающая способность, а для оценки качества воспроизведения крупных деталей — полутоновая характеристика. Следует иметь в виду, что критерий «полутоновая характеристика» используется для оценки качества факсимильных систем, предназначенных для передачи полутоновых изображений.

Для определения (измерения) разрешающей способности факсимильной системы передается штриховая мира (рис. 3.1) и по репродукции штриховой миры визуально определяется разрешающая способность. Численно разрешающая способность равна количеству черных и белых линий (штрихов), приходящихся на 1 мм, воспроизводимых на репродукции на пороге различения. Порог различения оценивается минимальным перепадом яркостей $k_{\text{пор}}$, различимым глазом.

$$k_{\text{пор}} = \frac{B_1 - B_2}{B_1} = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} = 0,05,$$

где B_1 , ρ_1 и B_2 , ρ_2 — соответственно яркости и коэффициенты отражения в центрах белых и черных штрихов.

Разрешающая способность факсимильных аппаратов колеблется в весьма широких пределах. Так, факсимильные аппараты общего пользования имеют разрешающую способность 5—6 лин/мм, а разрешающая способность факсимильной системы, предназначенной для передачи газетных полос, равна 25 лин/мм.

Под полутоновой характеристикой факсимильного аппарата понимают зависимость $D_r = f(D_r')$, показывающую, как меняется оптическая плотность D_r на репродукции, при изменении оптической плотности D_r' оригинала. Для получения полутоновой характеристики передается полутоновой (градационный) клин (рис. 3.6) с известными оптическими плотностями D_r' отдельных его площадок. Полученная репродукция полутонового клина фотометрируется, т. е. определяются оптические плотности D_r отдельных площадок клина с помощью денсито-

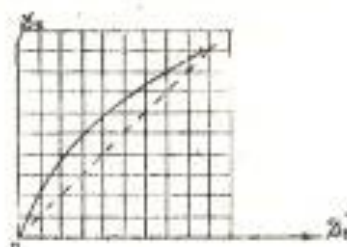


Рис. 3.7. Полутоновая характеристика

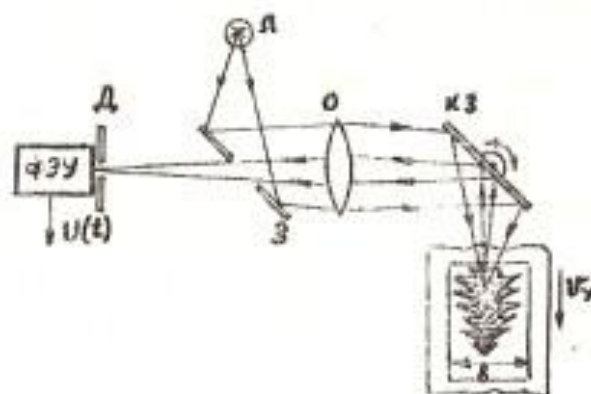


Рис. 4.1. Плоскостная развертка с качающимся зеркалом

метра или микрофотометра. Имея значения D_r' и D_r , строится полутоновая характеристика $D_r = f(D_r')$ (рис. 3.7). Наиболее высокое качество воспроизведения полутонов будет при линейной полутоновой характеристике. Приближенная оценка качества воспроизведения полутонов производится по репродукции клина визуально. Например, передается полутоновой клин, имеющий 10 градаций яркостей, хорошо различимых глазом, а на репродукции полутонового клина глаз различает лишь 7 градаций. Следовательно, факсимильный аппарат оценивается способностью воспроизводить 7 градаций яркостей (оптических плотностей) 10-градационного полутонового клина. Методы улучшения характеристик факсимильного аппарата будут рассмотрены в отдельном разделе пособия после выяснения искажающих факторов, влияющих на качество принимаемого изображения (репродукции).

4. ЭЛЕМЕНТЫ АНАЛИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ФАКСИМИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Основными элементами анализирующих устройств являются: устройство, формирующее развертывающий элемент, развертка и фотоэлектрический преобразователь. С развитием факсимильных аппаратов наметилась тенденция объединения отдельных устройств, что связано с применением новых принципов реализации процесса электрооптического анализа, основанных на использовании новых электронных приборов, например, приборов с зарядовой связью (ПЗС). Эти новые принципы получили применение в новом поколении факсимильной техники — цифровых факсимильных аппаратах. Существующий парк факсимильных аппаратов можно разделить на три группы: аналоговые аппараты, аналого-цифровые аппараты и цифровые аппараты. В аналоговых и аналого-цифровых факсимильных аппаратах анализирующие устройства построены по одинаковому принципу, когда в явном виде присутствуют три перечисленных выше устройства.

Устройство, формирующее развертывающий элемент (рис. 2.2), как правило, состоит из лампы осветителя и специального объектива, в котором важную роль играет растровая диафрагма, обеспечивающая получение нужной формы и размера развертывающего (растрового) элемента. Развертывающий элемент формируется, как правило, на оптическом изображении (на выходе объектива, а точнее, на входе ФЭП).

4.1. Развертки

В передающих факсимильных аппаратах получили применение развертки трех видов: барабанная, дуговая и плоскостная. Принцип построения барабанной развертки показан на рис. 2.2. Барабанная развертка проста по конструкции, но имеет ряд недостатков, а именно: размер передаваемых документов ограничен размером барабана; после передачи очередного изображения необходимо каждый раз производить все операции по подготовке аппарата к передаче (остановить барабан, закрепить на барабане новый документ, произвести настройку аппаратов). Все это приводит к большой потере времени на передачу факсимильного сообщения. Указанные недостатки устранены в плоскостной развертке.

Рассмотрим два примера построения плоскостной развертки: с качающимся зеркалом и спирально-дискovou развертку. В плоскостной развертке с качающимся зеркалом (рис. 4.1) световой поток, создаваемый источником света Л, отражается от неподвижного зеркала З, формируется оптической системой О и попадает на качающееся зеркало КЗ. Отраженный от ка-

чающегося зеркала световой поток фокусируется в плоскости оригинала, образуя на оригинале световое пятно (оптическое изображение точечной нити накала лампы Л). Эта же оптическая система используется для получения сфокусированного оптического изображения освещенного участка бланка на растровой диафрагме Д, для чего часть отраженного от оригинала светового потока F_r пропускается через круглое отверстие в центре неподвижного зеркала НЗ. Отраженный от оригинала, расположенного на «бесконечной» ленте транспортера, световой поток несет информацию о яркостях (оптических плотностях) отдельных точек оригинала. Строчная развертка осуществляется путем равномерного возвратно-поступательного движения (качания) зеркала КЗ. После окончания каждой строки зеркало быстро возвращается в состояние, соответствующее началу новой строки. Такое возвратно-поступательное движение зеркала осуществляется с помощью специального кулачка. Развертка по подаче производится путем равномерного поступательного движения транспортера со скоростью V , на шаг развертки δ за время передачи одной строки изображения. Из рассмотренного принципа работы плоскостной развертки видно, что размер передаваемого бланка ограничен лишь в направлении x (размером строки « b »), в направлении « y » размер документа не ограничен. Для передачи нового бланка достаточно на транспортер положить этот бланк, не «останавливая» развертку. В этом состоит большое преимущество плоскостной развертки по сравнению с барабанной. Недостатком развертки с качающимся зеркалом является расфокусировка луча в начале и конце каждой строки (по краям) вследствие увеличения радиусов на периферии строки по сравнению с центральным радиусом. Улучшение фокусировки луча по краям производится за счет применения длиннофокусного объектива и специальной корректирующей оптики (корректирующих цилиндрических линз).

В качестве второго примера рассмотрим спирально-дисковую плоскостную развертку (рис. 4.2). Спирально-дисковая развертка осуществляется при помощи вращающегося непрозрачного диска Д с вырезанной по закону спирали Архимеда узкой прозрачной щелью. Величина радиуса r от центра диска до щели пропорциональна углу поворота спирали θ : $r = r_{\text{мин}} + A\theta$, где A — постоянная величина; θ — угол поворота диска относительно положения, соответствующего началу спирали. Ширина щели определяет размеры растрэлемента по ширине. Кроме того, имеется непрозрачная щелевая диафрагма Д, имеющая вырез (щель), соответствующий одной строке, причем ширина щели определяет высоту растрэлемента. Таким образом, развертывающим элементом является отверстие, образованное в месте пересечения прозрачной спиральной щели в диске и щели диафрагмы (рис. 4.2). Строка 1-2 передаваемо-

го изображения (оригинала) освещается равномерно лампочками L_1, L_2 с цилиндрическим фокусирующим зеркалом Z_1 . Объектив O создает уменьшенное оптическое изображение передаваемой строки $1'-2'$ в плоскости диафрагмы ДФ. При равномерном вращении диска D прозрачное отверстие передвигается вдоль строки, выделяя последовательно растрэлементы на оптическом изображении строки передаваемого объекта. Прошедший через отверстие поток F' несет информацию о средней яркости растрэлемента и фокусируется при помощи сферического зеркала Z_2 на фотокатоде фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Развертка по подаче осуществляется путем равномерного поступательного передвижения изображения (оригинала). Спирально-дисксовая развертка может быть ис-

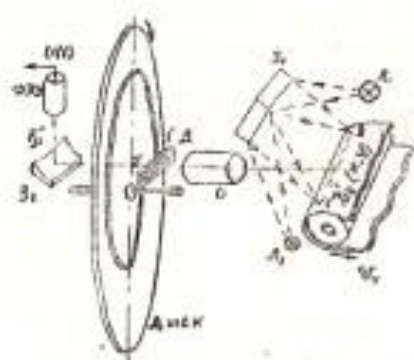


Рис. 4.2. Спирально-дисксовая плоскостная развертка

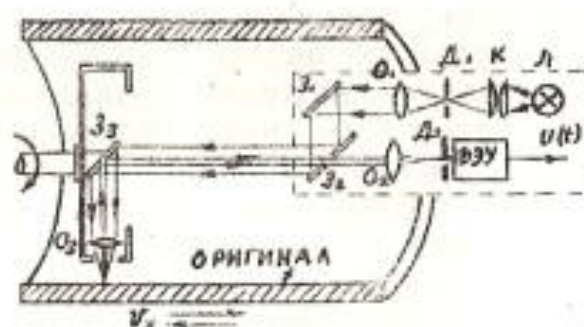


Рис. 4.3. Круговая (дуговая) развертка при анализе изображения

пользована на повышенных скоростях, при которых развертку с качающимся зеркалом применять нельзя. В этой развертке отсутствует обратный ход. Как и развертка с качающимся зеркалом, спирально-дисксовая развертка позволяет производить конвейерную передачу бланков любых размеров (ограничена только ширина бланка b). При этом отпадает необходимость в закреплении бланков, остановке, запуске и в фазировании аппаратуры после передачи каждого бланка. Кроме того, плоскостная развертка обеспечивает возможность дистанционного управления приемным аппаратом с передающего. Приемный аппарат по сигналам с передающего аппарата автоматически переводится из дежурного режима в рабочий, синхронизируется, фазировается и осуществляет запись изображения на рулоне бумаги, а после окончания работы автоматически переводится в дежурный режим.

Круговая (дуговая) развертка применяется в факсимильной аппаратуре, предназначенной для передачи газетных полос. Первые аппараты для передачи газетных полос имели барабанную развертку, но вследствие большого размера

барабана, обусловленного размером газетной полосы, и требуемой высокой скорости его вращения, из-за необходимости передачи газеты за малый отрезок времени, барабанная развертка не обеспечивала требований по надежности. Для выполнения указанных требований была создана круговая развертка (рис. 4.3). Основой круговой развертки является цилиндрическая камера. Оригинал-оттиск газетной полосы плотно (пневматически) прижимается к внутренней поверхности цилиндрической камеры. Оптическая система, формирующая развертывающий элемент, состоит из двух частей: вращающейся оптической головки с малой массой и неподвижной части. Световой поток от осветительной лампы L проходит через конденсор K , ограничивающую диафрагму D и объектив O_1 , последовательно отражается от зеркал Z_1 , Z_2 и Z_3 и с помощью объектива O_3 на поверхности оригинала формируется световое пятно (50×50 мкм²). Затем отраженный от поверхности оригинала световой поток проходит через объектив O_3 , зеркало Z_3 и объектив O_2 . В плоскости растровой диафрагмы D_2 образуется сфокусированное оптическое изображение освещенного участка оригинала. Через эту диафрагму на ФЭУ поступает световой поток, соответствующий одному элементу разложения. За один оборот головки анализируется одна строка изображения. Развертка по кадру осуществляется за счет поступательного движения камеры со скоростью V_y .

4.2. Фотоэлектрические преобразователи (ФЭПы)

Фотоэлектрические преобразователи предназначены для образования сигнала изображения в соответствии со средней величиной отраженного от растрэлемента светового потока F'_p (или средней яркостью растрэлемента B'_{cp}). В качестве ФЭПов наибольшее применение в факсимильных аппаратах получили фотоэлектронные умножители (ФЭУ) и приборы с зарядовой связью (ПЗС). Фотоэлектронный умножитель (рис. 4.4) состоит из стеклянного вакуумного баллона B , в котором смонтированы фотокатод $ФК$, диафрагма D , диноды D_1 , D_2 , D_3 и анод A электронного умножителя. В настоящее время выпускают ФЭУ с полупрозрачными фотокатодами, фотоэлектроны в которых вылетают с внутренней поверхности фотокатода.

Спектральная характеристика фотокатода $i_{\phi} = f(\lambda)$ должна быть близка к частотной характеристике человеческого глаза (рис. 4.5). В этом случае обеспечивается правильное (естественное) воспроизведение полутонов на черно-белой репродукции при передаче цветного оригинала. Питается ФЭУ от стабилизированного высоковольтного источника постоянного тока напряжением 1500—1700 В через делитель напряжения. Величина напряжения между двумя соседними динодами

(150—200 В) достаточна для выбивания из поверхности динодов вторичных электронов.

Работа ФЭУ основана на использовании двух физических явлений: явления внешнего фотоэффекта и явления вторичной электронной эмиссии. Под влиянием светового потока F из фотокатода эмитируют (вылетают) фотоэлектроны, которые ускоряются и попадают на первый динод 1, выбивая с его поверхности вторичные электроны. Так как коэффициент вторичной электронной эмиссии динода σ равен отношению потока вторичных электронов $i_{в2}$ к потоку первичных электронов $i_{перв}$, на выходе первого динода будет ток $i_1 = i_{\phi} \sigma$. Соответственно на выходе второго динода будет ток $i_2 = i_1 \sigma = i_{\phi} \sigma^2$, а ток с n -го динода составит величину $i_n = i_{\phi} \sigma^n$.

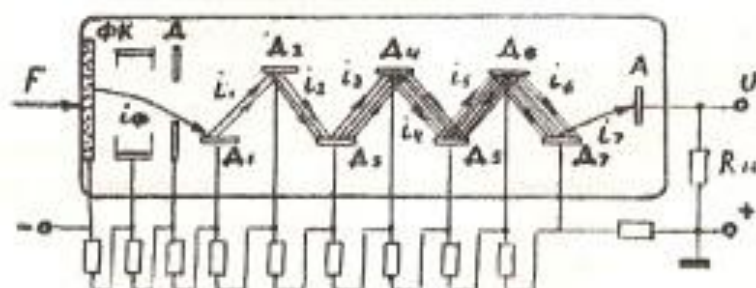


Рис. 4.4. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)

При количестве динодов $n = 9 \dots 11$ ток ФЭУ i_n может превышать фототок в десятки миллионов раз.

Наиболее перспективными в настоящее время являются анализирующие устройства, совмещающие функции оптико-электронного преобразования и электронной развертки в одном приборе. К таким устройствам относятся фоточувствительные приборы с зарядовой связью (ФПЗС). Линейка ФПЗС — это специальная микросхема с прозрачным окном в корпусе, на подложке которой методами микроэлектронной технологии сформирована линейка ячеек ФПЗС, способных преобразовывать световую энергию в электрические заряды и накапливать последние [2]. ФПЗС представляет собой фоточувствительную МДП — микросхему с регулярной системой электродов, расположенных в виде линейки (строки). Типичные размеры электрода: длина $L = 5$ мкм; ширина $Z = 40$ мкм; зазор между ними $I_z < 1 \dots 2$ мкм; число электродов в линейном ФПЗС равно $5 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^3$. Электроды изготавливаются из алюминия или из поликремния. Функционально ФПЗС — это прибор, воспринимающий изображение, осуществляющий его разложение на элементарные площадки (растрэлементы), производящий электронное считывание (сканирование) и формирующий на выходе видеосигнал, адекватный изображению.

Рассмотрим принцип действия ФПЗС на примере классической трехтактной схемы управления (рис. 4.6). Элементарная ячейка ФПЗС включает три соседних электрода 1—3 одной строки. В течение первой фазы (рис. 4.6, а) к электроду 2 прикладывается положительное напряжение хранения ($U_{хр} = 10-20$ В). Благодаря возникающему электрическому полю, дырки (основные носители) оттесняются в глубь полупроводника и у поверхности образуется обедненный слой (ОС) глубиной $x_{ос} = 0,5 \dots 2$ мкм, представляющий собой на энергетической диаграмме потенциальную яму для электронов. Ос-

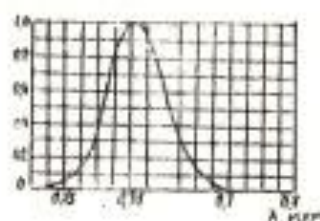


Рис. 4.5. Частотная характеристика человеческого глаза

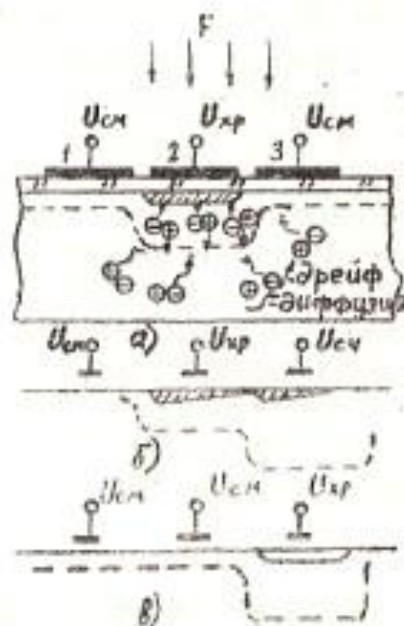


Рис. 4.6. Принцип действия ФПЗС

вешение ФПЗС порождает в объеме полупроводника электронно-дырчатые пары, при этом электроны втягиваются в потенциальную яму и локализуются в тонком (около 10 нм) приповерхностном слое. Накопление электронов ведет к образованию зарядового пакета, который определяется локальной интенсивностью и временем засветки. Во время второй фазы к электроду 3 прикладывается напряжение считывания $U_{сч} > U_{хр}$; вследствие близости электродов 2 и 3 барьер между ними исчезает и зарядовый пакет перетекает в более глубокую потенциальную яму (рис. 4.6, б). Во время третьей фазы напряжение на электроде 3 снижается до $U_{хр}$, а с электрода 2 потенциал снимается (рис. 4.6, в). Заметим, что на электродах, к которым не приложены напряжения $U_{хр}$ или $U_{сч}$, все время поддерживается небольшое напряжение смещения $U_{см} < U_{хр}$, обеспечивающее обеднение всей поверхности полупроводника и ослабление поверхностной рекомбинации. Итак, зарядовый пакет перенесен на один шаг вправо и подготовлен к новому

перемещению. Электрод 1 в этом процессе играет роль буфера, иначе слева от электрода 2 оказался бы 3-й электрод предыдущей ячейки и на 2-м такте зарядовый пакет равновероятно мог бы перетекать как вправо, так и влево. В выходном устройстве последовательность зарядов преобразуется в импульсное напряжение, огибающая которого представляет собой сигнал изображения. В ФПЗС процессы накопления зарядов и их считывания разделены во времени. Развертка производится в промежуток времени, соответствующий обратному ходу. При этом одновременное перемещение зарядов вдоль линии развертки происходит от первой ячейки слева направо, а сигнал изображения на выходе получается в обратном порядке, начиная с последней ячейки строки. Таким образом осуществляется самосканирование — передача информации за счет зарядовой связи путем изменения глубины потенциальных ям. Рассматриваемая развертка в направлении строки в факсимильных аппаратах сочетается с механическим перемещением оригинала в направлении кадра. Разработаны линейки, имеющие 1728 ячеек в строке, размер ячейки около 20 мкм. Электронная развертка обеспечивает высокие скорости анализа изображения, недоступные механическим системам; она безынерционна, что позволяет менять скорость считывания, не имеет изнашивающихся узлов и элементов, требующих в производстве высокой точности механической обработки.

5. ЭЛЕМЕНТЫ СИНТЕЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ФАКСИМИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Синтезирующее устройство осуществляет обратное по отношению к электрооптическому анализу преобразование, а именно преобразует сигнал изображения $u(t)$ (одномерную функцию) в изображение $D_r(x, y)$ (двумерную функцию)

$$u(t) \rightarrow D_r(x, y).$$

Это преобразование называется электрооптическим синтезом изображения. В состав синтезирующего устройства входят: устройство, формирующее развертывающий элемент (апертуру), развертка и материал, на котором осуществляется запись изображения. Определяющим фактором, влияющим на конструкцию синтезирующего устройства, является материал, используемый для записи изображения. Различают открытую и закрытую запись изображения. Открытая запись производится на свету и используются материалы для записи, не чувствительные к свету. Закрытая запись осуществляется в светонепроницаемой камере — кассете на светочувствительном мате-

риале, например на фотобумаге или фотопленке. Для открытой записи используются: обычная писчая бумага, электрохимическая бумага (ЭХБ), электротермическая бумага (ЭТБ). Более удобна в эксплуатации открытая запись, так как не требуется обработка записанного изображения (например фотообработка), возможен контроль работы, наиболее просто реализуется непрерывная запись, что необходимо для работы с передающими аппаратами, имеющими плоскостную развертку. К недостаткам открытой записи следует отнести: невысокое качество записи (малая разрешающая способность и низкое качество воспроизведения полутонов), а также существенные ограничения в скорости записи. Наиболее высокое качество записанного изображения (репродукции) можно получить при фотозаписи (закрытой записи). Кроме того, при фотозаписи можно обеспечить достаточно высокую скорость записи. Не следует путать понятия — скорость записи и эксплуатационная скорость приема изображения. Последняя включает в себя временные издержки, связанные с фотообработкой изображения, перезарядкой барабана фотоматериалом и т. д. При фотозаписи конструктивно сложно обеспечить непрерывную запись изображения, хотя эта задача разрешима. Эксплуатационная скорость, как правило, выше при открытых способах записи. Кратко остановимся на особенностях построения устройства электрооптического синтеза изображения.

При открытой записи используется барабанная развертка, а также непрерывные (плоскостные) развертки. Большое распространение получила непрерывная развертка с одновитковой записывающей спиралью (рис. 5.1). В качестве материала для записи наиболее часто используется электрохимическая бумага (ЭХБ) в рулонном изготовлении. Так как ЭХБ должна находиться в увлажненном состоянии, ее помещают в специальную кассету, защищающую бумагу от высыхания. Растрэлемент (апертура) образуется двумя записывающими электродами — спиралью с линейкой в месте их соприкосновения. ЭХБ располагается между этими электродами. При вращении спирали растрэлемент перемещается вдоль строки, причем за один оборот спирали происходит развертка одной строки « b ». Развертка по кадру осуществляется за счет поступательного перемещения бумаги со скоростью V_y . Так как к записывающим электродам подается сигнал изображения $u(t)$, в промежутке между электродами происходит электролиз, вызывающий изменение окраски ЭХБ. По мере движения растрэлемента вдоль строки изменяется оптическая плотность отдельных элементов строки и за один оборот спирали записывается одна строка. Этот способ прост в реализации и обеспечивает оперативную запись изображений, в том числе и полутоновых.

В настоящее время наиболее перспективными для применения в факсимильной технике считаются термочувствительная и

диэлектрическая (электростатическая) бумаги. Запись изображения на термочувствительной бумаге производится специальной электромеханической головкой с подвижной нагреваемой иглой, либо термопечатающей линейкой [3]. Термочувствительная бумага пропитана особым химическим составом, изменяющим цвет при нагревании свыше $100\text{--}150^\circ\text{C}$. Термопечатающая линейка содержит нагреваемые электрическим током точечные элементы, число которых равно числу элементов строки развертки. Она прижимается к термочувствительной бумаге и нагревает ее отдельные участки, что вызывает их потем-

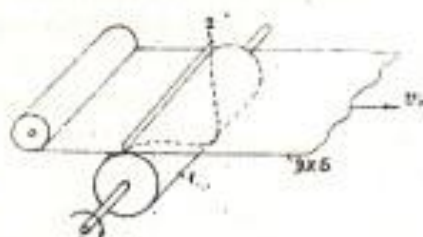


Рис. 5.1. Непрерывная развертка с одновитковой записывающей спиралью

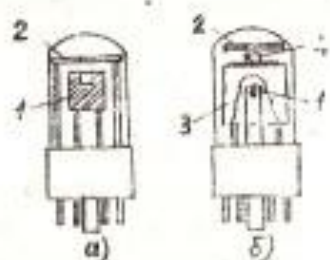


Рис. 5.2. Модуляторы света

нение. Развертка изображения по строке осуществляется электронной схемой, переключающей элементы линейки. Развертка по кадру обеспечивается за счет перемещения бумаги по оси y .

Также заслуживают внимания синтезирующие устройства с электростатической записью изображения. Электростатическая бумага (ЭСБ-2) представляет собой двухслойную рулонную бумагу, основа которой имеет удельное сопротивление $10^5\text{--}10^6\text{ Ом}\cdot\text{см}$, а поверхность покрыта тонкой пленкой диэлектрика с удельным сопротивлением $10^{15}\text{--}10^{16}\text{ Ом}\cdot\text{см}$. Эта бумага способна некоторое время сохранять на своей поверхности точечные электрические заряды. На поверхности электростатической бумаги (например ЭСБ-2) создается потенциальный рельеф либо перемещающимся по ней электродом, либо, что более перспективно, электродной линейкой. В линейке вмонтированы электроды, число которых равно числу элементов разложения одной строки развертки (например 1728). Развертка осуществляется схемой, последовательно переключающей электроды.

Возможны два способа записи: бесконтактный с помощью электрического разряда через небольшой воздушный промежуток и контактный. В первом случае на электрод подается высокое напряжение (около 1 кВ). Во втором случае воздушный зазор отсутствует и осаждение зарядов на бумаге происходит за счет так называемой автоэлектронной эмиссии с записывающего электрода. При этом напряжение на нем должно состав-

лять 300—500 В. Бесконтактный способ в основном используется при записи одиночным электродом, а контактный — при записи электродной линейкой. Сформированный на диэлектрической бумаге потенциальный рельеф проявляется путем опыления поверхности бумаги мелкодисперсным легкоплавящимся порошком-красителем. Фиксация порошка на бумаге осуществляется путем кратковременного нагрева.

По сравнению с термозаписью электростатические методы записи изображения обеспечивают получение более высококачественных репродукций с неограниченным сроком хранения. Термозапись по сравнению с электростатическими способами записи позволяет существенно уменьшить габариты и массу факсимильной аппаратуры, но пока уступает по скорости записи, сохраняемости репродукции, разрешающей способности и продолжительности непрерывной записи из-за перегрева записывающей линейки.

Построение синтезирующего устройства с фотозаписью поясняется рис. 2.3. В качестве фотоматериала используется фотобумага и фотопленка, последняя применяется в факсимильной аппаратуре для передачи газетных полос. При фотозаписи сигнал изображения $u(t)$ подается на модулятор света. Наиболее часто в факсимильных аппаратах с фотозаписью в качестве модуляторов света используются газосветные лампы, например типа ТМН-2 (точечный малогабаритный неоновый) и ДРГМ-70 (дуговой ртутный газонаполненный модулятор). Модуляторная лампа ТМН-2 (рис. 5.2, а) имеет два электрода — стальной цилиндрический катод 1 и никелевый анод 2, выполненный в виде диска с диаметром 1 мм. Поверхность углубления в катоде, так называемый кратер, покрыта торием и образует активную зону заряда. Баллон лампы заполнен смесью аргона и неона. При наличии разности потенциалов между анодом и катодом в пределах активной зоны образуется тлеющий разряд. Яркость разряда пропорциональна величине видеосигнала. Лампа ТМН-2, как и другие источники, использующие явление тлеющего разряда, может работать при частоте видеосигнала, не превышающей 100 кГц, поэтому область ее применения ограничена средними скоростями, не превышающими 250 строк/мин. В высокоскоростных факсимильных аппаратах, в частности в аппаратуре передачи газетных полос, применяют модуляторные лампы с дуговым разрядом, имеющие большую яркость и малую инерционность. Лампа ДРГМ-70 (рис. 5.2, б) имеет катод 1, представляющий собой нить накала, излучающую термоэлектроны, и анод 2. Между анодом и катодом помещен цилиндрический полый экран 3 с соплом 4, диаметр которого равен 1 мм. Дуговой разряд возникает в пределах канала сопла. Модулятор ДРГМ-70 позволяет работать при частоте изменения светового потока примерно до 1 МГц.

В синтезирующем устройстве факсимильной аппаратуры для приема изображений газетных полос, как и в анализирующем устройстве этой аппаратуры, применена круговая (дуговая) развертка (рис. 5.3). Световой поток от модулятора света ДРГМ-70 фокусируется конденсором К в плоскости ограничивающей диафрагмы Д и проходит через объектив O_1 . Диафрагма находится в фокальной плоскости этого объектива. После объектива параллельный пучок света поступает на вращающуюся оптическую головку, основными элементами которой являются призма П и микрообъектив O_2 . Последний формирует изображение ограничивающей диафрагмы Д в плоскости эмульсионного слоя фотопленки с уменьшением в 8 ... 10 раз. Яркость светового пятна определяется сигналом, поступающим на модуляторную лампу Л. При вращении головки световое пятно перемещается по окружности, засвечивая строку эмуль-

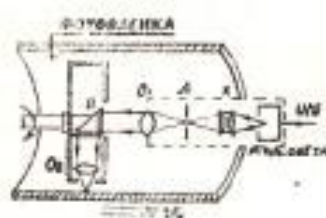


Рис. 5.3. Круговая (дуговая) развертка при синтезе изображения

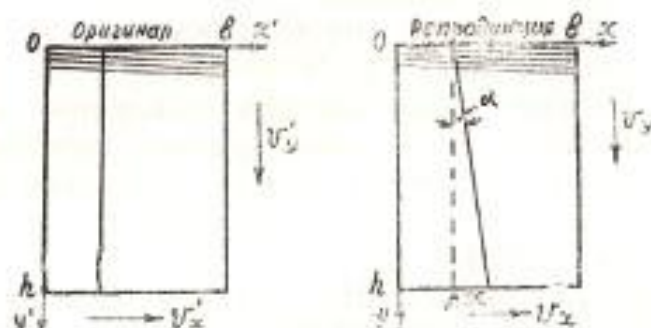


Рис. 6.1. Образование скоса вертикальной линии при автономной синхронизации

сионного слоя фотопленки. Развертка по кадру осуществляется за счет поступательного движения камеры со скоростью V_y . Таким образом производится фотографическая запись изображения газетной полосы. Для повышения разрешающей способности в аппаратуре «Газета-3» используют лазер.

6. СИНХРОНИЗАЦИЯ И ФАЗИРОВАНИЕ В ФАКСИМИЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Синхронизация обеспечивает равенство скоростей разверток передающего и приемного факсимильных аппаратов. Фазирование предполагает строго определенное расположение развертывающих элементов передающего и приемного факсимильных аппаратов относительно краев бланков в процессе развертки. Остановимся сначала на методе синхронизации. В факсимильной аппаратуре нашли применение следующие три метода синхронизации: автономный, принудительный, сетевой.

6.1. Автономная синхронизация

Автономная синхронизация получила широкое применение и, как следует из самого названия, заключается в том, что в передающем и приемном аппаратах имеются синхронизирующие генераторы, работающие автономно (независимо друг от друга). Если в аппаратах применяется механическая развертка, то в качестве движущего механизма используется синхронный двигатель, который питается высокостабильным по частоте напряжением. Большое применение получили гистерезисные синхронные двигатели.

Определим величину относительной нестабильности синхронизирующих (задающих) генераторов, при которой возможна автономная синхронизация. Из-за отсутствия абсолютного равенства частот передающего и приемного синхронизирующих генераторов при передаче вертикальной линии (рис. 6.1) на репродукции эта линия будет иметь некоторые отклонения от вертикали. Между линиями оригинала и репродукции образуется некоторый угол α , называемый углом скоса. При малых значениях угла скоса α указанное искажение (отклонение воспроизводимых линий от вертикали) не будет заметно. Имеется норма на допустимую величину угла скоса

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{1}{100}. \quad (6.1)$$

Найдем связь между $\operatorname{tg} \alpha$ и относительной нестабильностью синхронизирующих генераторов $\frac{\Delta f}{f}$. Из рис. 6.1 следует, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta x}{h}$, где Δx — величина сдвига развертывающего элемента за время передачи всего бланка. Из-за различия в частотах синхронизирующих напряжений будет происходить наращивание фазового сдвига между синхронизирующими колебаниями (рис. 6.2). Так, за время одного периода строчной развертки фазовый сдвиг в масштабе времени будет $\Delta T_c = T_c - T_c'$, за время передачи двух строк фазовый сдвиг станет равным $2\Delta T_c$, а за время передачи всего бланка (кадра) величина фазового сдвига достигнет величины $z\Delta T_c$ (z — количество строк в кадре).

Так как линейная скорость движения развертывающего элемента равна $U_x = \frac{b}{T_c} = b \cdot f_c$, то $\Delta x = z\Delta T_c \cdot U_x = z\Delta T_c \cdot b \cdot f_c$. В свою очередь $\Delta T_c = T_c - T_c' = \frac{1}{f_c} - \frac{1}{f_c'} = \frac{f_c' - f_c}{f_c \cdot f_c'} \approx \frac{\Delta f_c}{f_c^2}$, а $z = h/\delta$ (δ — шаг развертки). В результате получим

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta x}{h} = \frac{z\Delta T_c b f_c}{h} = \frac{h\Delta f_c b f_c}{\delta h f_c^2} = \frac{b}{\delta} \cdot \frac{\Delta f_c}{f_c} \quad \frac{\Delta f_c}{f_c} = \frac{\delta}{b} \operatorname{tg} \alpha. \quad (6.2)$$

Учитывая (6.1), получим

$$\frac{\Delta f_c}{f_c} \leq \frac{b}{b} \cdot \frac{1}{100}.$$

При длине строки $b = 220$ мм и $\delta = 0,2$ мм, получим

$$\frac{\Delta f_c}{f_c} \leq \frac{0,2}{220} \cdot 10^{-2} \approx 10^{-5}.$$

Таким образом, расхождение между частотами источников стабильной частоты передающих и приемных аппаратов при автономной синхронизации не должно превышать $\frac{\Delta f}{f} \leq 10^{-5}$, что достигается при использовании генераторов, стабилизированных, например камертоном. Применение камертонной стабилизации целесообразно в устройствах автономной синхронизации факсимильных аппаратов с электромеханическими раз-

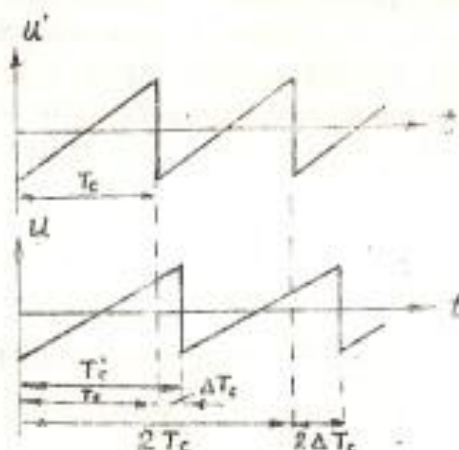


Рис. 6.2. Нарастивание фазового сдвига между синхронизирующими колебаниями при автономной синхронизации



Рис. 6.3. Способы передачи строчных синхроимпульсов

вертками, когда скорость развертки невысокая. Частота камертонного генератора равна 1200 Гц, а поэтому использование других видов стабилизации, например кварцевой, затруднительно. В высокоскоростных факсимильных аппаратах с электронной разверткой автономная синхронизация обеспечивается высокостабильными по частоте кварцевыми генераторами.

6.2. Принудительная синхронизация

Принудительная синхронизация, в основном, применяется в высокоскоростной факсимильной аппаратуре с электронной разверткой и строится на тех же принципах, что и строчная синхронизация в телевизионных системах. В передающем факсимильном аппарате вырабатываются строчные синхроимпульсы, которые передаются в конце каждой строки. Имеются

различные способы передачи строчных синхроимпульсов совместно с сигналом изображения. Наиболее распространенный способ состоит в том, что строчные синхроимпульсы (СИ) передаются во время обратного хода строчной развертки на уровне «чернее черного» (рис. 6.3, а). В этом случае форма синхроимпульсов, как правило, прямоугольная. Возможна также передача строчных синхроимпульсов во время обратного хода строчной развертки в пределах динамического диапазона факсимильного сигнала (рис. 6.3, б). В этом случае в качестве синхросигнала используется сложный сигнал, например код Баркера.

В приемном факсимильном аппарате строчные синхроимпульсы выделяются (селектируются) и далее используются для синхронизации задающего генератора строчной развертки. Для повышения помехоустойчивости устройства синхронизации приемника применяется фазовая автоподстройка частоты. Если синхроимпульсы передаются на уровне «чернее черного», то селекция их производится путем амплитудного ограничения, а в случае передачи синхросигнала в пределах динамического диапазона факсимильного сигнала приходится применять специальные селектирующие фильтры. Как известно, код Баркера обладает хорошей «сжимаемостью», т. е. имеет очень узкую автокорреляционную функцию (АКФ). Селекция кода Баркера сводится к выделению его АКФ с помощью оптимального фильтра.

Рассмотрим пример получения АКФ семиэлементного кода Баркера (сжатия кода Баркера). Семиэлементный код Баркера имеет вид $-+---+++$. Оптимальная обработка включает в себя сдвиги комбинации, ее инверсию на определенном шаге и суммирование. Порядок инверсии кодовой комбинации на соответствующем шаге сдвига определяется по комбинации кода Баркера, читаемой с конца. А именно, на позиции (+) комбинация не инвертируется, а на позиции (—) инвертируется. Алгоритм обработки кода Баркера при его селекции поясняется на рис. 6.4, а. Слева записана комбинация в виде матрицы-столбца, определяющая позиции инверсии, а справа изображены сдвинутые и на нужных позициях инвертированные кодовые комбинации. Заключительным этапом обработки сигнала является суммирование сдвинутых комбинаций. Из рис. 6.4, а видно, что после суммирования на седьмой позиции образуется сигнал, превышающий по уровню исходный сигнал в 7 раз, при этом ширина сжатого сигнала соответственно уменьшилась в 7 раз. Таким образом, коэффициент сжатия кода Баркера равен его длине, в рассмотренном примере — семи. Наряду с полезным выделенным сигналом на выходе оптимального фильтра образуются боковые лепестки в виде одиночных отрицательных импульсов. Структурная схема оптимального фильтра, построенная на основе приведенного алго-

ритма, приведена на рис. 6.4, б. Она включает в себя многоотводную линию задержки, инверторы и сумматор. При использовании кода Баркера в качестве синхросигнала он передается во время обратного хода строчной развертки в пределах динамического диапазона факсимильного сигнала. Выделенный указанным способом синхросигнал далее подается на вход фазовой автоподстройки частоты устройства принудительной синхронизации приемного факсимильного аппарата. Сравнивая рассмотренные способы принудительной синхронизации, следует отдать предпочтение второму способу, так как в этом случае более эффективно используется динамический диапазон факсимильного сигнала, а следовательно, повышается помехозащищенность системы.

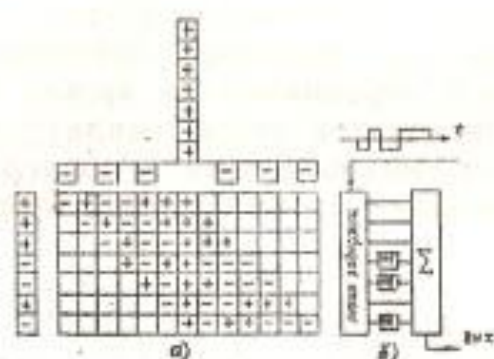


Рис. 6.4. Селекция кода Баркера:
а) алгоритм работы оптимального фильтра;
б) структурная схема оптимального фильтра

В факсимильной аппаратуре также нашла применение сетевая синхронизация, которая является частным случаем принудительной синхронизации. При сетевой синхронизации оба двигателя синхронизированы частотой общей сети промышленного тока, равной 50 Гц. Применение сетевой синхронизации ограничено пределами одной общей энергосистемы, частота промышленного тока в которой одинакова (город, отдельный регион страны). Относительная нестабильность частоты промышленного тока весьма велика ($\frac{\Delta f}{f} \approx 10^{-1} - 10^{-2}$), но так как от одного и того же источника осуществляется синхронизация разверток как передающего, так и приемного аппаратов, то качество синхронизации вполне приемлемое.

6.3. Фазирование

Вторым важным условием, обеспечивающим работу разверток без искажений, является фазирование, предназначенное для установления начальной фазы развертывающих элементов в передающем и приемном факсимильных аппаратах. При от-

сутствии синфазности изображение на репродукции разделяется на две части: верхняя часть изображения попадает на нижнюю сторону бланка, а нижняя — на верхнюю сторону (рис. 6.5). В современных аппаратах, в основном, применяются устройства автоматического фазирования. Принцип автоматического фазирования заключается в том, что в передающем и приемном аппаратах перед началом каждой строки вырабатываются фазирующие импульсы. Эти импульсы в приемном аппарате поступают на схему совпадения (ячейку И рис. 6.6). В начале работы аппаратов, как правило, синфазность отсутствует и отклика на выходе ячейки И не будет. При электро-механической развертке скорость вращения каждого двигателя определяется частотой генераторов. В период фазирования синхронный двигатель развертки передающего аппарата питается от источника переменного тока, синхронизированного частотой камертонного генератора (400 Гц — после деления частоты), а двигатель развертки приемного аппарата питается от генератора «расстройки» переменным током с частотой 380 Гц.



Рис. 6.5. Искажение изображения при отсутствии синфазности

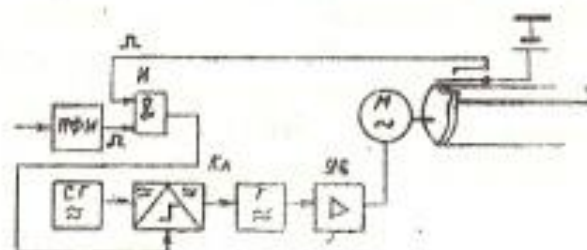


Рис. 6.6. Функциональная схема устройства автоматического фазирования

За счет разницы скоростей вращения взаимное положение барабанов изменяется и наступит момент, когда фазирующие импульсы одновременно поступят на входы ячейки И. Этот момент времени соответствует совпадению фаз, поэтому после установления синфазности необходимо обеспечить синхронность в работе двигателей, а именно обеспечить питание синхронного двигателя приемного аппарата от источника стабильной частоты 400 Гц (камертонного генератора). Для этого сигнал совпадения с выхода ячейки И поступает на схему электронного ключа КЛ, который разрешает прохождение высокостабильного по частоте сигнала от СГ для синхронизации генератора Г. Начиная с этого момента, двигатели обоих аппаратов будут вращаться с практически одинаковой скоростью. Далее синфазность поддерживается за счет высокой стабильности частоты синхронизирующих (камертонных) генераторов.

7. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛА В ФАКСИМИЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Как ранее было показано (разд. 3), полоса частот аналогового факсимильного сигнала $\Delta F = F_{\text{макс}} - F_{\text{мин}}$, причем $F_{\text{мин}} = 0$. Для передачи факсимильных сообщений, в основном, в соответствии с нормами МККТТ используется канал тональной частоты с полосой пропускания (300—3400) Гц, а поэтому нижняя часть спектра частот факсимильного сигнала (от 0 до 300 Гц) не будет пропущена. Чтобы все составляющие спектра частот факсимильного сигнала попали в полосу пропускания канала ТЧ, необходимо преобразование частот, которое осуществляется в устройстве преобразования сигнала (УПС_{пер}). В качестве УПС_{пер} в передающих факсимильных аппаратах применяются амплитудные и частотные модуляторы.

При использовании амплитудного модулятора поднесущая f_0 выбирается таким образом, чтобы она располагалась в середине полосы пропускания канала ТЧ (рис. 7.1, а). В этом случае минимальная частота спектра частот факсимильного сигнала ($F_{\text{мин}} = 0$) совпадает с поднесущей f_0 и передаются две боковые полосы (нижняя боковая полоса — НБП и верхняя боковая полоса — ВБП). Как НБП, так и ВБП имеют ширину, равную полосе частот факсимильного сигнала, Гц,

$$\Delta F_{\text{НБП}} = \Delta F_{\text{ВБП}} = \Delta F_{\text{факс}} = F_{\text{макс}} = \frac{b}{28} \frac{N}{60}.$$

Для наилучшего использования канала ТЧ необходимо, чтобы $\Delta F_{\text{факс}} = \frac{f_{\text{в}} - f_{\text{н}}}{2}$, а этого можно достичь соответствующим выбором скорости развертки факсимильного аппарата. Эффективность использования канала ТЧ оценивается коэффициентом использования канала

$$\eta = \frac{\Delta F_{\text{факс}}}{f_{\text{в}} - f_{\text{н}}}.$$

Для рассмотренного случая, когда передаются все продукты преобразования при амплитудной модуляции, максимальная величина коэффициента использования канала связи $\eta = 0,5$, что говорит о неэффективном использовании канала ТЧ. Для повышения эффективности использования канала применяют метод преобразования АМ с частичным подавлением верхней боковой полосы частот. В этом случае поднесущая сдвигается вправо и располагается приблизительно на расстоянии $0,15(f_{\text{в}} - f_{\text{н}})$ от верхней граничной частоты $f_{\text{в}}$ (рис. 7.1, б). Кроме того, в передающем аппарате устанавливается дополнительный фильтр (АЧХ фильтра обозначена пунктирной линией). Дополнительный фильтр осуществляет подавление подне-

сущей f_0 до 50%. Необходимость передачи поднесущей и ее ослабления до 50% объясняется следующим. На поднесущей f_0 передается постоянная составляющая факсимильного сигнала ($F_{\text{мин}} = 0$), играющая важную роль в обеспечении высокого качества воспроизведения полутонных изображений, поэтому ее необходимо передавать. Ослабление несущей до 50% производится для того, чтобы восстановить глубину модуляции после ограничения верхней боковой полосы. Поясним сказанное

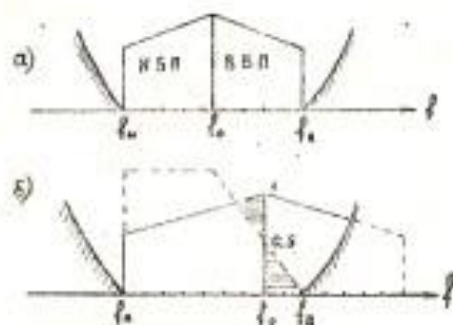


Рис. 7.1 Преобразование спектра факсимильного сигнала при АМ и АМ с частичным подавлением ВБП

на векторной диаграмме, предположив, что модулирующий сигнал — синусоида. Как известно, векторная диаграмма АМ при двухполосной передаче представляется в виде вектора поднесущей U_0 и двух вращающихся в разные стороны с одинаковой угловой скоростью векторов, соответствующих нижней и верхней боковым частотам $U_{\omega-2}$ и $U_{\omega+2}$ (рис. 7.2). Вектор модулированного сигнала (резльтирующий вектор) равен геометрической сумме составляющих векторов. При 100%-й глубине модуляции между амплитудами поднесущей и боковых частот существует соотношение $U_{\omega-2} = U_{\omega+2} = 1/2 U_0$. Поэтому при угле сдвига фаз, равном нулю, амплитуда модулированного сигнала (резльтирующий вектор) будет равна двойной амплитуде поднесущей, а при сдвиге фаз, равном π , — нулю (рис. 7.2, а). Если полностью убрать одну боковую частоту, например верхнюю, а поднесущую оставить без изменения, то глубина модуляции уменьшится в 2 раза (рис. 7.2, б). Для того, чтобы сохранить 100%-ю глубину модуляции при полном ограничении одной боковой частоты, необходимо поднесущую уменьшить в 2 раза (рис. 7.2, в). АЧХ дополнительного фильтра имеет кососимметричный срез, такой фильтр имеет простую реализацию. Однако, как видно из рис. 7.1, б, при таком срезе АЧХ фильтра ослабляются низкочастотные составляющие НБП. Для компенсации этих составляющих передается часть составляющих ВБП. Действительно, ослабленные низкочастотные составляющие НБП (верхний треугольник рис. 7.1, б) компенсируются теми же составляющими ВБП (нижний треуголь-



Рис. 7.2 Векторные диаграммы, поясняющие необходимость ослабления несущей U_0 при частичном подавлении ВБП

ник). Коэффициент использования канала ТЧ η при преобразовании вида АМ с частичным подавлением ВБП увеличивается. Так, если передается 20% ВБП, то

$$\eta = \frac{\Delta F}{f_n - f_n} = \frac{\Delta F}{1,2\Delta F} = 1,84.$$

Также в качестве УПС_{пер} в передающих факсимильных аппаратах используются частотные модуляторы. В некоторых случаях, например для передачи факсимильных сообщений по КВ радиолиниям, в качестве УПС следует применять только частотные модуляторы. Это объясняется тем, что на КВ радиолиниях имеют место замирания, а поэтому, если использовать амплитудную модуляцию для преобразования частот, то из-за замираний при передаче факсимильного сигнала по КВ радиолинии будет меняться уровень сигнала — произойдет дополнительная амплитудная псевдомодуляция сигнала. В результате на репродукции появятся искажения в виде изменения оптической плотности, как правило, поперек строк. Так, если передавать чистый бланк (однородный фон), то на репродукции фон будет неоднородный, появятся полосы различной оптической плотности, отражающие изменение уровня сигнала из-за замираний. Если же в качестве УПС_{пер} использовать частотный модулятор, а в факсимильном приемнике осуществить глубокое амплитудное ограничение, то замирания сигнала в КВ радиолинии не исказят репродукции. При передаче по КВ радиолиниям также имеет место явление «эхо». А именно, на приемную сторону кроме основного сигнала поступает эхо-сигнал. Различают два случая приема эхо-сигналов. В первом — время запаздывания $\Delta\tau$ больше длительности наиболее короткой посылки τ (рис. 7.3, а), что приводит к повторению мелких деталей. Этот случай недопустим. Во втором случае $\Delta\tau < \tau$ (рис. 7.3, б), в результате чего происходит расширение линий на репродукции. Выполнить требование по допустимому запаздыванию эхо-сигнала возможно лишь при соответствующем выборе скорости развертки. Найдем эту скорость. Экспериментально установлено, что качество машинописного текста на репродукции остается хорошим, если расширение длительности наиболее короткого импульса τ не превышает 50% длительности τ при частотной модуляции несущей ($\frac{\Delta\tau}{\tau} \leq 0,5$). Экспериментально установлено, что для КВ радиолиний условие $\frac{\Delta\tau}{\tau} \leq 0,5$ выполняется, если $\tau \geq 10^{-3}$ с. Для машинописного текста статистически найдена минимальная ширина штриха $d_{\min} = 0,3$ мм. Имея $d_{\min}$ и τ , можно определить V_x

$$V_x \leq \frac{d_{\min}}{\tau} = \frac{0,3}{10^{-3}} = 300 \frac{\text{мм}}{\text{с}}.$$

Так как время передачи одной строки $T_c = \frac{60}{N}$, а длина строки $b = V_x T_c$, то скорость развертки

$$N = \frac{V_x \cdot 60}{b} \frac{\text{строк}}{\text{мин}}.$$

Полагая $b = 200$ мм, получим

$$N = \frac{300 \cdot 60}{200} = 90 \frac{\text{строк}}{\text{мин}}.$$

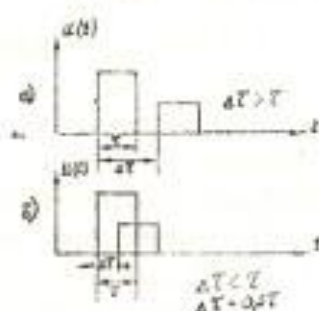


Рис. 7.3. Искажение мелких деталей из-за явления «эхо» при работе по КВ радиопередающим



Рис. 8.1. Структурная схема цифрового факсимильного аппарата

Практически для передачи более мелкоструктурных документов наименьшую скорость развертки принимают равной $N = 60$ строк/мин.

8. ЦИФРОВЫЕ ФАКСИМИЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Развитие техники связи идет в направлении цифровизации. Это связано с тем, что цифровые системы имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с аналоговыми: возможностью регенерации сигнала на промежуточных пунктах; универсальностью способа передачи, что позволяет передавать факсимильную информацию наряду с другими видами сообщений по единой цифровой системе связи; возможностью сокращения времени передачи за счет оптимального кодирования факсимильного сигнала; применением хорошо развитой цифровой элементной базы (микросхем, микропроцессоров) при создании новых образцов цифровой факсимильной аппаратуры; возможностью сопряжения цифровых факсимильных аппаратов с ЭВМ в целях обработки факсимильной информации. Цифровые факсимильные аппараты создавались на базе аналоговых аппаратов, поэтому могут быть аналого-цифровые факси-

мильные аппараты и полностью цифровые аппараты. В аналого-цифровых факсимильных аппаратах блоки электрооптического анализа и синтеза изображения остаются аналоговыми, а устройства преобразования сигналов ($УПС_{пер}$ и $УПС_{пр}$) — цифровые. В полностью цифровых факсимильных аппаратах блоки электрооптического анализа и синтеза — дискретные (в качестве преобразователей свет-сигнал и сигнал-свет используются, например, ПЗС-линейка и термопечатающая линейка).

8.1. Структурная схема передающего цифрового факсимильного аппарата

Структурная схема передающего аналого-цифрового факсимильного аппарата (рис. 8.1) состоит из: аналогового анализирующего устройства и цифрового $УПС_{пер}$, состоящего из АЦП, устройства сжатия (компрессии) цифрового факсимильного сигнала и устройства согласования цифрового факсимильного аппарата с цифровым каналом связи. В полностью цифровом факсимильном аппарате функции АЦП полностью либо частично выполняются дискретным анализирующим устройством. На построение и технические характеристики цифрового факсимильного аппарата, как и аналогового, большое влияние оказывает характер передаваемых изображений (оригиналов). Так, черно-белые оригиналы могут быть двухградационные (текст, графическая информация) и полутонные (фотографии). Основное преимущество факсимильной аппаратуры по сравнению с телеграфной заключается в том, что она наряду с текстом (буквенным или цифровым) позволяет передавать самые различные изображения. Поэтому, когда сравниваются между собой факсимильные системы и телеграфные, необходимо, в первую очередь, учитывать, что факсимильные системы по своим возможностям качественно отличаются от телеграфных. Этим и объясняется то бурное развитие факсимильной техники, которое она сейчас получила. Часто сравнивают возможности факсимильной системы и телеграфной на основе передачи текста, доказывая, что на передачу одного знака (буквы) телеграфным способом требуется меньше элементов, чем при передаче этой буквы факсимильными методами. И делается вывод о преимуществе телеграфных систем. Но не для передачи текста, а для передачи изображений создавались факсимильные системы, поэтому такое сравнение неадекватно, а поэтому неправомерно. Тем не менее проблема увеличения скорости передачи факсимильного сообщения (уменьшения времени передачи изображения) является одной из основных проблем на пути широкого внедрения факсимильных методов передачи сообщений. Эта проблема успешно решается путем сокращения статистической избыточности передаваемых изображений.

8.2. Полоса частот цифрового факсимильного аппарата

Рассмотрим последовательность преобразований аналогового факсимильного сигнала в цифровой при передаче полутонного черно-белого изображения и определим полосу частот цифрового факсимильного сигнала. Так, в аналого-цифровом факсимильном аппарате (рис. 8.1) аналоговый факсимильный сигнал с выхода фотоэлектрического преобразователя (ФЭУ) поступает на вход АЦП. В АЦП производится дискретизация (квантование) сигнала по времени и по уровню (рис. 8.2). Частота дискретизации по времени находится на основе теоремы отсчетов (теоремы Котельникова) и соответственно равна $f_{\text{дискр}} = 2\Delta F$, где ΔF — полоса частот аналогового факсимильного сигнала. Соответственно период дискретизации $t_{\text{дискр}} = \frac{1}{2\Delta F}$. Число уровней квантования определяется путем оценки качества «квантованного» изображения. А именно, при малом числе уровней квантования из-за шумов квантования на изображении образуются «ложные узоры». Экспериментально (на основе экспертных оценок) получено, что для хорошего качества воспроизведения полутонов число уровней квантования должно быть равно 128. Следовательно, необходим 7-элементный двоичный код для кодирования величины размаха сигнала в соответствующих точках дискретного времени. Из приведенного рассуждения следует, что длительность единичного элемента (рис. 8.2) будет равна

$$t_0 = \frac{t_{\text{дискр}}}{k} = \frac{1}{2k\Delta F},$$

а полоса частот цифрового факсимильного сигнала, Гц.

$$\Delta F_{\text{цифр}} = \frac{1}{t_0} = 2k\Delta F,$$

где k — длина (количество разрядов) двоичного кода. Таким образом, полоса частот $\Delta F_{\text{цифр}}$ цифрового факсимильного сигнала на выходе АЦП при равномерном квантовании по уровню в $2k$ раз шире, чем полоса частот ΔF аналогового факсимильного сигнала. При $k = 7$ полоса частот цифрового сигнала в 14 раз шире полосы частот аналогового сигнала. В результате цифровых преобразований получается последовательность единичных элементов (двоичный код), поэтому скорость передачи факсимильной информации R , бит/с, можно измерять количеством бит в 1 с, причем

$$R = \Delta F_{\text{цифр}} = 2k\Delta F.$$

В цифровых факсимильных аппаратах, предназначенных для передачи двухградационных черно-белых изображений, дискре-

тизация (квантование) сигнала по уровню осуществляется достаточно просто с помощью пороговых устройств, однако в случае малоконтрастных изображений оригиналов выбор порога формирования уровней черного и белого превращается в непростую задачу. Теоретически эта задача может рассматриваться как выделение двухградационного сигнала на фоне шума и различных искажений (апертурных), возникающих в процессе электрооптического анализа изображения. Итак, при переходе к цифровому факсимильному сигналу увеличивается полоса

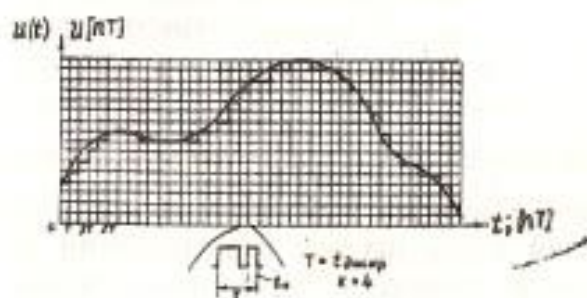


Рис. 8.2. Преобразование аналогового факсимильного сигнала в цифровой

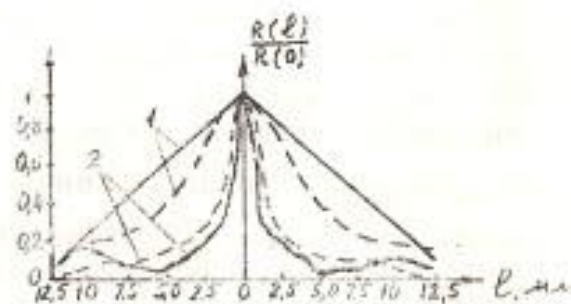


Рис. 8.3. Корреляционные функции изображений:

1 — крупный план (портрет); 2 — средний план (стадион). Сплошная линия — в горизонтальном и пунктирная линия — в вертикальном направлениях

частот сигнала, а следовательно, потребуется более широкий канал связи для передачи сигнала в цифровом виде по сравнению с передачей аналогового сигнала. Да и аналоговый сигнал имеет широкую полосу частот, что ограничивает скорость передачи факсимильного сообщения. Поэтому весьма остро ставится вопрос о сокращении полосы частот факсимильного сигнала.

8.3. Методы сокращения полосы частот факсимильного сигнала

Методы сокращения полосы частот факсимильного сигнала основаны на учете избыточности изображения. Как полутонные, так и двухградационные черно-белые изображения имеют большую статистическую избыточность. Количественно статистическую избыточность полутонных изображений можно оценить путем исследования корреляционных функций изображений. Впервые корреляционные функции изображений исследовались немецким ученым Кречмером [4]. При проведении экспериментов Кречмер использовал прибор, в котором два диапозитива одного и того же изображения, наложенные друг на друга, просвечивались параллельным пучком световых лучей. Световой поток, прошедший через диапозитивы, пропорцио-

нальный корреляционной функции $R_c(\xi, \eta)$, регистрировался фотоэлектронным умножителем. Перемещая один диапозитив относительно другого и измеряя ток ФЭУ, были получены зависимости коэффициентов корреляции от смещений для ряда изображений (рис. 8.3). Из рисунка видно, что для крупнопланового изображения (портрет), когда число мелких деталей мало и, следовательно, статистические связи между элементами изображения более сильные, коэффициент корреляции убывает медленнее, чем во втором случае (для изображения среднего плана — трибуны стадиона, заполненные зрителями). Повысить эффективность исследований статистических свойств изображений стало возможным в результате использования для этих целей ЭВМ. Были разработаны методы и устройства ввода изображения (сигналов изображения) в ЭВМ, что позволило на более высоком уровне исследовать статистические характеристики различных изображений и подтвердить их большую статистическую избыточность [5].

Двухградационное черно-белое изображение тоже обладает большой избыточностью. Так, для машинописного текста справедливо следующее рассуждение. Напечатанный бланк содержит очень много белых полей, не несущих полезной информации. Исследования показывают, что в среднем бланк содержит до 80—90% белого поля. «Средний» документ содержит около 700—1000 знаков, что составляет 30% площади всего бланка. При параметрах разложения: 7,7 лин/мм вдоль строки и 3,85 лин/мм в направлении кадра количество элементов разложения на бланке $200 \times 300 \times 7,7 \times 3,85 = 1,8$ млн элементов. Если учесть, что изображение буквы размером 3×2 мм² содержит $7,7 \times 2 \times 3,85 \times 3 = 185$ элементов, то $1,8 \cdot 10^6 - (1000 \times 185) = 1,6 \cdot 10^6$ элементов являются лишними. Отсюда ясно, что уменьшение объема передаваемого факсимильного сообщения является весьма актуальной задачей.

Рассмотрим некоторые методы сокращения избыточности (сжатия) двухградационного черно-белого изображения. Имеется ряд статистических моделей двухградационного изображения. Так, при электрооптическом анализе двухградационного изображения после соответствующей обработки сигнала, образующегося на выходе фотоэлектрического преобразователя, получается сигнал в виде случайной последовательности единиц и нулей, причем единицы и нули группируются. Если принять сигнал, соответствующий «черному», за «1», а сигнал, соответствующий «белому», за «0», то получатся пачки (серии) единиц и нулей. Статистика появления серий единиц и нулей обуславливается правилами формирования знаков (букв, цифр). При разбиении изображения на элементарные площадки (элементы изображения) число их достаточно велико. Если же элементами изображения считать серии черно-белых отрезков изображения вдоль строки, то объем передаваемых сооб-

щений уменьшится. Модель двухградационного изображения в виде длин серий является основой для разработки методов эффективного кодирования. Следует иметь в виду, что устранение избыточности ведет к ухудшению качества принимаемого сообщения (снижается помехоустойчивость). В осмысленных изображениях имеются сильные корреляционные связи между элементами. Именно поэтому изображения объектов могут быть выделены на фоне даже сильных помех. Например, буква П передается с помощью телеграфного кода МТК-2. При наличии хотя бы одной ошибки, если передача осуществляется неизбыточным кодом, будет принята другая буква. Если же буква П передается растровым методом (с помощью факсимильного аппарата), то одиночная ошибка (искажение одного элемента изображения) не исказит структуры буквы П. Даже при наличии большого количества ошибок, приходящихся на букву, разрушить изображение буквы трудно (буква опознается). Естественно, что, выигрывая в помехоустойчивости, проигрывает проигрыш во времени передачи буквы факсимильным методом. При устранении избыточности помехоустойчивость уменьшается.

Оценка различных методов сжатия может быть выполнена по трем критериям: коэффициенту сжатия; помехоустойчивости и сложности алгоритма сжатия. Определяющим при обосновании методов сжатия являются два первых критерия, так как благодаря постоянному совершенствованию цифровой элементной базы относительная стоимость обработки сигналов постоянно снижается по сравнению с общей стоимостью аппаратуры факсимильной связи. Рассмотрим некоторые, получившие практическое применение, алгоритмы сжатия двухградационного факсимильного сообщения.

Кодирование длин серий (КДС)

При кодировании по этому методу [6] двухуровневый факсимильный сигнал от каждой строки развертки разбивается на отдельные элементы — дискретизируется. Элементам белого приписывается значение логического нуля, а черного — единицы (рис. 8.4). При этом учитывается, что, как правило, в среднем длины черных участков изображения много короче белых. Длины белых участков кодируются шестиэлементными кодовыми комбинациями (до 63 элементов сигнала), а отрезки черного — трехэлементными (до семи элементов сигнала). Кодирование строки всегда начинается с белого; для определения начала строки передается служебная комбинация из девяти нулей. При кодировании белого различают отрезки: меньше 63 элементов изображения; больше, но не кратные 63 элементам; равные или кратные 63 элементам. В первом случае отрезки кодируются шестиэлементными кодовыми комбинациями

(комбинации 1, 3, 5 на рис. 8.4). Во втором случае длина отрезка кодируется несколькими шестизначными комбинациями, причем все они, кроме последней, состоят из одних единиц. В третьем случае длина отрезка кодируется одной или не-

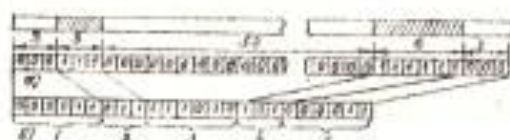


Рис. 8.4. Кодирование двухградационного факсимильного сигнала по методу КДС

сколькими шестизначными комбинациями, состоящими из одних единиц, и для определения окончания белого передается служебная кодовая комбинация из шести нулей. При кодировании черного различают отрезки: меньше 7 элементов изображения; больше, но не кратные семи элементам; равные или кратные семи. Они кодируются так же, как и отрезки белого, но при этом используются не шести, а трехэлементные кодовые комбинации.

Коэффициент сжатия $k_{ск}$ при КДС, если длины серий кодируют равномерными кодами разной длины, можно вычислить по формуле

$$k_{ск} = \frac{N}{m_n + m_g + 0,5(m_1 + m_0)P_{из}N},$$

где m_n — длина кода начала строки; m_g — длина кода яркости первого элемента; m_1 и m_0 — длины равномерных кодов, используемых для кодирования длин серий белого и черного соответственно; $P_{из}$ — вероятность новых значений; N — число элементов изображения на строке.

Качественно для отдельной строки, как видно из рис. 8.4, 73-элементный дискретный факсимильный сигнал закодирован 24 двоичными элементами, т. е. в 3 раза меньшим количеством элементов.

Метод КДС обладает низкой помехоустойчивостью. Неверно принятый код длины серии приводит к так называемому «треку ошибок», поскольку декодер воспроизведет серию не той длины. Таким образом, даже одиночная ошибка за счет помехи в канале приводит к «разрушению» строки. Методы КДС и его разновидности работоспособны при вероятности ошибки в канале не хуже 10^{-6} . Реальные каналы имеют вероятность ошибки на несколько порядков больше (10^{-3} — 10^{-4}). Поэтому без специальных мер по повышению помехоустойчивости методы КДС применять нельзя.

Адресно-позиционное кодирование (АПК)

По сравнению с КДС метод АПК обладает большей помехоустойчивостью, но эффективность (коэффициент сжатия) его ниже. При кодировании штриховых изображений возможны новые значения двух типов: переход из белого в черное и переход из черного в белое. Координата элемента с новым значением яркости (КНЗ) отсчитывается относительно начала строки изображения (рис. 8.5). Для безошибочного восстанов-

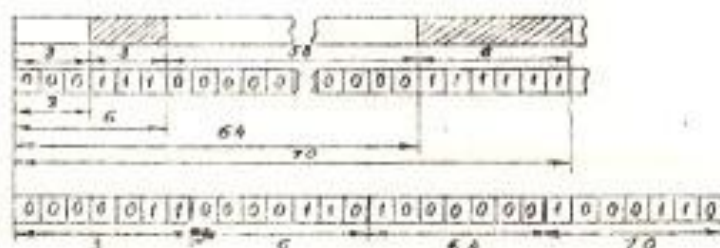


Рис. 8.5. Кодирование двухградационного факсимильного сигнала по методу АПК

ления изображения по сжатым данным необходимо в начале кодограммы строки указать признак (код) ее начала и значение яркости первого элемента строки:

[код начала строки] [код первого элемента] [КНЗ] [КНЗ] ... [КНЗ].

При равномерном кодировании длина кода будет определяться из условия, что элемент с новым значением яркости находится в конце строки. Таким образом, длина двоичного кода $k = \log_2 N$, где N — число элементов изображения на строке. Коэффициент сжатия $k_{сж}$ при равномерном кодировании новых значений можно вычислить, зная вероятность $P_{из}$ появления таких элементов:

$$k_{сж} = \frac{N}{m_n + m_n + NP_{из} \log_2 N},$$

где m_n — длина кода начала строки; m_n — длина кода яркости первого элемента.

При АПК нельзя достичь высоких коэффициентов сжатия, если насыщенность изображения деталями высока, поэтому его целесообразно применять при кодировании изображений, для которых вероятность новых значений не превышает 0,2—0,3. Как было указано ранее, достоинством АПК является его низкая чувствительность к ошибкам. Поражение ошибкой кода координаты нового значения приводит к искажению небольшой группы элементов строки до следующего нового значения яркости. Повысить эффективность алгоритмов сжатия КДС и

АПК можно, если кодирование длин серий (КДС) или координат (АПК) производить оптимальным кодом. В целях достижения совместимости цифрового факсимильного оборудования МККТТ рекомендовал использовать в факсимильной аппаратуре метод КДС с кодированием длин серий с помощью модифицированного кода Хаффмена [7]. Исследования показали, что коэффициент сжатия кода при передаче текстовых документов с разрешающей способностью 3,85 или 7,7 лин/мм по каналам с $P_{\text{ош}} < 1 \cdot 10^{-4}$ достигает 5—15 раз.

Код Хаффмена

Этот код, как известно [8], является оптимальным неравномерным кодом (ОНК). Он может использоваться для кодирования различных сообщений, например, телеграфных, данных многоканальной телеметрии, телевизионных, а также факсимильных. При кодировании двуградационных факсимильных изображений в качестве символов сообщений принимаются длины белых и черных серий. При построении кода учитывается статистика исходной последовательности, а именно: наиболее вероятные символы кодируются наиболее короткими кодовыми комбинациями, а наименее вероятные — наиболее длинными комбинациями.

Принципы построения кодовых комбинаций ОНК рассмотрены во многих работах, например в [8]. В качестве примера приведем фрагмент кодовой таблицы (табл. 1). Характерная особенность кодовых комбинаций состоит в том, что никакое кодовое слово не является началом другого более длинного кодового слова. Это обеспечивает однозначность процедуры декодирования.

К недостаткам ОНК относятся их чувствительность к изменению статистических характеристик источника и низкая помехоустойчивость.

Таблица 1

Число элементов в серии	Кодовые комбинации	
	белого	черного
1	000111	010
2	0111	11
3	1000	10
4	1011	011
5	1100	0011
6	1110	0010

7	1111	00011
...	...	...
58	0101101	000001011001
...	...	...
63	00110100	000001100111
64	11011	0000001111
...	...	...
128	10010	000011001000

Нами рассмотрены лишь некоторые алгоритмы сжатия факсимильного сообщения (эффективного кодирования), относящиеся к неискажающим алгоритмам. При отсутствии ошибок канала эти методы позволяют полностью восстановить переданное изображение, обеспечивая полное совпадение его с оригиналом. Поэтому использование подобных методов кодирования в реальных условиях требует высокого качества передающего тракта. Так, по нормам МККТТ коммутируемый канал, предназначенный для передачи факсимильной информации, должен иметь вероятность ошибки не больше, чем 10^{-5} .

При выборе и построении методов эффективного кодирования следует учитывать то важное обстоятельство, что в подавляющем большинстве случаев передаваемое изображение предназначено для зрительного восприятия человеком. Рассмотренные методы неискажающего кодирования не учитывают специфику зрительного восприятия. При отсутствии помех эти методы позволяют передать изображение столь точно, что человеческий глаз не в силах оценить все имеющиеся на изображении подробности, но даже при малом уровне помех происходит недопустимое искажение репродукции. Между тем потребителю безразлично, чем вызвано снижение качества репродукции: действием помех или особенностями алгоритма сжатия. Существует большая группа так называемых искажающих алгоритмов сжатия [9, 10], которые обладают большой помехоустойчивостью, но по сути своей работы не обеспечивают полной идентичности оригинала и копии (репродукции), т. е. являются искажающими. При построении искажающих алгоритмов учитывается субъективный фактор, а именно качество изображения с внесенными алгоритмом искажениями оценивается получателем информации — человеком. Если искажения, вносимые алгоритмом сжатия, в допустимых пределах не снижают качества

восприятия и алгоритм обеспечивает возможность передавать «сжатое» изображение по каналам с помехами, то в ряде случаев такие алгоритмы целесообразно использовать.

Рассмотренные методы сжатия используются в основном для компрессии двухградационных черно-белых изображений. Устранение избыточности в полутоновых изображениях производится с помощью методов сжатия, которые во многом совпадают с методами компрессии телевизионных изображений. К таким методам следует отнести: кодирование с предсказанием [9, 10], кодирование с преобразованием [10], интерполяционные методы кодирования [6, 10]. В последнее время в связи с широким применением ЭВМ практический интерес вызвали методы кодирования с помощью различных линейных и нелинейных преобразований. Наиболее перспективными с точки зрения сжатия объема сигнала (сокращение полосы частот) и помехоустойчивости являются преобразования Фурье, Адамара, Корунена-Лозва [10]. Из структурной схемы передающего цифрового факсимильного аппарата (рис. 8.1) видно, что последним блоком схемы является устройство согласования с каналом связи. Необходимость согласования выхода цифрового аппарата с каналом связи объясняется тем, что существенной особенностью кодов и процедуры «сжатия» является то, что на выходе кодера будут комбинации неравномерной длины. Однако в канал кодовые комбинации должны поступать равномерно, поэтому необходимо согласование скорости выдачи кодовых комбинаций кодером со скоростью их поступления в канал связи. Устройство согласования представляет собой промежуточную память (буфер) между кодером и передающей частью системы. Сначала кодовые комбинации с выхода кодера записываются в буфер, а оттуда уже с равномерной скоростью передаются в канал связи. Нами подробно рассмотрена структурная схема передающего цифрового факсимильного аппарата.

Структурная схема приемного ЦФА (рис. 8.1) содержит блоки, выполняющие обратные функции. Так, устройство согласования преобразует входной сигнал к виду, пригодному для декодирования (декомпрессии). Устройство декомпрессии (декодер) восстанавливает избыточность, а ЦАП преобразует цифровой сигнал в аналоговый. Далее сигнал изображения в синтезирующем устройстве используется для записи изображения. Необходимо иметь в виду, что алгоритмы цифровой обработки сигналов в передающем и приемном ЦФА взаимосвязаны. Так, одним из требований, предъявляемых к устройству компрессии (к кодеру), является точность и простота декомпрессии (декодирования). Поэтому вопросы компрессии и декомпрессии сигнала изображения должны рассматриваться совместно.

9. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦВЕТНЫХ ФАКСИМИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Как было показано в разд. 1, различные цвета можно получить путем смешения в различных пропорциях трех основных цветов — красного R , зеленого G и синего B . В свою очередь любой цвет с помощью красного, зеленого и синего светофильтров можно разложить на три составных (основных) излучения. Количество каждого из составных излучений будет зависеть от исходного сложного цвета, подлежащего разложению. В основе построения цветных факсимильных аппаратов лежат указанные свойства. Рассмотрим функциональную схему (рис. 9.1) блока электрооптического анализа цветного фак-

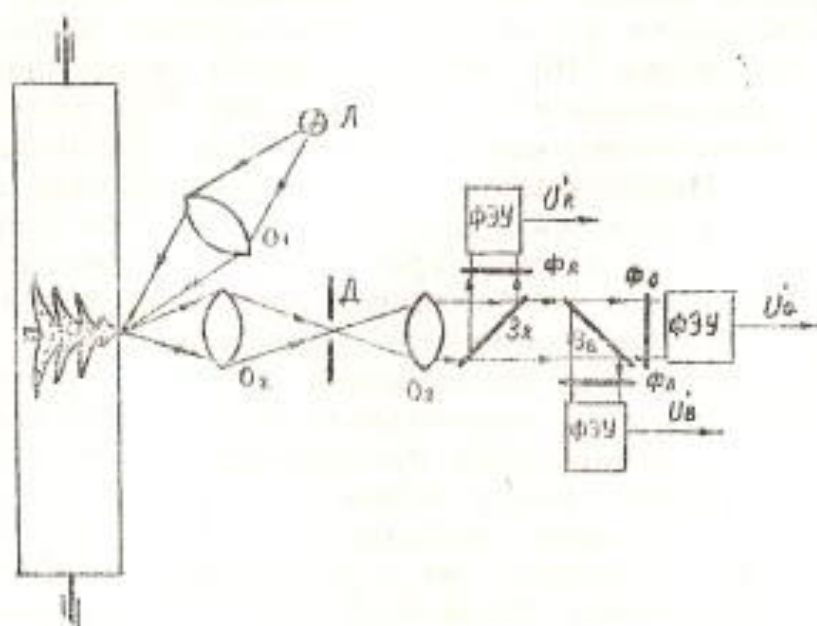


Рис. 9.1. Функциональная схема анализирующего устройства цветного факсимильного аппарата

симильного аппарата. В основе функциональной схемы лежит функциональная схема (рис. 2.2), поясняющая принцип передачи черно-белого факсимильного изображения. Разница заключается в том, что добавляется устройство разложения сложного цвета на основные цвета, а поэтому число фотоэлектрических преобразователей утраивается. Устройство разложения цвета состоит из цветоизбирательных (дихроичных) зеркал и светофильтров. Цветоизбирательное зеркало представляет собой стеклянную пластину с нанесенными на нее тончайшими пленками прозрачного диэлектрика. Число пленок определяется спектральной полосой отражения или пропускания. Рационально построенные избирательные зеркала обладают высокой эффективностью, давая коэффициент прозрачности до

95% для одной части спектра и коэффициент отражения до 85% для другой. В целом полоса пропускания соответствующего излучения, например красного, формируется с помощью цветоизбирательного зеркала и цветного светофильтра. Для правильной цветопередачи необходимо, чтобы фотоэлектрические преобразователи, например ФЭУ, обладали определенными спектральными характеристиками. Они должны иметь повышенную чувствительность и не должны реагировать на ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Таким образом, на выходе блока электрооптического анализа цветного факсимильного аппарата образуются три сигнала: сигнал красного $u_R(t)$, сигнал зеленого $u_G(t)$ и сигнал синего $u_B(t)$. Функциональная схема блока электрооптического синтеза цветного факсимильного аппарата (рис. 9.2) имеет много общего со схемой

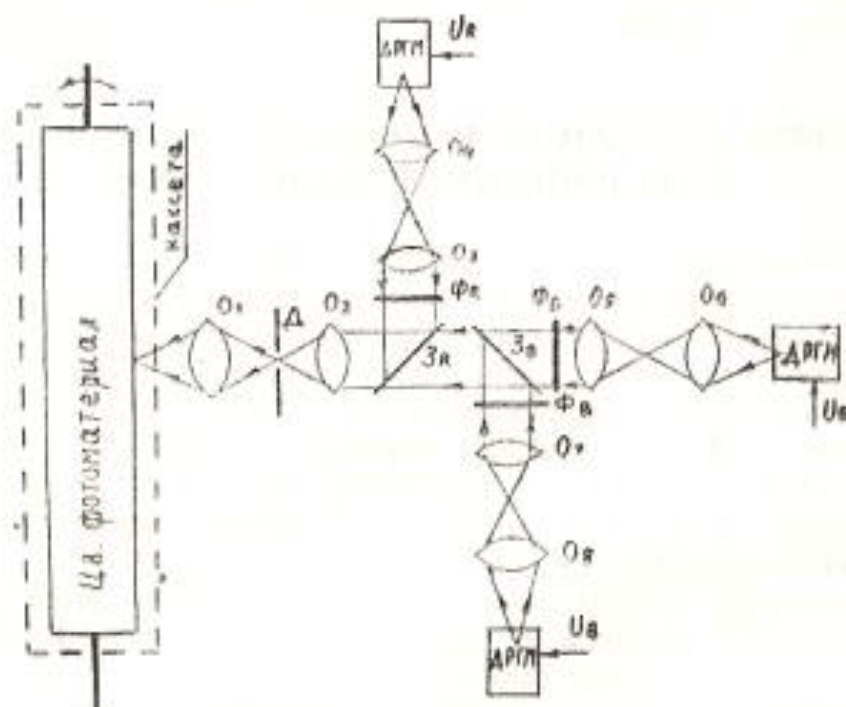


Рис. 9.2. Функциональная схема синтезирующего устройства цветного факсимильного аппарата

анализирующего устройства. Три цветных сигнала поступают на входы трех модуляторов света, роль которых могут выполнять, например модуляторы света типа ДРГМ-70. Далее с помощью цветных светофильтров и цветоизбирательных зеркал образуются световые потоки основных цветов, в результате смешения которых получается световой поток сложного цвета, соответствующего анализируемому цвету. Таким образом, экспонирование цветного фотоматериала (цветной фотобумаги или фотопленки) будет производиться световым излучением меняющейся «окраски». После специальной фотообработки по-

лучится цветная репродукция. Из рассмотренного принципа работы устройства анализа цветного факсимильного аппарата видно, что на выходе анализирующего устройства получаются три сигнала $u_R(t)$, $u_G(t)$, $u_B(t)$, причем полоса частот каждого из сигналов равна полосе частот «черно-белого» факсимильного сигнала $\Delta F = \frac{b}{28} \cdot \frac{N}{60}$ Гц. Отсюда следует вывод, что для передачи цветного изображения требуется канал связи с полосой пропускания в 3 раза более широкой, чем для передачи черно-белого изображения. Если использовать телефонный канал, то цветное изображение может быть передано со скоростью в 3 раза меньшей, чем черно-белое изображение, а следовательно, время передачи цветного изображения увеличится в 3 раза. Из сказанного напрашивается вывод, что для передачи цветных изображений необходимо более эффективно использовать методы сокращения избыточности, что и делается при реализации цветных факсимильных систем.

10. КЛАССИФИКАЦИЯ И УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ФАКСИМИЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

В соответствии с ГОСТ 12922-77 на основе четырех наиболее существенных классификационных признаков произведена классификация факсимильных аппаратов. По назначению факсимильная аппаратура делится на пять типов, служащих для: 1) передачи и приема изображений газетных полос; 2) передачи и приема фотографий; 3) передачи и приема метеорологических карт; 4) передачи и приема текстовых и графических материалов; 5) переприема факсимильной информации, представленной в цифровой форме.

По способу сокращения времени передачи факсимильного сообщения ФА делятся на три группы: 1) без сокращения избыточности, когда передаются все продукты частотного преобразования (если применяется амплитудная модуляция, то по каналу передается несущая частота и две боковые полосы частот модулированного сигнала); 2) без сокращения избыточности, но с сжатием спектра частот модулированного сигнала (частичное ограничение верхней боковой полосы частот); 3) с сокращением избыточности изображения.

В зависимости от цветности оригинала и репродукции факсимильные аппараты делятся на три группы: 1) передается черно-белый оригинал и воспроизводится черно-белая репродукция; 2) передается цветной или черно-белый оригинал, а воспроизводится в виде черно-белой репродукции; 3) передается цветной оригинал и воспроизводится цветная репродукция.

В зависимости от выполняемой функции факсимильные аппараты имеют следующие обозначения: Д — передающий (дат-

чик); П — приемный; С — приемопередающий (смешанный).

Условное обозначение факсимильного аппарата включает в себя букву Ф и далее: цифру (назначение), букву (Д, П или С), цифру (сокращение времени передачи), цифру (цветность). Так, например, Ф4С11 — факсимильный аппарат, предназначенный для передачи и приема текстовых и графических материалов, без сокращения избыточности (передаются все продукты частотного преобразования), обеспечивает передачу и прием черно-белых изображений.

В соответствии с рекомендациями МККТТ (Красная книга. — Т. VII. — Вып. VII-3), факсимильная аппаратура общего пользования делится на четыре группы. 1-я группа: аппараты, обеспечивающие передачу страниц формата А4 (210×297 мм) по каналу ТЧ с разрешающей способностью 4 лин/мм за время 6 мин; 2-я группа: аппараты, обеспечивающие передачу страницы формата А4 с тем же качеством за 3 мин; 3-я группа: аппараты, в которых применяется цифровая обработка сигнала в целях сокращения избыточности, с временем передачи бланка формата А4 за 1 мин; 4-я группа: аппараты, предназначенные для использования на сетях передачи данных и цифровых телефонных сетях. Развитие факсимильных систем происходит в направлении их «цифровизации», это относится к аппаратам 4-й группы. Основные параметры некоторых отечественных факсимильных аппаратов приведены в табл. 2.

11. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Черно-белое полутоновое изображение содержит крупные и мелкие детали. Качество воспроизведения крупных деталей, размер которых насчитывает сотни и тысячи элементов разложения, определяется качеством воспроизведения полутонов. В свою очередь качество воспроизведения мелких деталей, содержащих единицы или десятки элементов разложения, зависит от разрешающей способности факсимильной системы. Говорить о полутонах на мелкой детали бессмысленно, так как глаз человека способен лишь различить мелкую деталь.

11.1. Оценка и повышение качества передачи крупных деталей

Рассмотрим сначала вопрос о качестве воспроизведения крупных деталей [4, 6]. Ранее было сказано, что качество воспроизведения полутонов оценивается визуально по полутоновому (градационному) клину. Такая оценка является весьма приблизительной. Для объективной количественной оценки качества воспроиз-

Параметр	Штрих-М	Изотоп-2	Паллада	Вымпел-2	Ладога	Газета-2
Размер бланка, мм	210 × 297	220 × 300	220 × 300	Ширина 220, длина не ограничена	Ширина 480, длина не ограничена	630 × 420
Длина строки, мм	193	200	200	200	456	570
Тип развертки	Барабанная	Барабанная	Барабанная	Плоскостная	Плоскостная	Круговая
Скорость развертки, стр/мин	120; 240	60; 120; 240	60; 120; 240	60; 120; 240 480	60; 90; 120	3000; 2400
Шаг развертки, мм	0,265	0,2; 0,265	0,2; 0,265	0,265	0,265; 0,53	0,04; 0,06
Плотность развертки, лнн/мм	3,8	5; 3,8	5; 3,8	3,8	3,8; 1,9	24,5; 15,5
Модуль взаимодействия	264	350; 264	350	264	576; 288	4600; 3100
Время передачи бланка, мин	9,0; 4,4	25; 12,5; 6	25; 12,5; 6	20; 10; 5; 2,5 (220 × 300)	11 ... 43,4 (480 × 690 мм)	2,12; 4,22
Способ записи	Электро-механический, электро-термический	Фотографический	Фотографический	Электрохимический	Электрохимический	Фотографический
Канал связи	ТЧ, ГТС	ТЧ, радио	ТЧ, радио	ТЧ	ТЧ, радио	Вторичный
Синхронизация	Сетевая и автономная	Автономная	Автономная	Автономная	Автономная	Автономная
Мощность, потребляемая передатчиком и приемником, кв · А	0,11	0,2 + 0,2	0,3 + 0,9	0,2 + 0,2	0,25 + 0,2	1 + 1
Масса передающего и приемного аппаратов, кг	32	45 + 42	160 + 250	53 + 50	90 + 70	800 + 800

ведения полутонов используется полутоновая характеристика, показывающая, как изменяется оптическая плотность D_r на репродукции при изменении оптической плотности D_r' на оригинале $D_r = f(D_r')$. Полутоновая характеристика является «сквозной» (от «света» до «света») характеристикой факсимильной системы. Она может быть получена непосредственным измерением или путем графического построения на основе измерения характеристик отдельных звеньев системы. Для определения полутоновой характеристики по первому способу необходимо передать градуированный полутоновый клин и затем полученную на приемном аппарате репродукцию полутонового клина проградуировать (измерить оптические плотности отдельных площадок клина-репродукции). Измерение оптических плотностей клина-репродукции производится с помощью денситометра или микрофотометра. По второму способу для факсимильной системы (рис. 11.1) находятся (измеряются) характеристики отдельных звеньев. Характеристикой анализирующе-

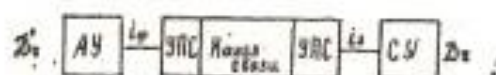


Рис. 11.1. Обобщенная структурная схема факсимильной системы

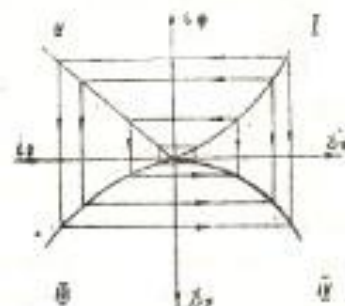


Рис. 11.2. Графический метод определения полутоновой характеристики факсимильной системы

го устройства является характеристика анализа полутонов $i_\phi = f(D_r')$, где D_r' — оптические плотности отдельных площадок полутонового клина (оригинала), i_ϕ — фототок. Характеристикой синтезирующего устройства является характеристика синтеза полутонов $D_r = f(i_3)$, где D_r — оптические плотности отдельных площадок полутонового клина (репродукции), i_3 — ток записи. Обобщенной характеристикой УПС передатчика — приемника и канала связи является амплитудная характеристика $i_3 = f(i_\phi)$. Эта характеристика учитывает нелинейности УПС и канала связи. Методика измерения указанных характеристик очевидна. По трем характеристикам: анализа полутонов $i_\phi = f(D_r')$, синтеза полутонов $D_r = f(i_3)$ и амплитудной $i_3 = f(i_\phi)$ методом четырехквadrантной диаграммы (графическим методом) можно найти искомую полутоновую характеристику $D_r = f(D_r')$. Порядок определения полутоновой характеристики показан на рис. 11.2. В I квадранте находится ха-

характеристика анализа полутонов, во II квадранте — амплитудная характеристика и в III квадранте — характеристика синтеза полутонов. Графически по точкам, переходя от характеристики к характеристике (рис. 11.2) строится полутоновая характеристика. На основе полученной полутоновой характеристики можно оценить факсимильную систему по ее возможностям воспроизводить полутона. Так, в рассмотренном примере при изображенных на рис. 11.2 характеристиках отдельных звеньев найдена полутоновая характеристика, на основании которой можно заключить, что изображение будет позитивное, но из-за нелинейного характера полутоновой характеристики на репродукции полутона будут искажены (по сравнению с оригиналом). Искажений не будет в случае, когда полутоновая характеристика линейная. Рассмотренный метод позволяет решить задачу, связанную с коррекцией полутонов. Задача формулируется следующим образом: определить амплитудную характеристику корректора полутонов, при которой обеспечивается заданная полутоновая характеристика факсимильной системы. Задача решается методом четырехквадрантной диаграммы. В качестве трех исходных характеристик берутся: характеристика анализа полутонов, характеристика синтеза полутонов и полутоновая характеристика системы. Две первые характеристики измеряются, а полутоновой характеристикой задаются в соответствии с требованиями решаемой задачи. По трем указанным характеристикам графически находится амплитудная характеристика корректора полутонов, если амплитудная характеристика УПС и канала связи линейная. В общем случае, если УПС и канал связи имеют нелинейную амплитудную характеристику, то найденная амплитудная характеристика будет суммарной. Зная суммарную амплитудную характеристику и амплитудную характеристику УПС и канала связи, не представляет труда найти амплитудную характеристику корректора полутонов, например графическим методом (методом четырехквадрантной диаграммы). Последний этап решения задачи по коррекции полутонов связан с технической реализацией корректора в виде нелинейного четырехполосника. Включение корректора полутонов с найденной указанным способом амплитудной характеристикой обеспечивает получение заданной полутоновой характеристики факсимильной системы. В качестве примера рассмотрим порядок определения амплитудной характеристики корректора полутонов, если поставлено требование, чтобы полутоновая характеристика факсимильной системы была линейная. Этот случай соответствует неискаженной передаче полутонов. Предполагаем, что характеристики анализа и синтеза полутонов известны (измерены), а амплитудная характеристика УПС передатчика-приемника и канала связи линейная. По трем указанным характеристикам на рис. 11.3 методом четырехквадрантной диаграммы найдена

амплитудная характеристика корректора полутонов. Могут быть и более сложные задачи на коррекцию полутонов. Например, необходимо повысить различимость градаций яркости в области темных полутонов. В этом случае следует задать полутоновую характеристику системы в виде ломаной линии (рис. 11.3), имеющей большую крутизну в области темных полутонов. Найденная амплитудная характеристика корректора полутонов для этого случая изображена на рис. 11.3 пунктир-

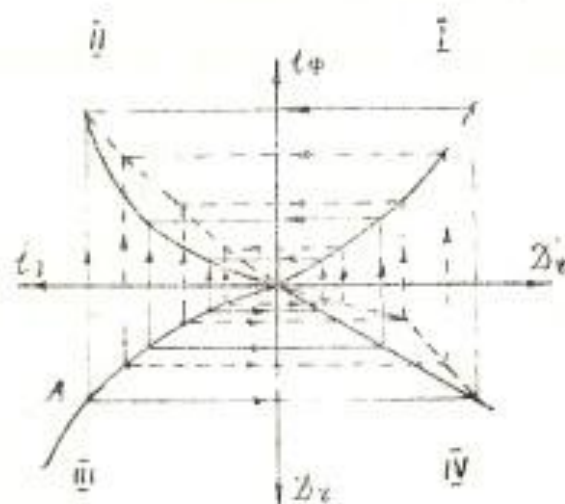


Рис. 11.3. Графический метод определения амплитудной характеристики корректора полутонов

ной линией. Следует иметь в виду, что увеличение различимости градаций яркости в области темных полутонов приводит к уменьшению различимости градаций в области светлых полутонов. Это объясняется тем, что динамический диапазон оптических плотностей фотоматериалов ограничен (точка А на рис. 11.3). Реализовать корректор полутонов можно на аналоговой и цифровой элементной базе. Наиболее точно реализовать нелинейность заданного вида можно путем аппроксимации ее ступенчатой функцией с использованием цифровых элементов и микропроцессоров. Использование микропроцессоров позволяет реализовать цифровые адаптивные корректоры полутонов с широкими возможностями перестройки амплитудной характеристики.

11.2. Оценка и повышение качества передачи мелких деталей

Перейдем к рассмотрению вопроса о повышении качества воспроизведения мелких деталей. Рассмотрение этого вопроса начнем с выяснения причин искажения мелких деталей. Основными причинами являются: воздействие шумов и апертурные

искажения. Апертурные искажения — это искажения мелких деталей, обусловленные конечными размерами развертывающего элемента (апертуры). Характер апертурных искажений зависит от размера апертуры, ее формы и распределения световой энергии (яркости) в пределах апертуры [6, 11, 12].

Сначала рассмотрим физический процесс образования апертурных искажений при электрооптическом анализе изображения. Пусть передается изображение в виде черно-белой границы (рис. 11.4). Если апертура идеальная (не имеет размеров, т. е. представляет собой геометрическую точку), то при ее движении вдоль строки по черному полю, на выходе фотоэлектри-

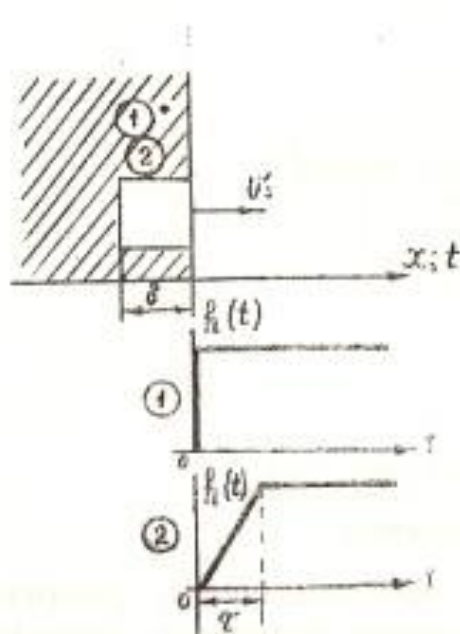


Рис. 11.4. Апертурные искажения при электрооптическом анализе черно-белой границы (апертура прямоугольная)

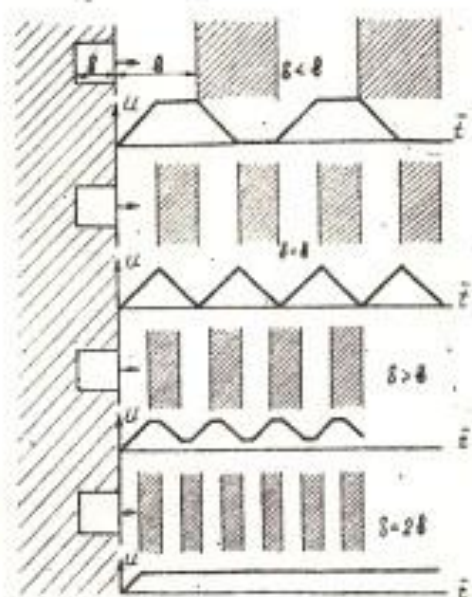


Рис. 11.5. Апертурные искажения при электрооптическом анализе штриховой миры (апертура прямоугольная)

ческого преобразователя с линейной световой характеристикой ($i_{\phi} = kE$, где i_{ϕ} — фототок, а E — освещенность на фотокатоде, например ФЭУ) образуется сигнал малой величины. В момент перехода апертуры через черно-белую границу величина сигнала на выходе ФЭУ скачком (мгновенно) увеличится до $U_{\max}$ (рис. 11.4, апертура 1), так как величина отраженного светового потока мгновенно изменится от $F_{\min}$ до $F_{\max}$. Таким образом, если апертура идеальная, то при переходе через идеальную черно-белую границу образуется неискаженный (идеальный) сигнал в виде ступенчатой функции. Если же апертура имеет конечные размеры и известны форма апертуры и распределение световой энергии в пределах апертуры (например, апертура прямоугольной формы и распределение

энергии в пятне — равномерное), то при движении ее по черному полю сигнал на выходе ФЭУ будет минимальный (рис. 11.4, апертура 2), а с началом перехода через черно-белую границу сигнал линейно начнет увеличиваться и после перехода апертуры на белое поле величина сигнала достигнет максимальной величины $U_{\text{макс}}$ и при дальнейшем движении апертуры изменяться не будет. Физически увеличение сигнала с началом перехода апертуры через черно-белую границу объясняется тем, что по мере перехода части апертуры на белое поле увеличивается отраженный световой поток, а следовательно, и сигнал линейно будет увеличиваться до максимальной величины. Таким образом, из-за конечных размеров апертуры при электрооптическом анализе идеальной черно-белой границы образуется искаженный (с линейно нарастающим фронтом) сигнал на выходе ФЭУ. С увеличением размера апертуры δ длительность фронта нарастания сигнала увеличивается, т. е. искажения увеличиваются. Так же можно проследить, как из-за конечных размеров апертуры искажаются мелкие детали на примере передачи штриховой миры (рис. 11.5). Из рисунка видно, что при анализе штриховой миры, состоящей из чередующихся черных и белых полосок равной ширины, на выходе ФЭУ образуется искаженный сигнал, имеющий трапециевидальную форму, при прямоугольной апертуре, размер которой δ меньше ширины штриха b . При размере апертуры, равном ширине вертикальных полосок миры ($b = \delta$), образуется сигнал треугольной формы. При дальнейшем увеличении апертуры ($\delta > b$) форма сигнала станет трапециевидальной, но размах его уменьшится и при $\delta = 2b$ сигнал трансформируется в постоянную составляющую (трапециевидальная составляющая сигнала исчезнет). Если апертура имеет форму, отличную от прямоугольной, и распределение световой энергии в ее пределах отличается от равномерного, то нарастание фронта будет происходить по закону, отличающемуся от линейного (рис. 11.6). Независимо от формы апертуры и закона распределения световой энергии в ее пределах длительность фронта нарастания сигнала не изменяется и всегда равна размеру (длительности) апертуры.

В приемном факсимильном аппарате при электрооптическом синтезе изображения также имеют место апертурные искажения. Физические процессы образования апертурных искажений при синтезе изображения отличаются от процессов, происходящих при анализе изображения. Рассмотрим, какова физическая сущность образования этих искажений. Предположим, что имеется синтезирующее устройство с фотозаписью. В этом случае модулятором света является газосветная лампа. Пусть форма апертуры — прямоугольная (рис. 11.7) и распределение световой энергии в пределах апертуры — равномерное. Также предположим, что на вход модулятора света поступа-

ет ступенчатый сигнал, а именно в условный момент времени $t = 0$ напряжение скачком возрастает от 0 до $U_0 = \text{const}$. Такой случай соответствует передаче изображения вида «черно-белая граница», когда устройство электрооптического анализа не вносит апертурные искажения и помехи отсутствуют. При фотозаписи, как известно, меняющийся во времени сигнал приводит к изменению яркости кратера газосветной лампы (модулятора света) вследствие чего изменяется количество освещения (экспозиция) [11] $H = E \cdot t$, где E — освещенность в люксах, t — время в секундах. Так как в процессе развертки апертюра движется и, учитывая, что она имеет конечные размеры, экспозиция будет меняться следующим образом.

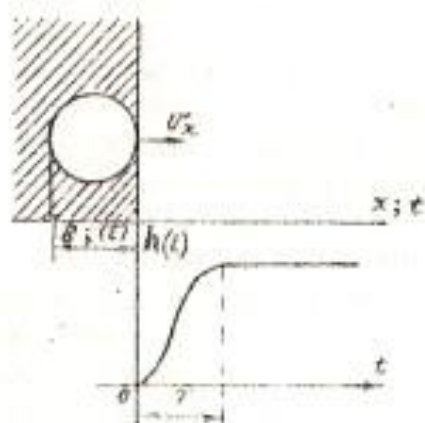


Рис. 11.6. Апертурные искажения при анализе черно-белой границы (апертюра круглая)

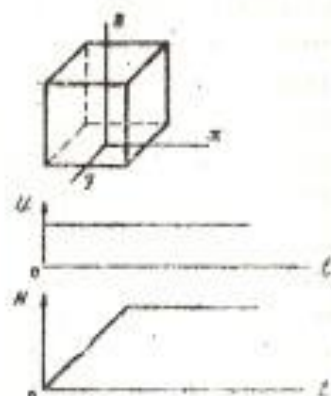


Рис. 11.7. Апертурные искажения при электрооптическом синтезе изображения (апертюра прямоугольная)

До условного момента времени $t = 0$ (рис. 11.7) сигнал равен нулю, а следовательно, $E = 0$ и $H = 0$. В момент $t = 0$ величина сигнала и освещенность на фотоматериале в пределах апертюры скачком увеличиваются, но так как апертюра движется с постоянной скоростью $U_x = \text{const}$, отдельные участки фотоматериала вдоль строки получают различное количество освещения H . Очевидно, что в пределах апертюры количество освещения будет увеличиваться линейно слева направо, так как время экспозиции соответствующих точек фотоматериала слева направо пропорционально будет увеличиваться. При ступенчатом сигнале экспозиция достигнет максимальной величины в момент времени, пропорциональный размеру апертюры ($t = \tau_s = \frac{\delta}{v_x}$), и далее будет оставаться постоянной. При наличии апертурных искажений в анализирующем и синтезирующем устройствах ширина размытия черно-белой границы будет равна удвоенной ширине апертюры, если размеры апертюры устройства анализа и синтеза изображения одинаковы.

Уменьшение апертурных искажений производится путем уменьшения размеров апертуры, например, применяют луч лазера, обладающий большой энергией при малом сечении луча. Также для уменьшения апертурных искажений производят апертурную коррекцию. Так как апертурные искажения приводят к увеличению длительности фронта апертурно-переходной характеристики, это значит, что происходит ослабление высокочастотных составляющих спектра амплитуд. Поэтому апертурный корректор должен осуществлять коррекцию высокочастотной части спектра (производить подъем верхних частот). Анализируя апертурные искажения, можно заметить, что они никогда не приводят к появлению выбросов на апертурно-переходной характеристике, а это значит, что фазочастотная характеристика апертурного корректора должна быть линейной.

12. ОРГАНИЗАЦИЯ ФАКСИМИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Факсимильная связь является одной из разновидностей документальной электросвязи. В соответствии с назначением факсимильных систем можно назвать ряд направлений использования факсимильной связи:

- связь общего пользования (для передачи документов, писем, различной графической информации);
- для передачи изображений газетных полос;
- для обмена метеоинформацией.

Первое направление является составной частью новой информационной службы, которая в соответствии с терминологией МККТТ получила название «телематическая служба». В состав телематической службы входят: абонентские системы (Телефакс, использующие каналы телефонной сети общего пользования, и Датафакс, использующие каналы ПД) и клиентские системы, предназначенные для связи между предприятиями, (Бюрофакс, использующие как каналы телефонной сети общего пользования, так и тракты ПД). Основным форматом документа для передачи по этим системам является А4 (297 × 210 мм). В настоящее время окончательным устройством служит цифровой факсимильный аппарат III группы, однако уже есть рекомендации МККТТ по применению аппаратов IV группы, способных передавать стандартный бланк А4 за время порядка 1с со скоростью 48 кБит/с. В этом случае предполагается использование волоконно-оптических каналов связи.

На базе систем Телефакс и Бюрофакс создаются службы электронной почты, т. е. службы передачи письменной корреспонденции по сетям электросвязи, обеспечивающие получение «твердой копии» оригинала. Создание электронной почты обусловлено следующими причинами: неудовлетворенностью пользователей, особенно учреждений и предприятий, большими сро-

ками доставки корреспонденции традиционной почтой; непрерывно растущей пропускной способностью сетей электросвязи, особенно при внедрении цифровых систем передачи и коммутации, а в перспективе за счет перехода на волоконно-оптические линии связи; большими трудозатратами в традиционной почте, низкой механизацией и автоматизацией трудоемких процессов.

Для организации факсимильной связи используются каналы ЕАСС первичной и вторичной сетей. Для организации магистральных и внутризональных факсимильных связей используются преимущественно стандартные каналы ТЧ вторичной телефонной сети, а также спутниковые и радиоканалы. На местных факсимильных связях используются каналы первичной сети (городские и сельские телефонные сети). Внутрисоюзные факсимильные связи на магистральных и внутрисоюзных сетях работают или по постоянно закрепленным каналам ТЧ, или по

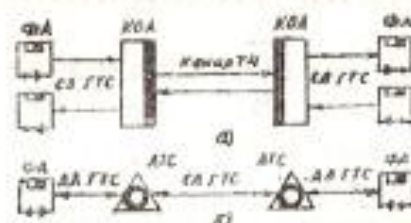


Рис. 12.1. Организация факсимильной связи по четырехпроводной (а) и двухпроводной (б) схемам включения

расписанию. Местные факсимильные связи работают круглосуточно по коммутируемым телефонным каналам. Возможны две схемы включения: четырехпроводная (рис. 12.1, а) и двухпроводная (рис. 12.1, б). Четырехпроводная схема позволяет организовать одновременную двустороннюю факсимильную связь. При этом факсимильная аппаратура включается в каналобразующую аппаратуру (КОА) по соединительным линиям городских телефонных сетей. При двухпроводной схеме прием и передача факсимильных сообщений осуществляется поочередно. Эта схема применяется для организации факсимильной связи по коммутируемой телефонной сети. Факсимильные аппараты подключаются к АТС с помощью абонентских линий ГТС.

Вторым направлением использования факсимильной связи является передача изображений газетных полос в целях децентрализованного печатания газет. К настоящему времени факсимильная сеть передачи газет в СССР является крупнейшей в мире, охватывает 60 городов по всей территории страны. Сеть «Газета» имеет радиальную структуру. В общем случае

канал связи состоит из соединительной линии между типографией и междугородной телефонной станцией (МТС), междугородного канала между МТС в пунктах передачи и приема и соединительной линии между МТС и типографией в пункте приема. Работа происходит по расписанию. Эта сеть построена в основном на базе аппаратуры второго поколения «Газета-2», использующей аналоговые методы передачи и наземные широкополосные каналы связи первичных (60—108 кГц) и вторичных (312—552 кГц) групп [3]. В настоящее время получила развитие аппаратура III поколения, использующая цифровые методы передачи и спутниковые каналы связи. Создается цифровая сеть передачи газет на базе аппаратуры III поколения — цифровой аппаратуры «Газета-3» с заменой наземных каналов спутниковыми каналами систем «Орбита-РВ» со скоростью передачи 2048 кБит/с, «Орбита» и «Москва» со скоростью передачи 480 кБит/с, а также с использованием цифровых каналов первичной сети ЕАСС со скоростью передачи 2048 кБит/с [7]. Основные параметры аппаратуры «Газета-3»: скорость передачи 2048 или 480 кБит/с; плотность развертки 33 стр/мм; источник света — лазер; вид развертки «круговая»; время передачи 2,2 мин; скорость развертки 6000 строк/мин.

Третье направление эффективного использования факсимильной связи связано с передачей и приемом метеоинформации. Для передачи метеоинформации разработаны специальные факсимильные аппараты «Ладога», «Иней». Наиболее совершенной является цифровая факсимильная аппаратура «Лу-га», предназначенная для передачи и приема метеокарт размером 480×700 мм по каналам ТЧ со скоростью 9600 Бит/с. В аппаратуре реализована кодированная передача с использованием планарного кода, который принят в СССР в качестве ГОСТа. Аппаратура может работать по телефонным каналам с вероятностью ошибки не более 10^{-4} . Для повышения помехоустойчивости применяется кодозащита [13]. Следует иметь в виду, что для передачи метеоинформации широко используются КВ радиолинии. Особенности передачи факсимильных изображений по КВ радиолиниям рассмотрены в разд. 7 настоящего пособия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Узилевский В. А. Передача, обработка и воспроизведение цветных изображений. — М.: Радио и связь, 1981.
2. Носов Ю. Р. Оптоэлектроника — М.: Радио и связь, 1989.
3. Копничев Л. Н., Алешин В. С. Оконечные устройства документальной электросвязи. — М.: Радио и связь, 1986.
4. Орловский Е. Л., Щелованов Л. Н. и др. Теоретические основы электрической передачи изображений. — М.: Сов. радио, 1962.

5. Щелованов Л. Н. и др. Машинный метод определения вероятностных характеристик полутонных изображений и помех на фототелевизионной репродукции// Техника кино и телевидения. — 1973. — № 9.
6. Орловский Е. Л. Передача факсимильных изображений. — М.: Связь, 1980.
7. Зубарев Ю. Б., Глориозов Г. Л. Передача изображений. — М.: Радио и связь, 1989.
8. Новик Д. А. Эффективное кодирование. — М.: Энергия, 1965.
9. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Кн. 1, 2. — М.: Мир, 1982.
10. Прэтт У. Методы передачи изображений. Сокращение избыточности. — М.: Радио и связь, 1983.
11. Щелованов Л. Н. Моделирование элементов телевизионных систем. — М.: Радио и связь, 1981.
12. Щелованов Л. Н. Моделирование систем документальной электросвязи (системы факсимильной связи): Учеб. пособие/ ЛЭИС. — Л., 1989.
13. Средства связи: Научн. — техн. сб./ МПС. — 1986. — № 2.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Характеристики факсимильных изображений	4
2. Принципы передачи и приема факсимильного изображения . . .	8
3. Основные параметры и характеристики факсимильных аппаратов	10
4. Элементы анализирующих устройств факсимильных аппаратов . . .	16
4.1. Развертки	—
4.2. Фотоэлектрические преобразователи (ФЭПы)	19
5. Элементы синтезирующих устройств факсимильных аппаратов . . .	22
6. Синхронизация и фазирование в факсимильных аппаратах . . .	26
6.1. Автономная синхронизация	27
6.2. Принудительная синхронизация	28
6.3. Фазирование	30
7. Преобразование сигнала в факсимильных аппаратах	32
8. Цифровые факсимильные аппараты	35
8.1. Структурная схема передающего цифрового факсимильного аппарата	36
8.2. Полоса частот цифрового факсимильного аппарата	37
8.3. Методы сокращения полосы частот факсимильного сигнала . . .	38
9. Принципы построения цветных факсимильных аппаратов	46
10. Классификация и условное обозначение факсимильной аппаратуры	48
11. Методы повышения качества передачи изображений	49
11.1. Оценка и повышение качества передачи крупных деталей . . .	—
11.2. Оценка и повышение качества передачи мелких деталей	53
12. Организация факсимильной связи	57
Литература	59

57 коп.