

УДК 655.256.6

О. В. Ющик, кандидат технических наук, доцент (УАП, г. Львов, Украина)**Б. М. Гаврыш**, старший преподаватель (УАП, г. Львов, Украина)

ЭФФЕКТЫ ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ РАСТРОВЫХ СКАНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЗАПИСИ

В цифровых системах обработки изображений, как правило, присутствуют три основных этапа: ввод, обработка и вывод изображения (как в электронном, так и в программном виде). Растровые сканирующие устройства (PCY) записи широко используются в качестве выводных устройств получения оригиналов-макетов страниц благодаря их высоким разрешающей способности и скорости вывода. В настоящее время PCY записи используют и для воспроизведения полутоновых цветных иллюстраций. Для получения полностью обработанных и подготовленных к выводу иллюстраций соответствующего качества определяющую роль играют характеристики PCY записи. Начальными критериями оценки качества цифровых полутоновых изображений являются острота изображения (четкость контуров), зернистость, тональное и цветовое воспроизведение, артефакты.

In digital image processing systems, typically there are three main stages: image input, image processing and image output (both in hardware and in software form). Recording raster scanning devices (RRSD) are widely used as output devices producing page mock-ups due to their high resolution and high speed output. Currently, RRSD are used for reproduction of halftone color illustrations. For fully processed and prepared for output of appropriate quality illustrations, characteristics of RRSD play a decisive role. Initial criteria for evaluating the quality of digital halftone images are image sharpness (edge definition), grain, tonal and color reproduction and artifacts.

Введение. В растровых сканирующих устройствах записи источник лазерного излучения разворачивается вдоль материала записи (фотопленка, светочувствительная бумага, заряженный фоторецептор или формный материал) вращающимся отклоняющим устройством (дефлектором), который может быть многогранным, моногранным или гальванометрическим [1, 2].

Источник лазерного излучения сканирует материал записи в направлении быстрого сканирования (x -направление), а материал записи перемещается в направлении медленного сканирования (y -направление) перпендикулярно к направлению быстрого сканирования. Допустим, что наша система изображения является линейной, и поэтому рассмотрим характеристики системы относительно слабых откликов.

В направлении быстрого сканирования основными ухудшающими эффектами функции передачи модуляции (далее ФПМ) являются [3]:

- временной отклик цифро-аналогового преобразователя (далее ЦАП) (включая любые блоки усиления);

- временной отклик модулятора;
- частотный отклик дефлектора;
- ошибки перемещения точки;
- ошибки расположения точки;
- ошибки фокусирования пикселя;
- частотный отклик материала записи.

Основная часть. Рассмотрим временной отклик преобразователя. ЦАП может рассматриваться как RC -цепочка, передаточная функция которой может быть представлена выражением

$$H(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}, \quad (1)$$

где $j = \sqrt{-1}$; ω – угловая скорость ($\omega = 2\pi f$, f – временная частота); R – сопротивление; C – емкость эквивалентной цепочки. ФПМ ЦАП будет в этом случае амплитудой передаточной функции

$$\text{ФПМ}_{\text{ЦАП}}(\nu) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi\gamma_1 V_c \nu}{2,2}\right)^2}}, \quad (2)$$

где ν – пространственная частота; γ_1 – участок временного нарастания ЦАП от 10 до 90%; V_c – скорость сканирования.

В то же время ФПМ ЦАП может быть аппроксимирована частотной функцией Гаусса

$$\text{ФПМ}_{\text{ЦАП}}(\nu) = e^{-3(\gamma_1 V_c \nu)^2}. \quad (3)$$

Рассмотрим временной отклик модулятора. Предположим, что по отношению к входному источнику сигнала с импульсным откликом, определяемым интенсивностью I и случайным источником освещения, модулятор работает как линейная инвариантная система [4]. Для гауссового случайного луча света радиусом r_1 , имеем

$$I_{1, \text{BB}} = I_0 e^{-2\left(\frac{V_M t}{r_1}\right)^2}, \quad (4)$$

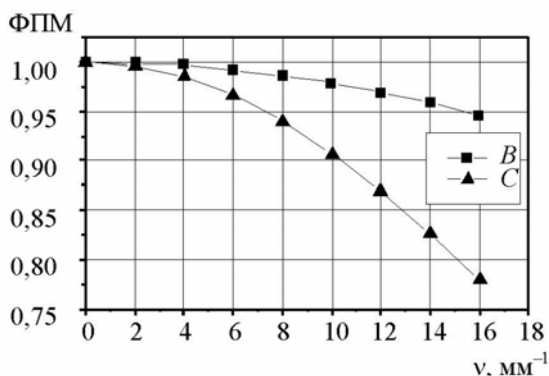
где I_0 – константа; V_M – быстродействие модулятора; t – время. ФПМ модулятора поэтому является Фурье-преобразованием $I_{1, \text{BB}}$, которое может быть выражено как

$$\Phi\text{ПМ}_{\text{мод}}(\nu) = e^{-3(\gamma_2 V_c \nu)^2}. \quad (5)$$

где γ_2 – временной отклик модулятора, выражаемый как

$$\gamma_2 = \frac{\pi r_1}{\sqrt{6} \cdot V_m}. \quad (6)$$

На рисунке представлена ФПМ типичного модулятора с 53-наносекундным временным откликом для двух различных значений V_c . Как и ожидалось, с увеличением скорости сканирования ФПМ модулятора уменьшается.



Функция передачи модуляции ЦАП:
B – $V_c = 160$ м/с; C – $V_c = 340$ м/с

Рассмотрим частотный отклик дефлектора. В сканере с бегущим лучом и дообъективной оптикой сканирующая точка, разворачиваемая вдоль материала записи, вначале преломляется апертурой дефлектора, а затем фокусируется в дифракционно ограниченный профиль интенсивности. Интенсивность сканирующей точки модулируется входными сигналами. На основании некогерентного анализа изображений [5, 6] ФПМ дефлектора может быть представлена как автокорреляционная функция профиля амплитуды света, появляющегося после дефлектора, $A_{2,\text{вых}}$

$$\Phi\text{ПМ}_{\text{дефл}}(\nu) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} A_{2,\text{вых}}\left(\eta - \frac{\lambda F \nu}{2}\right) A_{2,\text{вых}}\left(\eta + \frac{\lambda F \nu}{2}\right) d\eta}{\int_{-\infty}^{+\infty} |A_{2,\text{вых}}(\eta)|^2 d\eta}, \quad (7)$$

где η – пространственная координата в дефлекторе; λ – длина волны света; F – эквивалентное фокусное расстояние фокусирующей оптики.

Для прямоугольной апертуры шириной W (как у полигонального зеркала), освещаемой гауссовским нормальным лучом радиусом r_2 , будем иметь

$$A_{2,\text{вых}} = A_0 e^{-\left(\frac{\eta}{r_2}\right)^2} \text{rect}\left(\frac{\eta}{W}\right), \quad (8)$$

где A_0 – константа; $\text{rect}(\cdot)$ – прямоугольная функция.

Подставляя уравнение (8) в уравнение (7) и выполнив интегрирование, получим

$$\Phi\text{ПМ}_{\text{дефл}}(\nu) = \frac{e^{-\left(\sqrt{2}T_r \frac{\nu}{\nu_{c0}}\right)^2} \text{erf}\left[\sqrt{2}T_r \left(1 - \frac{\nu}{\nu_{c0}}\right)\right]}{\text{erf}\left(\sqrt{2}T_r\right)}, \quad (9)$$

где T_r – отношение ширины апертуры к диаметру луча,

$$T_r = \frac{W}{2r_2}; \quad (10)$$

ν_{c0} – предельная частота, определяемая как пространственная частота, до или после которой ФПМ равна нулю,

$$\nu_{c0} = \frac{W}{2r_2}; \quad (11)$$

$\text{erf}(\cdot)$ – функция ошибок.

Рассмотрим влияние ошибок перемещения точки. После разворачивания одной строки сканирования сканирующее пятно перемещается на расстояние p , являющееся шагом раstra, обратно пропорциональным величине разрешающей способности, в направлении медленного сканирования R_y ($p = 1 / R_y$). ФПМ снижается из-за такого линейного перемещения и может быть представлена как

$$\Phi\text{ПМ}_{\text{пер}}(\nu) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \text{rect}\left(\frac{x}{p}\right) e^{-j2\pi x} dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} \text{rect}\left(\frac{x}{p}\right) dx}. \quad (12)$$

Уравнение (12) можно упростить до

$$\Phi\text{ПМ}_{\text{пер}}(\nu) = \frac{\sin(\pi p \nu)}{\pi p \nu} = \text{sinc}(p \nu), \quad (13)$$

где sinc – функция частотного отклика для линейно перемещающихся изображений [3]. Из уравнения (13) видно, что на растровой частоте ν_s , равной удвоенной частоте Найквиста $\nu_N(\nu_s) = 2\nu_N = 1 / p$, ФПМ становится равной нулю.

Рассмотрим влияние ошибок расположения пикселей. Допустим, что все неточности расположения пикселей можно описать одиночным синусоидальным возмущением (вибрацией).

Функция распределения линии под такой вибрацией может быть представлена как [3]

$$l(x) = \frac{2}{\pi a (1 - 4x^2/a^2)^{1/2}}, \quad (14)$$

где a – амплитуда смещения пиков. На основании этого ФПМ является Фурье-преобразованием функции распределения линии и может быть записана как

$$\text{ФПМ}_{\text{расп}}(v) = J_0(\pi a v), \quad (15)$$

где J_0 – функция Бесселя нулевого порядка первого вида.

Понимание величины смещения a в уравнении (15) основано на том, что 50% потерь ФПМ может случиться на растровой частоте (или 14% потерь на частоте Найквиста). Поэтому из уравнения (15) имеем

$$a = \frac{1,521}{\pi(1/p)}, \quad (16)$$

где p – шаг раstra. Это значит, что все пиксели должны быть позиционированы в пределах половины пикселя.

Рассмотрим влияние дефокусирования на ФПМ дефлектора для случая неперекрывающейся апертуры, используемой в большинстве РСУ вывода. Если размер лазерного луча значительно меньше ширины апертуры ($T_r \gg 1$), то профиль интенсивности фокусируемого лазерного пятна в плоскости изображения может быть аппроксимирован функцией Гаусса. Предположим, что благодаря фокальному смещению размер пятна увеличивается на величину фактора p_x , который определяется как

$$p_x = \frac{r'_x}{r_x}, \quad (17)$$

где r'_x и r_x – внефокусный и внутрифокусный радиусы лучей соответственно ($r_x = 2\sigma_x$). Поскольку внефокусное пятно является также функцией Гаусса, ФПМ дефокусирования является просто гауссовой функцией частоты:

$$\text{ФПМ}_{\text{дефок}}(v) = e^{-2(\pi\sigma_x v)^2 (p_x^2 - 1)}. \quad (18)$$

Рассмотрим частотный отклик материала записи. В большинстве РСУ записи используются высококонтрастные фототехнические материалы.

Ухудшение ФПМ системы из-за материала записи можно считать незначительным, т. е.

$$\text{ФПМ}_{\text{мат.зап}}(v) = 1. \quad (19)$$

Рассмотрим теперь общую ФПМ системы в направлении быстрого сканирования. Каскадно соединяя приведенные выше основные эффекты ухудшения, можно записать общую ФПМ системы в направлении быстрого сканирования $\text{ФПМ}_x(v)$ как производную ФПМ этих эффектов:

$$\begin{aligned} \text{ФПМ}_x(v) &= \text{ФПМ}_{\text{ЦАП}}(v) \cdot \text{ФПМ}_{\text{мод}}(v) \times \\ &\times \text{ФПМ}_{\text{дефл}}(v) \cdot \text{ФПМ}_{\text{пер}}(v) \cdot \text{ФПМ}_{\text{расп}}(v) \times \\ &\times \text{ФПМ}_{\text{дефок}}(v) \cdot \text{ФПМ}_{\text{мат.зап}}(v). \end{aligned} \quad (20)$$

Заключение. Исследованы функции передачи модуляции составных устройств РСУ записи. Разработан метод определения оптимального режима функционирования РСУ записи в направлении быстрого сканирования.

Литература

1. Темников Ф. Е., Славинский В. Л. Математические развертывающие системы. М.: Энергия, 1970. 120 с.
2. Темников Ф. Е. Методы и модели развертывающих систем. М.: Энергоатомиздат, 1987. 136 с.
3. Continuous-tone laser color printer / R. Firth [et al.] // Journal of Imaging Technology. 1988. Vol. 14. P. 78–89.
4. Johnson R. V. Temporal response of the acousto-optic modulator: geometrical optics model in the low scattering limit // Applied Optics. 1977. Vol. 16. P. 507–514.
5. Goodman J. W. Introduction to Fourier optics // McGraw-Hill: San Francisco. 1968. Chap. 6. P. 101–140.
6. Randolph J., Morrison J. Modulation transfer characteristics of an acoustic to deflector // Applied Optics. 1971. Vol. 10. P. 1383–1385.

Поступила 28.03.2014