

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.356.4 + 535.247.4

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
АКУСТООПТИЧЕСКИМ МОДУЛЯТОРОМ
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ОСНОВЕ ПРЯМОГО СИНТЕЗА ЧАСТОТ

В. П. Бессмельцев, А. Н. Ралдугин, В. А. Слуев

*Институт автоматизации и электрометрии СО РАН,
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 1
E-mail: bessmelt@iae.nsk.su*

Представлена система управления акустооптическим модулятором лазерного излучения в многочастотном режиме на основе модулей многоканального синтезатора с использованием метода прямого цифрового синтеза частот. Рассмотрены особенности работы системы при многоканальной лазерной записи в режиме управления амплитудой, фазой и частотой каналов с автоматической калибровкой интенсивности в каждом. Применение системы в фотопостроителе для производства фотооригиналов печатных плат позволило увеличить разрешающую способность прибора, улучшить стабильность и воспроизводимость записи.

Ключевые слова: акустооптический модулятор, синтезатор частот, устройство лазерной записи, многоканальный лазерный фотопостроитель, прямой цифровой частотный синтез, калибровка каналов.

Введение. Эффективность методов лазерной многоканальной записи/считывания зависит от технологии формирования множества лазерных лучей, управления и контроля их характеристик. В случае если потери света незначительны (например, при записи по высокочувствительным средам), хорошим вариантом формирования параллельной многоканальной записи является использование широкополосного акустооптического модулятора (АОМ) в режиме многочастотной модуляции [1–3] (рис. 1). В таких системах разделение входного лазерного луча на n лучей (по числу необходимых каналов записи) и раздельная их модуляция достигаются путём подачи на преобразователь АОМ сетки частот f_1, f_2, \dots, f_n с шагом, пропорциональным расстоянию между лазерными лучами в плоскости фокусировки. При этом амплитуда и длительность сигнала частоты f_n модулируются данными, отвечающими за соответствующий канал записи. Недостатками таких систем являются наличие интермодуляционных искажений и зависимость интенсивности лазерного излучения n -го канала от частоты. Как показано в [1], для получения относительно малых (менее 10 %) интермодуляционных искажений необходимо, чтобы дифракционная эффективность η была менее 20 %. Так как $\eta \propto \sin^2 U$, где U — амплитуда сигнала на акустооптическом модуляторе, то при малых значениях η изменение амплитуды сигнала U_n в канале n вызывает практически пропорциональное изменение интенсивности лазерного луча в соответствующем канале. Кроме того, положение лазерного луча на материале записи напрямую зависит как от оптической системы, так и от задающей частоты канала и её стабильности. Угол отклонения лазерного луча Θ в первый порядок дифракции при акустооптическом взаимодействии можно оценить как $\Theta \approx (\lambda f_n)/\nu$, где λ — длина волны лазерного излучения, ν — скорость звука в модуляторе. Объектив фокусирует отклонённые лазерные лучи в плоскость материала записи, при этом расстояние между лучами d должно быть меньше или равно разрешающей способности записи.

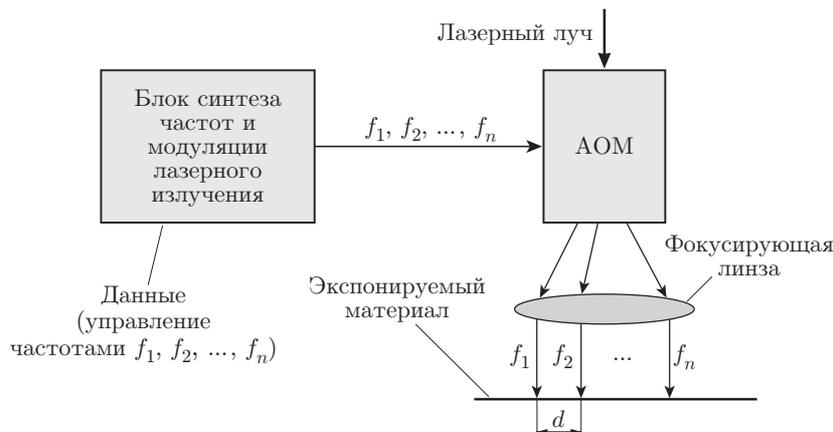


Рис. 1

Известно [2–4], что для записи полутонных изображений или получения форм для полиграфической печати необходимо разрешение на носителе не менее 1000 лин./мм при стабильности положения лазерного луча не хуже 1–3 мкм и стабильности мощности не хуже 0,5–1 % при полиграфических применениях и 2–5 % при создании шаблонов для печатных плат. Исходя из того что распространённые форматы выводимых изображений лежат в пределах формата A1 как для печатных плат (типичный 500 × 600 мм), так и для полиграфии, а время вывода ограничено минутами, следует, что при числе каналов более 10 частота модуляции каждого канала должна быть не менее 1 МГц, при этом стабилизация частоты входного сигнала АОМ выполнена с точностью не хуже 0,1–0,2 % [3]. Для таких систем можно определить необходимые и реализуемые (с учётом современного состояния элементной базы [5]) характеристики схемы управления системой формирования многоканальной записи. Количество каналов управления должно быть не менее 16, центральная частота модулятора — около 80 МГц, ширина полосы модуляции — около 40 МГц. Шаг частотной сетки в пределах 1–2 МГц, стабильность частоты не хуже 5 кГц, нестабильность амплитуды менее 0,5 %, интермодуляционные искажения не более 1 %. Таким образом, для эффективного управления многоканальной системой записи необходимы модули управления с жёсткими требованиями к качеству управляющих сигналов по стабильности частоты и амплитуды. Кроме того, практически невозможно рассчитать, изготовить и настроить объектив, обеспечивающий точное преобразование угловых отклонений лазерных лучей Θ в положение сфокусированных лазерных лучей в плоскости записи (дисторсионные искажения, ошибки настройки). Для точной настройки гораздо эффективнее перестраивать значения частот f_n и при этом регулировать их амплитуды. Поэтому в современных системах для формирования частотной сетки используются различные варианты частотных синтезаторов.

Цель данной работы — создание системы управления и контроля частот и амплитуд сигналов в устройствах многоканальной записи на базе многочастотных модуляторов оптического излучения. Наиболее эффективным методом формирования частотной сетки, на наш взгляд, является метод прямого цифрового частотного синтеза (DDS — Direct Digital Synthesizers). Отметим основные преимущества его использования [6]:

1. Высокое разрешение по частоте и фазе, управление которыми осуществляется в цифровом виде.
2. Быстрый переход на другую частоту, перестройка по частоте без разрыва фазы, выбросов и других аномалий, связанных с временем установления.
3. Исключена необходимость применения точной подстройки опорной частоты.
4. Цифровой интерфейс позволяет легко реализовать микроконтроллерное управление.

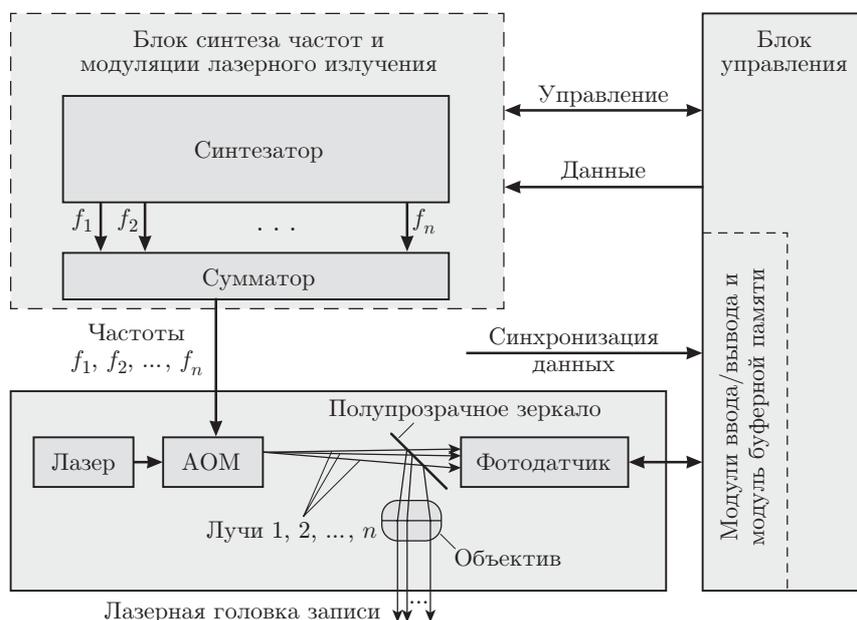


Рис. 2

Управление многоканальной системой записи. Система управления с использованием DDS представлена на рис. 2. Она включает в себя 16-канальный блок синтеза частот и модуляции лазерного излучения, применяющий метод прямого цифрового синтеза частот; блок управления и лазерную головку записи (ЛГЗ). В состав ЛГЗ входят: лазер; АОМ, разделяющий с помощью блока синтеза частот лазерный луч на n каналов; объектив фокусировки лучей на носитель информации (фотоматериал); полупрозрачное зеркало, направляющее лазерные лучи в объектив и на фотодатчик обратной связи. Основой блока управления является PC-совместимый компьютер, включающий в себя системы подготовки, буферизации, вывода данных, системы управления и диагностики блока синтеза частот, который может быть подключён к датчикам системы синхронизации записи/считывания через канал синхронизации данных. Блок управления представляет собой также многофункциональный модуль ввода/вывода с 12-разрядным АЦП и набором входных и выходных цифровых сигналов, подключённый к шине PCI.

Работа системы происходит следующим образом. Предварительно перед записью изображения по последовательному USB-интерфейсу из управляющей ЭВМ в блок синтеза частот подаются управляющие команды, устанавливающие частоту, амплитуду и начальную фазу каждого канала. В процессе записи данные из блока управления, параллельно (n каналов) стробируемые сигналами управления длительностями экспозиции, поступают на управляющие входы блока синтеза частот и модуляции лазерного излучения, разрешая прохождение сигналов n синтезированных частот на выход отдельных каналов синтезаторов с длительностью равной длительности строка экспозиции. Сигналы управления длительностью экспозиции вырабатываются по сигналам синхронизации данных. С выхода модулей синтеза аналоговые амплитудно-модулированные сигналы поступают далее на сумматор, где линейно суммируются и усиливаются. Усиленный многочастотный сигнал подаётся на вход АОМ лазерной головки записи.

В ЛГЗ лазерный луч, разделённый на 16 каналов с помощью АОМ, поступает на полупрозрачное зеркало, и далее сфокусированные объективом лучи попадают на материал записи. Несмотря на высокую стабильность амплитуды выходной частоты каждого канала в блоке синтеза частот, температурная нестабильность мощности лазерного источ-

ника, акустооптического модулятора, элементов оптической схемы, формирующей лазерные пучки, приводит к необходимости стабилизации мощности записывающего излучения в каждом канале. Кроме того, значительная неравномерность амплитудно-частотной характеристики АОМ, достигающая 30–40 % в полосе частот 30–40 МГц, также вызывает неоднородность интенсивности лазерных лучей. Для стабилизации и выравнивания амплитуды интенсивности выходного излучения в каждом канале в пределах 1–2 % в систему введена обратная связь по свету на выходе АОМ. Канал обратной связи содержит фотодатчик, выход которого соединён с АЦП модуля ввода/вывода. Так как тепловые процессы, дестабилизирующие выходную мощность в каждом канале, достаточно медленны, а зависимость амплитудно-частотной характеристики АОМ также достаточно стабильна, то включение обратной связи (режим калибровки) можно проводить 1 раз перед записью кадра. В режиме автоматической калибровки блок управления поочередно включает каналы, сигнал фотодатчика преобразуется АЦП и через модуль ввода/вывода поступает в компьютер. Измеренное значение мощности сравнивается с заданным, и в соответствии с программой калибровки информация об амплитуде каждого канала загружается в блок синтеза частот для установки заданного значения.

Конструктивные особенности блока синтеза частот. В качестве одноканальных синтезаторов частот DDS в блоке применены микросхемы D9959 фирмы "Analog Devices" (США) и на их основе модуль 4-канального цифрового синтезатора AD9959/PCB [7]. Для построения 16-канального синтезатора частот используется сборка четырёх таких модулей, обозначенных на рис. 3 как модули 0, 1, 2 и 3 (далее модуль). Схема включения модулей в системе растровой лазерной записи: контроллер развёртки изображения — модуль, генерирующий поток данных; модуль буферной памяти, подключённый к шине PCI компьютера и к контроллеру развёртки изображения; собственно модули 4-канальных синтезаторов (0, 1, 2, 3); компьютер с модулем ввода/вывода и портами USB; сумматор; ЛГЗ. Необходимо отметить, что задержка включения/выключения канала в модулях 0, 1, 2, 3 равна 200 нс [7], что вместе с задержкой распространения сигнала в модуляторе ограничивает скорость передачи данных значением 2,5 МГц для одного канала. Применение 16-канального вывода позволяет обеспечить скорость вывода до 5 Мбайт/с. Синхронизация данных осуществляется датчиком координат развёртывающего механизма. Для быстрого переключения каналов в режиме передачи данных со скоростью до 2,5 МГц применён режим внешнего управления, который задаётся логическим уровнем на разъёме USB/внешнее управление модуля синтезатора. Порты внешнего управления каждого из модулей используются для включения/выключения каналов потока данных $D(0-15)$, ввода/вывода изображения, поступающего от контроллера развёртки изображения, данные в который, в свою очередь, загружаются из компьютера. Все внешние входы для переключения режимов работы модулей (USB/внешнее управление) объединены между собой в один и получают сигнал управления от контроллера развёртки изображения. Кроме того, этот сигнал вместе с сигналами N_0-N_3 поступает в модуль ввода/вывода компьютера для контроля текущего состояния синтезатора частот. Порты USB(0-3) применяются для начальной загрузки в память каждого модуля (0, 1, 2, 3) необходимых параметров (частота, амплитуда, фаза сигнала) и последующей работы всех 16 каналов, регулировки амплитуд каналов при автоматической калибровке. Поскольку каждой частоте на выходе синтезатора соответствует определённый канал данных, необходима (для предотвращения нарушения порядка следования данных) загрузка значений частот сетки f_1, \dots, f_n всегда в одинаковом порядке. Однако при подключении новых устройств на шине USB происходит изменение конфигурации операционной системы и компьютер может расставить логические номера модулей в произвольном порядке, что приводит к неправильной загрузке частотной сетки, нарушению порядка следования данных и, значит, к искажению выводимого изображения. Для устранения этого недостатка от каждого модуля в компьютер через

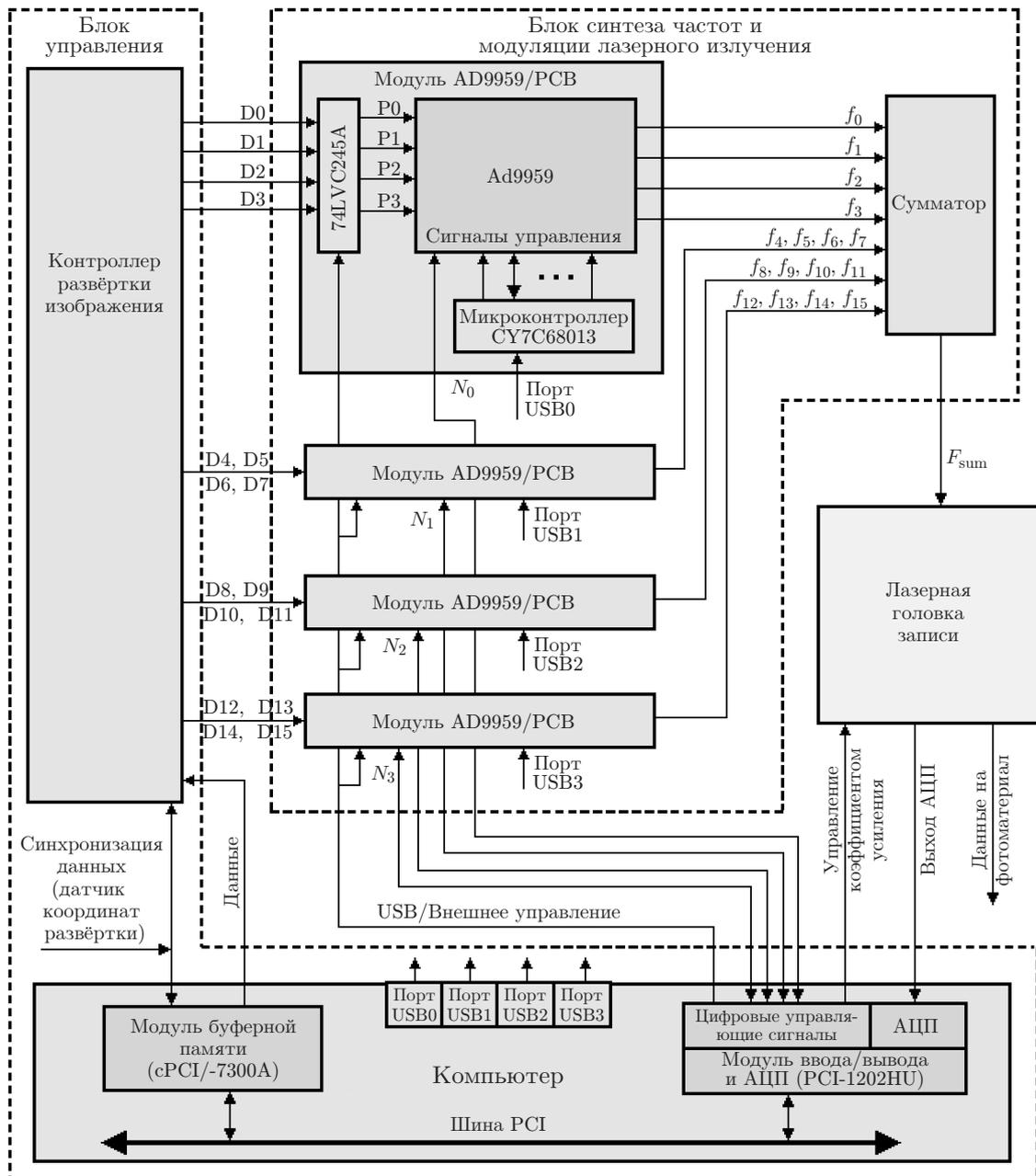


Рис. 3

плату ввода/вывода вводится логический сигнал, который изменяет своё состояние при загрузке по шине USB определённого кода в управляющий регистр микросхемы AD9959. Компьютер последовательно загружает код в модули синтезатора и проверяет состояние сигналов N_0 — N_3 , что позволяет определить соответствие логического номера порта USB каждого модуля его физическому положению и, как следствие, установить правильный порядок данных.

Управление параметрами модулей, диагностика и калибровка интенсивности каналов лазерного излучения. Для управления амплитудой, фазой, частотой каждого из n каналов синтезатора частот разработана специализированная программа управления AOMControl, позволяющая в интерактивном режиме формировать сетку частот для АОМ, задавать амплитуду и относительный сдвиг фаз между каналами, осуществлять ав-

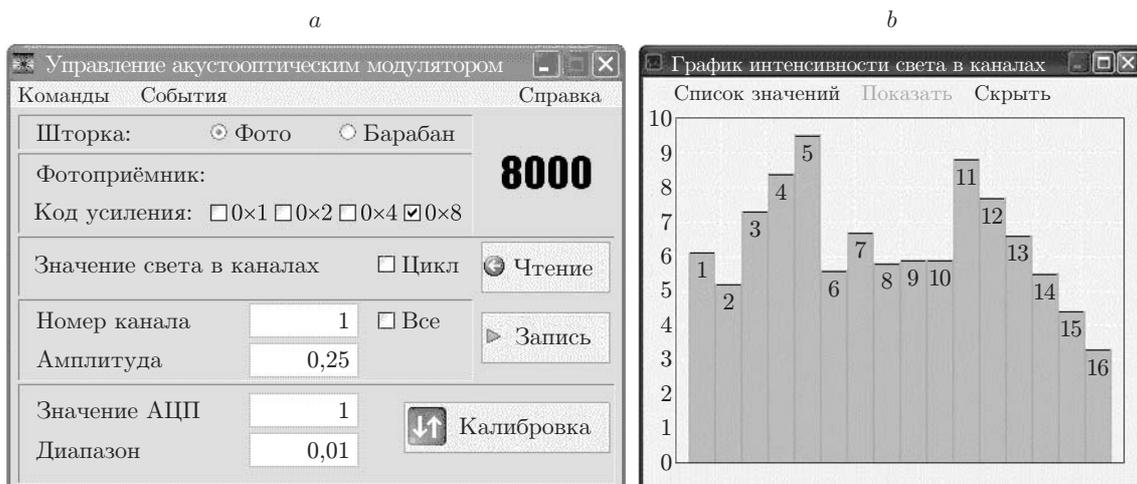


Рис. 4

томатическую калибровку интенсивности излучения в каждом из 16 каналов. Программа включает в себя основное диалоговое окно «Управление акустооптическим модулятором» и ряд вспомогательных окон (рис. 4). В основном окне программы (рис. 4, а) осуществляется управление режимом усиления фотодатчика, задаётся уровень амплитуды сигнала в каналах, допустимое отклонение от заданного уровня. На экран могут быть выведены значения интенсивности лазерных лучей каждого канала, измеренные фотодатчиком и оцифрованные с помощью АЦП (рис. 4, б), выполнена калибровка каналов лазерного излучения в заданном диапазоне амплитуды сигнала. Ряд вспомогательных окон используется для установки собственно значений сетки частот f_1, \dots, f_{16} , относительного сдвига фаз между частотами, тестирования модулей AD9959/PCB.

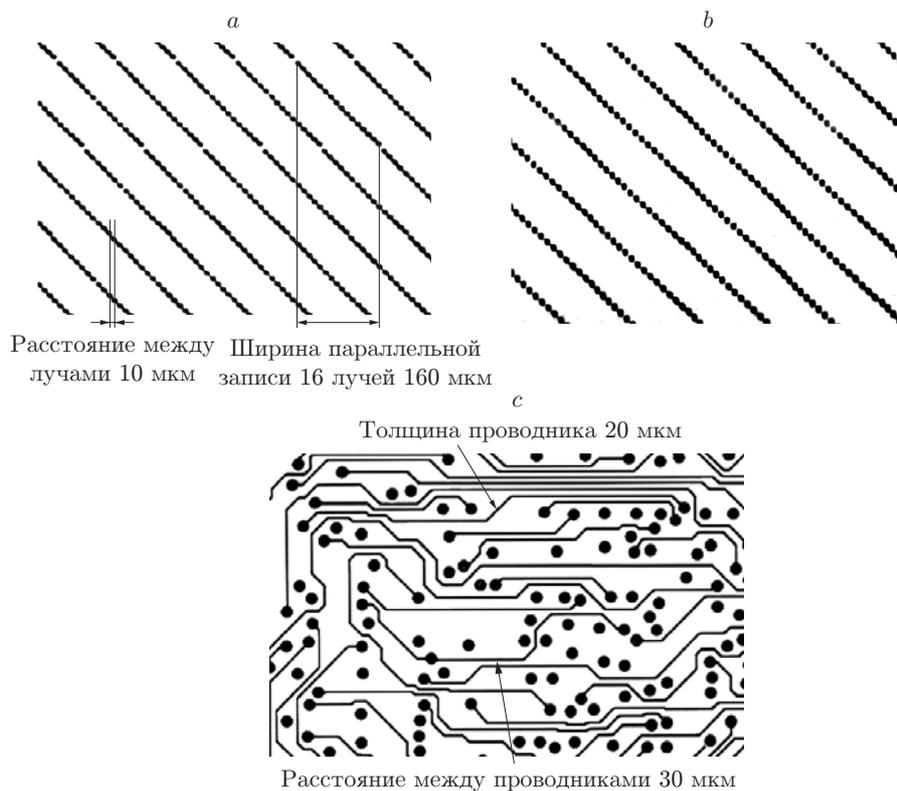


Рис. 5

Экспериментальные результаты. На основе современных модульных аппаратных средств частотных синтезаторов создан блок мультиплицирования и отдельной модуляции лазерных лучей для управления акустооптическим модулятором, обеспечивающий гибкое и высокоточное управление 16 каналами вывода графической информации. В комплексе с системой автоматической калибровки каналов и режимом внешнего управления для скоростного переключения каналов блок применён в прецизионном растровом фотопостроителе для производства фотошаблонов печатных плат и получения форм для полиграфической печати. На рис. 5, *a* приведён фрагмент изображения тестового файла с выводом диагонали, полученный на фотопостроителе. Для наглядности шаг частотной сетки выбран меньше 1 % от требуемого, поэтому видны разрывы между каждой группой пикселей. На рис. 5, *b* показан тот же фрагмент, но с исправленной частотной сеткой. На рис. 5, *c* представлен фрагмент фотошаблона печатной платы, полученный на фотопостроителе [2] с использованием разработанного 16-канального блока синтеза частот и модуляции лазерного излучения.

Заключение. Применение модулей синтезатора частот с произвольным изменением частотной сетки обеспечило широкий диапазон перестройки оптического разрешения записи, простоту и удобство настройки. Устройство работает с разрешающими способностями 2032 dpi, 2540 dpi, 4064 dpi, 5080 dpi и позволяет изготавливать фотошаблоны печатных плат 4–5 класса точности. Использование в фотопостроителе многолучевой записи создало условия для высокой производительности прибора. Так, например, время вывода изображения 500 × 600 мм с разрешением 4064 dpi равно 4 мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой А. В., Шипов П. М. Многочастотные анизотропные акустооптические модуляторы на кристаллах TeO_2 // Автометрия. 1989. № 3. С. 131–133.
2. Баев С. Г., Бессмельцев В. П., Слуев В. А. Высокопроизводительный лазерный фотоплоттер для изготовления фотошаблонов печатных плат // Электроника НТБ. 2002. № 3. С. 60–63.
3. Bessmeltsev V. P., Sluev V. A. Dual-processor controller for laser technological systems // Proc. of the IASTED Intern. Conf. "Automation, Control, and Information Technology". Anaheim — Calgary — Zurich: ACTA Press, 2002. P. 34–36.
4. Бессмельцев В. П., Слуев В. А. Фотопостроители высокого разрешения для полиграфии и производства фотошаблонов // Фотоника. 2011. № 5. С. 55–57.
5. Multichannel VIS Deflectors. URL: <http://www.brimrose.com/pdfandwordfiles/aomultidefl.pdf> (дата обращения: 28.02.2013).
6. Ридико Л. DDS: прямой цифровой синтез частоты // Компоненты и технологии. 2001. № 7. С. 50–54.
7. AD9959 Evaluation Board Instructions // Analog Devices, Inc. 2005. URL: http://www.analog.com/static/imported-files/eval_boards/57418637811849AD9959_pcb_0.pdf (дата обращения: 21.10.2013).

Поступила в редакцию 29 марта 2013 г.