

Метод фоторепродуцирования для изготовления фотошаблона печатных плат в домашних условиях

В статье приводится относительно дешевый и простой метод получения фотошаблона для печатных плат, отличающийся высоким разрешением (до 0,1 мм и выше) благодаря использованию давно забытого способа фоторепродуцирования. Для этого разводка платы печатается лазерным принтером на обыкновенной бумаге формата А4 в увеличенном масштабе (4:1), а затем снимается фотоаппаратом на черно-белую негативную широкоу пленку (размер кадра — 6×9 см) с уменьшением в 4 раза, то есть в масштабе 1:4.

**Алексей Кузьминов,
К. Т. Н.**

compmicrosys@mail.ru

Введение

Как известно, наиболее ответственным местом при изготовлении печатных плат как в промышленных, так и в домашних условиях является фотошаблон. От того, насколько качественно он изготовлен, зависит и качество самой платы.

В связи с тем, что в последнее время наметилась значительная тенденция к миниатюризации корпусов радиокомпонентов, значительно возросли требования к качеству печатных плат, и в первую очередь — к их разрешению, то есть размерам ширины дорожек и промежутков между ними.

При серийном производстве печатных плат, где используются дорогостоящие соответствующие установки, проблем с изготовлением фотошаблонов и самих печатных плат сейчас нет.

В то же время существует масса предприятий, имеющих в своем составе небольшие лаборатории по изготовлению печатных плат, оснащенные далеко не по последнему слову техники. Покупать дорогую аппаратуру невыгодно, а существующая не обеспечивает высокого разрешения печатных плат. Как правило, для изготовления фотошаблонов такие лаборатории используют дуплетные фотоплоттеры, которые уже не обеспечивают требуемое разработчиками аппаратуры разрешение, и поэтому лаборатории испытывают значительные затруднения. Часто такие лаборатории берут заказы со стороны, и если к ним обращаются разработчики с соответствующими требованиями к разрешению при изготовлении печатных плат, то им отвечают отказом, не выгодным ни разработчику, ни самому предприятию. Кстати, «заложником» подобной организации производства пришлось стать и автору статьи.

При изготовлении печатных плат в домашних условиях основной способ изготовления фотошаблона — печать лазерным принтером рисунка фотошаблона на разного рода прозрачных или полупрозрачных пленках (как правило, матовых) или на специальной, предназначенной для этого кальке.

Разрешение стандартного лазерного принтера — 600 или даже 1200 DPI (Dot Per Inch — точек на дюйм). Как нетрудно подсчитать, если ширина дорожки — 1 мм, то на такой дорожке по ширине разместится соответственно $600/25,4 \approx 24$ или $1200/25,4 \approx 47$ точек; при ширине дорожки в 0,1 мм на ней разместится уже 2,4 или 4,7 точки. Но основное препятствие заключается совсем не в этом (хотя и в этом тоже!), а в том, что даже с таким разрешением напечатать фотошаблон на прозрачной или матовой пленке или кальке не представляется возможным.

Если шаблон печатается на кальке или матовой пленке, то при рассмотрении напечатанной линии даже при относительно небольшом увеличении видны неровности границ линии, что является следствием волокнистости бумаги или неровностей матовой пленки. Если печать осуществляется на относительно гладкую прозрачную пленку, то качество линии еще хуже, так как тонер плохо прилипает к гладкой пленке именно из-за ее гладкости. Результатом становятся достаточно большие «прогалины».

Наилучшие результаты могут быть достигнуты на матовой пленке или кальке. По сравнению с калькой матовая пленка значительно дороже, а качество печати ненамного лучше. Поэтому, на мой взгляд, единственный носитель при печати лазерным принтером — это калька (плотностью 90 г/м² или больше). К сожалению, наилучшее разрешение при этом не превосходит 0,3 мм, то есть если ширина дорожки менее 0,3 мм, то такой способ печати не годится. Кстати, такое же разрешение имеют и большинство фотоплоттеров.

Что же делать, если требуется разрешение чуть лучше, хотя бы раза в два-три, например 0,15–0,2 мм?

Пути решения проблемы

Можно, конечно, купить струйный фотопринтер с высоким разрешением и печатать на прозрачной пленке, но это обойдется в несколько тысяч рублей. К тому же эксплуатация струйного принтера тоже

не дешева, если учитывать стоимость картриджа для него и относительно небольшой (по сравнению с картриджем для лазерного принтера) их ресурс.

Одним из альтернативных способов изготовления фотошаблона является способ фотопроизводства, известный с незапамятных времен и уже давно не использующийся в связи с появлением современных ксероксов и копиров. Этот способ, как известно, заключается в том, что оригинал фотографируется, а копия печатается на фотобумагу.

Я задался вопросом: а что если напечатать фотошаблон лазерным принтером на обычную бумагу, но с увеличением, например, в 4–5 раз, и сфотографировать отпечаток обычным фотоаппаратом на черно-белую негативную пленку с уменьшением в эти же 4–5 раз? По идее, на пленке разрешение должно возрасти во столько же раз. Кстати, современные промышленные установки по изготовлению печатных плат такой способ используют довольно широко.

Разрешающая способность фотопленки

Я никогда раньше не интересовался, какая же все-таки разрешающая способность у фотопленки, хотя интуитивно и понимал, что достаточно высокая, иначе на пленку не снимали бы до сих пор кино.

«А вот интересно, — подумал я, — можно ли купить черно-белую пленку, и вообще, кто-нибудь сейчас снимает пленочными аппаратами?» Я в свое время преимущественно снимал на пленку фото-65, реже — на фото-130 из-за ее довольно крупного зерна. Других пленок, насколько я помню, тогда просто не было. Беглый поиск в Интернете показал, что такая пленка (широкая) уже давно не выпускается. Но зато есть много импортных пленок. Это и американская Kodak, и английская Ilford, и чешская Foma, и японская Fujii, и много других пленок менее известных фирм. Мало того, пленки можно легко купить в фотомагазине, а черно-белая фотография сейчас переживает небывалый подъем (что меня несказанно удивило).

Из Интернета можно также узнать, что разрешающая способность ч/б фотопленки составляет в среднем 100 линий на мм, хотя и колеблется в ту или иную сторону в зависимости от типа пленки, освещенности, проявителя, а также от фирмы-производителя (табл. 1).

Если разрешающую способность пленки принять за 100 линий/мм, то на ши-

рине дорожки в 0,1 мм разместится как минимум 10 линий, хотя, судя по табл. 1, у некоторых пленок разрешающая способность в два раза выше, что дает уже 20 линий на 0,1 мм. Сравнив этот показатель с разрешением обычного лазерного принтера, я пришел к выводу, что фотопленки если и не на порядок, то уж наверняка в несколько раз превосходят лазерный принтер по разрешающей способности.

С другой стороны, если на линии шириной в 0,1 мм принтер может разместить 4,7 точки, то при печати с увеличением, например, в 4 раза точек будет уже $4,7 \times 4 = 18,8$, то есть как минимум 18, и, что главное, фотопленка вполне способна воспроизвести эти 18 точек на 0,1 мм.

Некоторые сведения о фотографии

В свое время я получил в наследство от своего деда широкоплечный аппарат Super Ikonta — Zeiss Ikon еще довоенного образца, аналогом которого является наш аппарат «Москва» (1–5), последний вариант которого — «Москва-5» — наиболее распространен. На пленке помещается 8 кадров размером 6×9 см. Можно подсчитать, что если размер бумаги А4 (210×297 мм) уменьшить в 4 раза, то получим:

$$\begin{aligned} 210/4 &= 52,50 \text{ мм} \approx 5 \text{ см}, \\ 297/4 &= 74,25 \text{ мм} \approx 7 \text{ см}. \end{aligned}$$

Другими словами, при уменьшении в 4 раза размера листа обыкновенной бумаги формата А4 его изображение (5×7 см) свободно разместится на одном кадре пленки 6×9 см. С другой стороны, размер прямоугольника 50×70 мм, увеличенный в эти же 4 раза, займет на листе бумаги: $50 \times 4 = 200$ мм и, соответственно, $70 \times 4 = 280$ мм, то есть печатная плата с максимальным размером 50×70 мм, распечатанная на принтере с масштабом в 400%, займет на бумаге А4 поле размером 200×280 мм. От краев бумаги такой прямоугольник будет отстоять на $(210-200)/2 = 5$ мм по ширине и $(297-280)/2 = 8,5$ мм по длине (если, конечно, будет размещен строго в центре). Такие поля для лазерного принтера вполне приемлемы, и главное: принтер способен их воспроизвести. На пленке же поля соответственно будут: $(60-50)/2 = 5$ мм и $(90-70)/2 = 10$ мм, то есть 5 мм по ширине и 10 мм по длине кадра с каждой стороны. Короче говоря, при уменьшении в 4 раза как на пленке, так и на бумаге останется по несколько миллиметров запаса, что немаловажно.

Ранее, еще в 1996 году, я последний раз снимал аппаратом Super Ikonta свою систему сбора в корпусе выносного привода CD от ноутбука размером 30×20×8 см (то есть соизмеримым с размером листа формата А4) для публикации статьи в журнале «Мир ПК» [1]. С тех пор прошло уже много лет, и, как и у многих, увеличитель и все необходимое для фотографии пылилось на антресолях, а аппарат — в какой-то тумбочке в коридоре.

В то время цифровые фотокамеры были еще в диковинку, и стоили они невероятно дорого. Это потом уже они стали намного дешевле и доступнее. В свое время я купил себе циф-

ровую фотокамеру Konica Minolta Dimage Z10, которая понадобилась мне для съемки с очень близкого расстояния (5 мм) переходника с микроконтроллером в корпусе TQFP64 с расстоянием между выводами 0,5 мм. Кстати, все снимки, приведенные в настоящей статье, сделаны именно этим аппаратом. По современным меркам максимальное разрешение камеры Konica Minolta Dimage Z10 не очень высокое ($2048 \times 1536 = 3\,145\,728$, то есть чуть более 3 млн точек, или пикселей), однако со своей задачей этот аппарат справляется, и меня это вполне устраивает. О качестве снимков этим аппаратом, как с близкого, так и с обычного расстояния, можно судить по моим публикациям в журнале «Компоненты и технологии» [2, 3] или книге [4].

Я решил подсчитать, а сколько точек (или пикселей) может дать пленка? Если считать, что разрешение пленки 100 линий/мм, или 1000 линий/см, то на 1 см² уместится $1000 \times 1000 = 1\,000\,000$, то есть 1 млн точек, а на кадре 6×9 см соответственно 54 млн пикселей. Такое разрешение не под силу даже современной цифровой камере. Если же считать, что разрешение пленки — 200 линий/мм (табл. 1), то на кадре уже разместится в 4 раза больше точек, то есть более 200 млн пикселей. Так что, если сравнивать разрешение пленки и цифровой камеры, то до пленки цифровым камерам сейчас очень далеко. Это меня несколько порадовало и придало мне уверенности.

Найдя аппарат Super Ikonta, я решил проверить, работает ли он. Проверил работу диафрагмы — все великолепно выставлялось. Затем проверил работу затвора, выставив выдержку в четверть секунды. Нажав кнопку спуска, я услышал до боли знакомый сухой щелчок с оттяжкой, который не идет ни в какое сравнение с искусственно синтезированным звуком съемки с цифровой камеры, встроенной в мобильник. Короче говоря, аппарат, которому уже почти сто лет, был в полном порядке и готов к съемке.

Я хорошо помнил, что для съемки выносного привода CD пользовался насадочной линзой в +2 диоптрии (+2D), и при этом изображение занимало почти всю площадь кадра. Но не знал, в каком масштабе было это изображение (да мне в то время это было абсолютно все равно, лишь бы было хорошее качество снимка).

Из Интернета я узнал еще один факт: в каком-то справочнике по фотографии была приведена таблица, из которой я выяснил, что при фотопроизводении аппаратом «Москва» с применением насадочной линзы +1,5D минимальный масштаб изображения составляет 5 (или 500%). Линза в +2D, конечно, уже куда-то делась, а беглый поиск в Интернете насадочной линзы +2D поначалу ни к чему не привел. Поэтому я отправился в ближайший салон оптики с надеждой купить очковую линзу +2D, чтобы хотя бы проверить свои соображения на практике, а заодно и «прицениться». Такая линза в салоне имела, и стоила она всего 30 рублей. Я купил две линзы: +2D и на всякий случай +2,5D, тем более что ее цена была такой же смехотворной.

Таблица 1. Характеристики фотопленок

Пленка	Зернистость	Разрешающая способность, линий/мм
Фото-32	–	116
Фото-65	–	92
Фото-130	–	75
Фото-250	–	70
Kodak T-Max 400	RMS 10	125
Kodak T-Max 100	RMS 8	200
Fuji Neopan 100 Acros	RMS 7	200
Ilford Pan F+	–	160



Рис. 1. Установка насадочной линзы на объектив аппарата

Диаметр линз был 70 мм, и толщина в середине составляла на ощупь примерно миллиметров 5.

Я распечатал на принтере в программе Sprint Layout 5 (с помощью которой разводил платы) прямоугольник 50×70 мм с сеткой с шагом в 1 мм в масштабе 400%. Далее вырезал из кальки, на которой печатал рисунки печатных плат, полоску шириной 60 мм, наматал ее на две катушки для пленки и вставил в аппарат. Положив на стол лист с распечатанной сеткой и осветив его обычной настольной лампой, взял аппарат, полностью открыл диафрагму, открыл затвор, поставив выдержку на "В", приставил к объективу линзу +2D и (о чудо!) получил изображение листа с сеткой на кальке. Поварьировав с расстоянием от аппарата с приставленной линзой до листа, понял, что размер 50×70 мм можно получить только с линзой +2D, что в свою очередь полностью подтвердило мои предположения.

Но радость была кратковременной. Сделав несколько безуспешных обращений в ряд салонов оптики с просьбой обточить линзу по размеру объектива (37 мм), я понял, что такую простую работу мастерские, как правило, сделать не могут. Лишь в одном из салонов мастер нехотя согласился обточить линзу за 500 рублей, если ему принесут круг диаметром 37 мм, по которому он и обточит линзу. А где взять такой круг, тем более что он должен иметь достаточно точный размер?

Тогда я еще раз внимательно просмотрел Интернет и в одном из магазинов нашел готовую линзу +2D диаметром 37 мм да еще с просветляющим покрытием с двух сторон! Только она именовалась не насадочной линзой, а макрофильтром Close Up+2. Это был фильтр японской фирмы Ноуа стоимостью чуть более 300 рублей. Купив эту насадочную линзу, я очень легко установил ее на объектив с помощью пластмассового кольца, которое изгото-

вил, отрезав небольшой кусок от оправы просмотровой ювелирной линзы ×10 (ее я купил для замены более слабой линзы в очках для паяния, и оправа от нее мне была уже не нужна) (рис. 1а–в). Внутренний диаметр оправы как раз соответствовал 37 мм, и, кроме того, внутренняя поверхность оправы имела некоторое сужение в виде конуса. Вставив в полученное кольцо оправу линзы прямо с резьбой (рис. 1д–ж), я легко надел это кольцо на объектив (рис. 1з–и), причем с хорошим натягом. Толщину кольца я подогнал на абразивном круге (рис. 1г) таким образом, чтобы оправка линзы упиралась в оправу объектива (рис. 1к). Достаточно жесткая посадка кольца на объектив и оправу линзы, а также полный контакт их торцевых поверхностей позволили добиться соосности объектива и линзы.

Поскольку линза, установленная на объектив аппарата, изменила фокусное расстояние его объектива, то видеоскопитель и приспособо-



а



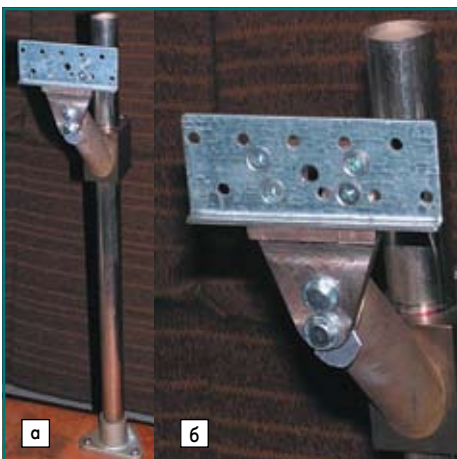
б

Рис. 2. Заправка калки в аппарат для наводки на фокус

бление для наводки на фокус, имеющиеся в аппарате, естественно, перестали работать. На фокус можно было навести только чисто визуально, поместив в то место аппарата, где находится пленка, уже упоминавшуюся ранее калку (рис. 2) вместо пленки.

Для жесткого закрепления аппарата (чтобы не держать его в руках) я решил использовать свой старый фотоувеличитель.

С помощью уголка, который я обрезал определенным образом и прикрутил четырьмя винтами к месту крепления осветителя фотоувеличителя, я сделал приспособление для закрепления аппарата (рис. 3). В центре уголка я просверлил отверстие диаметром 6,5 мм для крепления аппарата.



а

б

Рис. 3. Приспособление для крепления аппарата на штангу увеличителя

Для того чтобы закрепить аппарат, мне потребовался переходник с резьбой 1/4" на 3/8" (который я сначала открутил от старого штатива, а потом сделал из латунного стержня), усиленная шайба М6 и гайка-барашек с резьбой на 1/4" (рис. 4).



а



б



в

Рис. 4. Принадлежности для крепежа аппарата



а



б



в



г

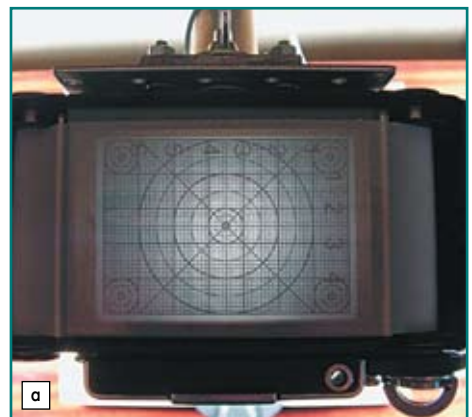
Рис. 5. Закрепление аппарата на штанге фотоувеличителя



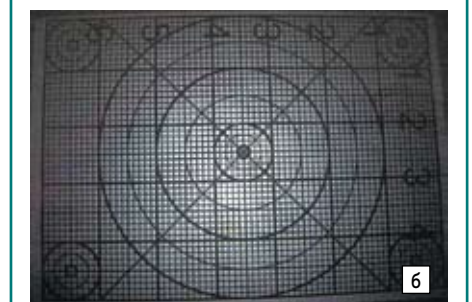
Рис. 6. Освещение оригинала лампой для наводки на фокус

Вставив винт крепления аппарата (рис. 4в) в центральное отверстие в уголке (рис. 3б) и подложив с другой стороны шайбу (рис. 5а), я укрепил аппарат гайкой-барашком (рис. 5б, в) на штанге фотоувеличителя (рис. 5г) так, чтобы в любой момент он мог быть снят.

Положив оригинал для съемки на столик фотоувеличителя (рис. 6), я легко навел аппарат на фокус с помощью уже упоминавшейся калки (рис. 7), прижав ее стеклом, которое взял от металлической рамки увеличителя, служащей для вставки в него пленки.



а



б

Рис. 7. Изображение оригинала на калке

Расстояние до оригинала я подобрал так, чтобы изображение на кальке было размером 50×70 мм.

Итак, начало было положено. Теперь предстояло установить хорошее освещение, более качественно укрепить аппарат, чтобы плоскости оригинала и его изображения на пленке были бы параллельны, а ось объектива — строго перпендикулярна этим плоскостям. Далее необходимо было выбрать пленку, которая бы давала наилучшую контрастность и стоила бы не очень дорого, определиться с экспозицией и проявителем, которые, в свою очередь, способствовали бы максимальной резкости и высокому контрасту снимка.

Но прежде я выяснил некоторые подробности относительно экспозиции. Я был прекрасно осведомлен, что контраст сильно зависит от выдержки и диафрагмы, так как в свое время много снимал. Причем если с выдержкой все было понятно — чем она меньше, тем выше контраст, то с диафрагмой дело обстояло не так однозначно. С одной стороны, имеется аналогичная однозначная связь диафрагмы и контраста — чем меньше диафрагма, тем выше контраст. С другой стороны, помимо контраста, требовалась еще и резкость, а при наличии насадочной линзы этот показатель особенно важен, поскольку при полностью открытой диафрагме на фокус можно навести либо центр оригинала, либо его края. Это так называемая aberrация кривизны поля изображения. Сильное диафрагмирование, конечно, увеличит резкость по краям, но устанавливать минимальную диафрагму (в нашем случае она равна 1/32) тоже нежелательно, так как изображение ухудшится за счет дифракции (или дифракционной aberrации), другими словами, оно, как говорят, «замылится», то есть в этом случае мы потеряем контурную резкость.

Какую же тогда диафрагму устанавливать, чтобы, как говорят, были «и волки сыты, и овцы целы»?

Известна формула, связывающая фокусное расстояние объектива с насадочной линзой (f) с фокусным расстоянием объектива без линзы (f_2) и фокусным расстоянием самой линзы (ϕ), если f и f_2 выражены в сантиметрах, а ϕ — в диоптриях:

$$f = 100f_2 / (100 + \phi \times f_2).$$

В нашем случае $f_2 = 10,5$ см, $\phi = +2$ диоптрии, поэтому $f = 100 \times 10,5 / (100 + 2 \times 10,5) = 8,68$ см, то есть фокусное расстояние моего объектива с насадочной линзой стало 8,68 см. Хотя сама по себе формула, на мой взгляд, практического значения не имеет, она приобретает особое значение при определении диафрагмы.

Дело в том, что, хотя размер самого отверстия диафрагмы (или зрачок объектива, как его называют) мало меняется от установки насадочной линзы, изменяется относительное отверстие (или, что то же самое, — диафрагма), то есть отношение диаметра зрачка к новому фокусному расстоянию.

Имеется и формула, связывающая исходную диафрагму объектива без линзы ($D_{исх}$) с новой диафрагмой при установке линзы (D):

$$D = k_0 D_{исх}$$

где k_0 — коэффициент, который может быть рассчитан по следующей формуле:

$$k_0 = 1,04f/f_2.$$

1,04 — поправочный коэффициент, учитывающий компенсацию потерь на отражение света от непросветленных поверхностей линзы; если линза просветлена, множитель 1,04 не вводится.

Поскольку насадочная линза фирмы Ноуа, которую я купил, была просветлена с двух сторон, а $f/f_2 = 8,68/10,5 = 0,827$, то новую диафрагму следует рассчитывать, умножая цифры, нанесенные на объективе аппарата, просто на коэффициент 0,827. Так, например, если установленная на объективе диафрагма соответствует значению 11, то на самом деле при установке насадочной линзы она будет равна: $11 \times 0,827 = 9,097$. В таблице 2 приведены некоторые значения новых диафрагм.

Таблица 2. Значения новых диафрагм

Диафрагма без линзы	32	22	16	11
Диафрагма с линзой	26,464	18,194	13,232	9,097

Здесь у читателя, вероятно, возникнет вопрос: а зачем вообще знать новую диафрагму? Все равно ведь придется экспериментировать, получая тот или иной снимок. Где он лучше получится, ту диафрагму и устанавливать.

Дело здесь в том, что при уменьшении диафрагмы до определенного значения увеличивается глубина резкости, результатом чего является увеличение резкости по краям кадра. При некотором пороговом значении диафрагмы (это значение, как правило, 11 и менее, в зависимости от объектива), как уже упоминалось, возрастает дифракция. И, хотя с уменьшением диафрагмы глубина резкости растет, дифракция начинает превалировать, ухудшая общую резкость снимка. На большинстве объективов нанесена красная точка, которая показывает максимальное разрешение конкретного объектива, или — оптимум, устанавливая диафрагму на который можно получить максимальную резкость. На моем аппарате такая точка тоже имеется, и расположена она между диафрагмой 11 и 16, ближе к 11. Но это при съемке без насадочной линзы. А где будет эта точка, если на объектив надета насадочная линза?

Я измерил расстояние по дуге от метки диафрагмы 11 до метки диафрагмы 16. Оно составило 3,5 мм. Расстояние от метки диафрагмы 11 до середины красной точки было около 1 мм. Таким образом, 1 мм соответствовал $(16-11)/3,5 = 1,429$ относительных единиц диафрагмы, а диафрагма красной точки соответствовала $11 + 1,429 = 12,429$. Рассуждая аналогично, я нашел, что при установке насадочной линзы эти же 3,5 мм соответствуют $13,232 - 9,097 = 4,135$ относительных единиц диафрагмы (табл. 2). Меня интересовал вопрос, на каком расстоянии от метки 16, соответствующей новой диафрагме 13,232, отстоит найденная оптимальная диафрагма, соответ-



Рис. 8. Оптимальная диафрагма

ствующая красной точке, то есть диафрагма 12,429? В относительных единицах диафрагмы это соответствовало: $13,232 - 12,429 = 0,803$. Путем пропорции я нашел, что число 0,803 относительных единиц диафрагмы соответствует 0,68 мм \approx 0,7 мм. Это означало, что «новая» красная точка сместилась к метке диафрагмы 16 и при установке стрелки диафрагмы на расстоянии примерно 0,7 мм от метки 16 мы получим диафрагму, соответствующую оптимуму.

На всякий случай я подсчитал, где будет такая «новая» красная точка, если учитывать вышеуказанный коэффициент 1,04. Получилось, что для этого случая расстояние от метки диафрагмы 16 до «новой» красной точки должно быть 1,17 мм, то есть чуть больше, чем ранее найденное значение — 0,7 мм. Не мудрствуя лукаво, я решил установить стрелку на расстоянии 1 мм от метки 16. Это нечто среднее между 1,17 и 0,7 мм, тем более что на этом месте как раз была цифра «1» (я отметил ее красным маркером) от числа 16, которую и можно принять за ориентир (рис. 8), а с точностью до десятых и тем более сотых миллиметра установить стрелку все равно не получится: это все-таки не штангенциркуль.

Как впоследствии выяснилось, я не ошибся: при установке стрелки диафрагмы на цифру «1» числа 16 (рис. 8) на снимке вся поверхность кадра была в фокусе (и центр, и края); кроме того, все элементы снимка отличались достаточно хорошей контурной резкостью даже при рассмотрении их через лупу с 10-кратным увеличением.

Здесь мне хотелось бы сделать некоторое отступление и рассказать о моих экспериментах с линзами большего диаметра, чем 37 мм.

А предыстория такова.

Когда я уже изготовил несколько плат с использованием линзы Ноуа Close Up+2 диаметром 37 мм, я все-таки решил еще раз более внимательно посмотреть, насколько эта линза лучше, чем очковая линза +2 диоптрии диаметром 70 мм, которая у меня лежала мертвым грузом, поскольку, как я уже говорил, ни один салон оптики не брался обточить ее по размеру.

Полностью открыв диафрагму и наведя фокус на центр моей сетки 50×70 мм с помощью линзы Ноуа Close Up+2, я снял ее и приложил вместо нее очковую линзу, чтобы сравнить, насколько хуже будет фокус на краях кадра при использовании очковой линзы, чем линзы Ноуа. Однако, к моему изумлению,

фокус на краях кадра, который давала обыкновенная очковая линза стоимостью в 30 рублей, был не хуже, а лучше, чем у линзы Ноуа! Я не поверил своим глазам и несколько раз проверил этот факт уже с помощью паяльных очков с увеличительными стеклами. Но факт оставался фактом, и ничего с этим поделать было нельзя.

Разница между этими двумя линзами (если не считать просветляющее покрытие линзы Ноуа) была только в их диаметрах: 37 мм — у линзы Ноуа и 70 мм — у очковой линзы. Отсюда я сделал вывод, что линза с большим диаметром дает меньше искажений на краях кадра.

Войдя в Интернет, я увидел, что в том же магазине, где я купил линзу Ноуа Close Up+2 37 мм, продавалась аналогичная линза, но диаметром 52 мм (Ноуа Close Up+2 52 мм) стоимостью 450 рублей.

Однако, прежде чем ее купить, я решил выяснить: а можно ли приобрести переходное кольцо с 52 на 37 мм? С помощью Интернета я выяснил, что такое кольцо купить можно, но оно стоит около 800 рублей. «Не дешево», — подумал я. И тут же случайно наткнулся на ахроматическую линзу АН-2 производства Лыткаринского завода оптического стекла (ЛЗОС), представляющую собой склейку из двух линз и обладающую, как указывалось в ее описании, уменьшенной ахроматической абберацией. Диаметр линзы АН-2 был 52 мм, ее увеличение составляло тоже +2 диоптрии, и стоила она 400 рублей.

В одном из фотомагазинов я нашел два переходных кольца: с 52 на 49 мм (М49F52) и с 49 на 37 мм (М37F49), стоимостью по 120 рублей (итого — 240). Это уже было намного дешевле, чем 800-рублевое переходное кольцо с 37 на 52 мм (М37F52). И я решил купить линзу АН-2 и эти два переходных кольца.

Установив линзу АН-2 в аппарат с помощью этих двух переходных колец и пластмассового кольца, которое я использовал для линзы Ноуа 37 мм, и наведя фокус на центр кадра, я стал внимательно присматриваться к изображению на его краях. Изображение на краях кадра было еще более «размытым», чем у линзы Ноуа! Мало того, изображение обладало линейными искажениями типа «подушка», когда центр кадра как бы «втянут» вовнутрь (это так называемая дисторсия, когда увеличение линзы изменяется по полю изображения, то есть, например, в центре одно увеличение, а на краях — другое). Причем «подушкообразность» явно просматривалась даже на глаз. «Зря я ее купил», — подумал я и решил для очистки совести все-таки рискнуть и купить линзу Ноуа Close Up+2 52 мм (рис. 9).

Установив линзу Ноуа Close Up+2 52 мм на аппарат (рис. 10а) аналогично линзе АН-2 (рис. 10б), я был еще раз удивлен и обрадован: при полностью открытой диафрагме на глаз в фокусе был весь кадр. Кроме того, изображение было строго линейным, что я уже более внимательно проверил с помощью линейки. Никакой «подушкообразности», как у АН-2 (рис. 10в), не было и в помине. Тогда я надел паяльные очки и еще раз проверил



Рис. 9. Линзы диаметром 52 мм и переходные кольца М37F49 и М49F52 для установки линз на аппарат

резкость изображения на краях кадра. Еле заметная нерезкость на краях все-таки присутствовала, но она была намного меньше, чем у линзы Close Up+2 37 мм, не говоря уже о линзе АН-2.

Я решил проверить с помощью более сильной лупы, чем паяльные очки, при какой же все-таки диафрагме полностью исчезает нерезкость на краях кадра у всех трех линз, то есть все изображение находится в фокусе.

Вот результат: у линзы Ноуа Close Up+2 52 мм — уже при диафрагме 5,6, у линзы Ноуа Close Up+2 37 мм — при диафрагме между 8 и 11, а у линзы АН-2 — при установке диафрагмы на уже упоминавшуюся «новую красную точку», то есть при установке стрелки диафрагмы между 11 и 16 ближе к 16.

Резюме: при установке стрелки диафрагмы на «новую красную точку», то есть на «1» числа 16, наибольшая резкость у линзы Ноуа Close Up+2 52 мм, затем идет линза Ноуа Close Up+2 37 мм и, наконец, линза АН-2, которую я не рекомендую покупать. Тем же, у кого она все-таки есть, могу сказать, что пользоваться ею можно, так как линейные искажения не такие уж и большие: по ширине изображение «втягивается» на 1 мм, по длине — на 0,5 мм (рис. 10в).

Сам я теперь снимаю только с помощью линзы Ноуа Close Up+2 52 мм. Кстати, аналогичную линзу и по той же цене можно купить у компании Marumi.

Не могу не упомянуть еще об одном интересном, с моей точки зрения, переходном кольце М405F52 (рис. 11а), которое мне понадобилось совсем для других целей (а именно для стыковки объектива от увеличителя с моей цифровой камерой для макросъемки — об этом чуть позже). Так вот, внутренний диаметр этого кольца оказался равен 37 мм, что позволило свободно надеть его на объектив аппарата Super Ikonta (рис. 11б). Свободно — это значит без натяга (как упоминавшееся пластмассовое кольцо), но и без люфта. Если исхитриться и просверлить три отверстия в этом кольце под углом приблизительно 120° друг к другу и нарезать там резьбу М1,6, а затем вкрутить в них шпильки с прорезанным шлицем (рис. 11а), то это кольцо можно достаточно жестко закрепить на объективе аппарата. Для того чтобы плоскость кольца была параллельна плоскости объектива, нужно вдвинуть объектив до конца в аппарат (установив расстояние на ∞), надеть кольцо и, прижав его к аппарату, затянуть винтами

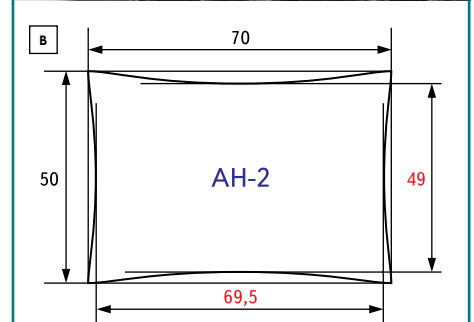


Рис. 10. Линзы Ноуа и АН-2, установленные на объектив с помощью переходных колец М37F49, М49F52 и пластмассового кольца 37 мм

(рис. 11б). А дальше в это кольцо можно вкрутить линзу Ноуа Close Up+2 52 мм (рис. 11в).

Преимущества по сравнению с предыдущим способом (рис. 10а):

- Дешевизна (кольцо одно, а не три).
 - Более надежное, жесткое крепление (кольцо не только не спадет, его невозможно снять руками).
 - Линза ближе к объективу, поэтому меньше аббераций.
 - Не требуется изготавливать пластмассовое кольцо на 37 мм.
- Недостатки:
- Дольше надевается и снимается.
 - Требуется достаточно аккуратно просверлить отверстия и нарезать резьбу (но если мы работаем с микросхемами с расстоянием между выводами 0,5 мм, то такую работу проделать не так уж и сложно, тем более что это нужно сделать всего один раз).

Теперь, после этого отступления, вернемся к прерванной последовательности изложения.

Таким образом, наметились по крайней мере два параметра экспозиции, к которым надо стремиться, чтобы получить максимальные контраст и резкость снимка: это минимальная выдержка, которую способен воспроизвести ап-



Рис. 11. Линза Noya Close Up+2 52 мм, установленная на объектив с помощью переходного кольца M405F52

парат (1/400), и оптимальная диафрагма — чуть меньше 16. Я прекрасно отдавал себе отчет, что для съемки с такими параметрами экспозиции потребуется достаточно мощное освещение. Кроме того, потребуется, конечно, и увеличение времени проявления пленки, то есть использование своеобразного push-процесса, только примененного к этой же пленке.

Здесь следует кое-что уточнить, чтобы профессиональные фотографы не обвинили меня в не совсем точном использовании терминов. Насколько мне известно, под push-процессом понимается увеличение времени проявления менее чувствительной пленки, экспонированной как более чувствительной. Предположим, идеальная экспозиция пленки чувствительностью в 200 единиц получена при выдержке T_{δ} и проявлении ее за время T_n . Для получения такой же плотности изображения, но на пленке в 100 единиц (то есть в 2 раза менее чувствительной) ее можно снимать при той же выдержке T_{δ} , но время проявления должно

быть увеличено (в идеальном случае) в 2 раза, то есть ее нужно проявлять за время $2T_n$. В этом и состоит push-процесс.

Известно также, что для увеличения контраста пленку следует «недождать» и «перепроявить». Другими словами, если имеем пленку одной и той же чувствительности (предположим, в 100 единиц) и идеальная ее экспозиция получена при выдержке $T_{\delta 1}$ и времени проявления T_{n1} , то для получения той же плотности изображения, но при экспозиции пленки с выдержкой в 2 раза меньшей, то есть $T_{\delta 2} = T_{\delta 1}/2$, ее следует проявить за время, в два раза большее, то есть $T_{n2} = 2T_{n1}$. В этом случае, помимо того, что плотность будет та же, увеличится контраст изображения. Строго говоря, этот процесс «перепроявления» не подпадает под понятие «push-процесс», который предполагает пленки разной чувствительности, а раз так, то мной и использована фраза «своеобразный push-процесс» (хотя суть одна и та же). Теперь, надеюсь, поставлены все точки над *i*,

и все, что я имел в виду, достаточно внятно разъяснено.

Продолжение следует

Литература

1. Кузьминов А. Ю. Универсальная система сбора и обработки данных АСИР-3 // Мир ПК. 1996. № 6.
2. Кузьминов А. Современные аппаратные средства связи микроконтроллера с компьютером по интерфейсу RS-232 // Компоненты и технологии. 2006. № 3–5.
3. Кузьминов А. Современные программные средства связи микроконтроллера с компьютером по интерфейсу RS-232 // Компоненты и технологии. 2006. № 6–11.
4. Кузьминов А. Ю. Интерфейс RS232. Связь между компьютером и микроконтроллером. От DOS к Windows 98/XP. М.: ИД «ДМК-пресс», 2006.
5. www.microcompsys.narod.ru