

Сокращение затрат на входной контроль печатных плат

Практически все разработчики и изготовители цифровых устройств, в частности устройств релейной защиты, на основе опыта работы которых и написана данная статья, используют в своих приборах печатные платы (ПП), выпущенные на специализированных предприятиях.

Такие предприятия могут выполнять весь цикл работ, начиная от проектирования ПП и заканчивая контролем качества изделий и полуфабрикатов.

Олег Захаров

По различным причинам процессы разработки, изготовления, монтажа и контроля ПП могут быть распределены между изготовителем цифровых устройств релейной защиты и автоматики (ЦРЗА) и одним или несколькими предприятиями-контрагентами. Пример распределения процессов показан на рис. 1.

В этом случае изготовитель ЦРЗА создает в формате *.psb послойные чертежи всех ПП и передает их производителю.

В качестве примера на рис. 2 представлен чертеж элементарной платы, которую изготовитель ПП выпускает в виде мультиплицированной платы, объединяющей несколько плат (рис. 3).

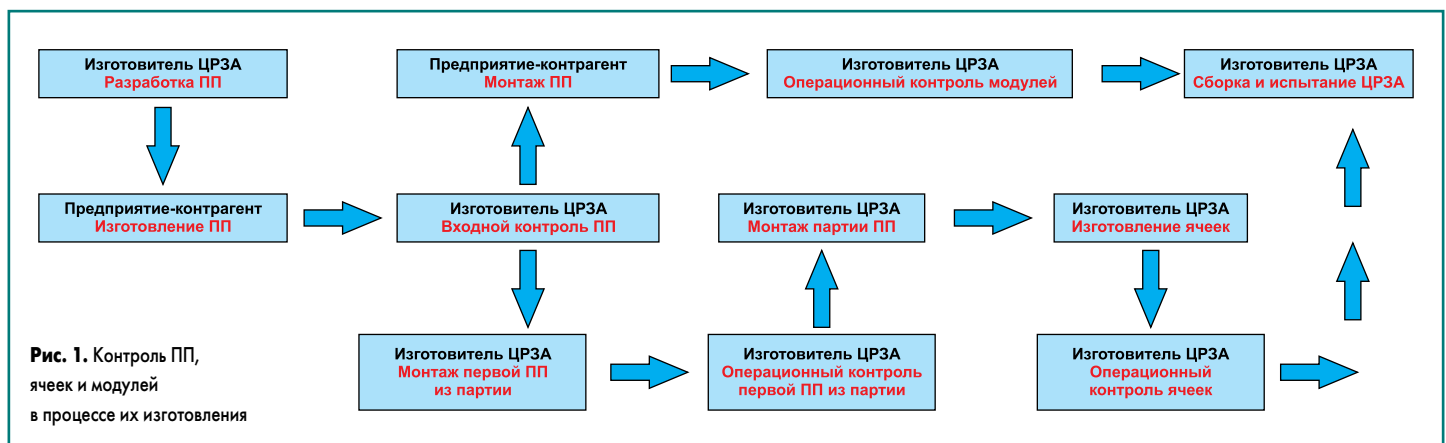


Рис. 1. Контроль ПП, ячеек и модулей в процессе их изготовления

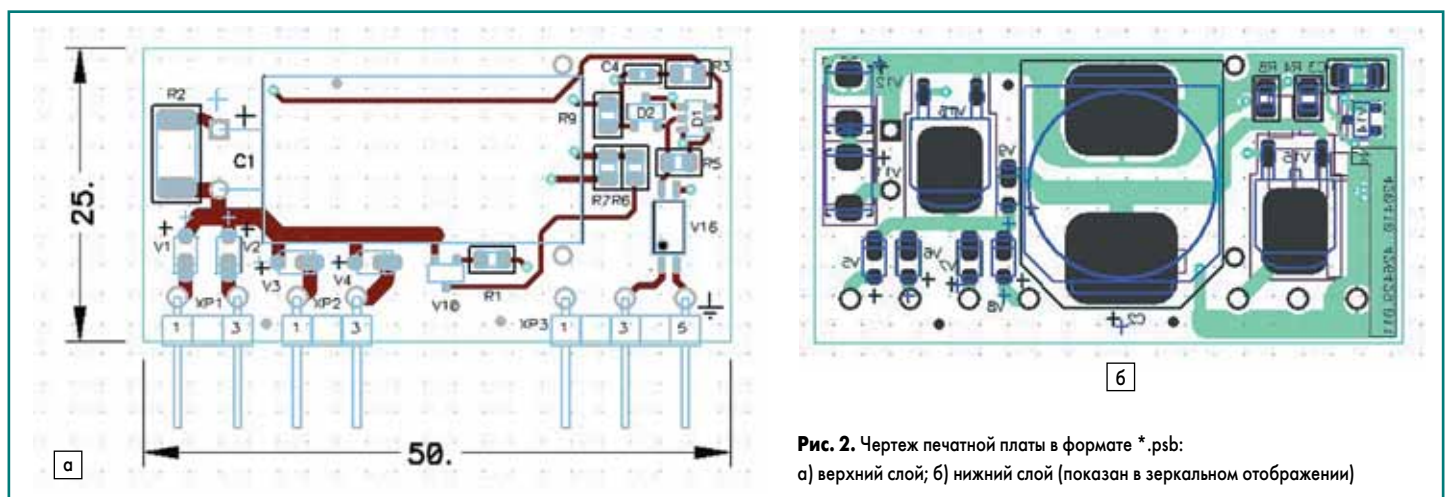


Рис. 2. Чертеж печатной платы в формате *.psb: а) верхний слой; б) нижний слой (показан в зеркальном отображении)



Рис. 3. Мультиплицированная печатная плата



Рис. 4. Тестер «летающими» пробниками типа ESL-608 [1]

В договоре с предприятием, изготавливающим ПП, предусмотрен выходной контроль готовых печатных плат — обязательное тестирование на специальных установках (рис. 4), во время которого проверяют:

- сопротивление изоляции;
- сопротивление печатных проводников (отсутствие обрывов);
- отсутствие замыкания печатных проводников;
- отсутствие разрывов печатных проводников.

Тем не менее на некоторых предприятиях — изготовителях цифровых устройств для обеспечения высокого качества выпускаемой продукции проводят входной контроль ПП [2], при котором проверяют:

- внешний вид ПП и ее маркировку;

- габаритные и установочные размеры;
- размеры и положения пазов;
- отверстия (количество и их диаметр, наличие металлизации);
- контактные площадки (размеры, количество, расстояние между проводниками и контактными площадками);
- ширину проводников;
- правильность выполнения рисунка проводящих проводников;
- маску.

Во время входного контроля ПП на предприятии — изготовителе ЦРЗА наиболее часто выявляют следующие дефекты (несоответствия продукции установленным в технической и нормативной документации требованиям):

- уменьшение ширины проводников¹ (данный дефект на рис. 5 обозначен буквой «ш») [3];
- разрыв проводников (рз);
- расслоение платы (рс);
- отсутствие контактной площадки (кп);
- непрямолинейность основы платы (нп).

По системе, принятой на предприятии, показатель несоответствия обозначают $H_{ВК}$ и определяют ежемесячно по тривиальному соотношению:

$$H_{ВК} = A/B. \quad (1)$$

где A — количество несоответствий продукции, выявленной при входном контроле; B — количество продукции, предъявленной на входной контроль.

По результатам входного контроля за первое полугодие 2014 года этот показатель для всего массива печатных плат, рассчитанный на 100 единиц продукции, то есть $H_{ВК.100}$, составил 0,001 [4, 5].

Для двух дефектов — разрыв проводников или уменьшение их ширины — показатель составляет 0,092% (рис. 5).

Большинство проверок ПП во время входного контроля на предприятии — изготовителе ЦРЗА выполняли визуально, при помощи лампы с увеличительным стеклом, обеспечивающим трехкратное увеличение (рис. 6).

Процесс визуального контроля во многом зависит от профессиональных навыков контролера. Одни специалисты запоминают рисунок ПП, а затем, при осмотре контролируемо-

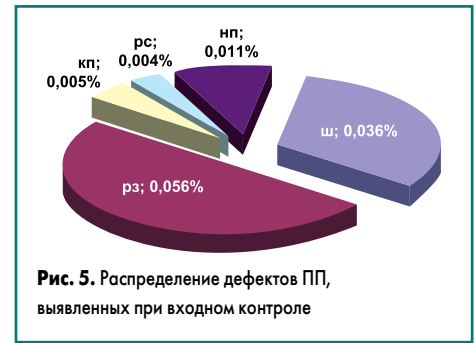


Рис. 5. Распределение дефектов ПП, выявленных при входном контроле



Рис. 6. Контроль ПП с помощью увеличительного стекла

го изделия, сравнивают фактический рисунок с тем, который они запомнили.

Другие используют прием последовательного «считывания» контролируемого изделия, несколько напоминающий процесс строчной развертки изображения в телевизоре.

Хотя визуальный контроль не может дать объективной оценки качества изготовления ПП, с его помощью удается «отсеять» некоторое количество дефектных плат, прошедших обязательное тестирование после их изготовления. Поэтому в договоре с изготовителем количество поставляемых ПП должно учитывать определенный запас на неизбежные технологические потери.

Анализ характера и количества брака, выявленного при входном контроле ПП, позволил предположить, что дефекты являются результатом нестабильности того или иного технологического процесса изготовления ПП.

Например, дефект «уменьшение ширины проводника» (шп) был выявлен только в тех партиях печатных плат, которые проходили входной контроль в первом квартале 2014 года (рис. 7).

Наибольшее количество дефектов данного типа определено в партии из 850 штук, прошедшей входной контроль 14.02.2014 года. При этом никаких других дефектов в платах, проверенных за тот же период, не выявлено.

В печатных платах, проходивших входной контроль во втором квартале этого же года (рис. 8), выявлены дефекты типа «разрыв проводника» (рп), «нарушение контактной площадки» (кп), «расслоение платы» (рс) и «отклонение от прямолинейности» (нп).

В то же время в платах, проверенных во втором квартале, не выявлено ни одного дефекта вида «уменьшение ширины проводника» (шп).

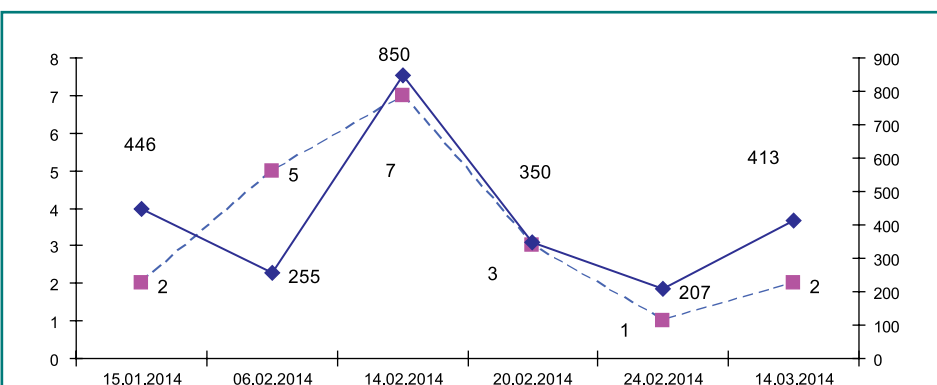
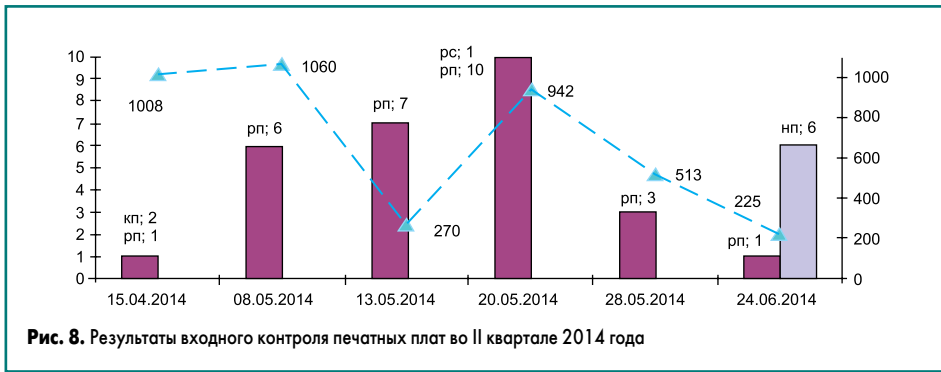


Рис. 7. Результаты входного контроля печатных плат в первом квартале 2014 года (дефект «уменьшение ширины проводника» — шп)

¹ Иногда в документации и технической литературе можно встретить аргоизм — «протрав проводников».



При анализе процессов входного контроля ПП необходимо обратить внимание на то, что изготовитель ПП поставляет их в вакуумной упаковке² [5] (рис. 9). Поэтому перед входным контролем необходимо распаковать платы. В том случае когда проверенные платы не поступают непосредственно на производство, после входного контроля их следует поместить в вакуумную упаковку.

Для того чтобы уменьшить затраты на перепакетировку проверенных ПП, целесообразно обратить внимание на то, в каком порядке и в каком количестве они поступают на входной контроль (рис. 10).

Как показывает диаграмма, практически все типоразмеры плат (условный номер ПП на рис. 10), проверенных в первом квартале, первый раз поступили на входной контроль в январе. Однако некоторые платы поступали на входной контроль двумя или тремя партиями через небольшие промежутки времени.

Например, плата 612 была на входном контроле 10 января, 20 февраля и 4 марта. Плата 656 — 31 января и 20 февраля, плата 620 — 31 января и 27 февраля.

Такая практика оказалась характерной и для второго квартала, когда многие платы поступали на входной контроль два или три раза через небольшие промежутки времени (рис. 11).

С 30 июля по 21 августа входной контроль прошло 45958 ПП. Из всех 42 исполнений ПП брак был обнаружен только в платах пяти исполнений (рис. 12). За этот период ПП № 689 (660 штук, поступили 30.07) проходили входной контроль только один раз. ПП № 571 общим количеством 912 штук поступили тремя партиями. Первая, в количестве 200 штук, прошла такой контроль 12.08; вторая, в количестве 5 штук, — 15.08, третья, в количестве 457 штук, — 21.08. Печатные платы № 504, общим количеством 1255 штук, поступили двумя партиями. Первая, в количестве 255 штук, поступила на входной контроль 15.08; вторая, в количестве 1000 штук, — 21.08. Печатные платы № 618, общим количеством 1055 штук, поступили на входной контроль двумя партиями. Первая, в количестве 515 штук, — 15.08, вторая, в количестве 540 штук, — 21.08.

В печатных платах 42 других исполнений общим числом 41 276 штук не обнаружено ни одного дефекта. Общая доля дефект-

ных плат среди всех проверенных составила $15/41276 = 0,0036$.

Полученная информация о низком уровне дефектов в ПП, закупаемых изготовителем цифровых устройств, позволяет перейти к оценке эффекта от сокращения затрат на входной контроль ПП.

Рис. 9. Платы в вакуумной упаковке

Безусловно, помимо прямой экономии от сокращения затрат на входной контроль ПП, следует учитывать и затраты на исправление продукции, выпущенной с использованием дефектных ПП.

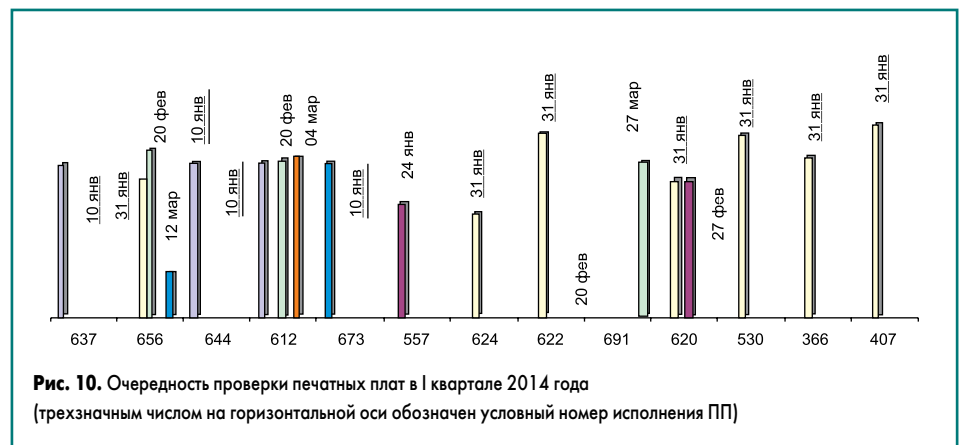


Рис. 10. Очередность проверки печатных плат в I квартале 2014 года (трехзначным числом на горизонтальной оси обозначен условный номер исполнения ПП)

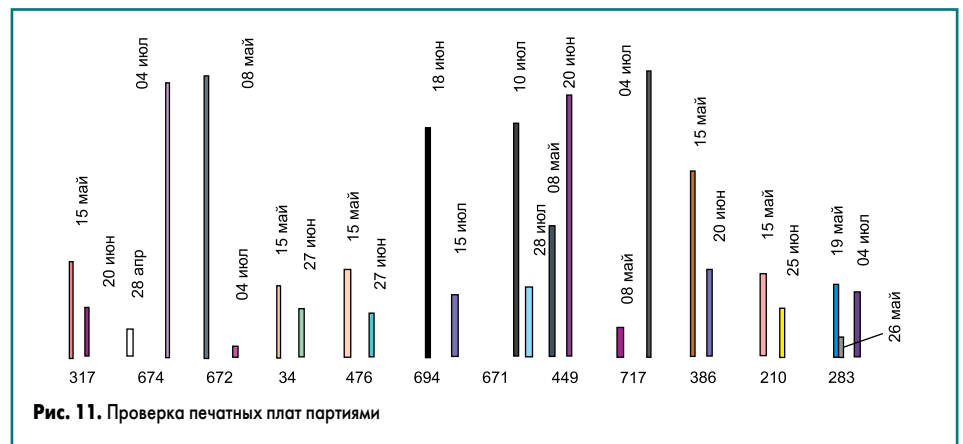


Рис. 11. Проверка печатных плат партиями

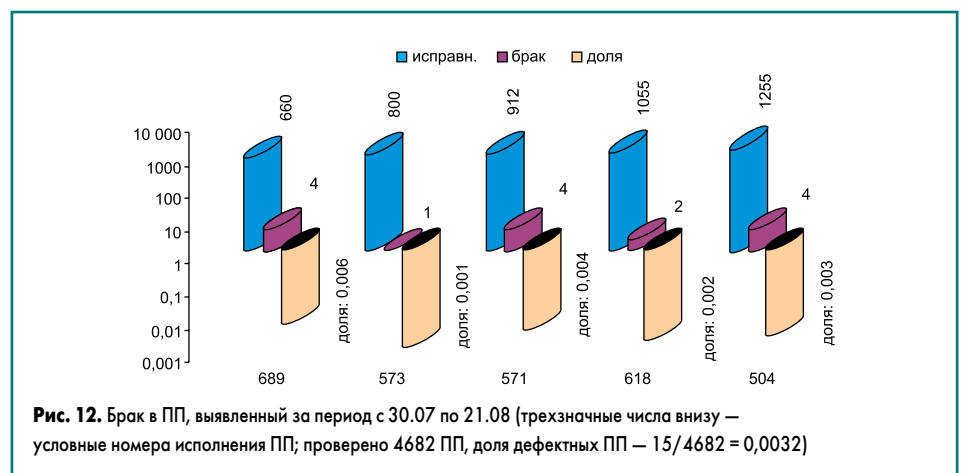


Рис. 12. Брак в ПП, выявленный за период с 30.07 по 21.08 (трехзначные числа внизу — условные номера исполнения ПП; проверено 4682 ПП, доля дефектных ПП — $15/4682 = 0,0032$)

² Вакуумная упаковка печатных плат необходима, прежде всего, для исключения окислирования поверхности платы.



Рис. 13. Смонтированная элементарная плата-ячейка

Как видно на рис. 1, одна часть проверенных ПП поступает на предприятие-контрагент, осуществляющее монтаж модулей ЦРЗА, а вторая часть — на участок монтажа ПП предприятия, изготавливающего цифровые устройства.

В связи с тем что предприятие-контрагент монтирует наиболее сложные, насыщенные большим количеством различных компонентов ПП (себестоимость таких полуфабрикатов может достигать до 1/4 себестоимости всего цифрового устройства), затраты на исправление дефектов в таких изделиях могут значительно превысить экономию, полученную от исключения входного контроля ПП, использованных для их изготовления.

Еще раз отметим, что передаваемые на другое предприятие или подлежащие длительному хранению ПП должны после проведения входного контроля быть помещены в вакуумную упаковку. Кстати, предприятия-контрагенты проверяют выпущенные ими полуфабрикаты только визуально и не производят их настройки с подачей рабочего напряжения и тестовых сигналов на специализированных рабочих местах. Поэтому ПП, полученные после монтажа на предприятиях-контрагентах, проходят 100%-ный операционный контроль и, кроме того, настройку перед передачей их для установки в ЦРЗА на участке сборки.

Передача на предприятие-контрагент печатных плат, которые не прошли входной контроль и в которых могут быть те или иные дефекты, приводит не только к нерациональному расходованию трудовых и материальных ресурсов, но и к необоснованному возрастанию себестоимости продукции. Совсем иначе обстоит дело с ПП, монтаж которых выполняют на предприятии — изготовителе цифровых устройств. Прежде всего, согласно схеме, приведенной на рис. 1, после входного контроля эти ПП на разных этапах производства цифровых устройств релейной защиты подвергаются неоднократному визуальному и тестовому контролю с подачей рабочего напряжения и специальных сигналов на специализированных рабочих местах. Кроме этого, визуальный контроль проходит «первая ПП» после монтажа на автоматизированной линии установки электрорадиоэлементов.

При достаточно простом рисунке элементарных ПП (рис. 2) контролер во время контроля «первой ПП» может выявить и те дефекты, которые обычно выявляют при визуальном контроле ПП, поступившей от изготовителя (рис. 7, 8). А потому часть полуфабрикатов, изготовленных с использованием ПП, не прошедших входной контроль, будет отсеяна при контроле «первой смонтированной ПП», полученной после настройки автоматического оборудования для установки микроэлектронных компонентов на печатную плату.

Таким образом, затраты на визуальный контроль ПП до их монтажа оказываются излишними. Следует также учитывать, что дефекты, возникшие при разделении мультиплицированной ПП на элементарные платы, будут выявлены либо во время ручного монтажа элементов 1 (рис. 13), либо при визуальном операционном контроле готовых ячеек, смонтированных на элементарной плате.

И наконец, качество всех полуфабрикатов, изготовленных с использованием ПП, не прошедших входной контроль, будет проверено еще не менее двух раз:

- при их настройке на специализированных стандах и рабочих местах;
- во время приемо-сдаточных испытаний готового изделия.

Все сказанное позволяет отказаться от входного контроля тех ПП, монтаж которых выполняют на предприятии — изготовителе ЦРЗА, как это показано на рис. 14.

Данное решение возможно также и потому, что себестоимость полуфабрикатов, монтируемых на предприятии — изготовителе цифровых устройств, невелика из-за небольшого количества компонентов, устанавливаемых на ПП (рис. 2), что позволяет сократить затраты на входной контроль без снижения качества выпускаемой продукции.

Необходимо обратить внимание на то, что для изделий с ПП, монтируемых на предприятии — изготовителе цифровых устройств, основные затраты приходится не на входной контроль ПП, а на контрольные операции на этапе изготовления модулей и ячеек. При небольших объемах производства такие затраты не только становятся сравнимыми с расходами на установку элементов на печатных платах, но зачастую и превосходят их. Особенно это заметно при передаче печатных плат в производство несколькими небольшими партиями. В данном случае появляются издержки на операционный контроль «первой платы» для каждой из партий и снижается эффективность использования автоматического оборудования для установки микроэлектронных компонентов на печатную плату из-за увеличения затрат на его настройку для каждой из партий. Поэтому для сокращения непроизводительных затрат необходимо передавать печатные платы на входной контроль так, чтобы в каждом квартале проверялась только одна партия каждого исполнения.

Более того, при небольшом объеме производства тех или иных плат оказывается экономически целесообразным увеличивать объем партии, обеспечивая квартальный или даже полугодовой запас полуфабрикатов.

Следует отметить, что для мультиплицированных [6] ПП, имеющих те или иные дефекты элементарных плат, расходы на изготовление небольших партий могут возрастать многократно.

Во-первых, от изготовителя возможно поступление мультиплицированных печатных плат, в которых из-за ошибок при изготовлении шаблона во всех мультиплицированных платах оказывается дефектной одна и та же элементарная плата.

Во-вторых, на этапе входного контроля может быть забракована любая (одна или несколько) из N элементарных печатных плат 1 (рис. 3).

Однако независимо от количества дефектных элементарных плат мультиплицированная печатная плата поступает на оборудование, устанавливающее микроэлектронные компоненты, в целом виде, без удаления дефектных элементарных плат.

Анализ результатов входного контроля мультиплицированных печатных плат за длительный период показал, что брак практически отсутствует или же процент брака ничтожно мал.

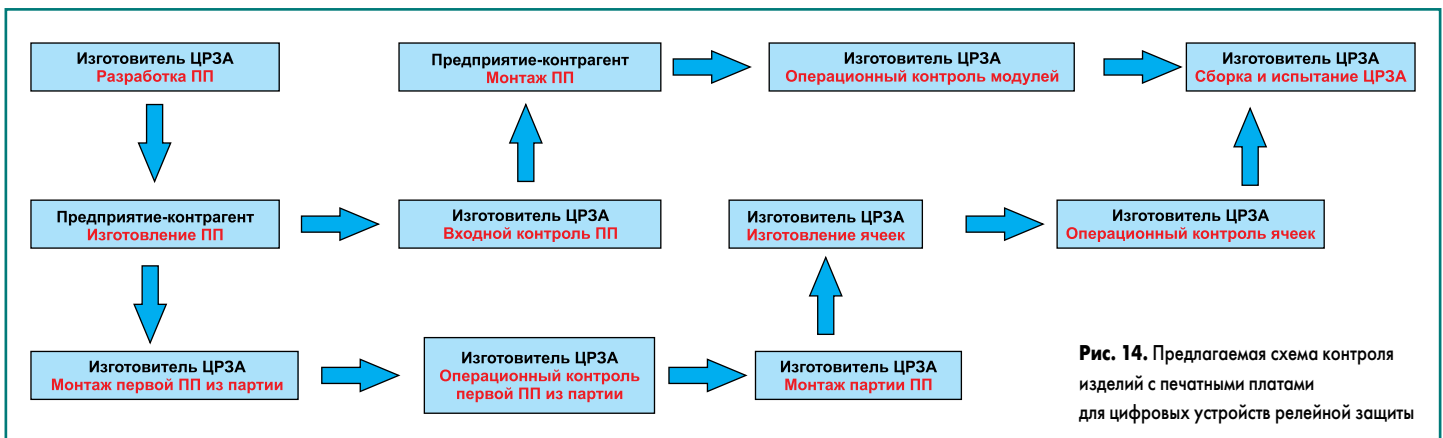


Рис. 14. Предлагаемая схема контроля изделий с печатными платами для цифровых устройств релейной защиты

Например, при проверке двух партий мультиплицированной платы 638 в первой половине 2014 года была забракована всего одна элементарная плата, что в пересчете на 100 плат составляет 0,0001. Для трех партий мультиплицированной платы 205, проверенных за тот же период, данный показатель оказался равен нулю.

В связи с принятой процедурой контроля (операционный контроль первой печатной платы для каждой из партий) оказалось необходимым проверить пять «первых» плат, по числу партий. Кроме того, после монтажа и разделения мультиплицированной платы на ячейки все они были подвергнуты операционному контролю. При этом в готовых ячейках не было выявлено ни одного бракованного изделия.

Здесь следует отметить, что небольшое число элементов, устанавливаемых в таких ячейках, не приводит к сколько-нибудь значительному «замораживанию» средств, вложенных в изготовление данных изделий. Нужно учитывать и то, что наиболее массовые ячейки используют практически во всех исполнениях цифровых устройств релейной защиты.

Проведение контроля «первой смонтированной ПП» позволяет выявлять и те дефекты, которые не могли быть обнаружены при входном визуальном контроле или контроле с помощью установки типа ESL-608 (рис. 4).

Так, в одной из партий проверенных на входном контроле и признанных годными мультиплицированными ПП после машинной установки элементов на одной стороне платы и их пайки в печи был выявлен дефект, вызванный тем, что при изготовлении ПП была уменьшена толщина перешейка 2 (рис. 15, 16).

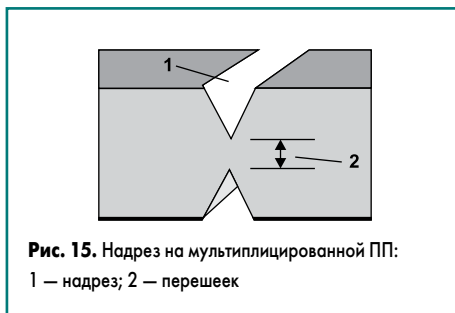


Рис. 15. Надрез на мультиплицированной ПП:
1 — надрез; 2 — перешеек

Таким образом, в данном случае затраты на входной контроль мультиплицированной ПП оказались нерациональными, поскольку никаких других дефектов в готовых изделиях не было выявлено.

Вывод

Отказ от входного контроля ПП, монтируемых на предприятии — изготовителе ЦРЗА, позволяет сократить затраты на контрольные операции, сохраняя высокое качество изделий.

Литература

1. ESL-608. Flying probe tester // www.eastspacelight.com
2. ДИВГ. 25202.00001. Входной контроль печатных плат. Технологическая инструкция.
3. Терешкин В., Фантгоф Ж., Григорьева Л. Травление печатных плат и регенерация травильных растворов // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 3.
4. Способ оценки надежности цифровых устройств релейной защиты // <http://www.rza.org.ua/blog/a-43.html>



Рис. 16. Мультиплицированные платы с дефектом «уменьшение ширины перешейка» в накопителе после прохождения печи

5. Захаров О.Г. Надежность цифровых устройств релейной защиты. Показатели. Требования. Оценки. М.: Инфра-инженерия, 2014.
6. Медведев А., Мылов Г. Печатные платы. Требования для поверхностного монтажа // Компоненты и технологии. 2007. № 10.
7. Динглер К., Пошманн Х., Новиков А. Выбор и подготовка базовых материалов для бесвинцовых процессов пайки печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 3.
8. Концепция развития российского производства печатных плат. Почему печатные платы? // http://www.pk-altonika.ru/articles_type_1_12.htm
9. Скрайбирование // <http://www.pselectro.ru/article/5/56>