

Печатные платы. Как и где делать?

Электроника — наиболее быстро развивающаяся область науки и техники, одно поколение компонентов сменяет другое каждые три–пять лет. Наряду с увеличением интеграции элементной базы основную роль в развитии электроники играют электрические и физические межсоединения между элементами, узлами и блоками аппаратуры. основополагающим способом реализации межсоединений являются печатные платы, которые служат и конструкционным основанием элементов, и монтажной подложкой для электронных компонентов, а в ряде применений — средством теплоотвода от теплонагруженных компонентов.

Петр Семенов

semenov@elserv.ru

Аркадий Сержантов

sergantov@estek.ru

Геннадий Мылов

pcb@grpz.ryazan.ru

Электроника, информационные технологии, управление, приборная автоматика, средства обработки и хранения информации, телекоммуникации стали технической базой высоких технологий. Ядром этих технологий являются технические и программные средства обработки информации и вычислений. Вооруженность этими средствами, полнота их использования определяет облик современного общества, а также интеллектуальный потенциал государства.

Тенденции развития технологий печатных плат

Развитие микроэлектронных компонентов постоянно идет в направлении увеличения интеграции, производительности и функциональности. Этот процесс характеризуется увеличением плотности активных элементов на кристалле примерно на 75% в год, что, в свою очередь, вызывает необходимость увеличения количества выводов на корпусе на 40% в год. Этим обуславливается постоянно растущий спрос на новые методы корпусирования, а впоследствии — увеличения плотности межсоединений на печатной плате.

В результате общих тенденций площадь монтажных подложек уменьшается примерно на 7%, а физические размеры электронной аппаратуры — на 10–20% в год. Эта тенденция поддерживается непрерывным увеличением плотности межсоединений за счет уменьшения элементов печатного монтажа: ширины проводников и зазоров, отверстий и контактных площадок, пространственного (послойного) распределения межслойных переходов за счет использования сквозных, глухих, слепых отверстий. Все это серьезно влияет на облик производства печатных плат: увеличивается стоимость основных фондов, объем прямых издержек, увеличивается цикл производства.

Технологии печатных плат постоянно обрастают новыми приемами и операциями, расширяются их возможности за счет использования прецизионного оборудования, более качественных материалов и ин-

струмента. От состояния технологий производства печатных плат непосредственно зависят масса и габариты электронной аппаратуры, ее функциональность, производительность, надежность, устойчивость к внешним воздействующим факторам.

В отечественной и зарубежной практике ведется непрерывный поиск новых и совершенствование известных методов межсоединений. Ежемесячно публикуются сотни патентов, описывающих новые процессы и операции и претендующих на новое слово в технологиях электронной аппаратуры. Среди достижений в технологии монтажа появлялись и методы, изобретение которых сопровождалось значительной рекламой, но на практике они оказались малоэффективными, ненадежными или нашли ограниченное применение. Ежегодные международные конференции, симпозиумы по международной стандартизации способствуют отбору выверенных решений, на основе которых родились базовые технологии. Именно для базовых общепринятых технологий разрабатываются стандарты, оборудование и материалы. На их основе строятся новые производства с многомиллионными вложениями капитала.

Особенности российского производства печатных плат

Промышленное освоение новых технологических принципов обходится слишком дорого, чтобы перестраивать под них производство без тщательного анализа и предварительного опробования.

Сегодня, в условиях рыночной экономики, особенно важно проявлять профессионализм в инвестировании производства, поскольку каждая, даже, казалось бы, малозначительная ошибка может привести к большим экономическим потерям. В этом принципиальное отличие нашего времени от предыдущего периода затратной экономики, мало считавшейся с потерями ради дальнейшей цели.

Чтобы определить в своем положении на международном рынке разделения труда, правильно сориентироваться и использовать свои несомненные

преимущества, россиянам приходится изучать опыт и Запада, и Востока. В чем же преимущества российских производств электроники?

Первый ряд преимуществ

У нас остался еще инженерный потенциал, позволяющий поднять и освоить в производстве любые сложные технологии. Это очень важно, что мы еще хорошо понимаем все новые технологические тонкости и готовы их осваивать при наличии соответствующего оборудования и материалов. При этом российские технологи мыслят более широко, воспринимая новые технологические принципы во всем комплексе проблем, что недоступно большинству иностранных специалистов. В российских производствах в последнее время обнаруживается потребность в молодых кадрах с достойными предложениями зарплаты. И это вселяет надежду на дальнейшую поддержку и развитие нашего интеллектуального потенциала.

Второй ряд преимуществ

В России относительно дешевые энергоресурсы и трудозатраты. Так, в цене продукта в Германии стоимость трудозатрат составляет 40%, в Китае 8%, в России 12–14%. Зато в Китае энергоресурсы составляют 36%, а у нас всего лишь 7–9%.

Тем не менее, массовое производство электроники перемещается в Юго-Восточную Азию. Но структура продукции говорит о том, что сюда перемещается массовое производство относительно простой продукции. В США объемы производства электронных изделий упали с \$11,5 млрд в 2000 году до \$5,5 млрд в 2004, в Европе — с \$5,4 до \$3 млрд. В то же время в ЮВА наблюдается подъем с \$12 млрд до \$18 млрд — в основном за счет перемещения сюда простых продуктов массового спроса. Китай — большой сборочный цех. Хотя на самом деле это очень не просто.

Создание собственных производств в России обусловлено не только соображениями технологической независимости, но и прямой выгодой в оперативности собственных разработок и постановке их на производство, а также в возможности слежения за общими тенденциями развития технологической базы на международном рынке. Эти тенденции поддерживаются непрерывным увеличением плотности межсоединений за счет уменьшения элементов печатного монтажа: ширины проводников и зазоров, отверстий и контактных площадок, пространственного (послойного) распределения межслойных переходов при использовании сквозных, глухих, слепых отверстий (рисунок, таблица). Все это серьезно влияет на облик производства печатных плат: увеличиваются стоимость основных фондов, объем прямых издержек, временной цикл производства. Все это приводит к росту инвестиций в основное производство, в развитие профессионализма персонала, что в конечном итоге сказывается на себестоимости печатных плат. Заказывая платы на стороне, заказчик волей-неволей оплачивает производителю все его издержки на

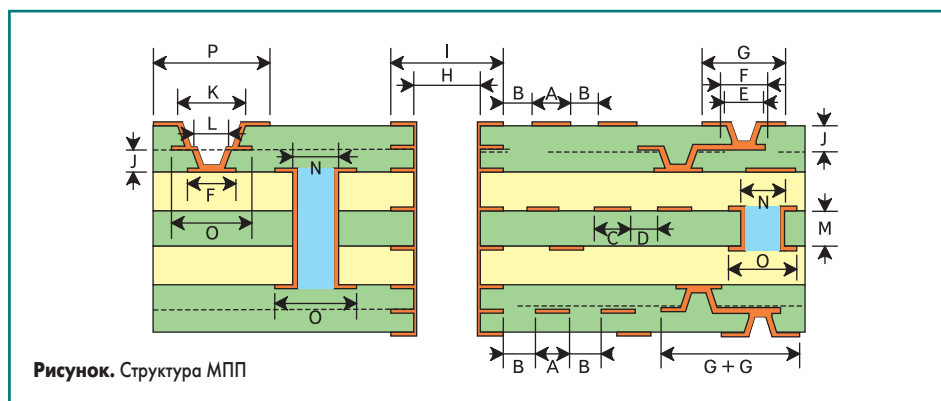


Рисунок. Структура МПП

Таблица. Численные характеристики МПП, обозначенные на рисунке

Символ	Наименование параметра	Минимальный размер, мм		
		Сегодня	Завтра	Послезавтра
Характеристики рисунка				
A	Ширина проводника на внешнем слое	0,11	0,08	0,06
B	Зазор на внешней поверхности	0,12	0,1	0,065
C	Ширина проводника на внутреннем слое	0,11	0,08	0,05
D	Зазор на внутреннем слое	0,11	0,1	0,07
Характеристики сквозных отверстий				
H	Диаметр сверления сквозного отверстия	0,25	0,2	0,15
I	Контактные площадки сквозного отверстия	0,55	0,5	0,4
	Отношение толщины платы к диаметру сквозного сверления	10	14	18
Характеристики глухих отверстий				
E	Диаметр глухого отверстия	0,15	0,085	0,045
F	Контактная площадка основания глухого отверстия	0,35	0,25	0,06
G	Контактная площадка входа глухого отверстия	0,4	0,30	0,10
J	Отношение глубины к диаметру глухого отверстия	= 1	= 1	= 1
K	Диаметр верхнего глухого отверстия	0,175	0,15	0,075
L	Диаметр нижнего глухого отверстия	0,1	0,075	0,035
P	Контактная площадка верхнего глухого отверстия	0,375	0,325	0,25
Характеристики слепых отверстий				
M	Глубина металлизированного слепого отверстия	0,2	0,15	0,1
N	Диаметр сверления слепого отверстия	0,25	0,2	0,2
O	Контактные площадки слепого отверстия	0,55	0,5	0,4

развитие, сам обрекая себя на роль наблюдателя, остающегося в стороне от прогресса.

Обоснование организации собственного производства

Если все же руководство предприятия решается на создание собственного производства, оно должно решить для себя два вопроса: на какой технический уровень «замахиваться» и на какой объем реализации собственной продукции можно рассчитывать. Первый и второй вопрос связаны, потому что востребованность в печатных платах определяется не столько их ценой (их цена ничтожна в цене изделия), сколько возможностями производства высокотехнологичных продуктов с высоким уровнем надежности. Российская действительность характерна тем, что технологическое обеспечение надежности гарантируется только при строгом надзоре за производством. При изготовлении плат на стороне этот надзор недоступен. Мало того, при появлении отказов результаты их анализа могут быть использованы производителем как информация, но не как директива к ликвидации причин отказа.

Что касается технического уровня технологических печатных плат (ПП), то его объективно

необходимо развивать параллельно и теми же темпами, что и развитие конструкций корпусов компонентов. Направленность обновлений в этой части производства в основном будет заключаться в снижении себестоимости продукции и обновлении парка оборудования, подвергнувшемуся физическому и моральному износу.

Но любое обновление, если на него выделяются средства, целесообразно строить из соображений создания высокотехнологичного производства, в котором можно было бы изготавливать изделия по высоким проектным нормам, недоступным большинству конкурирующих предприятий. Поэтому производители электронных изделий рано или поздно встают перед задачей: перевооружать производство или создавать новое под новые потребности рынка.

Строительство собственного производства

Собственное производство — предпочтительный вариант в той неопределенности и неустойчивости российского рынка печатных плат и электронных модулей, которая свойственна нынешнему времени.

Положительные стороны создания собственного производства:

- возможность управления собственными ресурсами для минимизации производственных затрат и времени вывода изделий на рынок;
- возможность управления качеством и надежностью изделий применительно к собственным задачам;
- выпуск изделия любыми партиями и в любой очередности;
- оперативное реагирование на изменения рыночной конъюнктуры, быстрая перестройка производства под новые задачи.

Что касается организаций, ведущих разработку новых изделий, то им важно иметь возможность оперативного внесения изменений в конструкторскую документацию при первом изготовлении и наладке изделия. Как правило, любой проект проходит несколько итераций, и размещение заказов на экспериментальные изделия обходится дорого. Если учесть, что на взаимоотношениях между авторами проектируемого изделия и изготовителем существенно сказываются бюрократические рогадки, свойственные России, можно понять, насколько тормозится продвижение проектов на рынок или выполнение госзаказов.

Поэтому разрабатывающие организации испытывают значительные неудобства при размещении заказов на изготовление своих изделий, особенно сигнальных образцов, на стороне: если для подтверждения очередного варианта проекта нужно 2–3 образца платы одного типа, то поставщику приходится оплачивать заказ на групповую заготовку или партию объемом в 50–100 шт. Если учесть, что один проект проходит несколько итераций, то можно понять, что поштучные цены на изготовление печатных плат на стороннем предприятии, в том числе за рубежом, на самом деле оборачиваются серьезными издержками.

Второе обстоятельство — различия в подходах к технологическому обеспечению качества и надежности межсоединений на печатных платах. Известно, что на них приходится примерно 30% отказов. Это обусловлено тем, что для выполнения заказа ответственного назначения никакой сторонний производитель не переделывает технологический и производственный процесс. Как правило, контрактные производители настраивают свое производство на снижение себестоимости продукции, и часто это плохо сказывается на качестве плат. При обнаружении отказа в аппаратуре заказчика по вине изготовителя плат вы не сможете провести мероприятия по устранению причин на производстве, и тем самым не сможете обеспечить нужный уровень надежности аппаратуры.

Третье обстоятельство — фактор взаимоотношений со сторонним изготовителем: соблюдение сроков выполнения заказов. Это особенно важно, когда размещенный на стороне заказ идет на формирование сложного комплекса и несвоевременность поставок от стороннего изготовителя может привести к существенным временным и финансовым издержкам.

Четвертое обстоятельство — наличие госзаказов с соответствующей приемкой. Для вы-

полнения таких заказов необходим контроль выполнения особо важных операций, поэтому на предприятии нужно иметь приемку с делегированными ей функциями в интересах вашего ведомства. Если этого нет, то аттестация готовой платы весьма затруднительна даже при наличии тестирующего оборудования. Кроме того, требуется оборудование для климатических испытаний и дополнительные трудозатраты для проведения приемосдаточных и периодических испытаний для входного контроля. При строгом отношении к качеству плат, изготовленных на стороне в неизвестных условиях, без вашего сопровождения они становятся дороже, а качество — неопределенным.

Еще одной из причин этой тенденции является стремление к сохранению схемных и конструкторских решений в секрете от возможных конкурентов, поскольку некоторые (в частности, китайские) фирмы, выполнив контракт по сборке партии печатных узлов (особенно если он включал в себя еще и контракт по изготовлению плат), вскоре налаживают собственное производство таких же (или несущественно отличающихся) изделий.

Для справедливости нужно оговорить и отрицательные стороны организации собственного производства: большие начальные затраты, трудности в организации производственного процесса, комплектование и обучение персонала, налаживание бесперебойных поставок базовых и расходных материалов, комплектующих, их складирование в надлежащих условиях, входной контроль, оснащение лаборатории для испытаний изделий по общепринятым стандартам. Сторонние изготовители снимают с вас большую часть этих проблем. Однако вы лишаетесь возможности оперативного управления производством собственных изделий и отдаете часть своей прибыли стороннему изготовителю.

Здесь уместно отметить опыт корпорации «Алмаз-Антей» в части размещения заказов на изготовление печатных плат и сборочно-монтажных работ у сторонних изготовителей. После нескольких лет такой работы корпорация организовала свое собственное базовое производство печатных плат (ПП) и сборочно-монтажных работ. В качестве базового предприятия для производства ПП был определен цех ПП ОАО «Рязанский завод «Красное Знамя», входящего в корпорацию, который по своему оснащению и организации производства существенно отставал даже от среднего уровня российских производителей. Для переоснащения производства ПП и разработки технологического проекта была выбрана фирма «Электрон-Сервис-Технология». В течение одного года с момента первого авансового платежа по первой очереди модернизации цех был запущен в эксплуатацию, принят комиссией корпорации «Алмаз-Антей» и в настоящее время уже проводит изготовление МПП по высоким проектным нормам. Одновременно по рекомендации комиссии цех приступил ко второй очереди модернизации производства ПП.

На кого можно рассчитывать при размещении заказов?

В журнале «Производство электроники», № 5 '2005 в подборке «Поставщики печатных плат» многие российские контрактные производители ПП обозначили характеристики своих производств, зачастую завышая свои возможности для привлечения заказчиков. Часть из них выполняют оборонные заказы. Их немного.

ГРПЗ (г. Рязань), ПТК «Печатные платы» — самое передовое в России производство печатных плат с профессиональным штатом технологов. Выполняет очень сложные заказы по высоким ценам, включая СВЧ-платы, гибкие и гибко-жесткие. Свободных производственных мощностей нет.

«ЭЛАРА» (г. Чебоксары) — хорошо вооруженное предприятие (на первом месте по уровню инвестиций и оснащенности). Сроки изготовления заказов, соответствие качества изготовленных ПП вашим требованиям следует проверить.

«Компонент» (г. Зеленоград) — оснащен на основных операциях, особенно совмещения, базирования, экспонирования и сверления, самым современным оборудованием. Ведет дальнейшую модернизацию производства на собственные средства. Свободных производственных мощностей не имеет. Принимает заказы на изготовление плат в порядке очереди и выгоды заказа. Сроки изготовления заказов, соответствие качества изготовленных ПП вашим требованиям следует проверить.

«МАРС» (г. Ульяновск) имеет относительно современное оснащение по уровню 2000 года, квалифицированный персонал, для повышения технического уровня находится в стадии дооснащения. Ряд технических решений может быть не приемлем для отдельных заказчиков.

Завод Электронной Техники (бывший Ижевский мотозавод) находится в стадии модернизации и отработки технологии.

«Измеритель» (г. Смоленск) — серийное производство плат 3 класса. Производственные мощности загружены простой массовой продукцией.

«Ижевский радиозавод» («Фотон») — серийный завод с производством плат 4 класса, производит СВЧ-платы и гибкие, имеет Росособо-ресо-сертификат.

Остальные обозначившие себя поставщики плат — из Юго-Восточной Азии или из Европы. Среди зарубежных предприятий заказы из России принимают только предприятия, ориентированные на ширпотреб с ресурсом изделий на 3–5 лет. Предприятия, работающие на свои оборонные заказы, заказы из России не принимают. Те же, что работают на Россию, имеют низкий уровень надежности в экстремальных условиях внешних воздействий.

В сегодняшней ситуации в России существует дефицит производителей сложных многослойных ПП 4–5 класса точности, особенно многономенклатурных заказов со штучными объемами по каждой позиции.

Если подвести итоги состояния рынка, то напрашивается вывод:

- а) Профессиональные контрактные производители настроены на определенную технологию, дающую максимальную производительность при минимальных затратах. Сроки соблюдаются, уровень качества — «потребительский».
- б) Предприятия, занимающиеся выпуском спецтехники, в первую очередь заняты проблемами собственного производства. Сроки под вопросом (приоритет собственным заказам), качество ПП, изготовленных по заказу, требует входного контроля у заказчика.

Кого выбирать в партнеры?

Если принято решение о создании собственного производства, первым шагом должен стать выбор инжиниринговой фирмы, способной предложить комплексное решение и обеспечить максимальную открытость проекта производства. Если этого нет, у заказчика может возникнуть недоверие к разработчику и исполнителю проекта. Выбирая фирму, заказчик рассчитывает найти профессиональный коллектив, способный гарантировать ему оптимальный вариант комплектации производства под заданные требования, качество оборудования с приемлемой стоимостью, соблюдение сроков поставок и пуска оборудования, обучение персонала и комплексный пуск производства. Хорошо, когда инжиниринговая фирма (исполнитель комплексного проекта производства) проявляет заинтересованность в снижении стоимости комплекта оборудования, уменьшении

стоимости производственных затрат, обеспечении необходимого уровня качества и устойчивости производства, как если бы оно было его собственным.

Очень важным для заказчика при выборе инжиниринговой фирмы являются оценка опыта этой фирмы, ее репутация, запущенные производства и реализованные проекты. И только после проведения анализа всех этих факторов заказчик может с полной уверенностью приступить к модернизации действующего производства или организации нового.

Заключение

Тенденции развития технологий печатных плат заключаются в непрерывном увеличении плотности межсоединений вслед за развитием элементной базы вплоть до слияния микро- и макроэлектроники.

Местоположение российских производителей печатных плат в международном разделении труда — серийное производство высокотехнологичной продукции, недоступной Юго-Восточной Азии по техническому уровню и Западу из-за больших издержек.

Организация собственного производства высокотехнологичных печатных плат требует больших капиталовложений, но оправдывает себя возможностью оперативного управления, выпуском функционально законченных изделий и востребованностью внутреннего рынка электроники.

Привлечение инжиниринговой компании к созданию и реализации комплексного проекта реконструкции производства позволяет избежать большинства характерных для этого процесса ошибок и оптимизировать затраты за счет сбалансированности вооруженности производства по точности и производительности.