

"A look inside a mind without peer."

— Edward Snowden

The Hardware Hacker

ADVENTURES IN MAKING
& BREAKING HARDWARE

MAIN LOGIC BOARD SCHEMATIC

Andrew "bunnie" Huang

Похвала за
Аппаратный хакер

«Аппаратное обеспечение, — говорит Банни, — это мир без секретов: если копнуть достаточно глубоко, даже самый важный ключ будет выражен в кремнии или предохранителях. Bunnie's — это мир без загадок, только неизведанные просторы. Это взгляд внутрь разума, которому нет равных».

— ЭкарликSnowdEn

«Проявление силы, сочетающее в себе множество гениальных карьер одного из величайших хакеров-коммуникаторов мира: практическое, теоретическое, философское и часто умопомрачительное».

— СоридоКторов, автор *Лето Лебдругой* технологии
АКТИВИСТ

«Банни живет в мире аппаратного обеспечения, где припой встречается с печатной платой. У него больше практического опыта, и он лучше всех объясняет, как работает экосистема аппаратного обеспечения, чем любой другой человек, которого я когда-либо встречал, и я знаю много людей в этой области. Он воплотил свой опыт и знания в удивительную книгу — библию с хакерской точки зрения для всех, кто пытается работать или понимать и работать в развивающемся и развивающемся мире аппаратного обеспечения».

— Джойяк, ДИРЕКТОР, Мит МэдияЛаб

«Bunnie — это лучший путеводитель по аппаратному взлому в его нынешнем виде, с акцентом на возвышенное искусство того, как обстоят дела». Действительно сделал. Аппаратный хакер от правит вас в путешествие по фабрикам мира, охватывая как технические, так и этические аспекты «вещей», которые мы производим и покупаем».

— LiMog «ледиада» ЖКИЭд, ЖОУЭР& EnginEEr, адафрут
ЯндуСтриес

«Интересно, как появляются устройства в нашей повседневной жизни? Хотите изготовить свой собственный проект? В этой хорошо написанной книге Банни описывает все тонкости производственного процесса в Китае. Очень увлекательное и познавательное чтение».

— MzudaltMan, изобретатель TB-BGодин ®

«Аппаратный хакер по своей сути это учебник для понимания культуры производства чего-либо в Китае, того, как создавать тысячи вещей и почему открытое оборудование работает».

— Чсегодня

The

Аппаратное обеспечение

Хакер

Приключения в создании
и поломка оборудования

Эндрю «банни» Хуанг



Аппаратный хакер. Авторские права © 2017 Эндрю «Банни» Хуанг.

Все права защищены. Никакая часть этой работы не может быть воспроизведена или передана в любой форме и любыми средствами, электронными или механическими, включая фотокопирование, запись или с помощью любой системы хранения или поиска информации, без предварительного письменного разрешения владельца авторских прав и издателя.

20 19 18 17 1 2 3 4 5 6 7 8 9

ISBN-10: 1-59327-758-X

ISBN-13: 978-1-59327-758-1

Издатель: Уильям Поллок Редактор
производства: Элисон Лоу

Дизайн обложки и обложки: Hotiron Креативный дизайн
интерьера: бет Миддлворт Редактор отдела разработки:
Дженнифер Гриффит-Дельгадо

Редактор: Рэйчел Монахэн
Композитор: Элисон Лоу

Корректор: Эмели Бернетт
Индексатор: BIM Creatives, LLC.

Изображения на следующих страницах воспроизводятся с разрешения: страницы 58–59 © Дэвид Кранор; стр. 124 © m ss ng p eces; страницы 216, 227–228 © Скотт Торбогр; стр. 248 © Иоахим Стрёмбергсон; страницы 253 (внизу) и 254–255 © Цзе Ци; стр. 256 (вверху) © Chibitronics; стр. 310 © Надя Пик; стр. 326 (вверху) от Евы Юс и др., «Влияние редакции генома на бактериальный метаболизм и его регуляцию», *Найка* 326, нет. 5957 (2009), перепечатано с разрешения AAAS; стр. 349 © Сакурамбо, используется в соответствии с CC BY-SA 3.0.

Интервью на следующих страницах были первоначально опубликованы в Интернете и воспроизводятся с разрешения: страницы 190–204, первоначально опубликованные как «Эксклюзивное интервью MAKE с Эндрю (кроликом) Хуангом – Конец Чамби, Нью-Филиппа Торроне в *делать*» (30 апреля 2012 г.), <http://makezine.com/2012/04/30/make-exclusive-interview-with-andrew-bunnie-huang-the-end-of-chumby-new-adventures/>; страницы 357–372, первоначально опубликовано на китайском языке как «Эндрю «кролик» Хуанг».:开源硬件、创客与硬件黑客”在 *Китайская сеть разработчиков программного обеспечения*(3 июля 2013 г.), <http://www.csdn.net/article/2013-07-03/2816095>; страницы 372–382, первоначально опубликованные как «The Blueprint Talks to Эндрю Хуанг» в *План*(15 мая 2014 г.), <https://theblueprint.com/stories/andrew-huang>.

Для получения информации о распространении, переводах или оптовых продажах обращайтесь напрямую в No Starch Press, Inc.:

No Starch Press, Inc.
245 8-я улица, Сан-Франциско, Калифорния 94103
телефон: 1.415.863.9900; info@nostarch.com ; www.nostarch.com

Данные каталогизации публикаций Библиотеки Конгресса

Имена: Хуанг, Эндрю, автор.
Название: Аппаратный хакер: приключения в создании и взломе железа /
Эндрю «Банни» Хуанг.
Описание: 1-е изд. | Сан-Франциско: No Starch Press, Inc., [2017] Идентификаторы:
LCCN 2016038846 (печать) | LCCN 2016049285 (электронная книга) | ISBN
9781593277581 (пбк.) | ISBN 159327758X (пбк.) | ISBN 9781593278137 (в формате epub) | ISBN
1593278136 (в формате epub) | ISBN 9781593278144 (мобильный) | ISBN 1593278144 (мобильный)

Предметы: LCSH: Электронное оборудование и приборы. Проектирование и констру�ция.
| Электронные приборы и приборы. Технологические инновации. | Компьютерное
оборудование ввода-вывода. Проектирование и изготовление. | Обратный
инжиниринг. | Электронная промышленность. | Хуанг, Эндрю.
Классификация: LCC TK7836 .H83 2017 (печать) | LCC TK7836 (электронная книга) | ДДК
621.381092--dc23
Запись LC доступна по адресу <https://lccn.loc.gov/2016038846>.

No Starch Press и логотип No Starch Press являются зарегистрированными торговыми марками No Starch Press, Inc. Другие названия продуктов и компаний, упомянутые здесь, могут быть торговыми марками соответствующих владельцев. Вместо того, чтобы использовать символ товарного знака при каждом появлении имени, являющегося товарным знаком, мы используем названия только в редакционных целях и в интересах владельца товарного знака, без намерения нарушить права на товарный знак.

Информация в этой книге распространяется на условиях «как есть», без каких-либо гарантий. Несмотря на то, что при подготовке данной работы были приняты все меры предосторожности, ни автор, ни No Starch Press, Inc. не несут никакой ответственности перед каким-либо физическим или юридическим лицом в отношении любых убытков или ущерба, причиненных или предположительно причиненных прямо или косвенно информацией, содержащейся в нем.

Всем замечательным, терпеливым и отзывчивым людям
кто поддержал этого эксцентричного хакера

БЛАГОДАРНОСТИ

Спасибо всему трудолюбивому персоналу No Starch Press за создание этой книги. В частности, спасибо Биллу Поллоку за идею и спонсорство этой работы, а также спасибо Дженифер Гриффит-Дельгадо за компиляцию, редактирование и оформление моих текстов в форме этой книги.

краткое содержание

предисловие.....	xvii
часть 1	
приключения на производстве.....	1
Глава 1. Сделано в Китае.....	7
глава 2. внутри трёх очень разных заводов.....	43
глава 3. Заводской цех.....	73
часть 2	
думаю по-другому:	
интеллектуальная собственность в Китае	115
Глава 4. Инновации гонкой.....	119
глава 5. Поддельный товар.....	143
часть 3	
что для меня значит открытое аппаратное обеспечение	175
Глава 6. История Чамби.....	181
Глава 7. Новена: собираю свой собственный ноутбук.....	215
глава 8. Чибитроника: создание схем наклеек.....	251

часть 4

Взгляд хакера.....	275
глава 9. Аппаратный взлом.....	279
глава 10. биология и биоинформатика	325
глава 11. избранные интервью.....	357
 эпилог.....	 383
 индекс.....	 384

содержание в деталях

предисловие

XVII

часть 1

приключения на производстве

1

1. сделано в Китае

7

Настоящая барахолка электронных компонентов	8
Следующая технологическая революция.....	14
Экскурсия по фабрикам с Чамби.....	16
Масштаб в Шэньчжэне.....	17
Кормление фабрики.....	18
Приверженность качеству	20
Технология строительства без ее использования.....	23
Квалифицированные рабочие	24
Потребность в ремесленниках.....	26
Автоматизация сборки электроники	29
Точность, литье под давлением и терпение	31
Проблема качества.....	34
Заключительные мысли.....	42

2. внутри трёх очень разных заводов

43

Где рождаются Arduino.....	44
Начинаем с медного листа.....	46
Нанесение рисунка печатной платы на медь.....	49
Травление печатных плат.....	51
Нанесение паяльной маски и шелкографии.....	53
Тестирование и доводка плат.....	54

Где рождаются USB-накопители.....	57
Начало USB-накопителя.....	57
Ручное размещение микросхем на печатной плате.....	59
Крепление микросхемы к печатной плате.....	61
Пристальный взгляд на платы USB-накопителей.....	61
Сказка о двух молниях.....	64
Полностью автоматизированный процесс	67
Полуавтоматизированный процесс.....	68
Ирония дефицита и спроса.....	70
3. заводской цех	73
Как составить спецификацию.....	74
Простая спецификация для велосипедного защитного фонаря	74
Одобренные производители	76
Допуск, состав и характеристики напряжения	76
Форм-фактор электронных компонентов.....	77
Расширенные номера деталей	78
Еще раз о спецификации велосипедных фонарей.....	79
Планирование изменений и реагирование на них.....	82
Оптимизация процессов: проектирование для производства.....	84
Почему ДФМ?.....	85
Допуски, которые следует учитывать.....	86
Использование DFM помогает увеличить прибыль.....	88
Продукт, стоящий за вашим продуктом	91
Тестирование против валидации.....	97
Поиск баланса в промышленном дизайне	100
Отделка и отделка «пухлого»	101
Шелкография Arduino Uno	104
Мой процесс проектирования	105
Выбор (и удержание) партнера.....	107
Советы по установлению отношений с фабрикой.....	107
Советы по котировкам	108
Разные советы	111
Заключительные мысли.....	113

часть 2**думаю по-другому:**интеллектуальная собственность в китае **115****4. инновации гонкай** **119**

Я разбил экран своего телефона, и это было круто.....	120
Шаньчжай как предприниматели.....	121
Кто такие Шаньчжай?	122
Больше, чем подражатели	123
Правила интеллектуальной собственности, применяемые сообществом	124
Телефон за 12 долларов	126
Внутри телефона за 12 долларов	128
Знакомство с Гонкаем.....	131
От Гонгкая к открытому исходному коду	134
У инженеров тоже есть права.....	135
Заключительные мысли.....	141

5. поддельный товар **143**

Хорошо изготовленные поддельные чипы.....	143
Поддельные чипы в военной технике США.....	149
Виды контрафактных запчастей.....	150
Подделки и военные разработки США.....	153
Меры борьбы с контрафактной продукцией	154
Поддельные карты MicroSD.....	156
Видимые различия.....	157
Исследование карт.....	158
Были ли карты MicroSD подлинными?.....	159
Дальнейшее судебное расследование.....	160
Сбор данных.....	162
Подведение итогов моих выводов.....	166
Поддельные ПЛИС.....	168
Проблема с белым экраном.....	168
Неправильные идентификационные коды	170
Решение.....	172
Заключительные мысли.....	174

часть 3	
что для меня значит открытое оборудование	175
6. история Чамби	181
Платформа, дружественная к хакерам	182
Эволюционирующий чумби.....	184
Более уязвимое для взлома устройство	186
Аппаратное обеспечение без секретов.....	187
Конец Чамби, новые приключения.....	189
Почему лучшие дни открытого аппаратного обеспечения еще впереди.....	205
Откуда мы пришли: от открытого к закрытому.....	206
Где мы находимся: «сидеть и ждать» против «инноваций»	208
Куда мы идем: легендарные ноутбуки	210
Возможность открытого оборудования	211
Заключительные мысли.....	214
7. Новена: собираю свой собственный ноутбук	215
Ноутбук не для слабонервных.....	217
Проектирование ранней новене.....	219
Под капотом.....	219
Корпус.....	224
Изготовленный по индивидуальному заказу деревянный композит для ноутбука Heirloom	227
Выращивание новен	228
Детали машиностроения.....	229
Изменения в готовом продукте.....	232
Проблемы изготовления корпусов и литья под давлением	233
Изменения передней панели	237
Динамики своими руками.....	238
Материнская плата PVT2.....	238
Обзорная доска для начинающих.....	241
Плата пропускания питания Novena для настольных ПК.....	242
Проблемы с нестандартным аккумуляторным блоком.....	243
Выбор жесткого диска.....	244
Завершение прошивки.....	246
Создание сообщества.....	247
Заключительные мысли.....	249

8. Чибитроника: создание схем наклеек 251

Изготовление с помощью схем	257
Разработка нового процесса.....	259
Посещение фабрики.....	260
Выполнение теста возможностей процесса.....	261
Выполнение обещания.....	264
Почему важна своевременная доставка.....	266
Уроки выучены	266
Не все простые запросы просты для всех.....	267
Никогда не пропускайте контрольную диаграмму.....	268
Если компонент можно разместить неправильно, так и будет.....	268
Некоторые концепции плохо переводятся на китайский язык	270
Устранение единичных точек отказа.....	271
Некоторые изменения, внесенные в последнюю минуту, того стоят	271
Китайский Новый год влияет на цепочку поставок.....	272
Доставка дорогая и трудная.....	273
Вы не выйдете из леса, пока не отправите товар.....	274
Заключительные мысли.....	274

часть 4 взгляд хакера 275

9. Аппаратный взлом 279

Взлом PIC18F1320.....	281
Демонтаж микросхемы	282
Присмотримся повнимательнее.....	283
Очистка флэш-памяти.....	284
Стирание битов безопасности.....	285
Защита других данных.....	287
Взлом SD-карт	289
Как работают SD-карты.....	290
Реверс-инжиниринг микроконтроллера карты.....	293
Потенциальные проблемы безопасности	298
Ресурс для любителей.....	298
Взлом ссылок, защищенных с помощью HDCP, для создания пользовательских наложений	298
Предыстория и контекст.....	300
Как работало NeTV.....	302

Взлом телефона Шаньчжай	306
Архитектура системы	306
Реверс-инжиниринг структуры загрузки.....	311
Создание плацдарма	315
Подключение отладчика.....	317
Загрузка ОС.....	321
Создание новой цепочки инструментов.....	321
Результаты Фернвейла.....	323
Заключительные мысли.....	324
10. биология и биоинформатика	325
Сравнение H1N1 с компьютерным вирусом	327
ДНК и РНК как биты.....	328
Организмы имеют уникальные порты доступа.....	330
Взлом свиного гриппа.....	331
Адаптируемый грипп	333
Серебряная подкладка.....	335
Реверс-инжиниринг супербагов	335
Последовательность ДНК О104:H4.....	336
Реверсивные инструменты для биологии.....	338
Ответы на биологические вопросы с помощью сценариев оболочки UNIX.....	340
Больше вопросов, чем ответов	342
Разрушение мифов о персонализированной геномике	344
Миф: Чтение вашего генома похоже на шестнадцатеричный сброс ПЗУ вашего компьютера.....	344
Миф: мы знаем, какие мутации предсказывают болезнь	345
Миф: эталонный геном является точным эталоном	345
Исправление генома	346
CRISPR в бактериях.....	347
Определение места вырезания гена.....	350
Последствия для инженеров.....	351
Взлом эволюции с помощью генного драйва.....	352
Заключительные мысли.....	354

11. избранные интервью	357
Эндрю «bunnie» Хуанг: аппаратный хакер (CSDN)	357
Об открытом оборудовании и движении производителей	358
Об аппаратных хакерах	367
Беседа о проекте с Эндрю Хуангом	372
ЭПИЛОГ	383
индекс	384

предисловие

Когда Билл Поллок, основатель No Starch Press, впервые обратился ко мне с идеей опубликовать сборник моих сочинений, я был настроен скептически. Я не думал, что материала хватит на сотню страниц. Кажется, я ошибся.

Моя мама часто говорила: «Неважно, что у тебя в голове, если ты не можешь рассказать людям, что в ней», и когда я учился в седьмом классе, она записала меня на внеклассные курсы по написанию эссе. В то время я ненавидел этот урок, но, оглядываясь назад, я благодарен. Начиная с эссе для поступления в колледж и по сей день, я обнаружил, что способность организовывать свои мысли в прозу неоценима.

Большая часть материалов этой книги изначально была опубликована в моем блоге, но, как вы вскоре увидите, эти сообщения не были пустышками, написанными для увеличения доходов от рекламы. Одна из причин, по которой я пишу, — это укрепить собственное понимание сложных предметов. Легко поверить, что вы понимаете тему, пока не попытаетесь подробно объяснить ее кому-то другому. Письмо — это то, как я превращаю свою интуицию в структурированные знания; Я пишу только тогда, когда нахожу что-то интересное, о чем можно написать, а затем публикую это с лицензией CC BY-SA, чтобы побудить других поделиться этим.

Эта книга включает в себя подборку моих работ о производстве, интеллектуальной собственности (с акцентом на сравнении западных и китайских точек зрения), открытом аппаратном обеспечении, реверс-инжиниринге, биологии и биоинформатике. Хорошие редакторы No Starch Press также курировали несколько интервью, которые я дал в прошлом, которые были особенно информативными и проницательными. Общей нитью во всех этих разнообразных темах является аппаратное обеспечение: как оно производится, правовые рамки вокруг него и как его не производят. И да, биологические системы являются аппаратными.

Я всегда тяготел к аппаратному обеспечению, потому что, хотя я не особенно одарен, когда дело касается абстрактного мышления (отсюда и необходимость писать, чтобы систематизировать свои мысли), я довольно хорошо владею руками. У меня гораздо больше шансов понять то, что я вижу своими глазами.

Все мое понимание мира всегда строилось на серии простых физических опытов, начиная с того момента, когда я в детстве складывал кубики и опрокидывал их. В этой книге я поделился некоторыми из моих недавних событий. Я надеюсь, что, прочитав их, вы получите более глубокое понимание мира аппаратного обеспечения, без необходимости тратить десятилетия на то, чтобы складывать блоки и опрокидывать их.

Приятного взлома,

— 6.

Часть 1

приключения в производство

Впервые я ступил в Китай в ноябре 2006 года. Я понятия не имел, во что иду. Когда я сказал матери, что собираюсь посетить Шэньчжэнь, она воскликнула: «Зачем ты туда собираешься? Это просто рыбацкая деревня!» Она не ошиблась: в 1980 году Шэньчжэнь был всего лишь городом с населением 300 000 человек, но менее чем за 30 лет он превратился в мегаполис с населением 10 миллионов человек. Между моим первым визитом и моментом написания этой книги в Шэньчжэне проживало около 4 миллионов человек — больше, чем население Лос-Анджелеса.

В некотором смысле, мое понимание производства на протяжении многих лет отражало рост Шэньчжэня. До поездки в Китай я никогда не занимался массовым производством. Я ничего не знал о цепочках поставок. Я понятия не имел, что означают «операции и логистика». Для меня это звучало как что-то из учебника по математике или программированию.

Тем не менее, Стив Томлин, мой тогдашний начальник, поручил мне выяснить, как построить цепочку поставок, подходящую для нашего стартапа по производству оборудования Chumby. Отправка новичка в Китай была большим риском, но отсутствие у меня предвзятых мнений было скорее преимуществом, чем недостатком. Тогда венчурные капиталисты избегали

2 часть 1

оборудование, а Китай был предназначен только для солидных компаний, стремящихся производить сотни тысяч единиц данного продукта. Моя первая серия туров по Китаю, безусловно, подтвердила это мнение, поскольку я в основном посещал мегафабрики, обслуживающие Удачу 500.

Чамби посчастливилось попасть под крыло PCH International в качестве первого клиента-стартапа. В PCH меня обучали одни из лучших инженеров и специалистов по цепочкам поставок. Мне также повезло, что мне разрешили поделиться своим опытом в моем блоге, поскольку Chumby был одним из первых в мире стартапов с открытым аппаратным обеспечением.

Хотя соблюдение минимальных объемов заказов у наших традиционных партнеров-производителей было постоянной проблемой, я продолжал замечать мелочи, которые не согласовывались с общепринятыми представлениями. Каким-то образом местные китайские компании смогли использовать технологии в эксклюзивных продуктах. Так называемые шаньчжай интегрировали сотовые телефоны во всевозможные причудливые формы, от зажигалок до декоративных золотых статуйток Будды (подробнее об этом в главе 4). Нишевый характер этих продуктов означал, что они должны быть экономичными, чтобы производить их в меньших объемах. Я также заметил, что каким-то образом заводы смогли быстро производить индивидуальные схемы адаптеров и испытательное оборудование удивительно высокого качества в единичных объемах. Я чувствовал, что в экосистеме есть что-то большее — история, которую рассказывают снова и снова, — но мало у кого было время слушать, а те, кто слышал, слышали только то, что хотели услышать.

Финансовый кризис 2008 года изменил все. Рынок бытовой электроники был раздавлен, а фабрики, которые когда-то были слишком заняты печатанием денег, теперь имели избыточные мощности. Я завел друзей на нескольких средних заводах в этом районе. Я начал задаваться вопросом, как именно эти заводы смогли так быстро производить свое внутреннее испытательное оборудование и как Шаньчжай мог создавать прототипы и производить такие телефоны на заказ.

Начальники и инженеры поначалу были сдержаны не потому, что хотели скрыть от меня потенциальные конкурентные преимущества, а потому, что им было стыдно за свою практику. Иностранные клиенты были заняты корпоративными процессами, документацией и процедурами обеспечения качества, но они также дорого платили за такие накладные расходы. Местные компании были гораздо более неформальными и прагматичными. А что, если на контейнере написано «лом»? Если биты внутри подходят для работы, используйте их!

Я хотел принять участие. Как инженер, мастер и хакер, я очень заботился о стоимости производства нескольких устройств, и пара мелких дефектов сборки были ничем по сравнению с проблемами проектирования, которые мне приходилось отлаживать. В конце концов мне удалось уговорить фабрику позволить мне изготовить деталь, используя низкокачественный, но сверхдешевый процесс сборки.

Хитрость заключалась в том, чтобы гарантировать, что я заплачу за весь товар, включая дефектные. Большинство клиентов отказываются платить за несовершенный товар, вынуждая фабрику брать на себя стоимость любой детали, которая не соответствует спецификации. Таким образом, фабрики всячески отговаривают клиентов от использования более дешевых, но некачественных процессов.

Конечно, мое обещание заплатить за дефектную продукцию означало, что у фабрики не было стимула выполнять свою работу хорошо. Теоретически он мог просто передать мне коробку с металлом, и мне все равно пришлось бы за это заплатить. Но на самом деле ни у кого не было таких злых намерений; пока все просто старались изо всех сил, примерно в 80 процентах случаев они добивались успеха. Поскольку в затратах на мелкосерийное производство преобладают настройка и сборка, моя прибыль все равно была выше, несмотря на то, что я выбросил 20 процентов деталей, и я получил детали всего за пару дней вместо пары недель.

Возможность сравнивать стоимость, график и качество друг с другом меняет все. Я поставил перед собой задачу найти больше альтернативных методов производства и продолжать сокращать

4часть 1

путь между идеями и продуктами, с еще большим количеством вариантов в диапазоне затрат, графика и качества.

После Чамби я решил остаться безработным, отчасти для того, чтобы дать себе время для открытий. Например, каждый январь вместо того, чтобы ездить на бешеную выставку потребительской электроники (CES) в Лас-Вегасе, я снимал дешевую квартиру в Шэньчжэне и занимался «монашеским изучением производства»; по цене одной ночи в Лас-Вегасе я прожил месяц в Шэньчжэне. Я сознательно выбрал районы, где не говорят по-английски, и заставил себя выучить язык и обычай, чтобы выжить. (Хотя я по национальности китаец, мои родители отдавали предпочтение беглому владению английским языком без акцента, а не изучению китайского.) Я бродил по ночам по улицам и наблюдал за переулками, пытаясь понять все странные и чудесные вещи, которые я видел, происходящие во время дневное время. Бизнес в Шэньчжэне продолжается до раннего утра, но гораздо медленнее. Ночью я мог разглядеть одиноких агентов, преследующих свои интересы и намерения.

Если и чему меня научили эти исследования, так это тому, что мне еще многому предстоит научиться. Экосистема дельты Жемчужной реки непостижимо обширна. Как и в случае с Гранд-Каньоном, простое прохождение одной тропы от края до основания не означает, что вы видели все. Однако я накопил достаточно знаний, чтобы создать индивидуальный ноутбук и разработать новый процесс изготовления электронных схем с отрывом и приклеиванием.

В этой части книги вы проследите за моим путешествием по изучению экосистемы Шэньчжэня на протяжении многих лет с помощью ремиксов сообщений в блогах, которые я писал попутно. Некоторые из эссе представляют собой размышления об отдельных аспектах китайской культуры; другие представляют собой тематические исследования конкретных производственных практик. Я завершаю главой под названием «Заводской цех» — набором кратких рекомендаций для всех, кто рассматривает возможность аутсорсингового производства. Если вы спешите, вы можете пропустить всю предысторию и пойти прямо туда.

Однако ретроспективный взгляд — 20/20. Пройдя путь, легко указать короткие пути и опасности на этом пути; еще легче забыть все неверные повороты и неверные предположения. Не существует универсального подхода к Китаю, и я надеюсь, что, прочитав эти истории, вы сможете прийти к своим собственным (возможно, различным) выводам, которые лучше удовлетворят ваши уникальные потребности.

1. сделано в Китае

Перед моим первым визитом в Китай я был убежден, что Акихабара в Токио — это место, где можно купить новейшую электронику, безделушки и компоненты. Ситуация изменилась в январе 2007 года, когда я впервые увидел рынок электроники SEG в Шэньчжэне. SEG — это восемь этажей всех компонентов, которые только могут понадобиться любителю аппаратного обеспечения, и только позже я узнал, что это лишь верхушка айсберга района электроники Хуа Цян.

Будучи в то время ведущим инженером по аппаратному обеспечению в Chumby, я был в Китае вместе с тогдашним генеральным директором Стивом Томлином, чтобы выяснить, как сделать chumby (устройство доставки контента с открытым исходным кодом и поддержкой Wi-Fi) дешево и вовремя. С такими ценами, как у SEG, мы определенно оказались в той стране, где можно было бы добиться успеха хотя бы первой части этой миссии.



Рынок электроники SEG в Шэньчжэне, новая Мекка электроники.

Акихабара, съешь свое сердце!

ЛУЧШИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПОНЕНТ БОЛОШИННЫЙ РЫНОК

Когда я впервые вошел в здание SEG, на меня напал вихрь электронных компонентов: ленты и катушки с резисторами и конденсаторами, микросхемы всех типов, катушки индуктивности, реле, контрольные точки для пого-контактов, вольтметры и лотки с микросхемами памяти. Будучи новичком в сфере массового производства, я был потрясен всем, что видел на SEG.

Все эти детали были забиты в крохотные кабинки размером шесть на три фута, в каждой из которых хранитель магазина тыкал в ноутбук. Некоторые лавочники играли *Идти*, и некоторые посчитанные части. Некоторые киоски представляли собой настоящие семейные магазины: матери присматривали за младенцами, а дети играли в проходах.



Пара семейных магазинов комплектующих

Другие кабины представляли собой профессиональные стенды с персоналом в форме и работали как бар, укомплектованный табуретами, для электронных компонентов.



Шикарный профессиональный продавец запчастей

Никто в SEG не говорит: «О, вы можете получить 10 таких светодиодов или пару таких реле», как вы можете услышать в Акихабаре. Нет нет. Эти киоски специализируются, и если вы видите понравившийся компонент, вы обычно можете купить несколько тюбиков, лотков или катушек с ним; вы можете получить достаточно, чтобы начать производство на следующий день.

Осматривая рынок, я увидел женщину, сортирующую стопки карт mini-SD емкостью 1 ГБ, словно фишку для покера. Мужчина раскладывал врозничные упаковки планки памяти Kingston емкостью 1 ГБ, а рядом с ним девушка пересчитывала резисторы.



Нижний левый угол этого дисплея был забит всевозможными SD-картами.

На другом стенде были представлены блоки питания, вариаторы, аккумуляторы и программаторы ПЗУ, а на еще одном были представлены всевозможные чипы: Atmel, Intel, Broadcom, Samsung, Yamaha, Sony, AMD, Fujitsu и другие. Некоторые чипы были явно вырваны из бывшего в употреблении оборудования и помечены, некоторые из них были в совершенно новой оригинальной упаковке с лазерной маркировкой.



Огромное количество чипов, продававшихся на одном стенде SEG, было невероятным.

Я видел чипы, которые никогда не смог бы купить в США, катушки редких керамических конденсаторов, о которых я мог только мечтать по ночам. Мои чувства покалывали; у меня закружилась голова. Я не мог сдержать улыбку предвкушения, когда зашел за следующий угол и увидел магазины, заставленные от пола до потолка примерно 100 миллионами резисторов и конденсаторов.



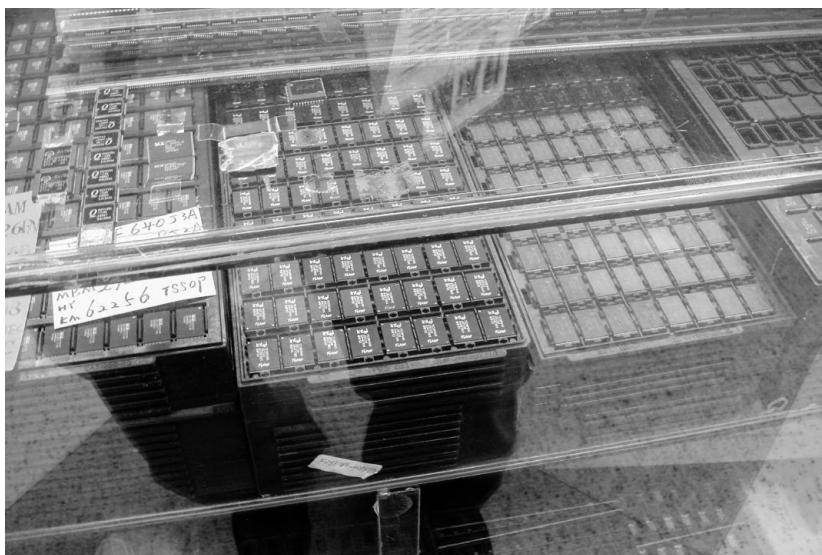
Катушки и катушки компонентов на каждой витрине магазина.

Элементы камеры Sony CCD и CMOS! Я не смог бы купить их в Соединенных Штатах, если бы вырвал зубы торговым представителям. (У некоторых продавцов даже есть технические описания за прилавком; всегда спрашивайте.) Затем я заметил стопку микросхем регуляторов Micrel, а затем выставленный на продажу чип Blackfin DSP. Рядом женщина насчитала чипы DRAM емкостью 256 МБ — лотки из 108 компонентов, сложенных по 20 в высоту, примерно в 10 рядов.



Эквивалент всего запаса микросхем DRAM компании Digi-Key лежал прямо передо мной!

А напротив нее было еще полдюжины маленьких магазинчиков, заполненных такими же чипами, как и у нее. В одном магазине мужчина гордо стоял над лотком с флэш-чипами NAND емкостью 4 ГБ. Все это можно было получить за небольшой торг, немного денег и поспешное прощание.



Пристальный взгляд на лоток с флэш-чипами емкостью 4 ГБ.

И это только первые два этажа SEG. Есть еще шесть этажей компьютерных компонентов, систем, ноутбуков, материнских плат, цифровых камер, камер видеонаблюдения, флэш-накопителей, мышей, видеокамер, высокопроизводительных видеокарт, плоских дисплеев, измельчителей, ламп, проекторов — всего что угодно. По выходным вокруг слоняются «красотки из стенда», одетые в возмутительные блестящие боди с логотипом Acer, пытаясь заманить вас купить их товары. Этот рынок обладает всей энергией круглогодичной выставки CES и Computex, за исключением того, что вместо того, чтобы просто демонстрировать новейшие технологии, цель состоит в том, чтобы заманить вас в эти киоски и купить это оборудование. Выставки всегда напоминают стриптиз: ваше дыхание создает призрачные кольца на стекле, когда вы парите над недоступными товарами под ним.

Но SEG – это не стриптиз. Это оргия закупок бытовой и промышленной электроники, где вы можете заполучить своими грязными лапами каждую единицу оборудования за достаточное количество денег. *Куай** из вашего кошелька. Между запахом, суетой и суетой SEG представляет собой настоящую барахолку электронных компонентов. Это как если бы Digi-Key сошла с ума и впустила обезьян на свой склад в Миннесоте, и возникший в результате хаос вылился на блошиный рынок в Китае.

Конечно, многие детали, которыми я восхищался в 2007 году, сейчас являются антиквариатом. Например, флэш-чипы на 4 ГБ — это хлам, а флэш-диски на 1 ГБ — это старая новость. Однако в то время эти вещи имели большое значение, и SEG по-прежнему остается лучшим местом для массового приобретения новейших технологий.

СЛЕДУЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

В трех кварталах от SEG находился книжный магазин Шэнъчжэня. † Первый и самой заметной стойкой был отдел иностранных книг, заполненный классикой, например, книгой профессора Стэнфордского университета Томаса Ли.

Конструкция интегрированного радиочастотного преобразователя КМОП

* Разговорное слово *юань*, базовая единица счета для *юань* (*RMB*), валюта Китая. † Этот книжный магазин закрылся после визита, который я здесь описывал.

Схемы несколько названий профессора Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе Бехзада Разави. Я взял книгу Ли, и она стоила 68 куай, или 8,50 долларов США. Святая корова! Книга Джина Ау Конга об уравнениях Максвелла? 5 долларов. Джин Ау Конгучилмне уравнения Максвелла в Массачусетском технологическом институте.

Я пошел кутить, набивая сумку шестью или семью книгами, вероятно, на сумму около 700 долларов, если бы я купил их в Соединенных Штатах. На кассе я купил их менее чем за 35 долларов вместе с дополнительными компакт-дисками, сэкономив около 665 долларов. Это эквивалентно покупке билета эконом-класса в Гонконг!

В Китае знания стоят дешево. Компоненты дешевые. Знания, содержащиеся в книгах в Шэньчжэньском книжном магазине, были настоящей сделкой, детали для использования этих знаний находятся на улице в SEG, а в часе езды на север, вероятно, есть 200 фабрик, которые могут взять на вооружение любую идею в области электроники и буквально реализовать ее. лодка загружена. Это не отсталые заводы. Своими глазами я видел, как там создавались и тестировались одномодовые оптоволоконные трансиверы большой протяженности с длиной волны 1550 нм. Шэньчжэнь – это благодатная почва, и чтобы понять это, нужно это увидеть.

Шэньчжэнь напоминает своп-фесты в Кремниевой долине еще в 80-х годах, когда все крупные компании только начинали свою деятельность, за исключением 25-летнего прогресса в законе Мура и скорости потока информации через Интернет. В этом городе с населением 12 миллионов человек большинство из них заняты в сфере технологий или производства, многие изучают английский язык, и все они готовы много работать.

Где-то там должны быть Джобс и Возняк, тихо строящие следующую революцию. Но я тоже часть Шэньчжэня и до сих пор дрожу от ужаса и волнения при мысли о том, что стану частью этой революции. Это моя история, начинающаяся с той поучительной поездки в Шэньчжэнь на Чамби.

ТУРИЗМ ПО ЗАВОДАМ С CHUMBY

В сентябре 2006 года Chumby представляла собой всего лишь команду из примерно полдюжины человек, и мы только что раздали около 200 ранних прототипов устройств Chumby на конференции FOO Camp, организованной Тимом О'Рейли. Устройства были хорошо приняты участниками FOO Camp, поэтому я получил добро на построение цепочки поставок в Азии.

В ноябре мы со Стивом поехали в Китай, чтобы посетить потенциальные фабрики, но перед отъездом у нас был проверенный поставщик в Соединенных Штатах, который предложил лучшую цену за работу в качестве отправной точки для переговоров с китайскими производителями. Затем мы позвонили множеству друзей, имеющих опыт работы в Китае, и организовали около шести туров по фабрике. Мы работаем в самых разных местах: от специализированных заводов с персоналом всего в 500 человек до мегафабрик с количеством сотрудников более 40 000 человек.

Ничто не заменит поездку в Китай для осмотра фабрики. Фотографии могут рассказать только историю, созданную фотографом, и вы не сможете получить представление о масштабе и качестве объекта, не увидев его воочию. В общем, фабрики приглашают вас на экскурсию, и я бы не стал работать с той, которую мне не разрешили посетить. Тем не менее, большинство фабрик ценят уведомление за неделю, хотя по мере развития ваших отношений с ними все должно стать более открытым и прозрачным.

Говоря об открытости, открытый исходный код Chumby очень помог процессу выбора завода. Во-первых, мы не боялись, что кто-то украдет наш дизайн (мы уже раздавали его), поэтому мы устранили противоречия NDA (соглашения о неразглашении) при обмене важной информацией, такой как спецификация материалов. Я думаю, что это обеспечило нам лучший прием на заводах в Китае; они казались более готовыми открыться нам, потому что мы были готовы открыться им. Во-вторых, ни у одного завода не было сомнений в том, что это конкурентная ситуация. Любой может и будет предлагать цену за нашу работу

(на самом деле, мы получили несколько незапрошенных предложений, которые были вполне конкурентоспособными), так что это избавило нас от раздражения и пытания.

Рассмотрев несколько вариантов производства, мы со Стивом в конце концов решили работать с компанией PCH China Solutions. Сама PCH владеет лишь несколькими предприятиями, но имеет обширную сеть надежных и проверенных поставщиков, в первую очередь в Китае, а также в Европе и США. Неудивительно, что фабрики, с которыми PCH заключила субподряд, оказались одними из лучших предприятий, которые мы посетили в Китае. На самом деле штаб-квартира PCH находится за пределами Ирландии — поэтому большинство их штатных инженеров — ирландцы, поэтому для нас не было языкового барьера. (Инженеры PCH также трудолюбивы, находчивы и хорошо обучены — и, в качестве бонуса, они, кажется, всегда знают, где лучше всего найти пинту пива, где бы они ни находились. Я понятия не имел, что в Китае так много кранов Guinness!)

Когда вы посещаете хотя бы один завод, не говоря уже о полдюжине, можно многое узнать, и легко запутаться и потеряться в капризах производства электроники. Но были некоторые ключевые детали, которые мне показались наиболее интересными во время экскурсий по фабрике Чамби и работы с PCH над воплощением Чамби в жизнь.

весы в Шэньчжэне

Одна потрясающая вещь в работе в Китае — это масштаб этого места. Я не был на автомобильном заводе в Мичигане или на заводе Boeing в Сиэтле, но у меня такое ощущение, что Шэньчжэн дает возможность обоим из них побороться за свои деньги с точки зрения масштаба. В 2007 году в Шэньчжэне проживало 9 миллионов человек.

Чтобы дать вам представление о масштабах фабрики в Шэньчжэне, отметим, что на фабрике New Balance работало 40 000 человек, и она могла производить более миллиона туфель в месяц. По моим оценкам, процесс от сырой ткани до готовой обуви занял около 50 минут, и каждый идеально сшитый пакет пластика и

Кожа сшивалась вручную на промышленной швейной машине. Станции устроены так, что каждый этап процесса занимает у рабочего около 30 секунд.

Конечно, завод New Balance затмевает завод Foxconn, где производятся iPod и iPhone.



Вы знаете, что вы большой, когда у вас есть собственный съезд с автострады.

Foxconn — это огромное предприятие, в котором, судя по всему, работает более 250 000 человек, и у него есть особый статус свободной торговли. Весь объект огорожен стеной, и я слышал, что вам нужно показать паспорт и пройти таможенный контроль, чтобы попасть на объект. Этого совсем не хватает роботизированным собакам с ядерными двигателями из франшиз национальных корпораций Нила Стивенсона. *Снежный крах*.

кормление фабрики

Есть старая китайская поговорка: *Мин И Ши Вэй Тянь*. Дословный перевод будет звучать так: «люди считают еду божественной» или «для людей еда близка к раю». Вы также можете рассматривать это как совет для руководства: «Мандат правительства [синоним

с небесами] столь же крепка, как и еда на тарелках людей». Или вы можете интерпретировать это как предлог для откладывания дел на потом: «давайте сначала поедим [потому что это так же важно, как рай]».

Как бы вы это ни называли, я думаю, что эта поговорка все еще актуальна в Китае. Одним из важных показателей для оценки того, насколько хорошо фабрика обращается со своими сотрудниками, является то, насколько хороша еда, поскольку фабричных рабочих обычно размещают, кормят и о них заботятся на месте.

На некоторых фабриках еда действительно неплохая. Например, когда я обедал с рабочими на заводе, производившем печатные платы, мне подали смесь приготовленной на пару рыбы, жареной свинины, яичных рулетов, чистых жареных овощей и комбинации маринованных овощей и мяса. Рис, суп и яблоки также были предоставлены в количествах «угощайтесь».



Еда с фабрики, производившей эти печатные платы

В каждом заведении, которое я посетил, также была отдельная посуда и тарелки для гостей. На одной фабрике мне подавали еду на тарелке из пенополистирола с помощью одноразовых палочек для еды, а фабричному рабочему, с которым я ел, еду подавали на стальной тарелке со стальными палочками для еды. Я не прошел заводской медосмотр, поэтому мне дали

мне одноразовые инструменты для еды, чтобы не допустить заражения фабрики потенциальными иностранными болезнями.

Возвращаясь к масштабам, некоторые предприятия по производству пищевых продуктов впечатляюще велики. Я слышал, что работники Foxconn съедают 3000 свиней в день. От свиней до iPhone — все происходит прямо здесь, в Шэньчжэне!



Грузовик со свиньями выезжает с шоссе в сторону Foxconn.

преданность качеству

После того, как я начал работать с РСН над фактическим производством чамб, где-то в июне 2007 года я столкнулся с ситуацией, которая показала мне, насколько преданы были рабочие фабрики в Шэньчжэне правильному выполнению своей работы.

Я обновил материнскую плату Chumby, включив в нее электретный микрофон со встроенным полевым транзистором (FET) предусилителя. Микрофон необходимо было вставить в правильной ориентации по отношению к схеме, чтобы полевой транзистор получал правильный ток смещения.

В первых образцах, которые я получил с завода РСН, микрофон был установлен наоборот, и я позвонил на завод, чтобы попросить поменять его полярность. На следующей неделе я собирался посетить завод и хотел увидеть исправленные образцы. Когда я приехал и проверил микрофон, я, к своему ужасу, обнаружил, что микрофоны не работают.*все еще не работает.*

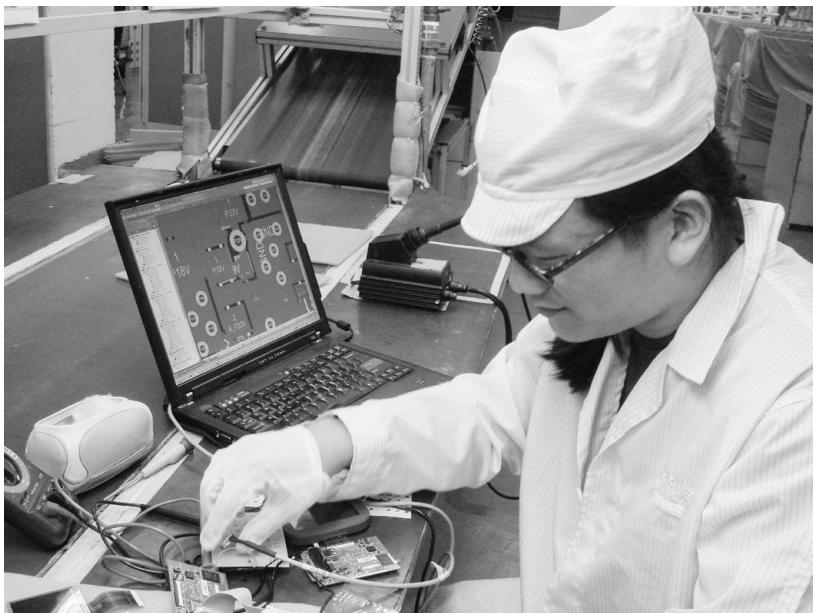
Как такое могло быть? Есть только два способа подключения микрофона.

Оказывается, на линии собирали микрофон два оператора. Один припаял красный и черный провода к микрофону. Следующим припаял эти красный и черный провода к плате. Операторам было приказано изменить порядок, и они оба послушно подчинились, предоставив мне микрофон, который все еще был припаян задом наперед, но с поменяенным цветом проводов. (На самом деле это довольно типичная история проблем в Китае.)

На следующий день завод должен был изготовить первую пилотную партию из 450 печатных плат. Все должно было пройти идеально, чтобы сроки производства Чамби соответствовали графику. Мы восстановили паяльные трафареты (мы также устранили проблему с выходом аудиокодека в пакете QFN) и были готовы примерно к полудню и примерно к 6 часам вечера, у меня в руках оказались первые платы для тестирования. Я провел последний заводской тест, и устройство снова вышло из строя — в микрофоне. Это был неприятный момент ни для кого на заводе, поскольку за любые производственные дефекты завод нес ответственность.

Я надел халат и вышел на линию, чтобы начать устранять проблему.

Оставшуюся часть ночи я оставался на фабрике, как и все менеджеры и технологии, участвовавшие в производстве чумби. Давление было огромным: прямо рядом с нами находилась линия, выпускавшая 450 потенциально неисправных плат, и я не хотел отключать вилку, потому что все еще не знал, в чем была основная причина, и нам пришлось придерживаться графика.



Я отлаживал схемы в Зяляюсь в день финального заводского испытания чумба.

Всю ночь у меня буквально стояла группа фабричных рабочих, которые приносили мне все необходимое: паяльники, испытательное оборудование, дополнительные платы, рентгеновские аппараты, микроскопы.

Примечательно, что ни один человек не колебался; ни один человек не жаловался; ни один человек не потерял внимания к проблеме. Люди отменили планы на ужин с друзьями, не моргнув глазом. Все, кто не был нужен в конкретный момент, были заняты наблюдением за другими аспектами проекта. Я не видел такой слепой преданности своему делу с тех пор, как работал с командой автономной подводной робототехники в Массачусетском технологическом институте.

И это продолжалось до Зяляюсь.

К сожалению, в конечном итоге проблема возникла не по вине РСН. Проблема заключалась в новой версии прошивки, которую я получил ранее в тот же день от команды из США. В нем была ошибка, приводившая к отключению микрофона из-за взлома, который был случайно проверен в дереве сборки.

Еще более впечатляюще то, что когда РСН узнал об этом, никто не рассердился и не пожаловался. (Ну, продавщица доставила мне неприятности, но я это заслужил; она была достаточно любезна, чтобы всю ночь сопровождать меня на производственной линии и быть моим переводчиком, поскольку мой китайский был не в порядке.) Они были просто с облегчением осознали, что это не их вина.

Мы все разошлись, и на следующий день в 11 я вернулся на фабрику. Являюсь, после хорошего ночного сна. Я встретился с Кристи, руководителем проекта фабрики по производству толстых досок. Я спросил ее, когда она пришла на работу, и она сказала, что всегда должна приходить к 8. Являюсь. Я начал чувствовать себя очень плохо; Кристи не ложилась спать допоздна из-за нашей ошибки, и она пришла пораньше, пока я спал. Я спросил ее, почему она не ложилась спать так поздно, хотя она знала, что ей нужно прийти на работу в 8. Являюсь. Она могла бы пойти домой, и мы могли бы продолжить на следующий день.

Она просто улыбнулась и сказала: «Моя работа — убедиться, что это будет сделано, и я хочу сделать свою работу хорошо».

Создание технологии без ее использования

Вот еще одна интересная история. Однажды, когда мы выходили из цеха фабрики, Сяо Ли (менеджер по обеспечению качества на фабрике, где мы делали чумби) спросил меня: «Что делает чумби?» Я не очень хорошо говорил по-китайски, и она тоже не очень хорошо говорила по-английски, поэтому я решил начать с нескольких простых вопросов.

Я спросил ее, знает ли она, что такое Всемирная паутинка. Она сказала нет.

Я спросил ее, знает ли она, что такое Интернет. Она сказала нет. Я был ошеломлен и не знал, что сказать. Как описать синий цвет слепым?

Сяо Ли был экспертом в создании и тестировании компьютеров. В некоторых проектах она, вероятно, собирала ПК и загружала Windows XP сотни тысяч раз снова и снова. (Бог знает

Я слышал этот проклятый звук запуска миллион раз во время инцидента с микрофоном, так как рядом со мной была группа станций окончательного тестирования материнских плат ASUS.) Но она не знала, что такое Интернет.

Я предполагал, что если вы прикоснетесь к компьютеру, вы также будете благословлены дарами Интернета. Внезапно я почувствовал себя избалованным снобом и свиньей, забывшим, что Сяо Ли, вероятно, не может позволить себе компьютер, а тем более широкополосный доступ в Интернет. Если бы у нее была такая возможность, она, конечно, была бы достаточно умна, чтобы научиться всему этому, но она была слишком занята зарабатыванием денег, которые, вероятно, отправляла домой своей семье.

В конце концов, лучшее, что я мог сделать, — это сказать Сяо Ли, что «болван» — это устройство для игр.

квалифицированные рабочие

Рабочие Шэньчжэня, возможно, не знают многое обо всем, что они производят, но, помимо своей преданности своему делу, они обладают высокой квалификацией. Однажды я наблюдал за парнем, работающим на той же фабрике, которая шила сумки для чумби, и клянусь, он мог сшить косметички со скоростью 5 секунд на сумку. И он даже не был на 100 процентов сосредоточен на своей задаче; он слушал свой iPod, пока шил.

И, судя по всему, он не был их самым быстрым сотрудником! У них был человек примерно вдвое быстрее, и он проработал в компании около семи лет. Я пошел присматривать за более быстрым работником, но он уже пошел обедать, потому что все закончил; Рядом с его рабочим местом стояли две огромные корзины с готовой косметикой.

Точно так же я был поражен, узнав, как в Китае производятся прорезиненные бирки (те, которые вы видите на всей одежде). Я всегда думал, что их прессует машина, но я ошибался. Все эти слова, цвета и буквы нарисованы вручную. Кто-то просто помещает трафарет с логотипом поверх пустого тела, закрашивает его с удивительной точностью и переходит к следующему тегу в своей очереди. Если цветов несколько, для каждого цвета есть свой человек, чтобы ускорить процесс.

Я спросил у РСН, есть ли у них механизированные заводы по производству подобных вещей. Мне сказали, что такие мощности существуют, но минимальный объем заказа огромен (сотни тысяч, а иногда и миллионы) из-за чрезвычайно низкой стоимости продукта и относительно высокой стоимости оснастки для автоматизированного процесса. Это соответствует тому, что я слышал об игрушках Хэппи Мил в Макдональдсе. Обычно их скрепляют винтами, потому что дешевле заплатить кому-то за то, чтобы он скрепил игрушку на протяжении всего производственного цикла, чем изготовить стальной инструмент для литья под давлением с допусками, необходимыми для соединения игрушек вместе.*

Похожий компромисс был и внутри этого «пушистого» оборудования. На внутренней чумовой электронике было четыре разъема. Используя поставщиков из США, которых я смог найти, лучшая цена на один разъем составляла около 1 доллара США, а у трех других — около 0,40 доллара США каждый. Очень талантливый эксперт по снабжению РСН (ее репутацию боялись и уважали все поставщики) сумела найти мне разъемы стоимостью 0,10 и 0,06 доллара соответственно, сэкономив почти полные 2 доллара. Есть одна загвоздка: у разъемов отсутствовала пластиковая площадка для захвата, которая позволяла бы их собирать на машине.

Решение? Человек, конечно.

* Из-за высокой инфляции заработной платы после этого визита, это, вероятно, уже не так.



Этот человек вручную установил более дешевые разъемы на каждого приятеля по цене примерно пять центов за штуку. Благодаря ему чамби стали на 2 доллара дешевле, что высвободило для нас, потребителей, больше денег, которые они могли тратить в Starbucks.

Потребность в ремесленниках

Я хотел бы познакомить вас с человеком, которого я знаю просто как Мастер Чao. Я встретил его во время производственного процесса, и я почти уверен, что вы в своей жизни использовали или видели что-то, что он создал.

Когда я пошел в комнату для образцов на фабрике, где работал Мастер Чao, я был шокирован тем, сколько предметов на их полке я купил, использовал или сам видел в магазине в Соединенных Штатах. На этой фабрике производят свою продукцию ведущие потребительские бренды, и, насколько мне известно, в то время на фабрике работал только один мастер-модельер: Мастер Чao. Он приложил руку к созданию косметичек для Braun, футляров для аксессуаров для Microsoft и медицинских брекетов для крупных брендов, продаваемых в аптеках, а также многих других продуктов.



Мастер Чao — человек на переднем плане; на заднем плане Джо Перротт, Отличный инженер-проектировщик Чамби из PCH China Solutions.

Мастер Чao – мастер в традиционном понимании. Раньше считалось, что лучшая мебель проектируется и изготавливается только с помощью интуиции и мастерства мастера. Теперь мы все ходим в IKEA и приобретаем комплекты мебели для сборки книжек с картинками, разработанные с помощью САПР, управляемые цепочкой поставок, и, несмотря на все это, они не выглядят слишком потрепанными. В результате слово *ремесло* было отнесено к описанию какого-нибудь альбома для вырезок или набора для вышивания, который вы покупаете в Michaels и собираете в медленные выходные. Мы забыли, что в эпоху, когда еще не было машин, «ремесло» было единственным способом создания чего-либо любого качества.

Однако оказывается, что традиционное ремесло по-прежнему имеет значение, поскольку инструменты САПР не дают возможности моделировать наши ошибки до того, как мы их совершим.

Создание разверткиПроизводство текстильных изделий является хорошим примером процесса, требующего участия мастера. Развертка — это набор двухмерных фигур, используемых для раскroя ткани. Эти фигуры вырезаются, складываются и сшиваются в сложную трехмерную конструкцию.

форма. Сопоставить проекцию произвольной трехмерной формы на двумерную поверхность с минимальной площадью отходов между частями достаточно сложно. Тот факт, что материал растягивается и деформируется, иногда в разных направлениях, а также то, что шитье требует достаточных допусков для получения хороших результатов, делает создание выкройки сложной задачей для автоматизации.

Толстые футляры добавляли еще один уровень сложности, поскольку требовали пришивания куска кожи к каркасу из мягкого пластика. В этой ситуации, когда вы пришиваете кожу, рамка слегка деформируется и растягивает кожу, создавая смещение при шитье, зависящее от направления и скорости шитья. Эта сила улавливается в швах и способствует окончательной форме корпуса. Я призываю кого-нибудь создать инструмент компьютерного моделирования, который сможет точно уловить эти силы и предсказать, как такой продукт будет выглядеть после сшивания.

Тем не менее, каким-то образом мастерство Мастера Чao в искусстве создания узоров позволило ему очень быстро и за очень небольшое количество итераций создать и настроить узор, который компенсировал все эти силы. Его результаты, полученные с помощью картона, ножниц и карандашей, были поразительно умными и проницательными. Будьте благодарны за его навыки старого мира; они, вероятно, сыграли роль в создании чего-то, что вы использовали или получили пользу.



В кабинете Мастера Чao не было ни одного компьютера, но продукты Я увидел здесь множество высокотехнологичных устройств.

автоматизация сборки электроники

До того, как я начал работать в Chumby, я думал, что почти все делается машиной. Конечно, экскурсии по текстильным фабрикам очень быстро исправили мое впечатление; тем не менее, высокотехнологичные отрасли, такие как сборка электроники, по-прежнему имеют тенденцию быть в значительной степени автоматизированными, даже в Китае. Единственными исключениями, которые я видел во время своих экскурсий по фабрике, были, по иронии судьбы, самые дешевые продукты, такие как игрушки. В этих цехах по-прежнему стояли очереди рабочих, вручную набивавших и паявших печатные платы.

Одна интересная дилемма, связанная с автоматизацией, — это бимодальное распределение продуктов, использующих чип-на-плате (CoB) технологии. Сборка CoB напрямую соединяет кремниевый кристалл с печатной платой. Готовые сборки CoB имеют характерный вид «шарика эпоксидной смолы», в отличие от вида готовой пластиковой упаковки. Высококачественные электронные сборки с высокой плотностью размещения часто используют технологии CoB. В свое время я сделал пару проектов CoB для оптических трансиверов на 10 Гбит, и они стоили недорого.

В то же время, почти все игрушки используют технологию CoB, чтобы снизить стоимость корпуса IC! Свидетельством упорства фабрик игрушек в снижении затрат является тот факт, что они покупали автоматический станок для склеивания проволоки и устанавливали его рядом с линиями по формированию голов кукол и пошиву мягких игрушек, потому что наличие собственного устройства для склеивания проволоки экономит ни копейки.

Типичный аппарат для склеивания проводов прикрепляет провод толщиной с человеческий волос к участку кремниевого чипа, размер которого не намного превышает диаметр провода, и делает это несколько раз в секунду. Машины для склеивания проволоки — очень быстрое и точное оборудование. Соединение происходит так быстро, что кажется, что плата плавно вращается, но на самом деле она останавливается 16 раз при вращении, и при каждой остановке между чипом и платой прикрепляется провод.

Однако непосредственно перед склеиванием чип очень тщательно приклеивается к плате вручную, а сразу после склеивания чип инкапсулируется человеком-оператором, очень осторожно наносящим эпоксидную смолу вручную. Это означает, что проволока

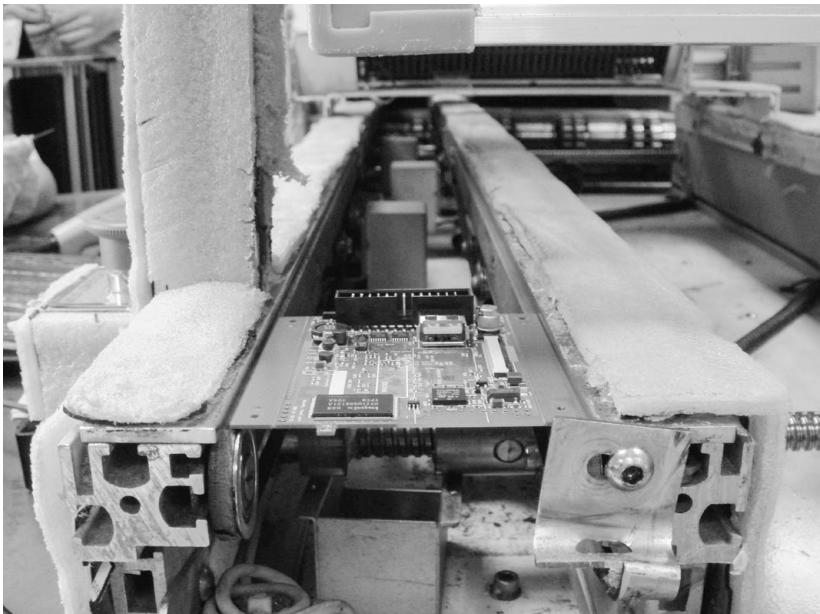
единственное автоматизированное оборудование на линиях сборки простых игрушек. Наблюдение за этим процессом дало мне новое представление о том, что происходит с этими говорящими куклами Барни, которые продаются в Target за 10 долларов.

В процессе производства также использовалась некоторая автоматизация, благодаря чип-шутеру. Чип-съемщики (а также машины для захвата и размещения) размещают компоненты для поверхностного монтажа на печатных платах, чтобы их можно было паять.



Завод по сборке печатных плат Chumby в Китае имел десятки линий, наполнен проверенными чипами Fuji.

Наблюдать за чип-шутером в действии просто завораживает. Чип-шутеры на заводе по сборке печатных плат в Чамби были способны устанавливать от 10 000 до 20 000 компонентов в час на одну машину. Это означает, что каждая машина может производить от 3 до 6 компонентов в секунду. Роботизированные агрегаты движутся быстрее, чем может видеть глаз, и все это превращается в впечатляющее размытие. Струп-стрелок, который я видел на фабрике Чамби, работал как пистолет Гатлинга: сам чип-пистолет был зафиксирован, а доска танцевала под пистолетом. Специалист по съемке чипов фактически «смотрел» на каждый компонент и поворачивал его в правильном направлении, прежде чем положить на плату.



Это конец сборки платы Chumby Core!

Фабрика, которую мы использовали для сборки печатных плат Chumby, также производила материнские платы для ПК известных брендов и, похоже, без проблем выпускала более 10 000 таких сложных сборок каждый день. Но даже несмотря на то, что такие процессы, как размещение компонентов, можно автоматизировать, есть вещи, которые машина просто не может сделать.

Точность, литье под давлением и терпение.

В ходе разработки Chumby мне также пришлось изучить литье под давлением, потому что печатная плата должна была помещаться внутри какого-то корпуса. Для специалиста по электронике с небольшим опытом работы в механике это была немалая гора, на которую нужно было подняться. Идея кажется простой: вы делаете полость из стали, заталкиваете в нее расплавленный пластик под высоким давлением, даете ему остывть, и вуала готовая деталь выходит, как слепки из пластилина из начальной школы.

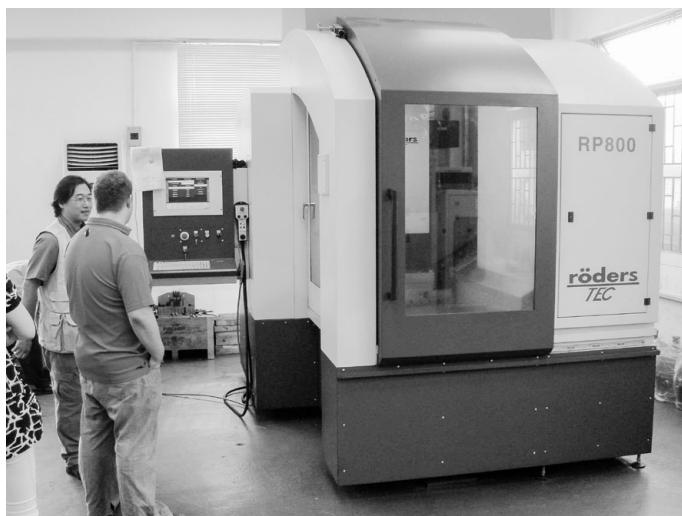
Эх, если бы процесс был таким простым.

Конечно, пластик течет, но он не особенно жидкий. Он движется медленно и охлаждается по мере течения. На цвет пластика влияют изменения температуры, и при использовании неправильно спроектированной формы на конечном изделии даже можно увидеть линии потока и сшивки. Также существует целый ряд проблем, связанных с тем, как готовую деталь вынимают из формы, как изготавливают и обрабатывают форму, где находятся ворота и направляющие для попадания пластика внутрь формы и так далее.

К счастью, у РСН были эксперты в Китае, которые знали все об этом, и мне приходилось учиться в основном, наблюдая.

Если бы мне пришлось охарактеризовать литье под давлением одним прилагательным, это было бы: *точность*. Если все сделано правильно, формы имеют точность, превышающую допуски на волосок, но при этом они сделаны из твердой стали. Достичь такого уровня точности из такого прочного материала — непростая задача, и впечатляет то, как машина вырезает форму из необработанной стали.

Машина, вырезавшая формы для ящика, имела движущуюся платформу, которая быстро перемещала стальной блок весом, вероятно, в несколько сотен фунтов; он очень быстро врезался в металл!



Форморезный станок, используемый при изготовлении чумбы.

Для масштаба сравните его с людьми, стоящими рядом.

Но механическая обработка — это лишь самый грубый этап изготовления пресс-форм. После того, как грубая форма вырезана, форма помещается в *электроэррозионная машина (ЭЭР)*, когда взрыв электронов сбивает микроскопические куски со стальной поверхности. Это ужасно утомительный процесс: я видел, как многие электроэррозионные станки выполняют свою работу, и это все равно, что смотреть, как сохнет краска. Однако EDM невероятно точны и дают впечатляющие, повторяемые результаты.

С точки зрения управления проектами, феноменально долгие сроки изготовления литьевых пластмасс производственного качества стали для меня самым большим откровением. В общем, толстая форма превратилась из куска необработанной стали в инструмент для первого выстрела за четыре-шесть недель, и мне пришлось поехать в Китай и посмотреть, как инструментальный цех выполняет свою работу, прежде чем я убедился, что здесь нет какой-то грубой работы. объем заполнения расписания.

Еще более печальным с точки зрения управления рисками было отсутствие хороших инструментов моделирования, позволяющих предсказать, как пластик будет течь через форму. Если мы видели видимые дефекты, такие как линии потока и линии вязания, нам приходилось ждать от четырех до шести недель, чтобы проверить, лучше ли новая форма. Ой!

К счастью, производители инструментов, которые Chumby использовал в Китае, предвидели эти проблемы и сделали инструменты так, чтобы они допускали излишки стали, поскольку удалить материал для устранения проблемы гораздо проще, чем добавить материал. Это похоже на поговорку старого плотника: дважды отмерь, один раз отрежь, а если нужно отрезать неправильно, отрежь длиннее.

Форма, которая использовалась для создания задней панели Чамби, была очень сложной, потому что она включала процесс, называемый *переформовка*. Если у вас есть классическая модель Chumby, посмотрите на обратную сторону. Жесткий бортик из АБС-пластика окружает резиновый ТПЭ. Многие предполагали, что это приклеенная резинка. Фактически, ТПЭ отлит на месте задней части. Для этого потребуется двухзаходная форма.



Окончательная форма задней панели чамби внутри термопластавтомата.

На самом деле было две формы, и одна сторона формы вращалась так, что чередующиеся системы материалов можно было формовать в нужных точках процесса.

Много тяжелой работы уходит на создание скромных пластиковых деталей, которые вы видите каждый день, и все это является частью создания качественной продукции. Но в то же время существует вполне реальная необходимость оправдывать ожидания низких цен.

Проблема качества

Очевидно, что ожидание низкой стоимости товаров, произведенных в Китае, порождает серьезные проблемы в управлении качеством. Посмотрите на освещение в СМИ таких тем, как свинцовая краска в игрушках, промышленные химикаты в продуктах питания и другие товары, производимые в Китае, и вы увидите некоторые из плохих решений, принятых для сдерживания цен.

Я считаю, что при рассмотрении подобных случаев важно применять бритву Хэнлона. Перефразируя: «Никогда не приписывайте злому умыслу то, что можно адекватно объяснить невежеством».

У британцев также есть симпатичная и содержательная версия афоризма: «Провокация перед заговором».

Некоторые производители действительно стремятся заработать деньги любой ценой, но я думаю, что большинство ошибок совершаются по незнанию. Большинство рядовых рабочих на фабриках не знают, для чего в конечном итоге используется их продукция, и под сильным давлением необходимости снизить затраты они принимают неверные решения. Фабрикам также приходится иметь дело с продукцией, характеристики которой крайне занижены, а также с клиентами, которые заваливают их всевозможными несерьезными требованиями – и большинство клиентов не выполняют их в любом случае. В конце концов, фабрики играют в игру «отправь и узнай», и если клиент не замечает отсутствующую спецификацию, значит, эта спецификация не имела значения. Это не лучшая игра, и это означает, что клиентам нужно всегда проявлять бдительность в отношении проверок и поддержания высоких стандартов качества.

СВЯЗЬ DI МЕЖДУ АМЕРИКОЙ И ЦА И КИТАЕМ

Одна из фундаментальных проблем этой игры заключается в том, что многие жители Китая не понимают и не ценят элементарные вещи, которые мы в Америке считаем само собой разумеющимися, и наоборот. Многие китайские фабричные рабочие хорошо образованы, но они не выросли в «культуре гаджетов», как в США, поэтому нельзя ничего предполагать об их способности объективно интерпретировать спецификации продукта.

Например, вы можете сказать инженеру из США: «Мне нужна кнопка на этой панели», и вы, вероятно, получите что-то довольно близкое к тому, что вы ожидаете, с точки зрения внешнего вида и ощущений, поскольку у вас с инженером общий опыт и ожидания от кнопки на панели. Если бы вы сделали то же самое в Китае, вы, вероятно, получили бы что-то, что выглядит немного неуклюже и неуклюже, но чертовски дешево и действительно легко построить и протестировать. Хотя последние свойства желательны по практическим соображениям, американские ценители гаджетов просто не станут покупать что-то эстетически неудобное или неуклюжее.

Однако, в конечном счете, именно те потребители хотят – нет, требуют – недорогих товаров, и эта потребность определяет решение о производстве в Китае. Проблема в том, что, если не считать этикетки на продукте с надписью «Сделано в Китае» или «Сделано в США», потребителей действительно не волнует производственный процесс. Какую наценку вы бы заплатили за гаджет с надписью «Сделано в США»? Надбавка к стоимости рабочей силы в США в 10 раз выше, чем в Китае. Подумайте об этом: может ли средний фабричный рабочий в США быть в 10 раз более производительным, чем средний фабричный рабочий в Китае? С этим множителем сложно играть.

Я не говорю, что отечественные поставщики не имеют никакой ценности: для меня было бы гораздо меньше усилий и меньше риска, если бы я покупал товары, произведенные в Соединенных Штатах. Фактически, большинство ранних прототипов производятся там из-за огромной ценности, которую могут внести отечественные производители. Однако цена просто не соответствует продукту массового рынка. Никто не стал бы его покупать, потому что его цена не оправдывала бы его набор функций. Можно было бы даже обвинить меня в лени, если бы я просто придерживался отечественного поставщика и перекладывал более высокие затраты на клиентов.

УЧАСТИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ

В конце концов, производство в Китае — лучший способ снизить затраты и сохранить качество. Нет альтернативы поездке в Китай и непосредственному участию. Почти каждая фабрика будет «наводить порядок» в день вашего визита, но при наличии острого глаза и правильных вопросов вы сможете увидеть нас kvозь любую быстро установленную фануру.

Когда я оценивал фабрики Chumby, я всегда посещал комнату контроля качества (QC). Я ожидал увидеть ряды ухоженных и потертых папок с конструкторской документацией и стандартами контроля качества, а также золотые образцы, которые являются предсерийными образцами продукта. Я бы потребовал показать содержимое случайной папки и связанного с ней золотого образца и убедиться, что сотрудники знают, что происходит в папке. (Некоторые фабрики заполняют папки с продуктами

Я также считал серьезные инвестиции в оборудование хорошим знаком: все лучшие производители, которые я посетил, имели пару комнат со сложным оборудованием для испытаний на тепловые, механические и электрические пределы, и, конечно же, в помещении находились операторы, которые фактически использовали оборудование. (Я определенно могу представить себе китайского производителя, покупающего комнату с оборудованием просто для галочки.)

Но я подозреваю, что производители игрушек и продуктов питания не отправляют таких технических специалистов, как я, на заводы в Китае для регулярного надзора за происходящим. Сравните это с Apple, которая регулярно отправляет группу инженеров для работы в интенсивные двухнедельные (или более длинные) смены на заводах (обычно это Foxconn, которую некоторые в Apple ласково называют «Мордор»). В результате я столкнулся со многими инженерами Apple в барах для эмигрантов в Шэньянже.

Тот факт, что PCH China Solutions предлагала управление и контроль качества в западном стиле на территории Китая, был важен для нас в Chumby. Если у нас возникали проблемы с поставщиком, PCH сразу же отправляла кого-нибудь на фабрику, чтобы посмотреть, что происходит — ни телефонной метки, ни пирата FedEx. А владельцы фабрик в Китае, как правило, очень отзывчивы, когда вы появляйтесь у их порога.

Таким образом, подход Чамби к проблеме качества был целостным. Мы начали с того, что практически в первый же день на заводе был инженер (меня), который обследовал ситуацию. Важно узнать, что может и не может сделать фабрика. Я посмотрел, что строится на линии и какие приемы используются. Затем, когда пришло время разрабатывать продукт, я постарался использовать процессы и методы, которые были наиболее удобны для завода. Когда мне нужно было сделать что-то новое (а это необходимо для любого хорошего, инновационного продукта), я выбирал свои сражения и концентрировался на них, потому что что-то новое было бы многонедельной задачей, чтобы сделать все правильно. Эта стратегия применима даже к самым мелким деталям: если фабрика упаковывает товар в пластик, а вы

Если вы хотите обернуть свой продукт в бумагу, то планируйте сосредоточиться на разработке процесса бумажной упаковки, потому что вполне возможно, что ни один из рабочих на выбранной вами фабрике даже не видел раньше продукта в бумажной упаковке.

Конечно, разрабатывая новый процесс для болвана, я предпочитал находиться на заводе и остаюсь до сих пор. Нет ничего лучше, чем стоять в очереди и показывать работникам, которые будут создавать ваше устройство, как оно должно быть сделано. Например, я лично обучал грубых рабочих сборочной линии тому, как прикрепить кусок медной ленты к ЖК-дисплею, чтобы сформировать надлежащий экран от электромагнитных помех.

Трудно описать тонкости того, как сложить ленту на сложном куске листового металла, чтобы обеспечить хороший электрический контакт с заземляющими поверхностями без риска короткого замыкания на другие компоненты. Такие тонкости, как тот факт, что клей на одной стороне является плохим изолятором, также требуют базового понимания физики, которого просто нет у линейных рабочих. Что еще хуже, для объяснения этих концепций требуются технические слова, которые ваш переводчик может даже не знать.

В моем случае даже хороший 3D-рисунок или фотография готовой сборки не могли передать всю концепцию, потому что жесткость ленты требовала определенного движения, чтобы сложить ее без разрыва. Удаленное описание процесса, утверждение образцов с помощью фотографий и, в конечном итоге, одобрение устройства, доставленного через FedEx, могло занять пару недель, но стоять перед группой рабочих и демонстрировать процесс воочию заняло всего несколько минут. И, несмотря на языковой барьер, по выражению их лиц и языку тела я мог сказать, понимают ли они важность того или иного шага. Учитывая эти сигналы, я немедленно рассмотрел процессы, которые были неоднозначными или трудными для освоения.

Обычно, когда вы можете продемонстрировать процесс на таком уровне детализации и интимности, сотрудники разберутся в нем сразу же.

часы, а не недели. Это одна из причин, по которой я провел так много времени в Китае во время разработки процесса производства чамби.



Все были вовлечены в процесс обеспечения качества. На этом фото генеральный директор Стив Томлин (крайний слева) и художественный руководитель Сьюзен Кейр (в центре). на швейной фабрике прорабатываем детали шелкографии логотипа.

ДОМАШНЕЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ

Однако Чамби не всегда мог отправить кого-нибудь в Китай. Я, например, предпочитал не жить в Китае, поэтому в Chumbly мы во многом полагались на РСН, чтобы следить за качеством и следить за тем, чтобы все шло хорошо, и они проделали превосходную работу.

Часто работа на расстоянии означала, что на поэтапное внедрение новых процессов уходили недели, если меня не было рядом, чтобы настроить и утвердить на месте, потому что каждая настройка включала отправку чего-то почти туда и обратно через FedEx. Пройдя этот процесс несколько раз, я научился выделять на каждую настройку две недели, а не несколько часов, которые требовались, когда я находился в заводских цехах.

Эти двухнедельные сеты быстро накапливались.

Учитывая сложность надзора за операциями в Китае из США, необходим удаленный электронный мониторинг результатов испытаний продукции. Для неопытных я разработал набор тестеров, которые программировали, персонализировали, загружали, проверяли и измеряли каждое устройство, сходящее с конвейера. Все данные процесса тестирования записывались в журнал, и в конце дня журнал был перенесен на сервер в США.

Эти данные позволили мне отладить множество проблем на площадке. Я мог определить, были ли у оператора конкретного тестера проблемы со сканером штрих-кода. Я также сразу понял, возникла ли в тот день проблема с выходом или пропускная способность оказалась медленнее, чем ожидалось. Иметь возможность внутреннего аудита было очень полезно, потому что на заводе знали, что я за ними наблюдаю. Фактически, наличие такой возможности может улучшить отношения с заводом: завод берет на себя затраты, связанные с проблемами производительности (по крайней мере, на начальном этапе), поэтому они ценят, когда инженер-конструктор может дать полезный совет и помочь до того, как возникнут какие-либо проблемы. из рук.



Пара чумных испытательных станций на заводе в Китае. Есть целая история о проблемах, с которыми нам пришлось столкнуться при доставке этих ноутбуков в Китай.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ЗАВОДСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

После завершения настройки процесса тестирования он может работать автономно на заводе. Например, на заводе печатных плат Chumby первый этап окончательной проверки проводился вручную: один человек проверял каждую печатную плату, а затем с помощью картонного шаблона другой оператор проверял, чтобы все компоненты были пропущены. Затем устройства перешли к автоматизированному тестированию.

Периодически и РСН, и завод также проводили испытания на ограничение содержания опасных веществ (RoHS) на устройствах Chumby, чтобы гарантировать отсутствие загрязнения определенным набором потенциально вредных химикатов, включая свинец. RoHS — это стандарт безопасности опасных химических веществ, требуемый в Европе, но, по иронии судьбы, не в Соединенных Штатах. Заводы регулярно проводят этот тест на всех продуктах, даже на тех, которые поставляются только в Соединенные Штаты, поскольку скрытое загрязнение на линии может помешать отправке других продуктов, произведенных на той же линии, в Европу.

Даже после всех этих испытаний, вернувшись в Соединенные Штаты, Чамби продолжал отбирать образцы для целей контроля качества. С этой целью мы регулярно заказывали, характеризовали и анализировали устройства, чтобы убедиться в соблюдении всех рабочих процедур.

МИСТАКС СТИЛЛАРПЕН

Несмотря на такие меры предосторожности, в любом продукте будут допущены некоторые ошибки. Каждый продукт проходит этап, на котором выявляются ошибки, не обнаруженные внутренним контролем качества. Вы должны положиться на первоклассную команду обслуживания клиентов и поддержки, а также запланировать быть очень гибкими и инновационными на этом этапе, чтобы решить проблемы и предотвратить их повторение.

Когда я был в Chumby, если я слышал об устройстве с аппаратными проблемами, я звонил клиенту, который сообщил об этом. Я хотел знать, что пошло не так, чтобы решить проблему и убедиться, что она никогда больше ни с кем не повторится!

Однако моя самая большая надежда на болвана заключалась в том, чтобы избежать того, что случилось с Microsoft и «красным кольцом смерти» Xbox 360, когда консоли испытывали серьезный аппаратный сбой, переставали работать и просто отображали красный свет вокруг кнопки питания, вызывая огромное разочарование у игроков. Эта проблема проявилась только после того, как Xbox 360 отсутствовал в течение многих лет, после того как были проданы миллионы единиц. Такие ситуации, как красное кольцо смерти, — худший кошмар инженера-технолога.

Итак, вы видите, доведение продукта (или любого продукта) до момента, когда его можно будет отправить потребителям, — это только начало. Настоящее испытание начинается после.

Если вы когда-нибудь окажетесь на этом этапе производственного процесса, желаю вам удачи!

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ МЫСЛИ

В рассказанных здесь историях рассказывается о некоторых моих приключениях и неудачах, когда я учился создавать массовые продукты. Следующие две главы более рефлексивны и менее повествовательны. В следующей главе мы совершим виртуальную экскурсию по трем фабрикам, чтобы увидеть, чему мы можем у них научиться, а в главе 3 предпринята попытка обобщить все уроки, которые я узнал о производстве на данный момент.

2. внутри трёх очень разных заводов

Трудно понять, как работает компьютер, не открывая его и не заглядывая внутрь. Точно так же трудно понять, как производится продукция, не зайдя на фабрику и не осмотрев линию. Хотя мы часто думаем о производстве как о необходимом, но скучном шаге после инноваций, на самом деле эти два процесса тесно связаны. Изобретатель думает о продукте один раз; Завод думает об одном и том же продукте изо дня в день, иногда в течение многих лет.

Важность заводов как инновационного узла только возрастает в сегодняшней взаимосвязанной глобальной экономике. Реальность такова, что не существует «фабрики Apple» или «фабрики Nike». Скорее, существует ряд предприятий, которые являются экспертами в соответствующих процессах (таких как изготовление печатных плат или производство застежек-молний), которые

кураторами известных брендов. Таким образом, нередко можно увидеть продукцию двух конкурентов, продающуюся бок о бок на аналогичных линиях на одном предприятии. Такая концентрация специфического опыта означает, что лучшее место для изучения того, как улучшить какой-либо аспект вашего продукта, часто — это то же место, где аналогичный аспект создается в продуктах всех остальных.

Некоторые из величайших идей по улучшению продукта я получил, наблюдая за техническими специалистами, работающими на линии, и видя хитрые приемы оптимизации, которые они разработали после того, как делали одно и то же снова и снова в течение столь долгого времени.

В этой главе вы познакомитесь с тремя фабриками, которые производят повседневные вещи: печатные платы (в частности, те, которые используются в Arduino), USB-накопители и молнии. Приоткрыв занавес, вы получите некоторое представление о компромиссах в дизайне продуктов и о том, как их можно сделать лучше. На фабрике печатных плат я открыл секрет того, как печатают карту Италии в высоком разрешении на задней стороне каждого Arduino; на заводе по производству USB-накопителей я стал свидетелем странного сочетания высоких и низких технологий производства; а на фабрике застежек-молний я понял, что даже самые скромные изделия могут принести ценные уроки дизайнераам.

где рождаются ардуины

Это был июль 2012 года, и прошло около шести месяцев с тех пор, как мой предыдущий стартап Chumby прекратил свою деятельность. Я решил взять перерыв на год, чтобы во всем разобраться и вычеркнуть несколько пунктов из списка желаний, одним из которых была поездка в Италию. Моей девушке пришла в голову блестящая идея обратиться к команде Arduino и узнать, смогу ли я посетить их фабрику в Скарманьо (это было за несколько лет до разделения Arduino и Genuino) в рамках нашего маршрута. Члены Officine Arduino (особенно управляющий директор Давиде Гомба) любезно нашли время в своем плотном графике, чтобы показать

меня вокруг их фабрики. Они терпеливо ждали, пока я выразлю свою внутреннюю страсть и общую любовь ко всему аппаратному обеспечению, и я определенно получил много отличных фотографий.

Небольшой городок на севере Италии, Скарманьо, находится примерно в полутора часах езды на машине к западу от Милана, недалеко от заводов Olivetti на окраине Туринова. Город занимается изготовлением печатных плат, комплектацией плат и распространением Arduino под официальной маркой. Я был очень рад увидеть фабрики, и самым ярким моментом моего тура стал осмотр System Elettronica, фабрики печатных плат, которая производила печатные платы Arduino.

Одним из очаровательных аспектов System Elettronica является то, что владелец покрасил завод в зеленый, белый и красный цвета, чтобы они соответствовали цветам итальянского флага. В цехах фабрики я увидел часть этого духа в красных и зеленых столбах, протянувшихся по всей длине предприятия.



Общий вид на завод System Elettronica в августе 2012 г.

Но вскоре я перестал обращать много внимания на декор, так как именно в этом заводском цехе мне приходилось следить за новой партией Arduino Leonards на протяжении всего производственного процесса. Вот как были сделаны эти доски.

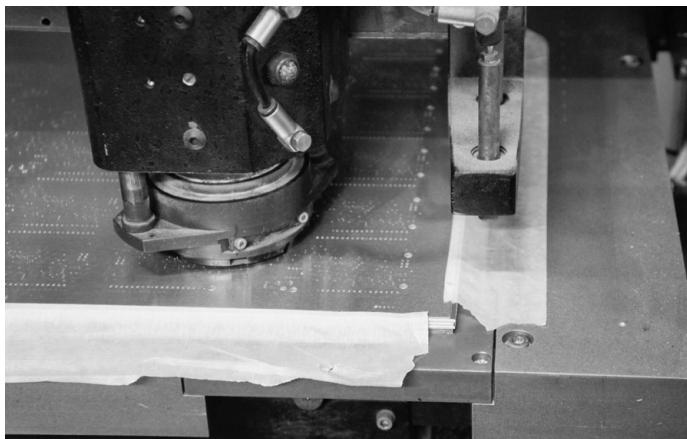
начиная с листа меди

Платы Arduino Leonardo изначально представляют собой огромные листы первичного медного покрытия FR-4, материала из стекловолокна и эпоксидной смолы, который в большинстве печатных плат используется в качестве подложки, изолирующего и структурного слоя между медными слоями. Листы имели толщину 1,6 мм (наиболее распространенная толщина печатной платы, что соответствует 1/16 дюйма), ширину, вероятно, метр и длину около полутора метров.



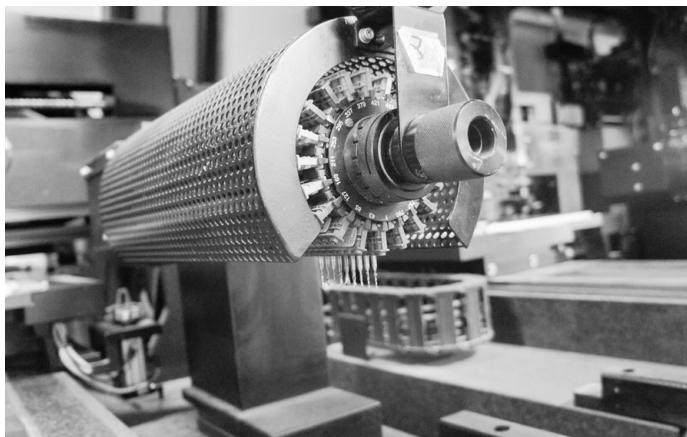
Стопка медных листов, ожидающих превращения в платы Arduino

Первым шагом в обработке печатных плат является сверление всех контактных площадок, переходных отверстий (небольших отверстий, соединяющих разные слои печатной платы), монтажных отверстий, слотов с покрытием и т. д. При изготовлении печатной платы отверстия сверлятся перед ее изготовлением. *нанесение рисунка*, этап, на котором маскирующий химикат фотографически определяется на листе везде, где конечные платы должны иметь медь, включая места дорожек, площадок для пайки и т. д. Некоторые из просверленных отверстий используются для выравнивания масок, которые формируют следы на более позднем этапе процесса. Сверление также является грязным и грязным процессом, который может повредить схемы цепей, если они были установлены заранее.



Сверлильная головка с ЧПУ, используемая для сверления плат Arduino.

Пустые медные панели были сложены по три в высоту, и сверло с ЧПУ делало один проход для всех трех, что позволяло сверлить три подложки одновременно.



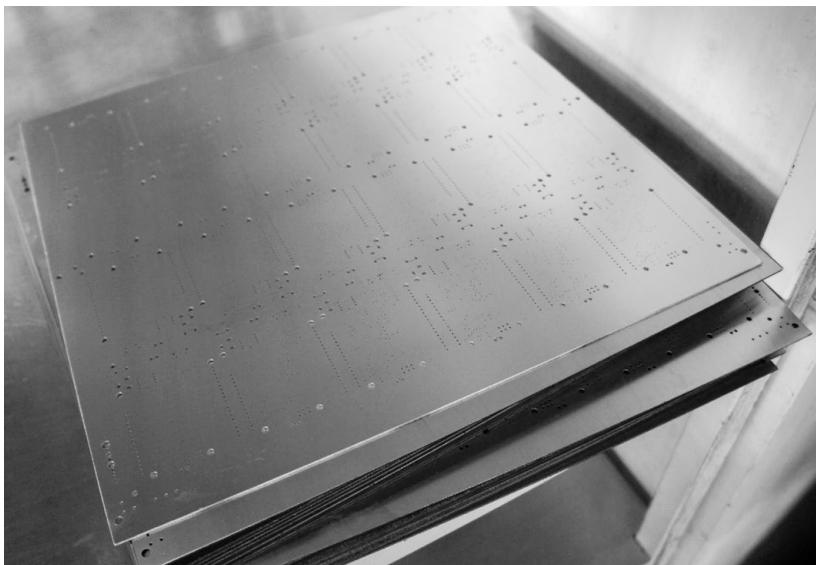
Сверлильный станок, используемый сверлильным станком с ЧПУ.

Если вам когда-либо приходилось создавать файлы для сверления с ЧПУ, то это та самая «сверлильная стойка».

Каждое отверстие в плате Arduino, включая переходные отверстия, было просверлено механически. То же самое относится и к любой печатной плате со сквозными отверстиями, поэтому количество переходных отверстий является таким важным параметром при расчете стоимости печатной платы.

Обратите внимание, что конкретная дрель, которую я видел в System Elettronica, была относительно небольшой. Я видел в Китае массивные буровые платформы, которые объединяют (механически соединяют) четыре или шесть сверлильных головок в машину размером с грузовик, обрабатывая одновременно десятки панелей, а не три панели, с которыми мог бы справиться этот бур. Причина такого подхода заключается в том, что точный роботизированный узел позиционирования является дорогостоящей частью сверлильного станка. Сама дрель дешевая — всего лишь вращающийся двигатель, приводящий в движение сверло. Итак, один из способов повысить производительность — объединить несколько сверл в одну большую сборку и перемещать их согласованно. Каждое отдельное сверло по-прежнему проходит через свою собственную стопку панелей, но за цену одного позиционера XY вы получаете в четыре-шесть раз большую производительность, чем сверло, которое я видел во время поездки в Италию. Эти более крупные машины бурят так быстро и мощно, что земля дрожит от каждого просверленного отверстия, даже на расстоянии нескольких метров.

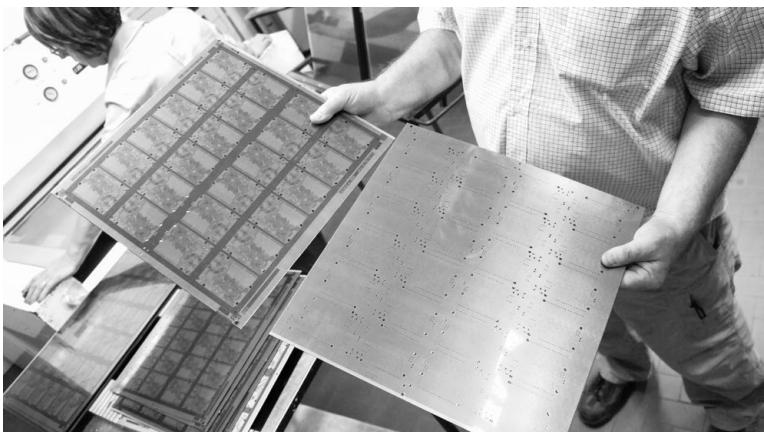
После того как панели просверлены, очищены и защищены от заусенцев, они готовы к следующему этапу производственного процесса.



Стопка готовых, просверленных панелей плат Arduino Leonardo.

нанесение рисунка печатной платы на медь

Следующим шагом является применение фоторезиста, светочувствительный химикат, на панель и обнажаем узор. В System Elettronica для этого процесса использовались световой короб и высококонтрастная пленка. Я также видел прямую лазерную визуализацию — в виде лазера растрового сканирования — используемую для нанесения рисунка на печатную плату. Прямые лазерные сканеры чаще встречаются в цехах по производству прототипов, а визуализация пленок чаще встречается в цехах массового производства.



До и после: на правой панели показан фоторезист до экспонирования, и левая панель после.

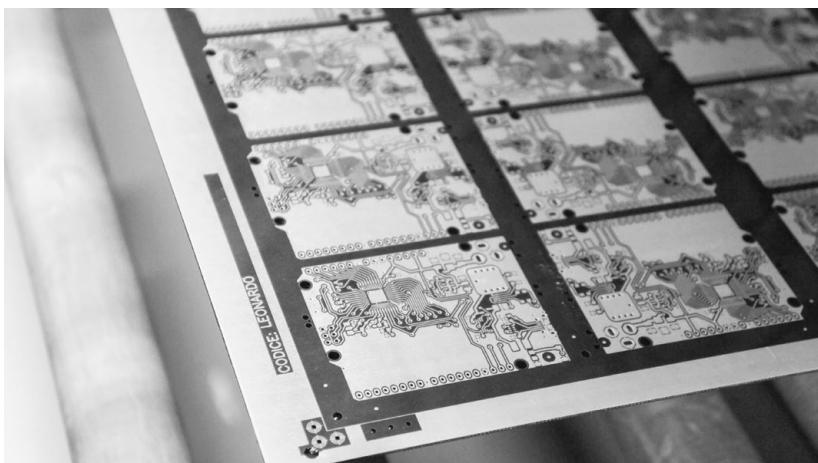


Печатная плата монтируется в световой короб, из которого видна необработанная задняя пленка.

После нанесения рисунка каждая панель досок отправляется в машину для обработки. В этом случае для разработки фоторезиста и паяльной маски используется одна и та же машина.



Машина, проявляющая фоторезист



Это фото панели с проявлением фоторезистом — одно из моих любимых фото завода System Elettronica.

Кроме того, что-то в «Кодисе: Леонардо» звучит просто круто.

травление печатных плат

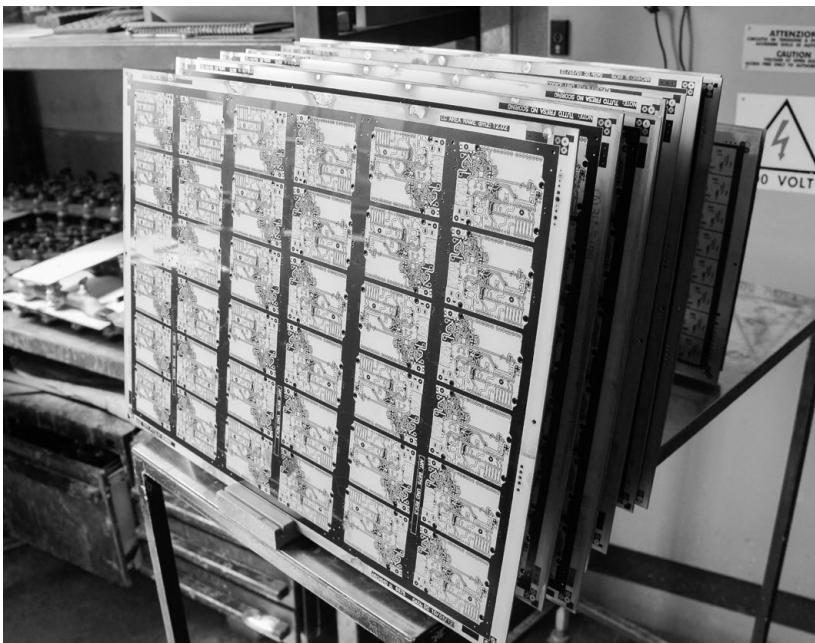
После фотообработки и проявления панели проходят серию химических ванн, в которых происходит травление и покрытие меди.

Панели осторожно перемещают вперед и назад в химической ванне, чтобы ускорить процесс травления. Движение также обеспечивает циркуляцию использованного травителя от панелей, обеспечивая более равномерную скорость травления независимо от количества удаляемой меди. Перемещение панелей через эти химические ванны в Скарманьо было полностью автоматизировано. Автоматизация необходима, поскольку панели необходимо обрабатывать серией щелочных химических ванн с минимальным воздействием кислорода. Кислород может испортить панель за считанные секунды, поэтому переход между ваннами должен быть быстрым, а время, в течение которого панель находится в ванне, должно быть постоянным. Ванны также содержат вредные для человека химические вещества, поэтому работу гораздо безопаснее выполнять эту работу.



Машинка, которая перемещает панели в травильном растворе.

После обработки панелей этой серией растворов на всех поверхностях панели, не обработанных фоторезистом, включая ранее не нанесенные покрытия сквозные отверстия и площадки, образуется тусклое белое покрытие (я предполагаю, что это никель или олово). .

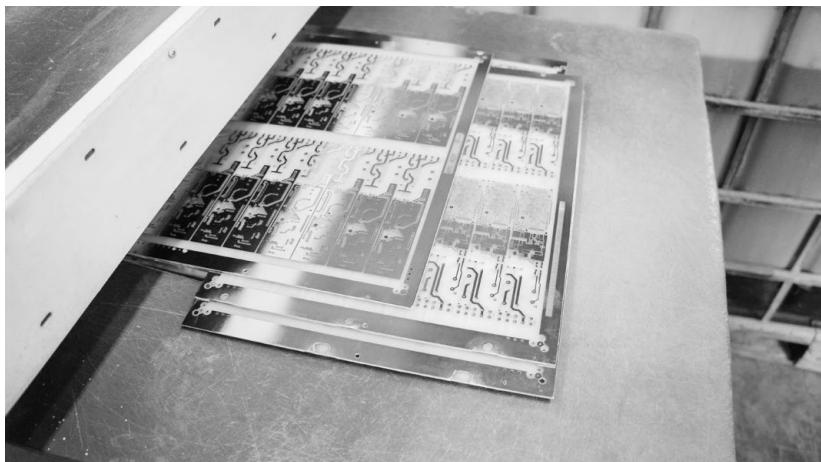


Панели плат Arduino Leonardo после прохождения серии химических ванн

На этом этапе резист и непокрытая медь удаляются, остаются только необработанный FR-4 и покрытая медь. На последнем этапе обработки получается яркий медный оттенок.



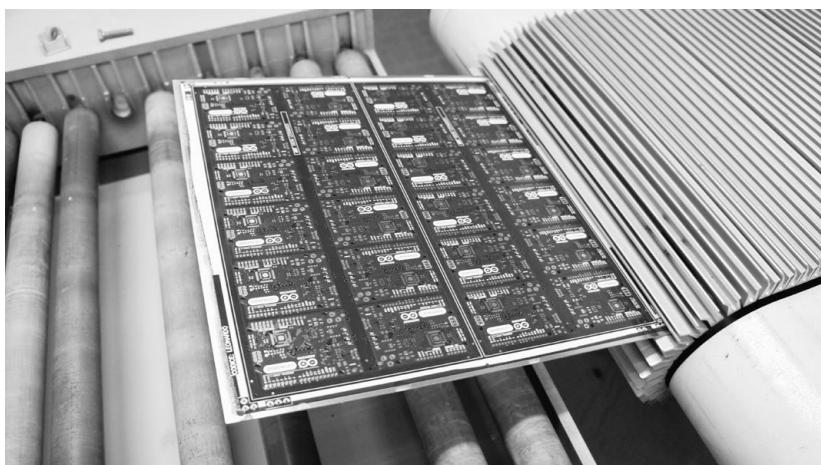
Панель, вытравленная из ненужной меди



Панели печатных плат с блестящей медью. На этом фото не показана панель Arduino, поскольку они не проходили через машину, когда я это фотографировал.

нанесение паяльной маски и шелкографии

После полировки меди панели готовы к эксплуатации. паяльная маска (защитный лакоподобный слой, который изолирует медные дорожки внизу и предотвращает перемычки припоя вверху) и шелкография (чернила, используемые для маркировки компонентов, нанесения логотипов и т. д.). Они наносятся в процессе, очень похожем на процесс нанесения рисунков, с использованием фотомаски и машины для проявки/стриппера.



Разработана панель плат Arduino с паяльной маской и шелкографией.

В случае Arduino шелкография на самом деле представляет собой второй слой паяльной маски. Для команды Arduino был приобретен очень специфический состав белой паяльной маски из сухой пленки, чтобы создать четкий, красивый слой, который разрешил сложные графические изображения, которые вы видите на платах Arduino, в частности карту Италии на обратной стороне. Другие методы изготовления слоев шелкографии, которые я видел, включают струйную печать с высоким разрешением, которая лучше подходит для быстроразворачиваемых картонных домов, и, конечно же, одноименный процесс шелкографии с использованием ракеля и краски.

Тестирование и доработка плат

После всей этой химической обработки панели получают защитное покрытие из припоя, полученного с помощью машины для пайки горячим воздухом.

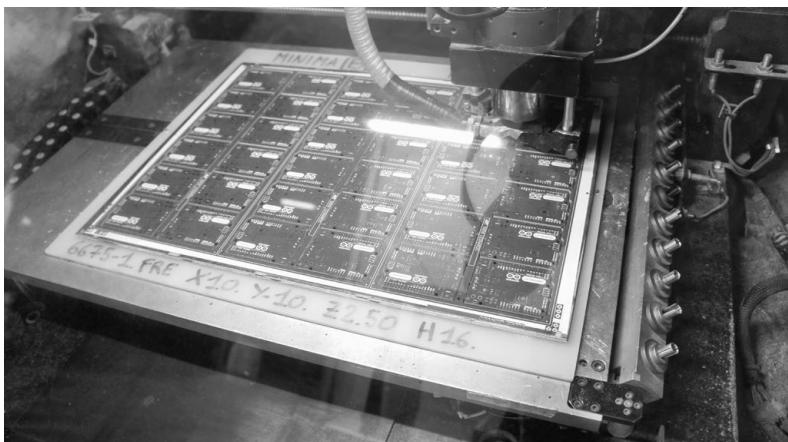
После установки пайки каждая плата проходит 100-процентную проверку. Непрерывность и сопротивление каждой дорожки измеряются парой летающих щупов. Процесс, который я видел, называется испытание летающей головы (также называемый испытание летающего зонда), и в такой установке несколько пар рычагов с игольчатыми зондами проверяют непрерывность между парами следов быстрым постукивающим движением. Учитывая все следы на Arduino Leonardo, это очень большая работа! К счастью, руки робота двигаются как размытое пятно, поскольку он может исследовать сотни точек в минуту.

примечание Альтернативой тестированию с летающей головкой является тестирование раскладушки, при котором набор штырей помещается в приспособление, которое может проверить всю плату с помощью одной механической операции. Однако приспособления-раскладушки очень трудоемки в сборке и обслуживании и требуют физической перегонки каждого раз при обновлении файлов Gerber, описывающих изображения печатных плат. Таким образом, при меньших объемах тестирование летающим зондом является более экономичным и гибким, чем тестирование раскладушкой.

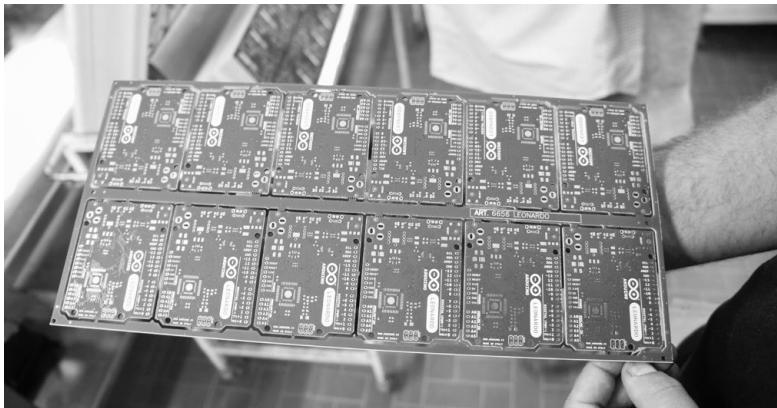


*Стопка почти готовых панелей печатных плат,
готов к заключительному этапу разводки отдельных плат*

Этот конкретный объект создавал только панели; На самом деле компоненты были установлены на другом заводе. В подобных ситуациях, прежде чем панели можно будет отправить на следующий завод, отдельные печатные платы необходимо разложить так, чтобы они поместились внутри. *технология поверхностного монтажа (SMT)* машины для установки компонентов. Панели снова складываются в стопку и обрабатываются на станке, который использует фрезу для резки и освобождения досок. После этого платы наконец готовы к отправке на объект SMT.



Несколько панелей Arduino, сложенных друг на друга для маршрутизации.



Панели меньшего размера 2x6 делают обработку SMT более эффективной.



Настоящая стопка из примерно 25 000 печатных плат Arduino, готовых покинуть завод печатных плат. Оттуда их начиняли, отгружено и продано производителям по всему миру!

Я рад, что совершил поездку на завод печатных плат Arduino. Я посетил несколько заводов по производству печатных плат, и каждый из них имеет свой характер и свой набор приемов для повышения производительности, а также уникальные ограничения, которые дизайнерам необходимо компенсировать. Также было интересно увидеть небольшой трюк с использованием

дополнительный слой паяльной маски вместо шелкографии для достижения высокого косметического качества. В то время как разрешение шелкографии ограничено сеткой шелкового барьера, удерживающей краску, паяльная маска ограничена качеством оптики и химической обработки, что дает улучшение разрешения на порядок и, в конечном итоге, более высокое воспринимаемое качество. Обычно более низкое качество шелкографии приемлемо, поскольку конечные пользователи не видят печатные платы внутри компьютеров, но для Arduino это конечный продукт. является печатная плата.

ГДЕ рождаются USB-накопители

Через несколько месяцев после экскурсии по фабрике Arduino мне посчастливилось стать основным докладчиком на конференции Linux Conference Australia (LCA) 2013. В своем докладе «Linux во плоти: приключения по внедрению Linux в оборудование» я рассказал, как Linux есть во всех устройствах, которые мы видим каждый день. Эта история не о Linux, но она связывает меня и, косвенно, LCA с фабрикой.

Одной из безделушек, которые я получил от организаторов LCA, была маленькая USB-флешка с пингвином Таксом, талисманом Linux, снаружи. Когда я увидел это устройство, я подумал, что это простое совпадение: примерно за неделю до конференции я был на заводе, производившем точно такие же USB-накопители. Я видел процесс сборки платы USB-накопителя от начала до конца, и на удивление он включал гораздо меньше автоматизации, чем процесс производства Arduino.

Начало USB-флешки

USB-накопители начинают свою жизнь как голые чипы флэш-памяти. Перед установкой на печатные платы эти микросхемы проверяются на предмет объема памяти и функциональности.

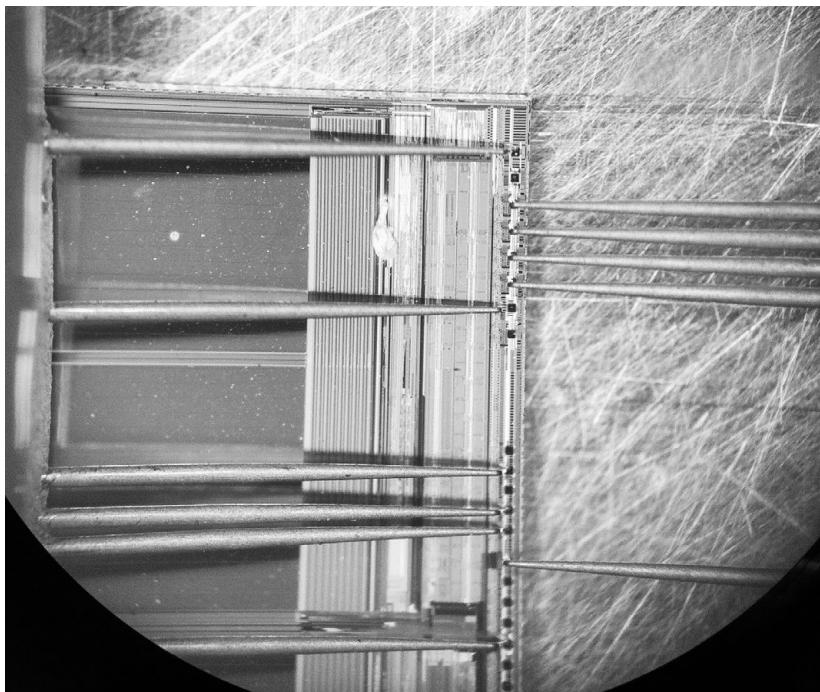


*Рабочая станция, где проверяются микросхемы флэш-памяти.
Металлический прямоугольник слева с круглым вырезом — это карта зонда.*

На рабочей станции этого завода стопки флеш-чипов с голым кристаллом ожидали тестирования и группировки с помощью *карты зонда*, который имеет крошечные, очень точно расположенные штифты, используемые для приземления на площадки, лишь немного шире человеческого волоса на поверхности кремниевой пластины. (Мне нравится, как рабочий на этой конкретной станции прикрепил аналоговый амперметр к плате зонда резиновыми лентами.)



Карта-зонд, вблизи



Глядя в микроскоп на микрозондовую станцию. Обратите внимание на иглы касаясь квадратных площадок на краю поверхности флэш-чипа. Каждая подушечка имеет толщину стороны около 100 микрон — диаметр человеческого волоса составляет около 70 микрон.

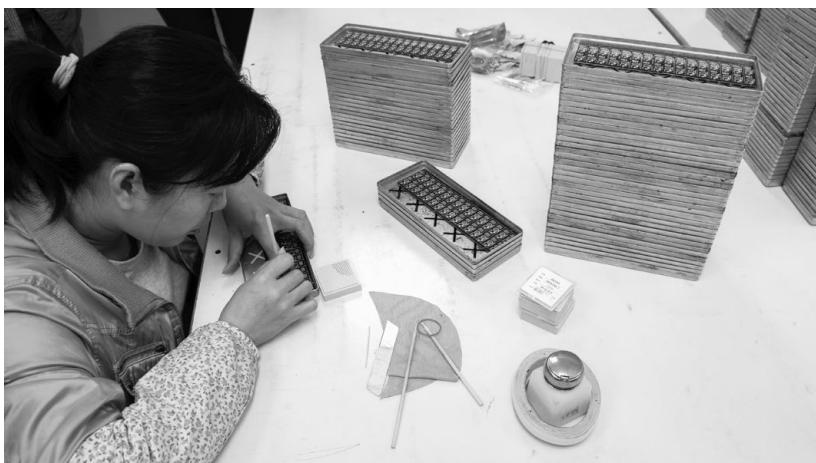
Интересно, что увиденные мной чипы абсолютно не тестировались в условиях «чистой комнаты». Рабочие обрабатывали стружку пинцетом и ручными тисками и вручную устанавливали карты зондов в приспособления.

Ручное размещение микросхем на печатной плате

После того как чипы были проверены на функциональность, их разместили рукой на печатную плату USB-накопителя. Это не необычная практика; Все предприятия по сварке проводов, которые я посетил, используют ручную установку голого кристалла.



Микросхема контроллера размещается на панели печатных плат USB-накопителя. Крошечные пустые кубики находятся справа в упаковке вафель.



Уменьшенный вид рабочей станции для установки штампов.

Женщина, которую я наблюдал, устанавливая голый кубик, использовала инструмент, похожий на палочку для еды, сделанный из вырезанного вручную бамбука. Я до сих пор не понял, как именно работает этот процесс, но могу предположить, что бамбуковые палочки имеют именно ту поверхностную энергию, которая позволяет им прилипать.

кремниевый штамп, так что кремний прилипает к кончику бамбукового стержня. На голые доски предварительно наносится клей, поэтому, когда оператор прикасается матрицей к клею, поверхностное натяжение клея отрывает матрицу от бамбуковой палочки.

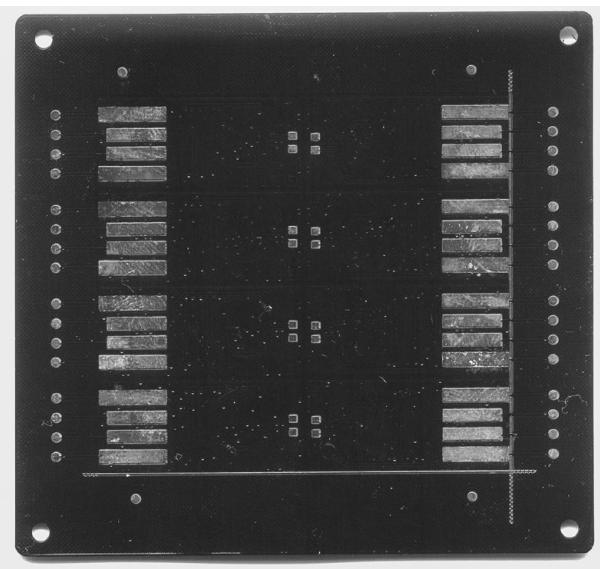
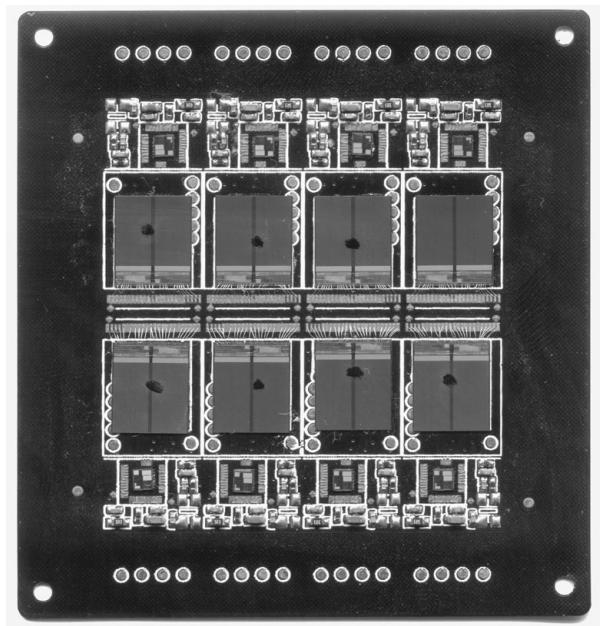
Странно думать, что с чипами внутри моего USB-накопителя можно было обращаться модифицированными палочками для еды.

приклеивание чипов к печатной плате

После того, как чипы были размещены на печатной плате, они были *проводочное соединение* к плате с помощью автоматизированной машины для склеивания, которая использует компьютерное распознавание изображений для определения местоположения контактных площадок (это одна из причин, по которой фабрики могут обойтись без ручной установки штампов). Соединение проводов — это процесс соединения интегральной схемы с ее корпусом, а автоматическая машина для склеивания соединяет провода с ИС на безумной скорости, все время вращая печатную плату. Пока я наблюдал за этим процессом, оператору приходилось вручную снимать и заменять неправильно приклеенную проволоку, а затем снова вставлять проволоку в машину. Учитывая, что эти провода тоньше пряди волос, а контактные площадки на упаковке и микросхеме микроскопические, это было немалым достижением ловкости рук.

Пристальный взгляд на платы USB-накопителей

Так же, как на заводе Arduino использовались панели, содержащие несколько плат Leonardo, на заводе по производству USB-накопителей использовались панели по восемь USB-накопителей в каждой. Каждая карта на панели состояла из чипа флэш-памяти и микросхемы контроллера, которая обеспечивала соединение между USB и необработанной флэш-памятью — нетривиальная задача, включающая, среди прочего, управление картами сбойных блоков и исправление ошибок. Контроллером, вероятно, был процессор класса 8051, работающий на частоте в несколько десятков МГц.

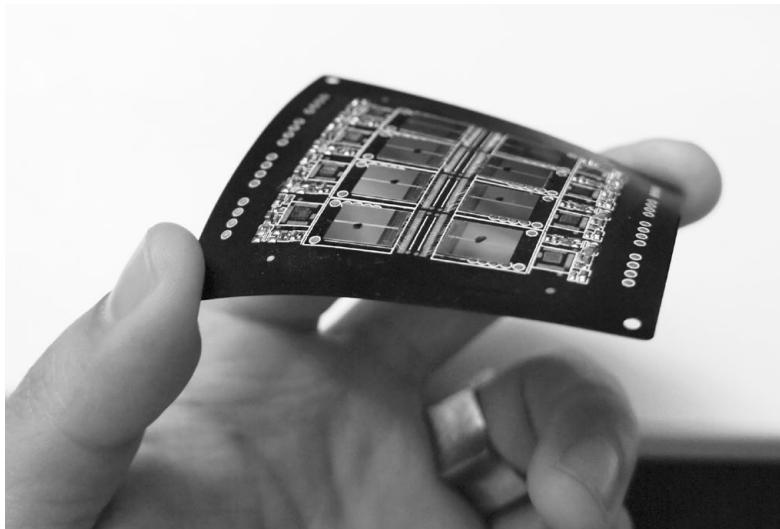


Частично склеенная, но полностью смонтированная на кристалле печатная плата, которую

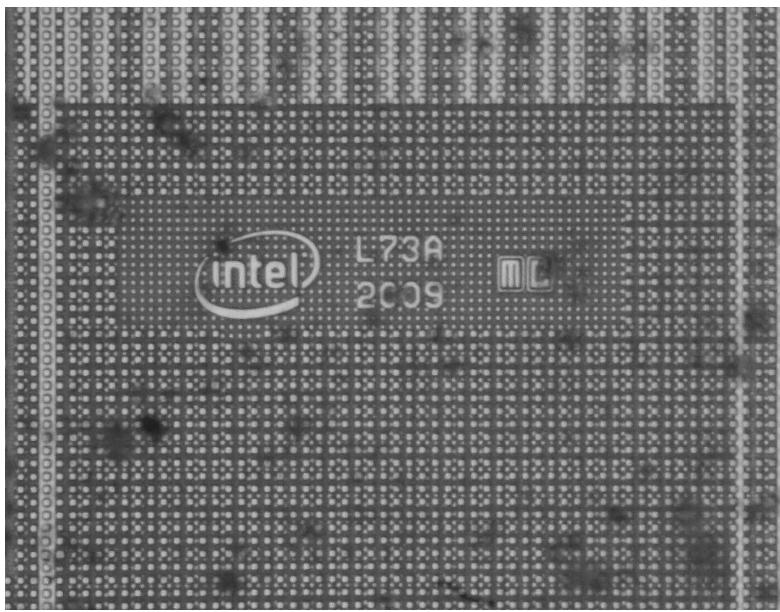
владелец фабрики подарил мне на память о моем визите.

Некоторые из проводных облигаций были разрушены при транспортировке.

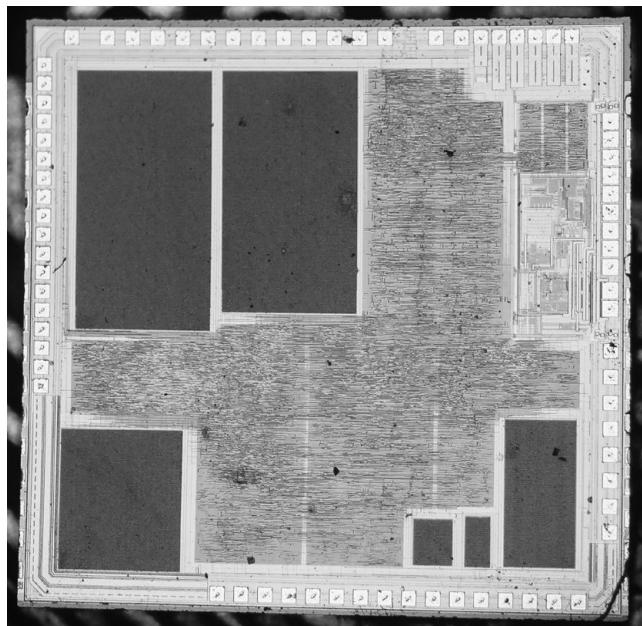
внутри трех очень разных заводов 63



Интересно, что вся сборка USB-накопителя является гибкой до инкапсуляции.



Маркировка кристалла флеш-чипа. Судя по всему, это сделано Intel.



Снимок чипа контроллера, который находился внутри USB-накопителя.

После того, как панели были склеены и протестираны, их заливали эпоксидной смолой, а затем разрезали на отдельные части и готовили к продаже.

Но хватит о производстве электроники; Далее я хочу показать вам заводской цех другого типа.

сказка о двух застежках-молниях

У моего друга Криса «Акиба» Ванга такое же прошлое, как и у меня, за исключением того, что в молодые годы он был очень хиппером: в 90-х он танцевал в таких группах, как LL Cool J и Run DMC. Пройдя определенный этап работы в крупных полупроводниковых компаниях, он в конце концов уволился и последовал своей страсти к разработке и производству собственных аппаратных проектов. Эксперт в области беспроводных сетей малого радиуса действия с низким энергопотреблением (он является соавтором книги о низком энергопотреблении Bluetooth и продает вариант Arduino + 802.15.4 под названием «Freakduino»), теперь он

консультирует такие организации, как Организация Объединенных Наций и Университет Кейо, управляет FreakLabs и сотрудничает с различными танцевальными коллективами, такими как Wrecking Crew, чтобы предоставить уникальные и привлекательные световые решения для сценических представлений.

Мне посчастливилось познакомить Акибу с большим районом Шэньчжэня во время поездки со студентами Медиа-лаборатории Массачусетского технологического института в 2013 году — той же поездки, когда мы посетили завод по производству USB-накопителей. С тех пор он исследовал все глубже и глубже эту местность. Поскольку его работа охватывает такие дисциплины, как исполнительское искусство, носимые устройства и электроника, его сеть фабрик сильно отличается от моей, поэтому я всегда наслаждаюсь возможностью узнать больше о его мире.

В январе 2015 года Акиба взял меня на фабрику застежек-молний своего друга. Экскурсия меня очень волновала: каким бы скромным ни был продукт, я всегда узнаю что-то новое, посещая его завод. Эта фабрика сильно отличалась как от Arduino, так и от производства USB-накопителей. Там было гораздо меньше сотрудников, и это было высокоавтоматизированное вертикально интегрированное предприятие. Чтобы дать вам представление о том, что это значит, на этом заводе металлические слитки, опилки и рис превращались в детали для застежек-молний.



*Примерно 1 тонна слитков,
состоит из 93 процентов цинка и 7 процентов алюминиевого сплава*



Гранулы из прессованных опилок, используемые в качестве топлива для плавильного завода.



Рис, которым кормили рабочих



Готовые бегунки и бегунки молнии в сборе.

Давайте посмотрим на одну сторону того, как на самом деле работает этот процесс.

полностью автоматизированный процесс

Между тремя входными материалами и конечным продуктом находилась полностью автоматизированная линия литья под давлением для создания съемников и бегунков застежек-молний, набор тумблеров и вибрирующие горшки (или, как я люблю их называть, «вибропоты») для освобождения и полировки. молнии и набор машин для снятия заусенцев и соединения каждого съемника с бегунком. Думаю, я насчитал на предприятии менее дюжины сотрудников, и предполагаю, что их производительность значительно превышает миллион застежек-молний в месяц.

Меня заворожили вибропотки*, которые соединяют молнии. Вибропотов было два: один со съемниками, другой с ползунками. И ползunkи, и съемники были помещены на движущуюся направляющую, и когда я наблюдал за этими чудесами в действии, мне казалось, что ползunkи и съемники выстраивались в правильном направлении по волшебству. Каждый упал на свою направляющую, и в конце линии они были спрессованы в знакомую форму молнии, и все это в одной, полностью автоматизированной машине.

* Честно говоря, я не знаю, как их зовут, так что да, я буду продолжать называть их так.

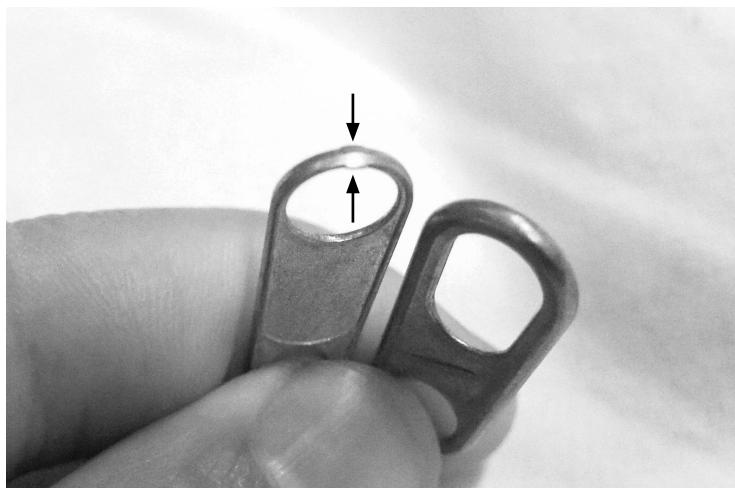
Когда я сунул руку в кастрюлю, я обнаружил, что там нет мешалки, которая могла бы вызвать движение; Я просто почувствовал сильную вибрацию. Я расслабил руку и обнаружил, что она начала двигаться вместе со всеми остальными предметами в горшке. Весь горшок вибрировал неравномерно, так что предметы внутри имели тенденцию двигаться по кругу. Это переместило съемники и ползунки на набор рельсов, форма которых позволяла использовать асимметрию объектов, чтобы позволить перейти к следующему этапу только тем частям, которые прыгнули на рельсы в правильной ориентации.

полуавтоматический процесс

Несмотря на высокий уровень автоматизации на этом заводе, многие из рабочих, которых я видел, выполняли одну операцию. Они поместили бегунки для молний другого типа в устройство, подключенное к другому вибропотку, содержащему бегунки, в то время как устройство соединяло бегунки и бегунки вместе.

Я, конечно, спросил: «Почему одни молнии имеют полностью автоматизированный процесс сборки, а другие полуавтоматические?»

Ответ, оказывается, очень тонкий и сводится к форме.



Обратите внимание на разницу между этими двумя съемниками, указанную стрелками.

Одна крошечная вкладка, едва заметная, была разницей между полной автоматизацией и необходимостью человека соединять миллионы ползунков и съемников вместе. Чтобы понять почему, давайте рассмотрим один важный этап работы вибропота. Рабочий любезно остановил вибропоток, отвечающий за сортировку съемников в правильной ориентации для полностью автоматического процесса, чтобы я мог сфотографировать ключевой этап.



Съемники, проходящие через вибропот

Когда съемники обходили рельс, их ориентация была случайной: кто-то смотрел вправо, кто-то влево. Но операция соединения должна вставлять ползунок только в меньшее из двух отверстий. Эта крошечная лапка позволяла гравитации заставлять все съемники висеть в одном направлении, когда они падали на рельс слева.

В конструкции полуавтоматической молнии эта вкладка отсутствует; в результате конструкция слишком симметрична, чтобы вибропот мог выровнять съемник. Я спросил владельца фабрики, поможет ли добавление крошечной вкладки сэкономить этот труд, и он ответил: «Да, абсолютно точно».

В этот момент мне показалось совершенно очевидным, что все молнии должны иметь этот крошечный язычок, но у дизайнера молнии его не было. Несмотря на то, что такая вкладка очень маленькая, потребители могут ощутить ее едва заметные неровности, а некоторые воспринимают ее как

дефект в конструкции. В результате дизайнер настоял на идеально гладкой вкладке, которая, соответственно, не имела возможности легко и надежно обеспечить автоматическую ориентацию.

Ирония дефицита и спроса

Мне хотелось бы представить, что большинство людей, понаблюдав за тем, как человек в течение нескольких минут прикрепляет бегунки к бегункам, были бы вполне довольны, получив крошечную шишку на кончике молнии, чтобы спасти другого человека от участия вручную выравнивать бегунки. ползунки по восемь часов в день. В качестве альтернативы, я полагаю, инженер мог бы потратить бесчисленные часы, пытаясь разработать более сложный метод выравнивания съемников и ползунков, но здесь есть две проблемы:

- Покупатель молнии, вероятно, не стал бы платить за эти усилия.
- Вероятно, дешевле платить неквалифицированной рабочей силе за ручную сортировку.

Этот владелец фабрики по производству застежек-молний уже автоматизировал все остальное на предприятии, так что, я полагаю, они тоже долго и усердно думали над этой проблемой. Я предполагаю, что создание и обслуживание роботов обходится дорого; люди самовоспроизводятся и в значительной степени самоподдерживаются. Помните третий сырьевой материал для фабрики — рис? Чтобы робот смог занять место на заводе, запасные части любого робота должны быть дешевле риса.

Однако на самом деле объяснить эту концепцию конечным потребителям — это слишком большая работа; на самом деле на рынке происходит как раз обратное. Соединение гладких молний требует дополнительных трудозатрат, поэтому молнии стоят дороже; поэтому они, как правило, в конечном итоге превращаются в продукцию высокого класса. Это еще раз подтверждает представление о том, что действительно гладкие молнии без крошечных язычков должны быть результатом контроля качества и внимания к деталям.

Мой мир полон подобных маленьких разочарований. Например, большинство покупателей считают пластик с зеркальной поверхностью более качественным, чем пластик с сатинированной отделкой. Есть

Функциональной разницы между структурными характеристиками двух пластиков нет, но создание чего-то с зеркальной поверхностью требует гораздо больше усилий. Инструменты для литья под давлением должны тщательно и тщательно полироваться, а на каждом этапе работы на заводе рабочие должны носить белые перчатки. Горы пластика утилизируются на наличие мелких дефектов, а на зеркальные поверхности накладывают дополнительные пленки из пластика, чтобы защитить их во время транспортировки.

Несмотря на все эти усилия, несмотря на все эти потери, что делают пользователи в первую очередь? Они оставили свои грязные отпечатки пальцев по всему зеркальному покрытию. В течение минуты после того, как продукт выходит из коробки, все усилия сводятся на нет. Или, что еще хуже, пользователь оставляет защитную пленку, что приводит к худшему косметическому эффекту, чем сатиновая отделка.

Сравните это с сатинированным пластиком. Сатиновая отделка не требует защитных пленок, с ней легче обращаться работникам и пользователям, она служит дольше и дает гораздо больший выход продукции. В руках пользователя они скрывают мелкие царапины, отпечатки пальцев и частички пыли. Можно утверждать, что сатиновая отделка обеспечивает лучшее долгосрочное обслуживание клиентов, чем зеркальная отделка.

Но эта зеркальная отделка действительно выглядит красиво на фотографиях и витринах выставочных залов!

3. заводской цех

Предыдущие две главы были наполнены историями о моем личном опыте обучения, совершения ошибок и роста вместе с производственной экосистемой в районе Большого Шэньчжэня. В январе 2013 года, после того как я освоился, Медиа-лаборатория Массачусетского технологического института попросила меня начать наставлять аспирантов по цепочке поставок и производству, и я взял их на экскурсию по Шэньчжэню (тот самый тур, где я встретил Акибу и посетил USB-центр). завод по производству карт памяти). Эта глава представляет собой попытку свести все, чему я убил в течение нескольких недель, на пару десятков страниц.

Проблемы и компромиссы при мелкосерийном производстве отличаются от проблем, связанных с хорошо финансируемыми корпоративными проектами, которые разрабатывают прототипы в масштабе тысяч единиц. Я усвоил это со временем, но не у каждого есть шесть лет, чтобы совершить все ошибки новичка. Если вы уже работаете в быстро развивающемся технологическом стартапе, вы, вероятно, вообще не можете позволить себе роскошь проводить какие-либо исследования. Уроки этой главы применимы для всех, кто хочет запустить аппаратный продукт от первоначального прототипа до умеренных объемов (возможно, сотен тысяч единиц). Рассматривайте это резюме как общее руководство, а не как детальную дорожную карту. Дьявол всегда кроется в деталях, и одна из интересных особенностей создания новых, инновационных аппаратных продуктов заключается в том, что нет конца новым и интересным задачам, которые необходимо решить.

Как составить список материалов

Большинство производителей, пытающихся увеличить объемы производства, быстро понимают, что единственный практический путь вперед — это передать производство на аутсорсинг. Если бы аутсорсинг был так же прост, как схема + деньги = продукт!

Независимо от того, работаете ли вы в сборочном цехе на соседней улице или отправляете свою работу в Китай, четкий и полный спецификация (*BOM*) — это первый шаг к аутсорсингу производства. Каждое предположение, которое вы делаете о своей печатной плате, вплоть до цвета паяльной маски, должно быть недвусмысленно сформулировано, чтобы третья сторона могла точно воспроизвести ваш дизайн. Отсутствие или неполная документация является основной причиной задержек производства, дефектов и перерасхода средств.

простой светильник для велосипедного фонаря безопасности

В качестве примера предположим, что вы провели успешную кампанию на Kickstarter по продаже велосипедных фонарей безопасности. Он содержит схему, которая использует таймер 555 для мигания небольшого массива светодиодов. После успешной маркетинговой кампании за несколько месяцев необходимо выполнить несколько сотен заказов.

На первый взгляд спецификация велосипедного фонаря, автоматически созданная с помощью такого инструмента проектирования, как Altium, может выглядеть так:

Количество	Комментарий	Обозначение
1	0,1 μ Ф	C1
1	10 μ Ф	C2
3	белый светодиод	D1, D2, D3
1	2N3904	1 квартал
1	100	P1
2	20 тысяч	P2, P4
1	1 тыс.	P3
1	555 таймер	U1

Очень простой велосипедный фонарь безопасности ВОМ.

Этой спецификации вместе со схемой, вероятно, будет достаточно для любого выпускника программы электротехники в США, чтобы воспроизвести прототип, но ее далеко не достаточно для расчета производственных затрат. Эта версия спецификации касается только электроники. Полная спецификация для светодиодной вспышки также должна включать печатную плату, батарею, детали пластикового корпуса, линзу, винты, любую маркировку (например, серийный номер), руководство и упаковку (например, полиэтиленовый пакет и картонная коробка). Для перевозки нескольких светодиодных мигалок вместе может также потребоваться картонная коробка, поскольку светодиодная мигалка в одной упаковке слишком мала, чтобы ее можно было транспортировать отдельно. Хотя картонные коробки дешевы, они не бесплатны, и если они не будут заказаны вовремя, запасы останутся на причале до тех пор, пока основная коробка не будет доставлена для окончательной упаковки перед отправкой.

Также отсутствует следующая ключевая информация:

- Утвержденный производитель каждого компонента
- Допуск, состав материала и характеристики напряжения для пассивных компонентов
- Информация о типе упаковки для всех частей
- Расширенные номера деталей, специфичные для каждого производителя.

Давайте рассмотрим каждый из недостающих элементов более подробно.

одобренные производители

Надлежащая фабрика потребует от вас поставки *список утвержденных поставщиков (AVL)* — указание разрешенного производителя(ов) для каждой детали на печатной плате. Производитель — это не дистрибутор, а компания, которая фактически производит деталь. Конденсатор, например, могут производить компании TDK, Murata, Taiyo Yuden, AVX, Panasonic, Samsung и так далее. Я до сих пор удивляюсь тому, сколько спецификаций, которые я просмотрел, указывают DigiKey, Mouser, Avnet или какого-либо другого дистрибутора в качестве производителя детали.

Может показаться глупым относиться к тому, кто производит конденсатор, но определенно существуют ситуации, когда производитель компонента имеет значение — даже для скромного конденсатора. Например, слепая замена конденсаторов фильтра на импульсном стабилизаторе, даже если заменитель имеет те же номинальную емкость и напряжение, может привести к нестабильной работе и даже возгоранию платы.

Конечно, некоторые детали конструкции могут быть совершенно нечувствительны к производителю, и в этом случае я бы отметил «любой/открытый» в спецификации для AVL. (Это особенно актуально для таких деталей, как подтягивающие резисторы.) Это побуждает фабрику предложить предпочтительного поставщика от вашего имени.

Допуск, состав и характеристики напряжения

Для пассивных компонентов с пометкой «любой/открытый» всегда следует указывать следующие ключевые параметры, чтобы гарантировать покупку нужной детали:

- Для резисторов укажите как минимум допуск и мощность. Угольный резистор 1 кОм с допуском 1 процент и мощностью 1/4 Вт сильно отличается от проволочного резистора мощностью 1 Вт с сопротивлением 1 кОм и допуском 5 процентов!
- Для конденсаторов укажите как минимум допуск, номинальное напряжение и тип диэлектрика. Для специальных применений также укажите определенные параметры, такие как ESR или пульсирующий ток.

толерантность. Электролитический конденсатор емкостью 10 мкФ с допуском 10 процентов, рассчитанный на напряжение 50 В, имеет совершенно другие характеристики на высоких частотах по сравнению с керамическим конденсатором емкостью 10 мкФ с допуском 20 процентов, рассчитанным на 16 В.

Индукторы достаточно специализированы, поэтому я не рекомендую обозначать их в спецификации как «любые/открытые». Для силовых индукторов основными параметрами, которые необходимо указать, являются состав сердечника, сопротивление постоянному току, насыщение, повышение температуры и ток, но в отличие от резисторов и конденсаторов, индукторы не имеют стандарта для корпуса. Более того, такие важные параметры, как экранирование и герметизация, которые могут существенно повлиять на работу схемы, часто неявно указываются в номере детали; следовательно, лучше всего полностью указать индуктор. То же самое касается и ВЧ-индукторов.

Форм-фактор электронных компонентов

Всегда полностью указывайте *фактор формы* или тип пакета компонента. Плохо заданные или недоопределенные параметры пакета могут привести к ошибкам сборки. Помимо основных параметров, таких как код пакета Electronic Industries Alliance (EIA) или JEDEC Solid State Technology Association (то есть 0402, 0805, TSSOP и т. д.), при создании спецификации учитывайте следующую информацию о пакете:

пакеты для поверхностного монтажа Высота компонента может варьироваться, особенно для корпусов размером более 1206 или для индукторов. Обратите внимание, вставляется ли плата в плотный корпус.

Пакеты со сквозными отверстиями Всегда указывайте шаг выводов и высоту компонента.

Для микросхем в целом постарайтесь указать общее имя, соответствующее упаковке, а не только имя производителя.

внутренний код. Например, код пакета типа «DW» компании Texas Instruments соответствует пакету SOIC. Эта проверка согласованности помогает защититься от ошибок.

расширенные номера деталей

Проектировщики часто думают о компонентах, используя сокращенные номера деталей. Прекрасным примером этого является 7404. Почтенный 7404 представляет собой шестигранный инвертор, который находится в эксплуатации уже несколько десятилетий. Ввиду своей повсеместности, 7404 среди инженеров-конструкторов может использоваться как общий термин для обозначения инвертора.

Однако при запуске в производство необходимо указать такую информацию, как тип упаковки, производитель и семейство логики. Полный номер детали для конкретного шестигранного инвертора может быть следующим: **74VHCT04AMTC**, в котором указан инвертор производства Fairchild Semiconductor из серии VHCT в корпусе TSSOP, поставляемый в трубках. Дополнительные символы очень важны, поскольку небольшие изменения могут вызвать большие проблемы, такие как назначение и заказ устройства в неправильной упаковке, застревание в катушке непригодных для использования деталей или незначительные проблемы с надежностью.

Например, я разработал роботизированный контроллер (под кодовым названием *Кован*), столкнулся с проблемой из-за ошибочной замены СКЭв номере детали компонента в VHCT логическая семья. Использование части VHC переключило входные пороги инвертора с TTL на логически совместимые с CMOS, в результате чего некоторые устройства имели асимметричную реакцию на входные сигналы. К счастью, я заметил эту проблему до того, как производство резко возросло. На всех остальных устройствах использовалась правильная деталь, и я избежал большого количества потенциальных переделок или, что еще хуже, возвратов от расстроенных клиентов. К счастью, единственной ценой ошибки стала переработка нескольких прототипов, которые я проверял перед производством.

Вот еще один пример того, как отсутствие нескольких символов в номере детали может стоить тысячи долларов. Полностью указанный

номер детали импульсного стабилизатора LM3670 может быть LM3670MFX-3.3/NOPB. Если/НОПБопущен, номер детали по-прежнему действителен и доступен для заказа, но в этой версии используется этилированный припой. Это может иметь катастрофические последствия для продукции, экспортирующейся в регион, который требует соблюдения RoHS (что, среди прочего, означает отсутствие свинца), например, Европейский Союз.

The Икс в номере детали есть еще одна, более тонкая проблема. Номера деталей с Икс поставляются в рулонах по 3000 штук, а те, у которых нет Икс поставляются в рулонах по 1000 штук. Хотя многие заводы будут подвергать сомнению/НОПБупущение, поскольку они обычно собирают документацию RoHS при покупке деталей, они редко отмечают количество катушек как проблему.

Но ты следуешь заботиться о количестве катушек. Если вы планируете создать только 1000 продуктов, включая Икс в номере детали означает, что у вас будет 2000 дополнительных LM3670. И да, вам придется заплатить за излишек, поскольку в вашей спецификации указан этот номер детали. Существует множество веских причин для заказа лишних деталей, поэтому заводы редко будут подвергать сомнению такое решение.

С другой стороны, детали, заказанные партиями по 1000 единиц, стоят немного дороже, чем детали, заказанные партиями по 3000 штук. Итак, если вы опустите Икс то мере увеличения объема вы будете платить за деталь больше, чем нужно. В любом случае фабрика укажет вашу спецификацию в точности так, как указано, и если ваши спецификации количества неверны, вы можете оставить деньги на столе или, что еще хуже, потерять деньги.

Нижняя линия? Каждая цифра и символ имеют значение, а отсутствие внимания к деталям может стоить реальных денег!

Новый взгляд на велосипедную безопасность

Учитывая эти четыре момента, подумайте, как может выглядеть правильная, полностью определенная спецификация для примера велосипедного фонаря безопасности.

Код-во	Ценить	Упаковка	Обозначение	АВЛ1	АВЛ АРТИКУЛ	минимальный заказ	Вести время
1	0,1μF, керамика, 25В, 10%, X5R	0402	C1	Тай ёуден	TMK105БХ104KB-Ф...	10000	8 недель
1	10μF, керамика, 16В, 10%, X5R	1206	C2	ТДК	K3216C5P1K106K(085A5)	2000 г.	12 недель
3	белый светодиод, прозрачная линза	T-1 3/4	Д1, Д2, Д3	Лонекс	SSI-LX5093W/C/G	3000	12 недель
1	2Н3904	SOT-223	1 квартал	НА Полупроводник	ПЗТ3904ТГОС	1000	6 недель
1	100 Ом, 1/2 Вт, 5 %	2010 04a	P1	Панасоник	ЭРДЖ-12СФ100У	5000	8 недель
2	20 кОм, 1/16 Вт, 1%	0402	P2, P4	мебой/открытый		10000	8 недель
1	1к 1/16Вт, 5%	0402	P3	мебой/открытый		10000	8 недель
1	NE555D	СОИК-8	U1	TI	NE555D	1000	4 недели
1	Легатная плата, FR4, 1 бмм +/- 10%, зеленая паяльная	печатная плата	подходит/открытию	FLASHYLIGHT_GERBERS_V1.ZIP	1000	4 недели	
	Матка, HASL, белая центрифуги, 5см x 8см						
1	Пластик ABS, нижняя часть корпуса, сатинированная, без			подходит/открытию	FLASHYLIGHT_BOT_V1.STEP	1000	16 недель / 4 недели
	свинца, черный						
1	Пластик ABS, верхний корпус, сатинированный, без свинца, черный			подходит/открытию	FLASHYLIGHT_TOP_V1.STEP	1000	16 недель / 4 недели
1	Пластик из поликарбоната, матовая, чернющая поверхность, не содержит свинца, прозрачна.			подходит/открытию	FLASHYLIGHT_LENS_V1.STEP	1000	16 недель / 4 недели
4	Бинг M2x4, с цилиндрической головкой Philips, саморез 5 Мм.			мебой/открытый		4000	запас
1	Battery Snap, 9 В, красные и черные провода длиной 15 см, 26 AWG (выходы 4 и 5 мм)			мебой/открытый		5000	1 неделя
1	Инструкция по эксплуатации, лист А4, черно-белый, печать с двух сторон.			мебой/открытый	flashylite_manual_У2.ai	1000	3 недели
1	Полиграфический пакет размером 10 см x 12 см, прозрачный.			мебой/открытый		1000	1 неделя
1	Этикетка со штрих-кодом, серийным номером и кодом даты, CODE39 5 mm x 15 mm			мебой/открытый	barcode_sample_v1.pdf	1000	1 неделя
0,02	Картонная коробка, 60 см x 40 см x 20 см			мебой/открытый		100	1 неделя

Существует большая разница между спецификацией, которую любой инженер мог бы использовать для производства прототипа, как первая, которую я показал для велосипедного фонаря безопасности, и такой спецификацией, которую любой завод мог бы использовать для массового производства продукта. Обратите особое внимание на столбцы MOQ (минимальный объем заказа) и Время выполнения. Эти столбцы не имеют значения, когда вы создаете прототипы небольшими партиями, поскольку вы обычно покупаете детали у дистрибуторов, у которых мало ограничений по минимальному объему заказа и которые поддерживают запасы для поставок на следующий день. Однако при масштабировании производства вы экономите много денег, сокращая накладные расходы на дистрибуторов и закупая продукцию через оптовые каналы. В оптовых каналах значение имеют минимальный заказ и сроки выполнения заказа.

Хорошей новостью является то, что фабрика укажет минимальный заказ и время выполнения заказа в рамках процесса предложения. Но вам будет полезно отслеживать эти параметры с самого начала. Если минимальный объем заказа определенного компонента очень высок, заводу, возможно, придется закупать огромное количество лишних деталей, что увеличивает эффективную цену проекта. Если время выполнения детали очень велико, вы можете рассмотреть возможность перепроектирования детали с более коротким временем выполнения. Использование деталей с более коротким сроком поставки не только экономит время, но и улучшает денежный поток: никто не хочет тратить деньги на компоненты с длительным сроком поставки за четыре месяца до получения дохода от продаж.

Эта спецификация также включает в себя несколько неэлектронных элементов, таких как коробка, этикетка со штрих-кодом и т. д., которых нет в спецификации инженерного прототипа. Эти разные детали легко забыть, но отсутствие руководства пользователя в первоначальной спецификации часто не обнаруживается до тех пор, пока не будет открыт окончательный образец для утверждения, что приводит к тому, что в последнюю минуту приходится бороться за включение руководства в конечный продукт. Многие продукты были задержаны просто потому, что руководство пользователя или обложка коробки не были завершены и утверждены вовремя, и это отстой, когда на складе простаивают запасы на сто тысяч долларов из-за отсутствия листка бумаги.

Помимо правильной спецификации, еще одной лучшей практикой является предоставление фабрике золотых образцов вашего продукта вместе с файлами САПР. Эти рабочие прототипы позволяют фабрике принимать более разумные решения в отношении любых неясностей в представленной вами спецификации. Ручная пайка еще одного устройства только для завода может показаться утомительной, но, на мой взгляд, несколько часов пайки заменяют неделю обмена электронными письмами с заводом.

примечание *Когда вы строите бизнес-модель, детали и упаковка — это не единственные затраты, которые следует учитывать. Даже в этой подробной спецификации не указаны заводские наценки, трудозатраты на сборку, упаковку, доставку, пошлины и так далее. Я обсуждаю эти «мягкие затраты» в разделе «Выбор (и удержание) партнера» на стр. 107.*

Планирование изменений и борьба с ними

Конечно, даже если ваш дизайн идеален и ваша спецификация идеальна, ваш дизайн все равно придется изменить, если поставщик конец жизни (*EOL*) или прекратите производство выбранных вами компонентов. И давайте посмотрим правде в глаза: всегда есть вероятность, что ваши дизайнерские предположения не выдержат контакта с реальными потребителями.

Прежде чем переступить порог производства, формализуйте процесс изменения конструкции на заводе. Лучше всего использовать письменные, формальные *заказы на инженерные изменения (ECO)* информировать завод о любых изменениях после первоначального предложения. Как минимум, вот что должен включать шаблон ECO:

- Подробности каждой измененной части и краткое объяснение того, почему необходимо изменение.
- Уникальный номер версии для удобной ссылки на изменения в будущем.
- Метод регистрации получения фабрикой документов ЭКО.

Будьте внимательны к ECO, а не полагайтесь на случайные электронные письма, иначе покупатели на вашем заводе могут купить не ту деталь. Хуже того, фабрика может установить неправильная деталь, и целые партии вашего продукта придется выбросить или переработать. Даже после устранения проблемы с заводскими инженерами я все равно составляю формальный ЭКО и передаю его производственному персоналу для оформления результатов. Я ненавижу бумажную работу так же, как любой другой инженер, но на производстве одна маленькая ошибка может стоить десятки тысяч долларов, и эта мысль держит меня дисциплинированным в отношении ECO.

На следующей странице — настоящий документ ECO, который я выпустил, и который в итоге сэкономил мне время и деньги.

Обратите внимание на дату на этом ЭКО: 27 февраля 2014 г. Это ЭКО было выпущено прямо перед китайским Новым годом, когда заводы уходят в отпуск на пару недель. После праздников на заводах наблюдается значительная текучесть неквалифицированной рабочей силы, поэтому существует большая вероятность того, что заказы на работу потеряются и забудутся. Обеспокоенный тем, что ЭКО пропустят, я проконсультировался с менеджерами после того, как завод возобновил производство, чтобы не забыть об ЭКО. Они заверили меня, что это было применено, но я все еще чувствовал смутную паранойю, поэтому попросил фотографии печатной платы для подтверждения. Разумеется, в первой производственной партии не было изменений в моем ЭКО.

Благодаря подробному ЭКО завод с готовностью признал свою ошибку, отремонтировал всю партию продукции и оплатил доработку. Но если бы я отправил заказ на изменение по электронной почте, не ссылаясь на конкретные партии или рабочие задания, у фабрики могла бы возникнуть достаточная двусмысленность, чтобы избежать расходов на доработку. Фабрика могла бы заявить, что, по ее мнению, я хотел применить изменения к будущему производственному циклу, или она могла бы просто отказать в получении подтвержденного заказа, поскольку электронные письма являются довольно случайной формой общения. В любом случае, несколько минут документации сэкономили дни переговоров и сотни долларов на доработках.

ENGINEERING CHANGE ORDER

Date: 27 February 2014

Mr. Sutajio Ko-Usagi
Email: bunnie@usagi.com
www.usagi.com

Sutajio Ko-Usagi Pte LTD
bunnie@usagi.com

ECO number: 0001 version: 2

Project: [Project Name](#)

Subassembly: [Subassembly Name](#) sensor and microcontroller [Microcontroller](#)

Reference PO: PO-0018 and PO-0016

Background

Per request by engineer [\[REDACTED\]](#), pull-ups on inputs to the microcontroller and trigger sticker are to be modified to enhance flexibility and better target user use-cases.

On the microcontroller, R2, R3, and R4 (all 22M, 5%) shall be omitted, to allow the inputs to be used in applications that bar the presence of a pull-up.

On the trigger, R16 shall be changed from 10k, 1% to 22M, 5%, to allow for resistive-touch style sensing of the input pin.

CHANGE ORDER DETAILS

ORIGINAL		NEW		Comments
Designator	Value	Designator	Value	
R2	22M, 5% 0603	R2	DNP	BOM change only
R3	22M, 5% 0603	R3	DNP	BOM change only
R4	22M, 5% 0603	R4	DNP	BOM change only
R16	10k, 1% 0603	R16	22M, 5% 0603	BOM change only

MATERIAL DISPOSITION

No extra material needs to be ordered to execute this change.

Excess material resulting from this change shall be held by [\[REDACTED\]](#) and applied to future builds. No expected change to PO or cost for assembly.

Version history

version 2 – changed 0805 to 0603 for part footprints, was a typo.

Пример реального ECO, используемого в производстве.

*Благодаря официальному процессу документирования, производство
путаница, связанная с этим ЭКО, разрешилась в мою пользу.*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА: ДИЗАЙН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА

Пока вы разрабатываете конечный продукт и составляете спецификацию, примите во внимание урожай, количество хороших единиц продукции, выпускаемых в процессе производства, также важно. Доходность — скучная тема для многих инженеров, но для предпринимателей

успех или неудача будут частично определяться тем, достигнут ли они разумной доходности. К счастью, вы можете повысить урожайность, проектируя с учетом этого.

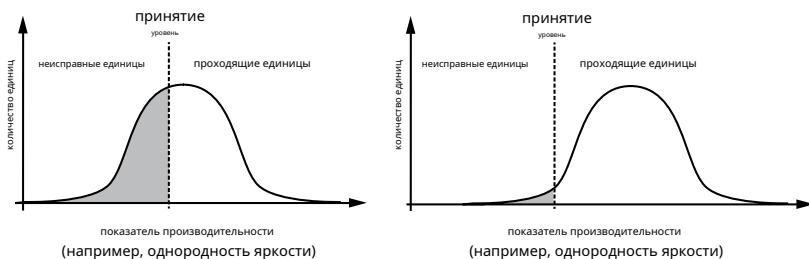
почему дфм?

В отличие от программного обеспечения, каждая копия физического товара имеет небольшие недостатки. Иногда недостатки компенсируются; иногда они объединяются и ухудшают производительность. По мере роста объемов производства часть продукта всегда оказывается непродаляемой. В надежной конструкции доля отказов может быть настолько мала, что функциональные тесты можно упростить, что приведет к дальнейшему снижению затрат.

Напротив, конструкции, чувствительные к допускам компонентов, требуют обширных испытаний и будут иметь большие потери производительности.

Переработка неисправных узлов требует дополнительных затрат на рабочую силу и детали, что в конечном итоге снижает прибыль.

Таким образом, модернизация конструкции для повышения надежности в условиях обычных производственных допусков является серьезной проблемой при переходе от инженерного стенда к массовому производству. Этот процесс называется *проектирование для производства (DFM)*.



Слева, до DFM, почти половина устройств не соответствует уровню приемки и, следовательно, выходит из строя. Верно, после DFM уровень приемлемости тот же, но средняя производительность улучшается, что приводит к прохождению большинства единиц.

Чтобы понять важность DFM, рассмотрите эти графики. На каждом изображен колоколообразная кривая, который представляет собой предполагаемое статистическое распределение конкретного параметра. Ось X представляет собой интересующий параметр, а ось Y — количество произведенных предметов, соответствующих данному параметру. Например, в сюжете

От яркости тысяч светодиодов ось X будет отражать яркость, а ось Y — количество светодиодов, достигающих заданной яркости.

Положение колоколообразной кривой относительно критериев «прошел/не прошел» определяет чистый выход продукции.

На правой кривой большинство светодиодов достаточно яркие, и большая часть производственных запасов готова к отправке. На левой кривой проходит около 40 процентов светодиодов. Учитывая, что большинство компаний, производящих оборудование, работают с валовой прибылью от 30 до 50 процентов, отказ от 40 процентов материала будет означать конец бизнеса. В такой ситуации единственный жизнеспособный вариант — потратить время и силы на доработку светодиодов до тех пор, пока они не будут соответствовать требованиям, или снизить требования к производительности. Продукт не будет такого высокого качества, как хотелось бы, но, по крайней мере, бизнес сможет продолжать работать.

Допуски, которые следует учитывать

Цель DFM — обеспечить, чтобы ваш продукт всегда проходил проверку и чтобы вы никогда не сталкивались с неприятным выбором: снизить прибыль, снизить стандарты качества или выйти из бизнеса. Но есть некоторые аспекты, о которых следует подумать при применении DFM.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ИС ДОПУСТИМОСТИ

Допуски пассивных компонентов являются наиболее очевидными допусками при проектировании. Если истинное значение резистора может составлять $+/-5$ процентов от его указанного значения, убедитесь, что остальная часть вашей схемы справится с пограничными случаями.

Параметры таблицы данных активного компонента, такие как коэффициент усиления по току (hFE) для биполярных транзисторов, пороговое напряжение (V_T) для полевых транзисторов (FET) и напряжение прямого смещения (V_x) для светодиодов — также может сильно различаться. Всегда читайте таблицу данных и следите за параметрами с большим расхождением между их минимальными и максимальными значениями, разницей, которую часто называют *мин-макс спред*. Например, мин-макс на hFE

для Fairchild 2N3904 колеблется от 40 до 300, а $V_{\text{ж}}$ на сверхярком светодиоде Kingbright оно составляет от 2 до 2,5 В.

Помимо номинального рабочего напряжения, максимальное номинальное напряжение компонента особенно важно для конденсаторов и входных сетей. Я стараюсь использовать конденсаторы, рассчитанные на удвоенное номинальное напряжение; например, где это возможно, я использую конденсаторы на 10 В для линий 5 В и конденсаторы на 6,3 В для линий 3,3 В. Чтобы понять почему, рассмотрим керамические диэлектрики конденсаторов, емкость которых уменьшается с увеличением напряжения. В конструкциях, работающих вблизи максимального напряжения керамического конденсатора, рабочая емкость этого компонента будет находиться на отрицательном конце диапазона допуска. Также, *входные сети* (любая часть схемы, к которой пользователь может что-то подключить) подвергается наказанию за электростатический разряд и другие переходные нарушения, поэтому обратите особое внимание на номиналы конденсаторов, чтобы добиться желаемой надежности.

Наконец, после того, как вы хорошо разобрались в компонентах, которые будете использовать, при проектировании печатной платы обратите пристальное внимание на ширину дорожек и вариации стека слоев. Это повлияет на системы, требующие согласованного импеданса или работающие с большими токами.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ДОПУСКИ

Однако электронные допуски — это еще не конец ваших забот; Механические допуски также важны. Ни печатные платы, ни корпуса не получатся точно нужного размера, поэтому спроектируйте корпус с некоторым пространством для маневра. Если конструкция вашего корпуса имеет нулевой допуск к размерам печатной платы, то в половине случаев фабрика будет принудительно помещать печатные платы в корпуса, когда либо печатная плата будет обрезана немнога больше, либо корпус выйдет немножко маленьким. Это может привести к непреднамеренному механическому повреждению схемы или корпуса.

И не забывайте о косметических дефектах! Любой изготовленный продукт может иметь небольшие дефекты, такие как пыль, попавшая в пластик, небольшие царапины, вмятины и потертости. Важно разработать критерии приемлемости для

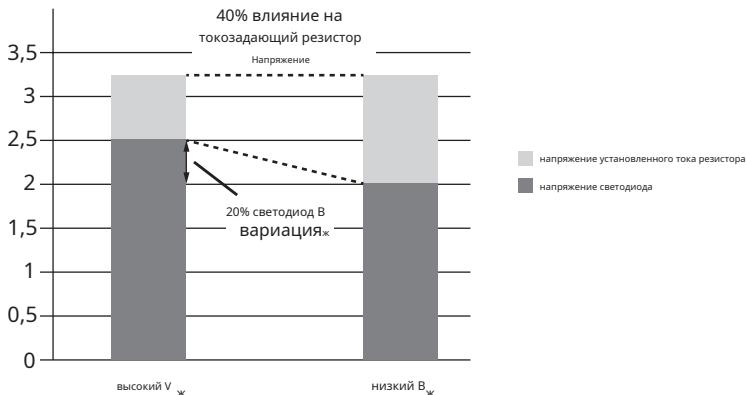
такие дефекты с завода заранее. Например, вы можете сообщить фабрике, что изделие можно считать «качественным», если на нем имеется не более двух точечных дефектов размером более 0,2 мм, нет царапин длиной более 0,3 мм и т. д. На большинстве заводов существует определенная система, принятая для описания и обеспечения соблюдения этих стандартов. Если вы заранее обсудите эти параметры, фабрика сможет организовать производственный процесс так, чтобы избежать таких дефектов, в отличие от более дорогой альтернативы, заключающейся в создании дополнительных единиц и выбрасывании тех, которые не соответствуют критериям, установленным в конце игры.

Конечно, предотвращение дефектов не является бесплатным. Чтобы сохранить цену продукта, избегайте глянцевой отделки и рассмотрите возможность использования матовой или текстурированной отделки, которая естественным образом скроет дефекты.

следование dfm помогает вашей прибыли

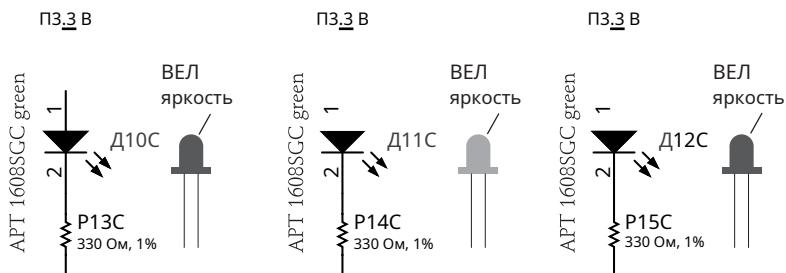
Чтобы представить DFM в реальном сценарии, вернитесь к примеру с мигалкой безопасности на велосипеде из раздела «Как составить спецификацию» на стр. 74. Предположим, что в конструкции прототипа требуется массив из трех параллельных светодиодов, каждый со своим собственным резистором для установки тока.*напряжение прямого смещения, или В_ж* Яркость светодиода при заданной яркости может варьироваться в зависимости от устройства примерно на 20 процентов; в данном случае это колебание составляет от 2,0 до 2,5 В.

Конструкция, ограничивающая ток на светодиодах с помощью резисторов, называется *резистивное ограничение тока*, усилит это изменение. Это происходит потому, что эффективная схема снижает лишь небольшую часть напряжения на токоограничивающем резисторе, в результате чего параметр, устанавливающий ток (падение напряжения на резисторе), становится более чувствительным к изменению В_ж. Поскольку яркость светодиода пропорциональна не напряжению, а току, протекающему через него, установка яркости светодиода с резистивным ограничением тока может привести к резкому несоответствию яркости светодиода.



Сравнение высокого $V_{\text{ж}}$ и низкий $V_{\text{ж}}$ углы

В этом примере 20-процентный светодиод $V_{\text{ж}}$ Изменение напряжения (от 2,0 В до 2,5 В, согласно спецификации производителя светодиода) приводит к 40-процентному изменению напряжения на резисторе, установленном по току, для фиксированного источника питания 3,3 В. Это приведет к изменению тока, протекающего через светодиод, на 40 процентов. Поскольку яркость прямо пропорциональна току, изменение проявляется в разнице воспринимаемой яркости между отдельными светодиодами до 40 процентов. Подобный дизайн может работать хорошо большую часть времени; проблема будет выражена только при высоком $V_{\text{ж}}$ единица наблюдается рядом с низким $V_{\text{ж}}$ единица.



Установка тока для отдельных светодиодов с помощью резисторов может привести к резким изменениям яркости.

Один или два блока, подготовленные на лабораторном столе во время разработки, возможно, выглядели великолепно, но в производстве значимая фракция может иметь такие серьезные проблемы с однородностью яркости, что блоки придется отбраковывать. Поскольку большинству крупных предприятий по производству оборудования приходится выживать при низкой рентабельности, потеря даже 10 процентов готовой продукции из-за дефектов является ужасным результатом.

Одним из вариантов решения проблемы является переделка вышедших из строя агрегатов. Завод может определить в матрице слишком тусклый или слишком яркий светодиод и заменить его на тот, который лучше соответствует его группе. Но такая доработка приведет к увеличению затрат и приведет к неожиданному и неприятному счету на 11-м часу производственной программы. Наивные дизайнеры могут быть склонны обвинять фабрику в низком качестве и спорить о том, кто должен нести расходы, но лучше заранее избегать подобных проблем, подвергая каждую конструкцию проверке DFM и используя небольшой пилотный запуск для проверки работоспособности, прежде чем выбить целую кучу юнитов.

Стоимость снижения производительности определяет, сколько денег нужно потратить на дополнительные схемы, чтобы компенсировать нормальную изменчивость компонентов. Например, товар стоимостью 10 долларов США. Себестоимость реализованной продукции (*COGS*) который дает 80 процентов хороших единиц, имеет эффективную стоимость продаваемой единицы в размере 12,50 долларов США, рассчитанную по следующей формуле:

$$\text{Эффективная стоимость} = \text{COGS} \times \frac{\text{общее количество построенных единиц}}{\text{выпущенных единиц}}$$

Увеличение COGS на 2,50 доллара для повышения доходности до 100 процентов позволит вам выйти на уровень безубыточности. Но, используя ту же формулу, потратив 1 дополнительный доллар себестоимости на повышение доходности до 99 процентов, вы фактически улучшите чистую прибыль на 1,38 доллара.

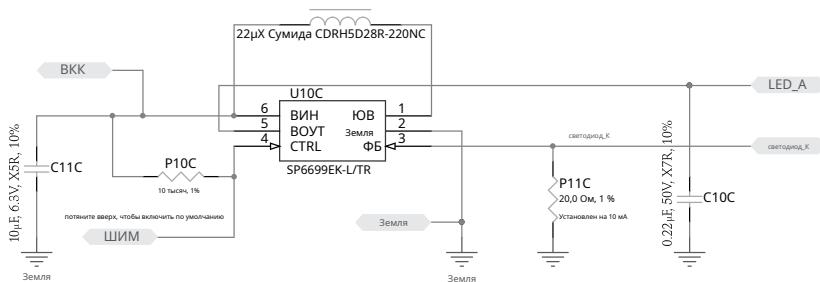


Схема установки тока на трёх светодиодах, созданная применением DFM

В случае с велосипедным фонарем безопасности этот доллар можно потратить на микросхему повышающего стабилизатора с токовой обратной связью, например SP6699EK-L/TR, позволяющую устанавливать светодиоды последовательно, а не параллельно. Конструкция была бы намного сложнее и дороже, чем использование отдельных резисторов, но она гарантировала бы, что через каждый светодиод будет протекать постоянный, одинаковый ток, за счет включения всех трех светодиодов в последовательную цепь с контуром обратной связи с фиксированным током. Это практически исключило бы изменение яркости. Хотя стоимость повышающего стабилизатора намного превышает сумму, потраченную на три токоограничивающих светодиода, улучшение производственного процесса с лихвой окупает дополнительные затраты на компоненты. Фактически, этот трюк является стандартной практикой для приложений, требующих хорошей однородности яркости светодиодов, например, для подсветки ЖК-панелей. Типичная подсветка мобильного телефона использует около дюжины светодиодов, но благодаря таким схемам вы никогда не увидите светлых или темных пятен, несмотря на большие колебания напряжения между составными светодиодами.

Продукт, стоящий за вашим продуктом

Помимо работы с допусками, еще одной обязанностью проектирования, которой часто пренебрегают, является программа испытаний. Завод может обнаружить только те проблемы, которые ему поручено искать. Следовательно, каждый

особенность продукта должна быть протестирована, какой бы тривиальной она ни была. Например, на устройстве Chumby каждая функция, ориентированная на пользователя, проходила явную заводскую проверку, включая ЖК-дисплей, сенсорный экран, аудио, микрофон, все порты расширения (USB, аудио), аккумулятор, кнопки, ручки и так далее. Я позаботился о том, чтобы были протестированы даже самые простые кнопки. Хотя возникает соблазн пропустить тестирование таких простых компонентов, я гарантирую, что все, что не проверено, приведет к возврату результатов.

Мне нравится называть заводского тестера «продуктом, стоящим за вашим продуктом». Это потому, что в некоторых случаях заводской тестер сложнее и труднее спроектировать, чем продукт, который вы пытаетесь продать. Особенно это касается простых продуктов.

НАСТОЯЩАЯ МИРОВАЯ ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ

В качестве примера рассмотрим наклейку на микроконтроллер от Chibitronics, проект, который я подробно обсуждаю в главе 8.

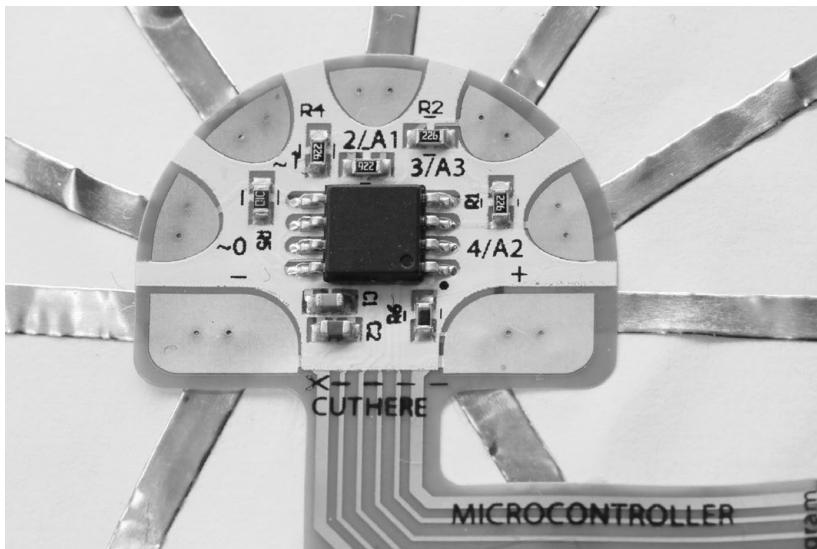


Схема микроконтроллера — на наклейке.

Эта схема очень проста: она состоит всего лишь из 8-битного микроконтроллера AVR и нескольких резисторов и конденсаторов.

(Это тот же продукт, который упоминается в примере ECO на стр. 84.) Мы с коллегой делали наброски в Adobe Illustrator около двух дней, прежде чем получили окончательную форму этого продукта. Затем мы потратили около дня на разработку схемы в Altium и около недели на программирование в Arduino IDE для создания прошивки. В целом процесс разработки занял около двух недель. В производстве микроконтроллер соединяется с набором датчиков, которые могут обрабатывать звук, свет и прикосновение, в результате чего тестовая программа запускается на всех четырех одновременно.



Машина для тестирования наклейки микроконтроллера Chibitronics

Изображенная тестовая установка состоит из 32-битного компьютера ARM под управлением Linux с графическим пользовательским интерфейсом, отображаемым на мониторе HDMI. За ним находится FPGA, адаптерная электроника для создания аналоговых сигналов для тестирования и механический штифт.

узел для касания наклейки. Разбивая процесс проектирования этой установки на составные части, мы потратили:

- Несколько дней проектирования в Altium
- Неделя программирования в Xilinx ISE для FPGA
- Пару недель взлома драйверов для Linux
- Пару месяцев упорного изучения C++ для создания фреймворка интеграции Qt.
- Пара дней в SolidWorks, чтобы создать механический аппарат, скрепляющий все это вместе.

В общей сложности создание тестера наклейки для микроконтроллера заняло более двух месяцев, тогда как на создание самого продукта ушло две недели.

Зачем прилагать все эти усилия? Потому что время — деньги, а обработка дефектов и возвратов обходится дорого. Тестер может обработать одну плату менее чем за 30 секунд; и за эти 30 секунд тестер должен запрограммировать два микроконтроллера; проверка датчиков света, звука и прикосновения; и подтвердите работу как при 5 В, так и при 3 В. Ручное тестирование всех этих операций может занять несколько минут квалифицированного труда и не будет таким надежным. Благодаря этому тестеру мы обработали нулевой возврат из-за бракованного материала. Кроме того, графический интерфейс тестера позволяет заводу-изготовителю очень легко определить, какая именно точка схемы неисправна, что способствует быстрой доработке любого несовершенного материала.

РУКОВОДСТВО ПО СОЗДАНИЮ ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ

Как правило, для каждого продукта, который вы производите, вы фактически производите два связанных продукта: один для конечного пользователя и тестовый для завода. Во многих отношениях заводские испытания должны быть такими же удобными и надежными, как и сам продукт; в конце концов, испытания проводят не инженеры-электрики. Но соответствующее тестирование

Создание продукта будет происходить гораздо быстрее и быстрее, если в потребительский продукт будут включены адекватные функции тестирования.

И нет, не передавайте программу испытаний фабрике, даже если фабрика предлагает такую услугу. Завод часто не понимает цели вашего проекта, поэтому их тестовые программы либо будут неэффективны, либо проверят неправильное поведение. У заводов также есть стимул передавать как можно больше материала и как можно быстрее, поэтому их программы испытаний, как правило, примитивны и неадекватны.

Вот несколько рекомендаций, которым следует следовать при разработке собственной программы:

стремитесь к 100-процентному охвату функций.

Не упускайте из виду простые или второстепенные функции, такие как светодиодные индикаторы состояния или внутренний датчик напряжения.

При создании списка тестов я использую подход «снаружи/внутри». Для начала посмотрите на продукт со стороны: перечислите все способы, которыми потребитель может с ним взаимодействовать. Охватывает ли ваша тестовая программа все поверхности взаимодействия, хотя бы поверхность? Горит ли каждый светодиод, нажимается ли каждая кнопка, активируется ли каждый датчик и прикасается ли к каждому запоминающему устройству? Подтверждены ли все пункты вашего маркетингового материала? Обещание радиочастотной чувствительности «мирового класса» отличается от простой рекламы наличия радио. Затем подумайте о внутренней стороне: посмотрите на схему на каждый порт и рассмотрите ключевые внутренние узлы для мониторинга. Если продукт оснащен микроконтроллером, проверьте, какие драйверы загружены, чтобы перепроверить список тестов, и убедитесь, что ни один компонент не забыт.

свести к минимуму дополнительные усилия по настройке.

Оптимизируйте время, необходимое для настройки теста для каждого модуля. Это часто делается с помощью приспособлений, в которых используются штыри Pogo или предварительно выровненные массивы разъемов. Тест, который требует, чтобы оператор вручную проверил дюжину контрольных точек с помощью

мультиметр или подключение дюжины разъемов отнимают много времени и чреваты ошибками. Большинство заводов в Китае могут помочь спроектировать приспособление по номинальной стоимости, но разработка приспособления проще и эффективнее, если сама конструкция уже включает в себя соответствующие контрольные точки.

автоматизировать процедуру тестирования в линейный поток.

Идеальный тест выполняется нажатием одной кнопки и дает результат «пройден» или «не пройден». На практике всегда есть точки остановки, требующие вмешательства оператора, но старайтесь не требовать слишком много. Например, не требуйте от оператора ввода или выбора SSID из списка во время каждого теста подключения Wi-Fi. Вместо этого исправьте SSID тестовой цели и жестко закодируйте это значение в тестовом сценарии, чтобы цикл подключения был автоматическим.

Для общения с операторами используйте значки и цвета, а не текст.

Не каждый оператор гарантированно владеет данным языком.

использовать журналы аудита.

Записывайте результаты испытаний, сопоставляя их с серийными номерами устройств, путем включения в испытательный стенд сканера штрих-кода. Альтернативно, попросите устройство распечатать купон с уникальным кодом с отметкой времени или локально сохраненный журнал аудита, чтобы подтвердить, какие устройства прошли проверку. Журналы помогут вам выяснить, что пошло не так, когда потребитель возвращает неисправный продукт, и позволяют быстро проверить, все ли продукты были протестированы. После восьмичасовой смены тестирования оператор может допустить ошибку, например случайно положить неисправный блок в «исправный» контейнер. Возможность проверить, что каждый отгруженный продукт прошел полное тестирование, может помочь вам выявить и изолировать такие проблемы.

Обеспечьте простой механизм обновления.

Как и любая программа, тестовые программы имеют ошибки. Тесты также должны развиваться по мере того, как ваш продукт исправляется и обновляется. Иметь механизм обновления и исправления тестовых программ без личного посещения завода. Многие из моих тестовых устройств могут «звонить домой» через VPN, и я могу подключиться к самому приспособлению по SSH, чтобы исправить ошибки. Даже в моем самом простом приспособлении в основе лежит ноутбук с Linux (или его аналог). Частично это связано с тем, что Linux легче обновлять и обслуживать, чем изготовленный на заказ микроконтроллер, для которого требуется специальный адаптер для обновления прошивки.

Эти рекомендации легко реализовать, если ваш продукт разработан с учетом возможности тестирования. Большинство продуктов, которые я разрабатываю, работают под управлением Linux, и я использую процессор внутри самого продукта для выполнения большинства тестов и управления тестовым пользовательским интерфейсом. Для продуктов, в которых отсутствуют поверхности взаимодействия с пользователем, для визуализации тестового пользовательского интерфейса можно использовать телефон Android или ноутбук, подключенный через Wi-Fi или последовательный порт.

Тестирование против проверки

Производственные испытания предназначены для проверки ошибок сборки, а не отклонений параметров или проблем конструкции. Если тест отсеивает устройства из-за обычных параметрических изменений компонентов, либо купите более качественные компоненты, либо переделайте свою конструкцию.

Для продуктов потребительского уровня вам не нужно проводить пятиминутный комплексный тест оперативной памяти на каждом устройстве. Теоретически ваш продукт должен быть спроектирован достаточно хорошо, чтобы, если все оно правильно спаяно, ОЗУ выполняло свою работу. Часто бывает достаточно быстрой проверки, чтобы убедиться в отсутствии застрявших или открытых адресных контактов. Производители чипов известных брендов обычно имеют очень низкую дефектность, поэтому вы не проверяете кремний; скорее, вы проверяете паяные соединения и разъемы и проверяете наличие отсутствующих или замененных компонентов. (Но если вы купите клон

чины или устройства других производителей, отмеченные или частично протестированные устройства, чтобы сократить расходы, я рекомендую создать мини-программу проверки для этих компонентов.)

ВАЛИЗА ЗНАКОМСТВА С SWITCH

Чтобы проиллюстрировать разницу между производственным тестированием и проверкой, давайте посмотрим, как оба могут работать на коммутаторе.

При производственном испытании переключателя оператору может быть просто предложено несколько раз нажать на переключатель и убедиться, что ощущение правильное, а электрический контакт установлен с помощью простого цифрового индикатора. С другой стороны, проверочное испытание может включать случайный выбор нескольких устройств и измерение контактного сопротивления переключателя с помощью мультиметра с точностью до пяти значащих цифр (также называемого мультиметром).*пятиразрядный мультиметр*, подвергая устройства воздействию повышенной влажности и температуры в течение нескольких дней, а затем помещая устройства в автоматизированное приспособление, которое переключает переключатели 10 000 раз. Наконец, вы можете повторно измерить сопротивление контакта переключателя с помощью пятиразрядного мультиметра и заметить любое ухудшение сопротивления контакта в закрытом состоянии.

Очевидно, что этот уровень проверки не может быть выполнен на каждом произведенном устройстве. Скорее, программа проверки оценивает производительность коммутатора в течение ожидаемого срока службы продукта. С другой стороны, производственное испытание просто позволяет убедиться, что переключатель собран правильно.

примечание *Хорошей практикой является повторное проведение проверочных испытаний на паре случайно выбранных единиц из каждой нескольких тысяч произведенных единиц. Существуют формулы и таблицы, которые можно использовать для расчета объема выборки, необходимого для достижения определенного уровня качества; просто найдите в Интернете «таблицу производственных проверочных испытаний».*

Но насколько достаточно тестирования? Вы можете получить один порог для тестирования с помощью аргумента стоимости. Каждый дополнительный тестовый запуск требует затрат на оборудование, инженерные затраты и

переменная стоимость тестового времени. В результате отдача от тестирования снижается: в какой-то момент дешевле просто вернуть продукт, чем тестиировать больше. Естественно, планка испытаний для медицинского или промышленного оборудования намного выше, поскольку ответственность, связанная с неисправным оборудованием, также намного выше. Аналогичным образом, новый продукт, предназначенный для раздачи, может нуждаться в гораздо меньшем количестве испытаний.

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОГО ПРИБОРА

И последнее: всегда применяйте надежную инженерную разработку при проектировании испытательного стенда. Когда я работал над Chumby 8, возникла проблема: на 50-контактном адаптере плоского гибкого кабеля наблюдались случайные сбои при холодной пайке. Я попросил фабрику создать тест для проверки адаптеров. Их решение заключалось в том, чтобы повесить светодиоды на каждый контакт адаптера, подать испытательное напряжение на одну сторону кабеля и поискать не горящие светодиоды на другой стороне. Соединения холодной пайки не были просто открытыми или закрытыми; у некоторых просто было высокое сопротивление. Ток будет достаточным, чтобы зажечь светодиод, но при этом будет достаточно сопротивления, чтобы вызвать сбой в конструкции.

Завод предложил купить 50 мультиметров и прикрепить их к каждому контакту, чтобы проверить сопротивление вручную, что было бы дорого и чревато ошибками. Неразумно ожидать, что оператор будет просматривать 50 дисплеев сотни раз в день и сможет надежно обнаружить числа, не соответствующие техническим требованиям. Вместо этого я решил последовательно подключить соединения к адаптеру и использовать один мультиметр для проверки чистого сопротивления последовательного подключения. Соединив соединения последовательно, я смог проверить все 50 соединений с помощью одного числового измерения, а не субъективного наблюдения за яркостью светодиода.

Как показывает этот случай, есть хорошие и плохие способы реализовать даже такую простую проверку, как проверка соединений холодной пайки на адаптере кабеля. Все более сложные компоненты

требуют еще более тонких тестов, и есть реальная ценность в использовании инженерных навыков для разработки эффективных, но надежных тестов.

НАЙДЕНИЕ БАЛАНСА В ПРОМЫШЛЕННОМ ДИЗАЙНЕ

Даже если ваш продукт с честью пройдет все проверочные тесты, он все равно может не оказаться успешным, если потребители этого не захотят. Помните: секс продается. С точностью до двух или около того производительность процессора или объем оперативной памяти менее важны для типичного потребителя, чем внешний вид устройства.

Устройства Apple стоят немало, отчасти из-за их великолепного промышленного дизайна, и многие дизайнеры продуктов стремятся подражать успеху сэра Джонатана Айва, главного дизайнера Apple, в своих собственных продуктах.

В мире существует множество школ мысли *Индустриальный дизайн*, процесс проектирования того, как будет выглядеть продукт перед его фактическим изготовлением. Одна школа призывает дизайнера-монаха, который создает красивую, чистую концепцию, и инженеров-технологов, которые портят чистоту дизайна, когда настраивают его для обеспечения функциональности. Другая школа призывает pragmatичного дизайнера, который тесно сотрудничает с инженерами-технологами, чтобы найти жесткие компромиссы для создания недорогого и высокопроизводительного проекта.

По моему опыту, ни одна крайность не является убедительной. Монашеский подход часто приводит к тому, что продукт становится непроизводительным, либо поздно выходит на рынок, либо его производство обходится дорого. Прагматичный подход часто приводит к тому, что продукт выглядит и ощущается настолько дешевым, что потребителям трудно придать ему значительную ценность. Настоящая хитрость заключается в том, чтобы понять, как найти баланс между ними, и она начинается с того, что вы попадаете на фабрику и понимаете, как все делается. Вот несколько примеров того, что я узнал о том, как различные заводские процессы влияют на этот баланс, от Chumby и Arduino.

Обрезать и закончить

Отделка и отделка сложны, что делает их отличительными чертами внешнего вида продукта. Когда я работал в Chumby, мы хотели, чтобы конечный продукт имел минималистский и честный вид. (*Честная отделка* использует естественные свойства используемых материалов и избегать использования красок и наклеек.) Минималистский дизайн очень сложно изготовить, потому что при меньшем количестве элементов даже крошечные дефекты выделяются. Честная отделка также может быть трудной, поскольку все боры, ворота, раковины, вязания, надрезы и линии потока, которые являются фактами жизни на производстве, лежат обнаженными перед потребителем. В результате этой школе дизайна требуются хорошо изготовленные производственные инструменты, которые постоянно проверяются и обслуживаются на протяжении всего производства.

Если у вас нет достаточно глубоких карманов, чтобы инвестировать в новое оборудование и возможности от имени вашего завода (то есть, если вы не являетесь *Удачей 500*), первый шаг — выучить имеющуюся лексику. А *Словарь дизайна* определяется возможностями фабрики или фабрик, производящих товары, например, какие материалы вы можете получить, какая возможна обработка, какие достижимые допуски и какая технология крепления существует. Все это во многом зависит от процессов, доступных на вашем заводе.

Поэтому я считаю, что личное посещение фабрики на ранних этапах процесса проектирования приводит к улучшению дизайна. После посещения фабрики вы отбросите часть дизайнерской лексики, но также откроете для себя новую лексику. Инженеры, которые изо дня в день работают на заводе, разрабатывают инновации в процессах, которые могут открыть новые возможности дизайна, которые вы не откроете, пока не посетите его.

Chumby One — конкретный пример влияния производственных процессов на результат проектирования. В оригинальном концепт-арте по переднему краю была добавлена синяя подсветка, напоминающая речевой шар, подобный тем, что использовались в

комиксы. Идея заключалась в том, что приятель будет подписывать ваш мир отрывками из Интернета.



Готовый чумби Один блок

Но нанести синюю окантовку на рельефную поверхность было очень сложно. На первой фабрике использовалась краска, потому что передний край не был достаточно плоским, чтобы можно было использовать шелкографию. *Тампонная печать*(также известен как *тампонная печать*, процесс, при котором чернила переносятся с силиконовой подушечки на предмет) может обрабатывать изогнутые поверхности, но выравнивание выступа на chumby One было недостаточно хорошим, и малейшее вытекание чернил через край выглядело ужасно со стороны . Наклейки и наклейки также не смогли добиться желаемого расположения. В конце концов для краски был вырезан небольшой канал, а фабрика создала блики с помощью трафарета и аэрозольной краски.

Урожайность была ужасной. В некоторых партиях более 40 процентов ящиков Chumby One были выброшены из-за ошибок в покраске. К счастью, пластик дешев, поэтому выбрасывание всех остальных ящиков после покраски имело чистые затраты примерно на 0,35 доллара.



Две пухлые единицы One с плохой покраской

В середине производства мы начали производить устройства Chumby One на вторичном предприятии. Второй завод имел другое оборудование для литья пластмасс, и в отличие от первого завода, этот завод мог производить *двуихходные формы*. Для изготовления двухэтапной формы требуется вдвое больше инструментов, чем для одноразовой литьевой формы, но она позволяет лить под давлением два разных цвета или даже два разных материала в одну и ту же форму. На новом заводе мы попробовали двойной процесс вместо покраски тонкой синей полосы.

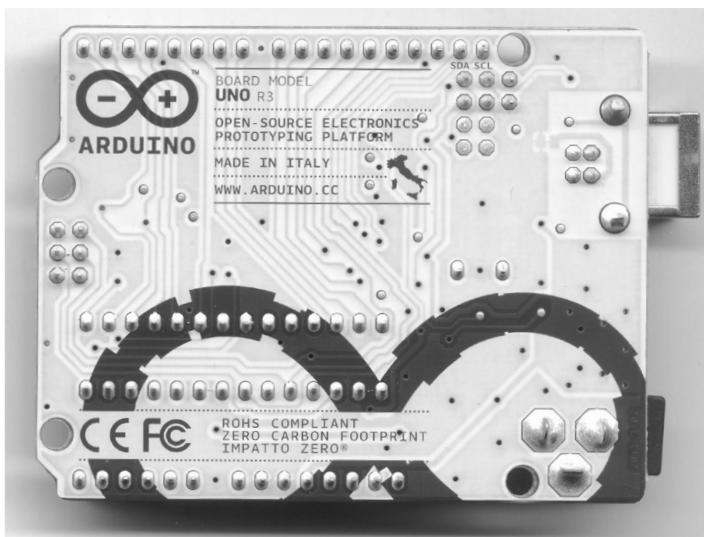


Идеальный гребень Chumby One, полученный методом двойного литья под давлением.

Результаты были ошеломляющими. Каждая единица сходила с конвейера с четкой синей линией, а отсутствие краски означало более чистую и честную отделку. Но стоимость одного случая подскочила до 0,94 доллара за штуку при более дорогом процессе, несмотря на 100-процентный выход. Дешевле было бы выбросить более половины окрашенных гильз, но даже самые лучшие окрашенные гильзы не могли сравниться с качеством отделки, обеспечиваемой инструментом с двойным выстрелом.

Шелкография Arduino Uno

Еще одним прекрасным примером того, как настройка производственного процесса может улучшить внешний вид продукта, является материнская плата Arduino. Прекрасно детализированное изображение на обратной стороне с изображением Италии и очень мелкими буквами не является шелкографией. Завод, производящий эти платы, на самом деле наносит два слоя паяльной маски: синий и белый.



Нижняя часть Arduino Uno R3.

При изготовлении плат Arduino паяльная маска наносится посредством фотолитографического процесса, который я описал в разделе «Где рождаются Arduino» на стр. 44. В результате этого процесса получаются изображения с гораздо лучшим разрешением, единообразием и

и выравнивание, чем шелкография. А поскольку внешний вид Arduino — это печатная плата, это искусство придает изделию характерный, высококачественный внешний вид, который трудно скопировать с помощью традиционных методов обработки.

Таким образом, технологические возможности завода (будь то покраска или двойное формование, или двойная пайка или шелкография) могут оказать реальное влияние на воспринимаемое качество продукта без огромного влияния на стоимость. Однако завод может не оценить весь потенциал своих процессов, и пока дизайнер не будет напрямую взаимодействовать с предприятием, ваш продукт также не сможет использовать этот потенциал.

К сожалению, многие дизайнеры не посещают фабрику до тех пор, пока что-то не пойдет не так. На этом этапе инструменты отрезаны, и даже если вы обнаружите крутой процесс, который может решить все ваши проблемы, часто бывает слишком поздно.

мой процесс проектирования

Дизайн — это очень личная деятельность, и в результате каждый дизайнер разрабатывает свой собственный процесс. Однако если вам нужна среда для разработки собственной разработки, я могу использовать следующий общий процесс для разработки продукта при ограниченном стартовом бюджете:

1. Начните с альбома для рисования. Определитесь с душой и индивидуальностью дизайна, а также выберите систему материалов и словарь, которые соответствуют вашей концепции. Но не влюбляйтесь в него, потому что, возможно, ему придется измениться.
2. Разбейте проект по системам материалов и определите завод, способный производить каждую систему материалов.
3. Посетите предприятие и обратите внимание на то, что на самом деле происходит на производственных линиях. Не делайте никаких предположений, основываясь на единичных единицах из комнаты для образцов. Практика ведет к совершенству, и заводские рабочие, от операторов до инженеров, выполняют процедуры, которые они выполняют ежедневно, гораздо лучше, чем те загадочные способности, которые они не используют часто.

4. Переоцените свой проект, основываясь на новом понимании того, что возможно на заводе, и повторяйте его. Вернитесь к шагу 1, если небольших изменений недостаточно. Это этап, когда легче всего пойти на компромисс, не жертвуя чистотой своего дизайна.
5. Набросайте детали вашего дизайна. Выбирайте поверхности скольжения, линии разъема, где части корпуса соединяются друг с другом, отделку, системы крепления и т. д. исходя из того, что фабрика умеет делать лучше всего.
6. Передайте исправленный чертеж на завод и вместе с ним доработайте такие детали, как углы уклона, поверхности крепления, внутренние ребра и т. д.
7. Подтвердите проект с помощью 3D-печати и тщательной проверки 3D-модели.
8. Определите элементы, подверженные ошибкам допуска, и обрежьте исходный производственный инструмент так, чтобы допуск благоприятствовал модификациям, которые помогут вам свести к минимуму дорогостоящие изменения в инструменте. Например, рассмотрим литье под давлением, где стальной инструмент является негативом пластика, который он отливает. Удалить сталь из инструмента (добавив пластик) проще, чем добавить сталь (удалить пластик), поэтому нацельтесь на первоначальный пробный выстрел, чтобы использовать больше стали на критических размерах, а не слишком мало. Кнопка — это один из механизмов, который выигрывает от такой настройки: точно предсказать, как кнопка будет ощущаться с помощью CAD или 3D-печати, сложно, а для совершенствования тактильных ощущений обычно требуется небольшая доработка инструмента.

Конечно, этот процесс не представляет собой набор жестких правил, которым нужно следовать. Возможно, вам придется добавить или повторить шаги, исходя из вашего опыта работы на фабрике, но если вы выберете хорошую фабрику, это должно стать хорошей отправной точкой.

ВЫБОР (и удержание) ПАРТНЕРА

Так же, как палочки из *Гарри Поттера*, хорошая фабрика выбирает тебя столько же, сколько и ты ее, так что забудь этот термин *продавец* замените его на *партнер*. Если вы все делаете правильно, вы не просто даете указания фабрике; должен быть откровенный диалог о возможных компромиссах и о том, как можно улучшить производственный процесс. Это единственный способ получить лучший продукт.

Здоровые отношения с фабрикой также могут привести к улучшению условий оплаты, что улучшит ваш денежный поток. В некоторых случаях заводской кредит может напрямую заменить привлечение венчурного капитала, получение кредитов или финансирование на Kickstarter. В результате к хорошим заводам я отношусь с таким же уважением, как к инвесторам и партнерам по бизнесу. Чтобы понять, что это значит, вот несколько советов о том, как выбрать свою фабрику и работать с ней.

Советы по формированию отношений с фабрикой

Во-первых, выберите фабрику подходящего размера для вашего продукта. Если вы работаете на слишком большом заводе, вы рискуете потеряться в бюрократии и быть вытесненным с производственной линии более крупными клиентами в критические моменты. Работайте с фабрикой слишком маленькой, и она не сможет предоставлять необходимые вам услуги. Как правило, я выбираю самый большой объект, где могу получить прямой доступ к *лаосский бан* (заводской начальник) регулярно, потому что если ты не можешь поговорить с начальником, ты никто. Это хороший знак, если лаосский бан присутствует на первой встрече, проводит вам экскурсию и за обедом задает проницательные вопросы о вашем бизнесе.

Во-вторых, следуйте пословице: «Солнечный свет — лучшее дезинфицирующее средство». Если фабрика не будет предлагать цену с открытой спецификацией, в которой явно указана стоимость каждого компонента, процесса и прибыли, я не буду с ней работать. Обсуждения снижения затрат не могут

функционировать без прозрачности, потому что в противном случае существует слишком много мест, где можно спрятать расходы. Аналогичным образом, если обсуждение затрат превращается в игру в «удар крота», в которой снижение затрат по одной статье необъяснимым образом появляется в другой, бегите отсюда.

Этот последний совет применим в первую очередь к стартапам. На ранних стадиях все знают, что ваши денежные запасы ограничены. Даже если вы только что завершили крупный раунд финансирования, поход на фабрику с мешками с деньгами не является устойчивым подходом. Умные фабрики знают, что ваши денежные запасы ограничены, и если наибольшая ценность, которую вы предлагаете принести фабрике, — это груды денег, ваша ценность ограничена; в лучшем случае, он не окупится до тех пор, пока не пройдет несколько лет, когда продукт будет поставляться в больших объемах. В результате полезно попытаться приносить прибыль заводу неденежными способами.

Как бы глупо это ни звучало, быть приятным и конструктивным человеком во многом поможет завоевать расположение вашего учреждения. Производство — это бизнес с высоким уровнем стресса и низкой прибылью, и каждому сотруднику предприятия приходится целый день сталкиваться с трудными проблемами. Я обнаружил, что получаю лучшее обслуживание — даже лучше, чем клиенты с более глубокими карманами, — если буду относиться к своим фабрикам так, как к дружескому знакомому, а не как к рабскому труду или простому субподрядчику. Ошибки случаются, и способность превратить плохую ситуацию в полезный опыт принесет вам пользу в тот день, когда вы совершите глупую (и, возможно, дорогостоящую) ошибку.

Советы по котировкам

Если оставить в стороне открытость, знайте: если цитата кажется слишком хорошей, чтобы быть правдой, так оно и есть. При обсуждении цен с фабрикой сделайте шаг назад и проверьте, имеет ли предложение смысл. Заводы, потерявшие деньги из-за сделки, не остановятся ни перед чем, чтобы вернуть их, и многие ужасные истории о производстве коренятся в нездоровой структуре затрат. Первой прерогативой завода является выживание, даже если это означает объединение дефектных единиц в партии для повышения производительности.

прибыль или назначение начинающих инженеров на помеченный проект, чтобы лучше монетизировать своих опытных инженеров на более прибыльных клиентах.

Оценивая предложение, убедитесь, что оно включает в себя следующее:

- Цена каждой части
- Избыток материала для работы из-за **минимальный объем заказа (MOQ)**
- Затраты на оплату труда
- Накладные расходы завода
- Единовременное проектирование (NRE) сборы

Давайте рассмотрим некоторые из этих предметов подробно.

СЛЕДИМ ЗА ИЗЛИШНИМИ

Избыток Это результат того, что я называю проблемой «хот-догов и булочек». Хот-доги продаются в упаковках по 10 штук, а булочки — в упаковках по 8. Если вы не купите 40 порций, у вас останутся остатки булочек или хот-догов.

Аналогичным образом, многие компоненты поставляются только в катушках по 3000 штук. Для сборки из 10 000 деталей требуется 4 барабана, всего 12 000 штук, оставляя 2000 лишних штук. Заводы могут покупать детали в разрезанной ленте или в неполных катушках, но стоимость одной части нарезанной ленты намного выше, поскольку риск излишков материала перекладывается на дистрибутора.

Однако избыток не так уж и плохо: его можно использовать в будущих выпусках продукта. Пока ваш продукт поддерживает достойную производительность, избыточные запасы компонентов должны регулярно превращаться в наличные. Однако в какой-то момент производство прекратится или приостановится, и придет счет за излишки, что ограничит денежный поток. Если в ценовом предложении отсутствует столбец с излишками, фабрика может взимать с вас плату за полную катушку, но оставить излишек для своих целей; именно здесь многие из серого рынка

товары в Шэньчжэне. Они также могут просто отправить неожиданный счет за него в будущем, который часто приходит в самое неподходящее время — доходы от продукта уже прекратились, но счета продолжают поступать. В любом случае, лучше заранее знать полную стоимость продукта, бизнес-модель до могилы.

РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ТРУД

Затраты на рабочую силу чертовски сложно оценить, но хорошая новость заключается в том, что для высокотехнологичных сборок труд обычно составляет небольшую часть общей стоимости. Затраты на рабочую силу при сборке небольших объемов простой платы из 200 деталей в Китае могут составлять около 2–3 долларов, тогда как стоимость сборки в США приближается к 20–30 долларам. Даже если цены на рабочую силу в Китае удваиваются за одну ночь и снижаются вдвое в США, Китай все равно может быть конкурентоспособным.

В этом отличие от товаров с более низкой стоимостью, вывозимых из Китая (например, текстиля), где базовая стоимость сырья уже низка, поэтому затраты на рабочую силу составляют значительную часть себестоимости конечной продукции. Обычно я не особо спорю по поводу стоимости рабочей силы, поскольку конечным результатом сокращения рабочей силы часто является снижение качества, а слишком сильное повышение затрат на рабочую силу может заставить фабрику снизить качество жизни рабочих за счет сокращения льгот.

НАД ЗАВОДОМ

Договариваться о заводской марже — это тоже своего рода искусство, и здесь не существует жестких правил. Здесь я дам рекомендации, но из правил всегда есть исключения, и каждая фабрика может предложить вам специальную сделку в зависимости от обстоятельств. В конечном счете, при рассмотрении ценового предложения завода важно смотреть на общую картину и руководствоваться здравым смыслом.

Что представляет собой справедливая прибыль для завода, зависит от того, какую ценность он добавляет к вашей продукции, а также от объема производства. Определение «маржи» также варьируется в зависимости от объекта. Некоторые объекты включают в себя лом, погрузочно-разгрузочные работы,

и даже расходы на исследования и разработки в марже, в то время как другие могут разбить их на отдельные строки.

В целом, маржа варьируется от однозначных до двузначных процентов, в зависимости от объема, добавленной стоимости и сложности проекта. При производстве очень небольших партий (менее 1000 штук) с вас также может взиматься плата за партию. *плата за линию*. Эта плата частично покрывает затраты на установку сборочной линии, но через пару часов ее сносят. Пропускная способность линии может быть очень высокой, производя от сотен до тысяч единиц продукции в день, но на ее настройку также уходят дни.

ДОВОЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Затраты на NRE — это единовременные платежи, необходимые для организации производственного цикла, например, трафаретов, программирования SMT, приспособлений и испытательного оборудования. Обратите внимание, что повторное использование испытательного оборудования между клиентами считается плохой практикой; Если в рамках производственного испытания требуется мультиметр, не удивляйтесь, если к NRE будет прикреплен счет за мультиметр. У клиентов совершенно разные стандарты обслуживания и использования испытательного оборудования, поэтому хорошие заводы не рисуют.

разные советы

С кем вы можете поговорить и насколько открыта фабрика в отношении затрат, безусловно, являются ключевыми вопросами, но с опытом вы узнаете гораздо больше о работе с фабриками, которые не попадают ни в одну конкретную категорию. В заключение отметим еще несколько важных моментов, которые следует учитывать при выборе фабрики.

SCR AP И YIELD

В идеале вы платите фабрике только за хорошие, доставленные товары, а фабрика будет нести бремя дефектных изделий. Это дает заводу стимул поддерживать высокое качество продукции, ведь каждый процент брака съедает его маржу. Но если ваша конструкция имеет дефект или ее слишком сложно построить, а дефектность высока, фабрика может начать отгрузку.

единицы более низкого качества как отчаянная мера для достижения целевых показателей производства и рентабельности. Он также может начать продавать дефектные товары на сером рынке, чтобы возместить затраты, что в дальнейшем приведет к проблемам с репутацией бренда.

Чтобы избежать подобных ситуаций, заранее договоритесь с заводом о том, как обращаться с ломом или исключительными потерями урожая. Это может включать, например, специальную строку «брак» внутри предложения для явного устранения дефектов.

ЗАКАЗЫВАЙТЕ БОЛЬШЕ, ЧЕМ ДОКАЗАННЫЙ СПРОС

Несмотря на все усилия, ошибки будут случаться, клиенты будут получать некачественные устройства, а вам потребуются дополнительные рабочие устройства для возврата и обмена. Заказ 1000 штук для реализации кампании Kickstarter на 1000 штук означает, что если клиенты хотят вернуть или обменять изделия, которые были сломаны при доставке, все, что вы можете сделать, это вернуть деньги. Запускать завод, чтобы изготовить дюжину единиц замены, просто непрактично.

Как правило, я заказываю товар, превышающий количество единиц, которое мне нужно доставить клиентам, на несколько процентов, чтобы иметь под рукой запас для возврата и обмена. Единицы, которые не израсходованы в процессе возврата, можно превратить в демонстрационные кредиты или в подарки для развития бизнеса, чтобы собрать следующий набор заказов!

ДОСТАВКА СТОИТ ДЕНЕГ

Следите за стоимостью доставки. Эти сборы обычно не включены в коммерческое предложение завода, но они влияют на вашу прибыль, особенно в случае продукции с небольшими партиями. Доставка FedEx — отличный способ сэкономить время, но она также очень дорогая. Плата за курьерскую доставку может легко свести на нет прибыль небольшого проекта, поэтому управляйте этими расходами.

примечание Курьеры предлагают скидки постоянным отправителям, но вам придется позвонить, чтобы договориться о специальных тарифах.

ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ОБЯЗАННОСТИ

Компоненты, импортируемые в Китай без лицензии на импорт, облагаются обязательной пошлиной в размере примерно 20 процентов от их стоимости. По общему правилу для Китая импорт облагается пошлиной, а экспорт беспошлинным. Если что-то случайно будет отправлено через границу в Гонконг, вам придется заплатить пошлину и за доставку этого товара обратно в Китай.

Найдите таможенного брокера для работы по вопросам экономии денег; например, некоторые брокеры могут облагать товары налогом по весу, а не по стоимости, что для микроэлектроники обычно является выгодной сделкой. Я не разобрался со всеми таможенными правилами, так как они кажутся движущейся мишенью. Кажется, что каждый месяц появляются новые правила, штрафы, исключительные сборы или тарифы. Есть также множество сомнительных способов доставить товары в Китай, но я сплю лучше по ночам, зная, что делаю все возможное, чтобы соблюдать все правила.

Котировки не включают пошлины, поскольку фабрики по умолчанию предполагают, что у вас будет лицензия на импорт. Лицензии на импорт позволяют беспошлинно ввозить товары. Но лицензии на импорт стоят несколько тысяч долларов, их обработка занимает недели, и в них нет места для гибкости, поскольку они привязаны к точной спецификации продукта. Небольшие заказы на инженерные изменения могут привести к аннулированию лицензии на импорт. Я знаю таможенников, которые подсчитывают количество развязывающих колпачков на печатной плате, и если оно не соответствует количеству в лицензии, взимается штраф и лицензия признается недействительной. Даже отклонения в материале, из которого облицован декоративный ящик, могут привести к аннулированию лицензии. Короче говоря, эта схема лицензирования импорта благоприятствует продуктам, производимым в больших объемах, и наказывает производителей, производящих небольшие объемы, поэтому действуйте осторожно.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ МЫСЛИ

Поездка в Китай для производства явно не для всех. Особенно, если вы находитесь в Соединенных Штатах, накладные расходы на курьерские услуги, командировочные расходы, пошлины иочные конференц-звонки быстро растут. Как правило, небольшая американская компания

часто лучше собирать печатные платы в Соединенных Штатах в объемах менее 1000 единиц, и вы не начнете видеть явные преимущества до тех пор, пока объемы не достигнут 5000–10 000 единиц.

Эта математика меняется в пользу Китая, когда в игру вступают такие процессы, как литье под давлением и сборка шасси, благодаря опыту китайских заводов в этих трудоемких процессах. Точка безубыточности также может быть намного ниже, если вы живете в Китае или рядом с ним, поскольку стоимость курьерских услуг, поездки и влияние часового пояса составляют лишь небольшую часть того, что было бы в Соединенных Штатах. Это усугубляется тем фактом, что местные жители более эффективно используют экосистему компонентов в Китае, что приводит к дальнейшему снижению затрат по сравнению с конструкцией, созданной с использованием только американских деталей.

С другой стороны, физически большие сборки или системы, построенные с использованием большого количества облагаемых пошлиной компонентов, могут быть дешевле производить внутри страны, поскольку они позволяют сэкономить на транспортных расходах и тарифах. В конце концов, сохраняйте непредвзятость и постарайтесь рассмотреть все возможные вторичные затраты и выгоды отечественного производства по сравнению с иностранным, прежде чем решать, где разместить производство.