

Евгений Рудометов

СОВРЕМЕННОЕ ЖЕЛЕЗО

**НАСТОЛЬНЫЕ, МОБИЛЬНЫЕ
И ВСТРАИВАЕМЫЕ
КОМПЬЮТЕРЫ**

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2010

Рудометов Е. А.

Р83 Современное железо: настольные, мобильные и встраиваемые компьютеры. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 464 с.: ил. — (Аппаратные средства)

ISBN 978-5-9775-0456-0

Рассмотрены современные настольные, мобильные (ноутбуки, нетбуки, неттопы и др.) и встраиваемые компьютеры. Приведены характеристики процессоров, чипсетов, материнских плат и других основных компонентов. Представлены результаты их тестирования и даны рекомендации по выбору, модернизации и оптимизации работы. Показано использование сходных и одинаковых архитектур и компонентов для различных аппаратных платформ (Intel, AMD и др.). Приведены только проверенные данные, рекомендованные производителем. Дан прогноз развития на последующие несколько лет.

Книга является не только справочным пособием по архитектуре, технологии и компонентам современных компьютерных систем, но и руководством по их выбору, настройке и модернизации.

Для широкого круга пользователей ПК

УДК 681.3.06
ББК 32.973.26-018.2

Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Игорь Шишигин</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Юрий Якубович</i>
Компьютерная верстка	<i>Ольги Сергиенко</i>
Корректор	<i>Зинаида Дмитриева</i>
Дизайн серии	<i>Инны Тачиной</i>
Оформление обложки	<i>Елены Беляевой</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 27.11.09.

Формат 70×100^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 37,41.

Тираж 1500 экз. Заказ №

"БХВ-Петербург", 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию
№ 77.99.60.953.Д.005770.05.09 от 26.05.2009 г. выдано Федеральной службой
по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ГУП "Типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

Оглавление

- Введение5**
- ГЛАВА 1. Настольные системы9**
 - 1.1. Основные компоненты 9
 - 1.1.1. Ограничения частотного роста 9
 - 1.1.2. Процессоры 18
 - 1.1.3. Память 46
 - 1.1.4. Видео 54
 - 1.2. Наборы микросхем 59
 - 1.2.1. Чипсеты Intel 60
 - 1.2.2. Чипсеты AMD, Nvidia, VIA, SiS 95
 - 1.3. Материнские платы..... 108
 - 1.3.1. Характеристики материнских плат..... 108
 - 1.3.2. Архитектура, дизайн и технологии..... 110
 - 1.4. Энергопитание..... 126
 - 1.5. Управление производительностью 136
 - 1.6. Примеры материнских плат 146
 - 1.6.1. Производство материнских плат 146
 - 1.6.2. Перспективные модели..... 153
 - 1.7. Особенности модернизации 171
- ГЛАВА 2. Мобильные системы..... 177**
 - 2.1. Ноутбуки..... 177
 - 2.1.1. Критерии и компоненты 179
 - 2.1.2. История развития 201
 - 2.1.3. Платформы Centrino 218
 - 2.1.4. Альтернативные решения..... 241
 - 2.1.5. Примеры перспективных решений..... 265
 - 2.2. Нетбуки и неттопы 277
 - 2.2.1. Нетбуки..... 277
 - 2.2.2. Неттопы..... 309
 - 2.3. КПК, навигаторы и MID..... 319
 - 2.3.1. КПК 320
 - 2.3.2. GPS-навигаторы 339
 - 2.3.3. MID..... 355

2.4. Аксессуары	365
2.4.1. Мышь	365
2.4.2. Внешние накопители	369
2.4.3. Автономное энергоснабжение	381
2.4.4. Дополнительные аксессуары	383
2.5. Настройка и модернизация	384
2.5.1. Снижение энергопотребления	384
2.5.2. Модернизация	398

ГЛАВА 3. Встраиваемые системы.....427

3.1. Основные компоненты	427
3.2. Примеры встраиваемых систем	438
3.3. Примеры использования	454

ПРИЛОЖЕНИЕ. Рекомендуемые сайты457

Предметный указатель459

Введение

Эра электронных вычислительных машин — компьютеров — насчитывает уже более шести десятков лет. Первые немногочисленные их представители имели гигантские размеры, высокое энергопотребление, значительную цену и сравнительно низкие уровни производительности и надежности. Тем не менее, они помогли решать текущие задачи оборонных ведомств.

В условиях ограниченности доступных ресурсов и функциональных возможностей первых вычислительных машин их конструкторы создавали уникальные специализированные устройства. Это обеспечивало повышение эффективности использования, но привело к появлению сотен плохо совместимых между собой моделей. Они отличались разными конструкторскими решениями, элементами, архитектурами, системами команд, а в результате — разными функциональными возможностями и особенностями эксплуатации. Все это порождало множество проблем для разработчиков аппаратно-программных средств и пользователей таких компьютеров, количество которых стремительно увеличивалось.

Однако по мере совершенствования элементной базы, технологий и архитектур росли возможности и численность парка компьютеров. Этот процесс ускорился после замены ламп и сменивших их транзисторов на высокоинтегрированные микросхемы. Для снижения расходов на разработку и производство компьютеров появилась необходимость в стандартизации аппаратно-программных решений. Именно по этому пути пошла вся компьютерная отрасль. Своеобразными катализаторами ее развития стали быстрая эволюция полупроводниковых технологий и совершенствование архитектуры сравнительно небольшого числа линеек микропроцессоров.

Массовый выпуск сравнительно дешевых элементов позволил наладить выпуск сотен тысяч недорогих, универсальных, компактных компьютеров. Они используются и в обороне, и в промышленности, и в сельском хозяйстве, связи, медицине, образовании, досуге и во многих других областях.

Для повышения эффективности использования оборудования и увеличения скорости передачи информации индивидуальные компьютеры в настоящее время объединяются в локальные и глобальные сети, управляемые серверами. А для обеспечения точного управления в промышленности, транспорте и других областях широкое распространение получили высоконадежные встраиваемые решения.

Оценивая многообразие современных электронных вычислительных устройств, необходимо отметить, что, хотя сектор высокопроизводительных вычислительных систем и продолжает развиваться, большинство эксплуатируемых сегодня компьютеров относится к классу настольных моделей. А в последнее время на лидирующую роль все больше претендуют мобильные компьютеры, к которым

относятся ноутбуки, нетбуки и разнообразные сверхкомпактные модели компьютерных устройств карманного форм-фактора.

Необходимо отметить, что, несмотря на различие в решаемых задачах, очень часто компьютеры разного конструкторского исполнения и предназначенные для разных условий эксплуатации создаются на элементах сравнительно небольшой номенклатуры. Именно это обстоятельство обеспечивает их массовый выпуск.

Стремительное расширение рынка и неизбежное падение цен привело к необходимости дальнейшего снижения себестоимости. В результате многие именитые производители, бренды которых хорошо известны российским пользователям компьютеров, стали постепенно отходить от самостоятельного выполнения полного цикла разработки и выпуска своих изделий. Используя принцип контрактного производства, они постепенно стали перекладывать сначала часть, а потом и большую долю работы на плечи сторонних фирм, уделяя основное внимание продвижению своей торговой марки с помощью законченных изделий и поддержке пользователей.

Массовый выпуск повышает рентабельность производства, что позволяет снижать цены готовых изделий. Унификация решений упрощает сборку, обслуживание и ремонт. К негативным же сторонам следует отнести появление идентичных моделей, отличающихся часто исключительно этикетками с наименованием компаний и/или незначительными элементами дизайна.

Тесное сотрудничество обеспечило значительные продажи компьютеров с брендами указанных заказчиков. А вот модели с наименованиями контрактных производителей найти не удастся, т. к. они не занимаются продажами. Их роль на рынке — выпуск изделий из стандартных комплектующих на основе ограниченного числа стандартных решений. Такие решения, прошедшие полный цикл валидации (полного цикла тестирования), называются компьютерными платформами или просто платформами. Именно они, а не бренды, определяют основные параметры компьютеров.

Основой платформенных решений являются процессоры (CPU — central processing unit — центральный процессор) и поддерживающие их специализированные наборы микросхем — чипсеты. Реализация потенциальных возможностей современных процессоров зависит от их электронного окружения. Соответствующие микросхемы и элементы задают необходимые режимы электропитания и передачи данных, т. е. обеспечивают эффективную работу процессора. Они также осуществляют электрическую и логическую связи процессора и остальных частей всей системы компьютера, оказывая влияние на общую производительность. Данные микросхемы окружения процессора в настоящее время представлены чипсетом и рядом дополнительных микросхем.

Необходимо отметить, что от работы чипсета в значительной степени зависит реализация потенциальных возможностей процессора, а также эффективность его взаимодействия с другими элементами и подсистемами компьютера. Поэтому

специализированный набор микросхем, его внутренняя структура и функциональные возможности должны быть тесно связаны с особенностями архитектуры конкретных вариантов процессоров, на работу с которыми они ориентированы. Кроме того, такой набор создается для учета различных конфигураций компьютеров и возможного разнообразия решаемых задач.

Таким образом, наряду с выпуском новых процессоров обычно осуществляется проектирование специализированного набора системной логики. Без такого набора современный процессор остается просто микросхемой, бесполезным, но сравнительно дорогостоящим кусочком кремния с чрезвычайно сложной внутренней электронной структурой, представленной сегодня сотнями миллионов полупроводниковых элементов, традиционно называемых транзисторами.

Существуют свои специализированные наборы микросхем системной логики для каждого поколения процессоров. При этом для каждого из поколений процессоров могут существовать несколько вариантов чипсетов, отличающихся внутренней архитектурой, составом и количеством микросхем, а также фирмой-изготовителем, функциональными возможностями и эффективностью работы данного набора, в значительной степени определяющего параметры основных подсистем.

Однако следует отметить, что эффективность работы чипсета связана не только с его чрезвычайно сложной внутренней структурой и алгоритмами работы его элементов, но и с особенностями архитектуры самого компьютера и составом входящих в его систему комплектующих, на работу с которыми этот компьютер ориентирован. К таким элементам относятся процессор, видеоадаптер, жесткие и оптические диски, карты расширения и другие комплектующие, связь с которыми осуществляется посредством портов и шин. Их работа, как правило, контролируется чипсетом. Его встроенные средства участвуют в преобразовании информации, управлении устройствами и т. д. В частности, для обеспечения согласованной работы всей системы компьютера чипсет осуществляет многоуровневый арбитраж шин, количество и разнообразие которых увеличивается по мере совершенствования архитектуры компьютеров.

Сказанное относится, прежде всего, к шинам процессора и памяти, увеличение скорости которых вместе с ростом пропускной способности остальных магистралей передачи информации и улучшением их взаимодействия с подсистемами компьютера способствует росту вычислительной мощности компьютера. Но это верно и, например, для шин, обеспечивающих обмен информацией с периферийными устройствами.

Остается добавить, что большинство элементов архитектуры компьютера взаимодействуют между собой через материнскую плату, центральным элементом которой по справедливости считается чипсет. Поэтому функциональные возможности компьютера, включая производительность, а также особенности эксплуатации, устойчивость и надежность работы в значительной степени зависят от

возможностей материнской платы — основной системной платы, объединяющей процессор, чипсет и все основные электронные компоненты. Через эту плату осуществляется связь между всеми элементами и подсистемами, входящими в состав компьютера. От качества элементов, входящих в состав материнской платы, от тщательности проработки ее архитектуры и аккуратности ее изготовления зависят производительность и потенциальные возможности всего компьютера. Не секрет, что разные материнские платы, ориентированные на один и тот же сектор рынка, могут значительно отличаться по своей производительности, причем эти отличия нередко значительно превышают разницу в производительности соседних выпусков процессоров.

Оптимальный выбор материнской платы с соответствующим чипсетом, являющимся ее основой и в значительной степени определяющим функциональные возможности как самой платы, так и всей системы, — залог высокой производительности компьютера, его надежной и стабильной работы. Кроме того, выбором материнской платы обеспечивается возможность последующей модернизации компьютера и расширения его функций за счет замены процессора, наращивания оперативной памяти (ОЗУ), а также бесконфликтное подключение специализированных плат и контроллеров дополнительных устройств. Поэтому, решая задачу по выбору материнской платы, при недостатке собственного опыта, а также в спорных моментах целесообразно обращаться к специалистам, способным учесть все нюансы, связанные как с эксплуатацией систем различной комплектации, так и с возможностью последующей модернизации. К тому же необходимо учитывать, что материнские платы — это сложные многофункциональные элементы, предусматривающие возможность работы с широким спектром используемых процессоров и других комплектующих. И как большинство многофункциональных элементов, материнские платы требуют тщательного выбора и определенной настройки, что, в конечном счете, является заданием конфигурации и установкой необходимых режимов функционирования аппаратных средств компьютера в зависимости от выполняемых задач, режимов эксплуатации и используемых компьютерных комплектующих с учетом всех их особенностей.

Обычно настройка производится в соответствии с технической документацией, и при ее осуществлении следует руководствоваться как приведенными рекомендациями, так и собственным опытом. Она выполняется с помощью установок соответствующих параметров, определяющих производительность и функциональные возможности компьютера.

Обзору перечисленных элементов, их техническим параметрам, особенностям эксплуатации и настройке посвящен предлагаемый далее материал.

ГЛАВА 1



Настольные системы

Хотя доля настольных ПК постепенно снижается, среди бытовых и офисных компьютеров они остаются непревзойденными по производительности и функциональным возможностям. Лидерство этому классу ПК обеспечивает использование соответствующих комплектующих, технологий и архитектур.

За несколько десятилетий развития компьютеров многократно возросла их вычислительная мощь и увеличились их функциональные возможности. Некогда гигантские комплексы, требующие особых условий обслуживания и эксплуатации, благодаря успехам полупроводниковых технологий постепенно превратились в компактные и недорогие стационарные вычислительные системы. Эти системы были названы настольными персональными компьютерами (Desktop PC). Они обладают высокой производительностью и широкими функциональными возможностями.

1.1. Основные компоненты

Производительные компьютеры создаются на основе современных компонентов, важнейшими из которых являются процессоры, оперативная память, видеоадаптеры, жесткие диски и, конечно, материнские платы.

1.1.1. Ограничения частотного роста

Безудержному росту тактовых частот препятствуют объективные физические законы, определяющие работу элементов, а также особенности дизайна компонентов и устройств.

С точки зрения пользователя, быстродействие процессора характеризуется временем выполнения определенного набора команд, последовательность

которых образует компьютерную программу. Чем оно меньше, тем выше производительность. Иными словами,

$$\text{Производительность} = (\text{Количество микрокоманд за такт}) \times (\text{Тактовая частота}).$$

Количество команд, выполняемых за такт, в значительной степени зависит от микроархитектуры процессора, определяющей, с каким набором машинных команд способен работать процессор и как осуществляется эта работа. На уровне процессора одна команда программы преобразуется в несколько машинных инструкций или элементарных команд, причем эффективность такого преобразования зависит и от микроархитектуры процессора, и от оптимизации кода. Кроме того, в современных микроархитектурах элементарные команды могут исполняться параллельно.

Из вышесказанного следует, что некорректно сравнивать производительность процессоров, имеющих различную микроархитектуру, основываясь только на тактовой частоте процессоров. Вот почему при одной и той же тактовой частоте одни приложения более эффективно могут выполняться на процессорах, например, от компании Intel, а другие — на процессорах от AMD. Но если рассматривать одно и то же семейство процессоров, представленных моделями одинаковой микроархитектуры, то сравнивать их производительность, исходя из тактовой частоты процессора, будет вполне корректно. Модели процессоров одного семейства, имеющие большие величины тактовых частот, обладают и большей производительностью. Именно поэтому на протяжении сравнительно длительного времени повышение производительности процессора достигалось путем увеличения тактовых частот, на которых работают полупроводниковые ядра процессоров.

Однако безудержному росту тактовых частот препятствуют объективные физические законы, определяющие работу элементов уже нанометровых размеров. В ряду таких элементов нужно назвать, прежде всего, полупроводниковые транзисторы, изготовленные по технологии КМОП (CMOS). Здесь необходимо напомнить, что КМОП означает комплементарную логику на основе технологии металл-окисел-полупроводник.

Параметры этих транзисторов, десятки миллионов которых составляют основу ядер процессоров, в значительной степени зависят от типоразмеров. Их изменение определяется эволюцией технологических процессов, в соответствии с которыми осуществляется выпуск процессоров. Основным параметром, характеризующим техпроцесс, является уменьшаемый каждые два года масштаб производства полупроводниковых элементов.

Эволюция технологических процессов фирмы Intel представлена в табл. 1.1 и на рис. 1.1.

Таблица 1.1. Эволюция технологических процессов фирмы Intel

Наименование процесса	P854	P856	P858	Px60	P1262	P1264	P1266	P1268	P1270
Внедрение, год	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011
Масштаб, нм	350	250	180	130	90	65	45	32	22
Пластина Si, мм	200	200	200	200/300	300	300	300	300	300
Межсоединения	Al	Al	Al	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu
Диэлектрик затвора	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	High-k	High-k	High-k
Канал	Si	Si	Si	Si	Strained Si	Strained Si	Strained Si	Strained Si	Strained Si



Рис. 1.1. Эволюция технологических процессов компании Intel

Совершенствование технологии и постепенное уменьшение размеров транзисторов способствуют улучшению их параметров, важнейшими из которых являются скоростные свойства. Благодаря уменьшению длины затвора в *M* раз пропорциональным образом возрастают частотные параметры и плотность размещения транзисторов. Изменение параметров транзисторов в зависимости от их типоразмеров представлено в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Изменение параметров транзисторов в зависимости от их типоразмеров

Параметр	Коэффициент
Длина затвора (X)	1/ <i>M</i>
Ширина затвора (Y)	1/ <i>M</i>
Толщина затвора (Z)	1/ <i>M</i>

Таблица 1.2 (окончание)

Параметр	Коэффициент
Плотность размещения	$M \cdot M$
Частота работы	M
Напряжение	$1/M$

Однако работающие на высоких частотах транзисторы, уже нередко сотни миллионов которых расположены на очень малой площади полупроводникового кристалла, оказывают друг на друга негативное влияние. Это влияние можно легко проиллюстрировать на примере расположенных рядом проводников, соединяющих элементы в ядре процессора (рис. 1.2).

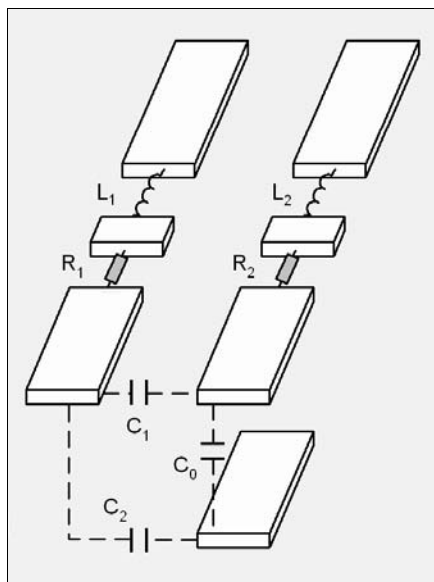


Рис. 1.2. Взаимное влияние проводников, соединяющих элементы в микросхемах

Данные проводники обладают взаимной емкостью, которая, как известно, зависит от расстояния между проводниками и площади обращенных друг к другу сторон и вычисляется по формуле

$$C = k \times S / d,$$

где C — емкость; S — площадь; d — расстояние; k — коэффициент диэлектрической проницаемости среды.

Взаимная емкость способствует появлению неконтролируемых токов: на высоких частотах образованный проводниками конденсатор обладает проводимостью.

мостью. Оценивая поведение приведенной схемы на высоких частотах, нельзя не заметить, что размеры проводников малы, но мало и расстояние между ними. Учитывая же величины частот, а также количество таких проводников, составляющее многие миллионы, можно утверждать, что их влиянием на частотные свойства внутренних структур процессорного ядра нельзя пренебрегать. Особенно если принять во внимание то обстоятельство, что каждый проводник обладает еще и активным сопротивлением, и индуктивностью (см. рис. 1.2).

К тому же и активные (резисторы), и реактивные (емкости, индуктивности) составляющие полного импеданса являются распределенными по всей длине проводников, что многократно усложняет описание и поведение подобных систем на высоких частотах. Однако ситуация является еще более сложной, т. к. описанная система находится не в вакууме, а между проводниками находятся вещества, обладающие определенными диэлектрическими свойствами, влияющими на величины взаимных емкостей (рис. 1.3).

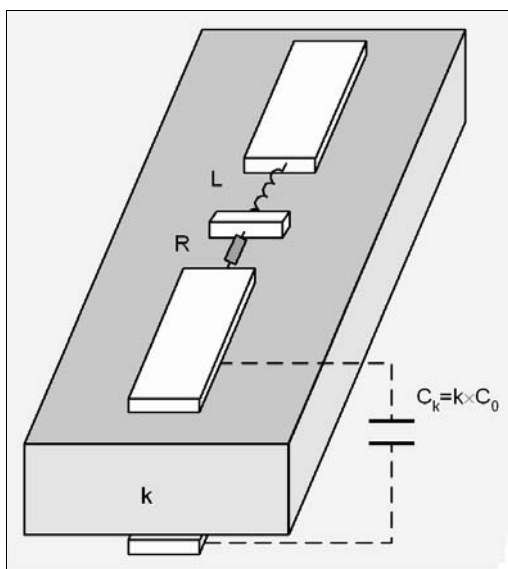


Рис. 1.3. Вариант двух проводников, учитывающий влияние диэлектриков

Из приведенного рисунка должно быть понятно, почему конструкторы стремятся использовать для изоляции элементов полупроводниковых микросхем материалы с меньшей величиной диэлектрической проницаемости (k).

Следует отметить, что высокочастотные параметры описанных схем зависят от многих факторов. Достаточно перечислить, например, геометрические размеры проводников, их взаимное расположение, состав металлов и окру-

жающих диэлектриков, микроскопические дефекты. Любые вариации этих параметров порождают соответствующие изменения в частотных свойствах. Кстати, это одна из причин необходимости закладывать «запас прочности» в сложные высокочастотные изделия.

Кроме топологии проводников, необходимо учитывать и влияние самих транзисторов. Каждый из них, обладая собственными емкостными и индуктивными характеристиками, искажает высокочастотные сигналы и способствует росту токов утечки. Кроме того, транзисторы являются активными элементами: оказывая электромагнитное воздействие на близлежащие элементы, они в свою очередь сами испытывают аналогичное влияние от соседних цепей. Входящие же в состав транзисторов р-п-переходы способны осуществлять непредусмотренное детектирование наведенных токов, их усиление и последующую передачу.

Структура КМОП-транзистора показана на рис. 1.4.

Общая картина многократно усложняется, если учесть, что размеры транзисторов уже достигли тех значений, когда все большее влияние начинают оказывать квантовые эффекты. Миниатюризация полупроводниковых элементов, работающих на сверхвысоких частотах в условиях значительных электромагнитных помех, обуславливает стремительный рост неуправляемой составляющей токов в электронных схемах. Их общий поток складывается из токов, порождаемых неидеальностью изоляции, а также утечками различной природы через межэлементные емкости и даже за счет туннельного эффекта.

Здесь следует напомнить, что для сохранения устойчивости работы электронных схем токи, контролируемые работающими элементами, должны быть больше неуправляемых токов утечки. В результате негативных явлений, порождаемых процессами миниатюризации, неуправляемые токи, основу которых составляют токи утечки, а также паразитные токи, связанные с ростом частоты переключения транзисторов, препятствуют снижению теплообразования процессоров за счет миниатюризации элементов. Это означает, что ожидаемого существенного снижения теплообразования не происходит, несмотря на уменьшение напряжения питания, достигнутое благодаря уменьшению размеров транзисторов. Доля указанной неконтролируемой части электрического тока, и без того довольно значительная, еще более увеличивается с ростом частоты.

В борьбе с ростом негативных тенденций, происходящих в электронных схемах, реализованных в кристаллах процессоров и других микросхемах, специалисты внедряют новые технологии. В качестве примеров можно привести использование медных проводников вместо алюминиевых или применение материалов с низкими показателями диэлектрической проницаемости (low k), технологий напряженного кремния (strained Si) и кремний-на-изоляторе (SOI).

Замена алюминия медью для соединяющих транзисторы проводников обеспечило снижение потерь при передаче сигналов, т. к. медь обладает лучшей проводимостью по сравнению с алюминием. В результате это в целом уменьшило тепловыделение и позволило увеличить тактовые частоты процессора.

Те же цели преследовали разработчики, применяя материалы low k и strained Si. Первые, используемые для изоляции внутренних цепей, включая соединяющие проводники, снижают значения паразитных межэлементных емкостей, препятствующих росту тактовых частот. Вторые же предназначены для уменьшения сопротивления канала исток-сток. Связано это с тем, что напряженный кремний характеризуется большим расстоянием между атомами его кристаллической решетки, и это обеспечивает меньшее сопротивление потоку электронов. Для областей с дырочной проводимостью используется напряженный кремний с уменьшенным расстоянием между атомами. Все это уменьшает тепловыделение и позволяет несколько увеличить тактовые частоты.

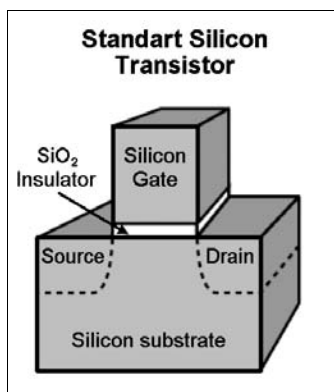


Рис. 1.4. Структура традиционного КМОП-транзистора

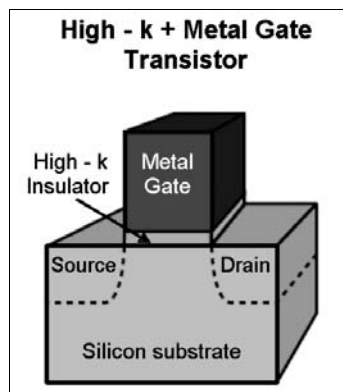


Рис. 1.5. Структура улучшенного КМОП-транзистора

Следует отметить, что для борьбы с тепловыделением используется и такая технология, как SOI. Она обеспечивает снижение паразитных токов через подложку.

Аналогичной цели, но только для цепей затворов, служит и применение материалов с high k. Эти материалы используются в качестве изолирующих слоев затворов транзисторов взамен традиционно применяемой пленки окиси кремния (рис. 1.5).

Толщина этой пленки составляет менее десяти атомов, что вызывает значительный неуправляемый ток утечки. Использование же новых материалов

позволяет увеличить толщину данной пленки и уменьшить ток утечки примерно в тысячу раз. Это значительно уменьшает тепловыделение и позволяет наращивать тактовые частоты.

С той же целью в дополнение к использованию материалов high k осуществляется замена поликристаллических затворов на металлические.

Еще одной мерой, призванной уменьшить потери энергии, является использование напряженного кремния. С помощью специальных технологий изменяют параметры кристаллической решетки кремния в области канала транзистора: увеличение для области n и уменьшение — для области p, что облегчает прохождение электронов и дырок. Это улучшает частотные параметры транзисторов и уменьшает уровень потерь.

В дальнейшем же планируется применение более совершенных транзисторов (рис. 1.6).

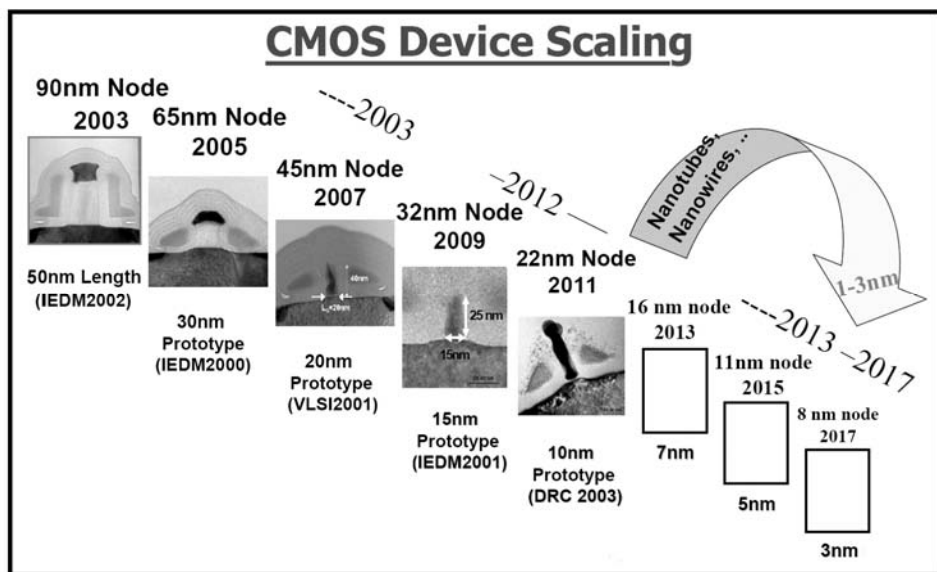


Рис. 1.6. Эволюция процессов и транзисторов

Внедрение указанных нововведений позволяет продолжить процесс миниатюризации элементов, наращивая их частотный потенциал и плотность размещения транзисторов на полупроводниковых кристаллах. Последний параметр позволяет увеличивать от поколения к поколению количество транзисторов, составляющих ядро процессора. Данный массив является ресурсом разработчиков и соответственно источником увеличения потенциальных возможностей компьютерных комплектующих и, следовательно, создаваемых изделий.

Рост же массива транзисторов происходит в соответствии с эмпирическим законом Мура, означающим регулярное удвоение числа (точнее было бы говорить о регулярном удвоении плотности) транзисторов на кристаллах микросхем. С этим законом уже несколько десятков лет осуществляется стремительная эволюция микросхем и совершенствование микроархитектуры процессоров (рис. 1.7 и 1.8).



Рис. 1.7. Гордон Мур и его закон



Рис. 1.8. Изменение плотности микросхем

Совершенствование микроархитектуры процессоров и технологических процессов их производства обеспечивает рост тактовых частот и вычислительной мощности процессоров (рис. 1.9).

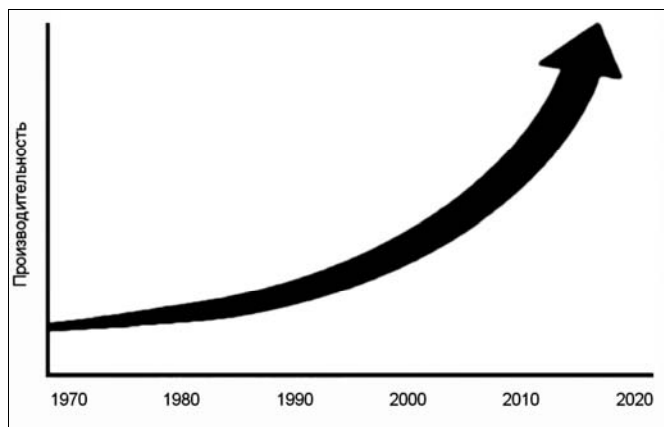


Рис. 1.9. Экспоненциальный рост производительности процессоров

К сожалению, обратной стороной этого роста, опять же, является сравнительно быстрое увеличение теплообразования высокосложных микросхем, к которым относятся процессоры.

1.1.2. Процессоры

Невозможность неограниченного роста тактовой частоты с одной стороны и необходимость повышения производительности с другой потребовали новых идей в области процессорных микроархитектур.

Решение было найдено в многоядерных структурах, позволяющих реализовать параллельные вычисления. Процессоры с несколькими ядрами обеспечили дальнейший рост производительности при снижении показателя Energy per Instruction — энергии, затраченной на выполнение одной инструкции.

Регулирование энергопотребления

В попытках решить проблему снижения энергопотребления своих изделий конструкторы принялись встраивать в ядра специальные цепи (их функционирование поддержано системным программным обеспечением), которые регулируют работу процессоров и обеспечивают, в зависимости от вычислительной нагрузки и условий эксплуатации, установку оптимальных электрических и частотных режимов. То есть в случае снижения вычислительной нагрузки происходит уменьшение тактовой частоты работы ядра.

Кстати, при снижении тактовой частоты процессора ниже штатной величины напряжение питания его ядра может быть соответствующим образом снижено без нарушения устойчивости работы системы, и это позволяет снизить теплообразование процессора. Будучи стандартными для портативных компьютеров, такие операции, выполняемые в автоматическом режиме аппаратно-программным обеспечением, предназначены для экономии энергии батарей. Однако понижение напряжения и частоты уже используется и для моделей серверного сектора, и сектора настольных компьютеров, что позволяет не только уменьшить энергопотребление, но и существенно снизить тепловую нагрузку на полупроводниковые кристаллы ядер процессоров.

Для оценки эффективности подобных технологий снижения тепловой нагрузки на ядро процессора целесообразно воспользоваться следующей формулой:

$$P \approx C \cdot V^2 \cdot F,$$

где P — тепловая мощность процессора; C — коэффициент, учитывающий взаимную емкость элементов ядра процессора и зависящий от микроархитектуры его ядра (обычно возрастает с увеличением плотности размещения элементов на кристалле микросхемы); V — напряжение питания ядра; F — тактовая частота.

Данное выражение легко приводится к следующему виду:

$$P_k = P_0 \left(\frac{V_k}{V_0} \right)^2 \left(\frac{F_k}{F_0} \right).$$

В этом уравнении, связывающем основные характеристики теплообразования, переменные с индексом k обозначают соответствующие параметры изменяемых режимов, а переменные с нулевым индексом — параметры штатного режима.

Приведенная формула показывает, что уменьшение тактовой частоты и, как следствие, возможность уменьшения напряжения питания обеспечивают значительное снижение мощности теплообразования. Так, например, уменьшение тактовой частоты и напряжения на 20% уменьшает теплообразование в два раза. Снижение же производительности можно компенсировать использованием нескольких ядер. В результате, как показывают расчеты и практическая реализация, замена верхних моделей на процессоры с несколькими ядрами способна обеспечить существенный прирост производительности при приемлемом теплообразовании. Кстати, первые такие процессоры, ориентированные на сектор настольных компьютеров и созданные на основе микроархитектуры NetBurst, вывела на рынок Intel.

Дальнейшего снижения энергопотребления можно достичь простым переходом на микроархитектуру процессоров Intel Pentium M или более совершен-

ную Intel Core Duo с соответствующим увеличением тактовых частот до уровня производительности Intel Pentium 4. Но конструкторы корпорации Intel пошли другим путем.

Микроархитектура Intel Core

Специалисты Intel предложили новую микроархитектуру, обеспечивающую эффективное снижение показателя Energy per Instruction (энергии, затраченной на выполнение одной инструкции). Данная микроархитектура, предоставляющая возможность реализации производительных экономичных многоядерных процессоров, получила наименование микроархитектура Intel Core (Intel Core Microarchitecture). Создана она группой конструкторов, ранее разработавших микроархитектуру ядра Banias. И хотя новинка, по мнению многих специалистов, ведет свою родословную от микроархитектуры P6, реализованной в Intel Pentium Pro и Pentium II/III, она является отдельной разработкой (рис. 1.10).

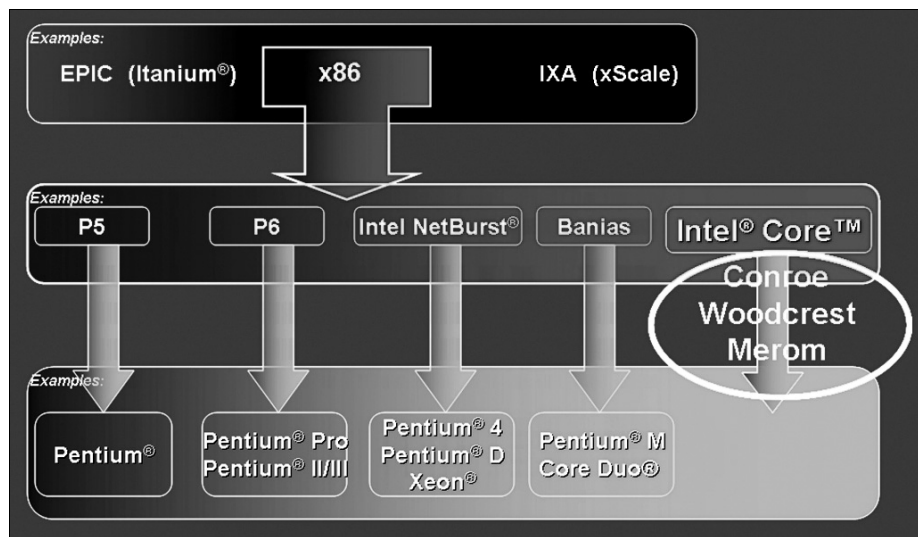


Рис. 1.10. Эволюция микроархитектуры x86

В продуктах, созданных на основе микроархитектуры Intel Core, нашли свое воплощение многие инновационные технологии, в частности Intel Wide Dynamic Execution, Intel Advanced Smart Cache, Intel Smart Memory Access, Intel Advanced Digital Media Boost, Intel 64 Technology, Intel Intelligent Power Capability.

Технология Intel Wide Dynamic Execution повышает производительность и эффективность работы процессора, позволяя каждому ядру исполнять до че-

тырех инструкций за такт с использованием эффективного 14-этапного конвейера.

Технология Intel Advanced Smart Cache связана с наличием общей кэш-памяти 2-го уровня, что сокращает энергопотребление, сводя к минимуму объем «трафика» в подсистеме памяти, и повышает производительность системы, обеспечивая одному из ядер доступ ко всей кэш-памяти при простое другого ядра.

Технология Intel Smart Memory Access повышает производительность системы путем снижения задержек при доступе к памяти. Это повышает пропускную способность, благодаря чему процессор получает данные тогда, когда они требуются.

Технология Intel Advanced Digital Media Boost удваивает скорость выполнения команд, часто используемых в мультимедийных и графических приложениях.

Технология Intel Intelligent Power Capability активирует отдельные узлы чипа только по мере необходимости, что значительно снижает энергопотребление системы в целом. В дополнение к этому в микроархитектуре реализованы механизмы, уменьшающие тактовую частоту работы и напряжение питания ядер при снижении вычислительной нагрузки.

К перечисленным нововведениям необходимо добавить также и поддержку 64-разрядных вычислений, которую обеспечивает Intel 64 Technology. В частности, она предоставляет процессору доступ к существенно большему объему памяти по сравнению с предельным уровнем в 4 Гбайт у традиционных 32-разрядных моделей.

Остается добавить, что микроархитектура Intel Core стала основой не только для двухъядерных процессоров всех сегментов рынка ПК, но и последующих многоядерных разработок.

Многоядерность

Как было отмечено выше, безудержному росту тактовых частот препятствуют объективные физические законы. Ограничение роста частоты связано с уменьшением транзисторов, достигших уже нанометровых размеров, а также увеличением плотности их размещения на полупроводниковом кристалле. В результате работе элементов мешают помехи и паразитные токи. Причем их негативное влияние увеличивается с ростом тактовых частот, вызывая повышенные энергопотребление и теплообразование. Все это наглядно проявилось в старших процессорах семейства Intel Pentium 4, требовавших не только мощных источников питания, но и больших кулеров для их охлаждения. Указанные особенности ограничили развитие процессоров путем подъема такто-

вой частоты, и инженерная мысль переключилась на разработку многоядерных моделей.

Действительно, для многоядерных моделей приведенная выше формула превращается в следующее выражение:

$$\text{Производительность} = (\text{Количество ядер}) \times (\text{Количество микрокоманд за такт}) \times (\text{Тактовая частота})$$

Эта идея была успешно опробована в моделях Intel Pentium D, обеспечивших значительный рост производительности при умеренных значениях тактовых частот, энергопотребления и теплообразования. В дальнейшем накопленный опыт и идея многопроцессорности получили свое развитие в следующих разработках.

На основе Intel Core Microarchitecture для рынка настольных компьютеров корпорация выпустила ряд моделей двухъядерных процессоров, получивших наименование Intel Core 2 Duo (ранее известных как Conroe).

Intel Core 2 Duo/Quad

Основные компоненты ядер процессора Intel Core 2 Duo представлены на рис. 1.11.

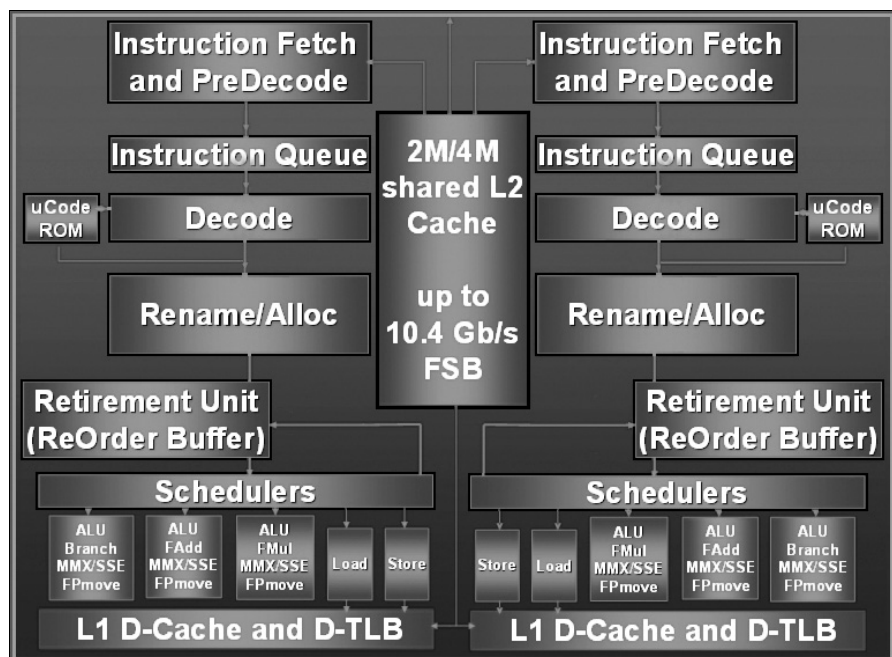


Рис. 1.11. Основные компоненты ядер процессора Intel Core 2 Duo

Intel Core 2 Duo стала третьем поколением двухъядерных процессоров Intel для ПК. Здесь следует отметить, что к первому поколению относятся модели Intel Pentium D, разработанные для настольных решений, а ко второму — Intel Core Duo для мобильных ПК (см. рис. 1.10).

Первыми выпущенными процессорами Intel Core 2 Duo, ориентированными на рынок настольных систем, стали модели, выпущенные в 2006 г. по технологии 65 нм. Все они использовали процессорную шину, унаследованную от своих предшественников. Для данных процессоров тактовая частота шины составила 266 МГц, что обеспечило передачу данных с частотой 1066 МГц и пиковый поток 8,5 Гбайт/с. За исключением процессоров начального уровня все модели были оснащены 4 Мбайт кэш-памяти второго уровня (L2). Весь объем памяти доступен обоим ядрам, интегрированным в состав каждого из процессоров. Кэш-память первого уровня (L1) у всех моделей одинакова и составила 32 Кбайт для инструкций (L1 Code) и 32 Кбайт для данных (L1 Data). Все модели поддерживали 64-разрядные расширения Intel Enhanced Memory 64 Technology (EM64T); SIMD инструкции SSE, SSE2 и SSE3; технологию виртуализации — Intel Virtualization Technology (VT) и бит Execute Disable, участвующий в системе информационной защиты. Кроме того, они поддерживали технологии управления энергопотреблением Enhanced Intel SpeedStep и Thermal Monitor 2. Процессорный разъем — LGA775.

Основные параметры первых моделей для настольных систем представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Процессоры микроархитектуры Intel Core для настольных ПК

Модель процессора	Тактовая частота ядра, ГГц	Частота системной шины, ГГц	Кэш-память L2, Мбайт
Intel Core 2 Extreme X6800	2,93	1066	4
Intel Core 2 Duo E6700	2,66	1066	4
Intel Core 2 Duo E6600	2,40	1066	4
Intel Core 2 Duo E6400	2,13	1066	2
Intel Core 2 Duo E6300	1,86	1066	2

Процессоры Intel Core 2 Duo, разработанные для настольных ПК, поддерживаются рядом наборов микросхем системной логики (чипсетами). Первыми чипсетами стали Intel 965 и 975X.

Семейство наборов микросхем Intel 965 Express, ориентированное на массовые компьютеры (Mainstream Desktop), включает в себя варианты с графическим решением GMA3000, поддерживающим технологию Intel Clear Video.

Чипсет Intel 975X, разработанный для высокопроизводительных систем (Performance Desktop), поддерживает частоту передачи данных 1066 МГц, технологии повышения производительности подсистемы оперативной памяти и две видеокарты PCI Express x8/x16, способные работать параллельно. Данные наборы микросхем соответствуют требованиям ОС Microsoft Windows Vista Premium.

Процессорная архитектура, реализующая перечисленные выше технологии, обеспечивает двухъядерным процессорам высокий уровень производительности при значительном сокращении энергопотребления, а следовательно, и теплообразования.

Теплообразование, как известно, определяется показателем TDP (Thermal Design Power — максимальная мощность теплообразования микросхемы). Для верхней модели первой волны процессоров оно составило 75 Вт, для остальных — 65 Вт. Эти значения существенно ниже аналогичных показателей двухъядерных предшественников, в которых TDP достигал 130 Вт.

Что же касается роста производительности Intel Core 2 Duo, то ее иллюстрируют представленные ниже оценки. В качестве объекта тестирования была использована модель Intel Core 2 Extreme X6800, являющаяся топовой моделью среди первых процессоров Intel Core 2 Duo. Внешний вид инженерного образца двухъядерного процессора Intel Core 2 Extreme X6800 приведен на рис. 1.12.

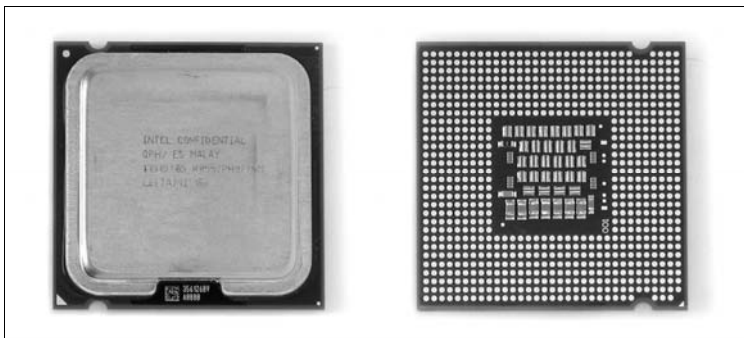


Рис. 1.12. Процессор Intel Core 2 Extreme X6800

В роли эталона в исследовании выступил Intel Pentium D 820 на базе микроархитектуры NetBurst, относящийся к предыдущему поколению двухъядерных процессоров, разработанных для настольных компьютеров. Эта модель входит в группу продуктов с кодовым именем Smithfield и создана по технологии 90 нм. Тактовая частота работы ядер — 2,8 ГГц, кэш-память L1 Data имеет объем 16 Кбайт, L1 Trace — 12 Кμops (микроопераций), L2 — 1024 Кбайт.

В качестве основы тестовой системы использована материнская плата Intel D975XBX, созданная на основе чипсета Intel 975X.

Основные параметры материнской платы Intel D975XBX: процессор — Intel Core 2 Extreme / Duo, Pentium Extreme Edition / D / 4 с LGA775 и шиной 1066/800 МГц; чипсет — Intel 82975X (MCH) + Intel 82801GR (ICH7R); оперативная память — два канала, четыре DIMM DDR2 667/533 SDRAM, ECC/non-ECC с максимальным объемом 8 Гбайт; видео — 1—3 видеоадаптера в слотах стандарта PCI Express x16 (электрические — x16/x8, x8, x4), поддержка ATI CrossFire; аудио — HD Audio, до восьми каналов; IDE — один порт IDE (два устройства) с UltraDMA 100/66/33; Serial ATA — четыре порта Serial ATA II (300 Мбайт/с) с поддержкой RAID, четыре порта Serial ATA (150 Мбайт/с) с поддержкой RAID; USB 2.0 — восемь портов USB 2.0/1.1 (четыре — через кабель), IEEE1394 — два порта IEEE1394a (один — через кабель); LAN — Gigabit (10/100/1000 Мбит/с) LAN с реализацией посредством Intel 82573L Gigabit Ethernet Controller; порты задней панели — порты PS/2 клавиатуры и мыши, один параллельный порт LPT, один последовательный порт COM, четыре порта USB 2.0/1.1, один порт IEEE 1394a, один порт RJ45, один Coaxial Digital Line Out, один Optical Digital Line Out, пять разъемов аудио, слоты — три слота конструктива PCI Express x16, два слота PCI, форм-фактор — ATX, размеры платы: 305×244 мм. Внешний вид платы Intel D975XBX приведен на рис. 1.13.

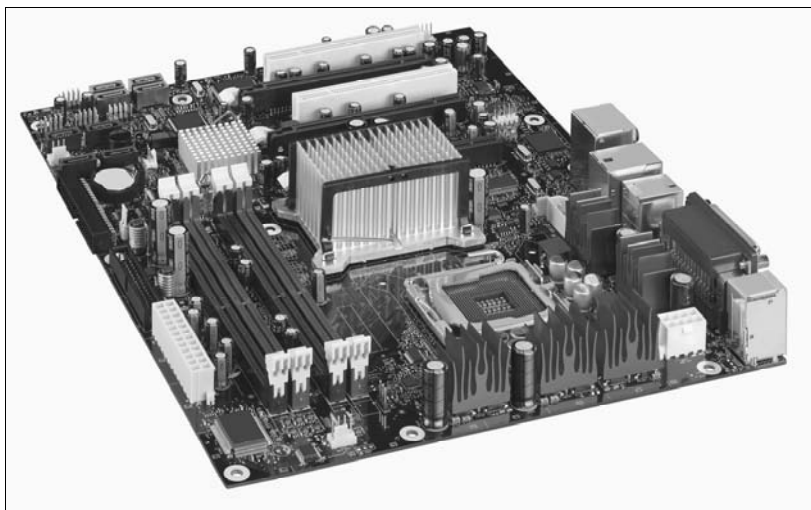


Рис. 1.13. Материнская плата Intel D975XBX

Результаты выполнения теста 3DMark06 (CPU score) представлены в табл. 1.4 и на рис. 1.14.

Таблица 1.4. Результаты тестов 3DMark06 (CPU score)

Модель процессора	3DMark06 (CPU score)
Intel Pentium D 820	1326
Intel Core 2 Extreme X6800	2468

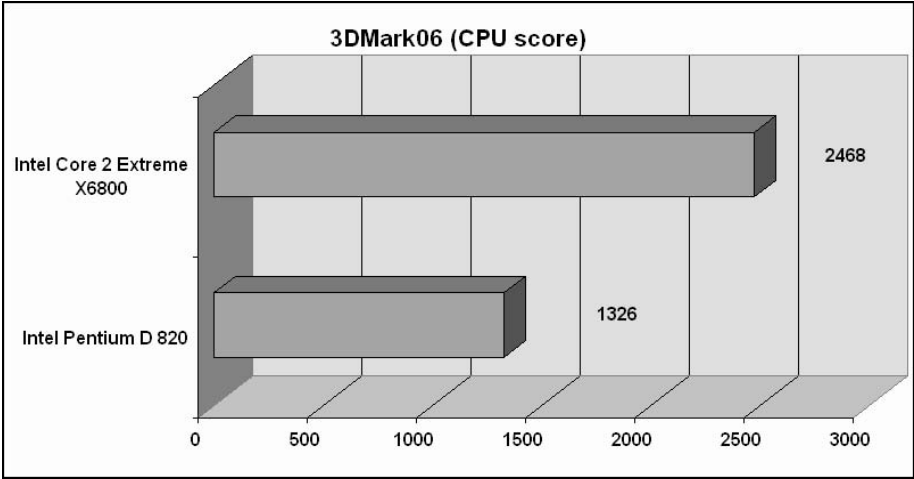


Рис. 1.14. Результаты тестов 3DMark06 (CPU score)

Одно из важных достоинств систем с двухъядерными процессорами — возможность одновременной работы с несколькими программами. В преимуществах микроархитектуры Intel Core и созданных на ее основе моделей процессоров можно убедиться на примере теста CPUmark99. Это исследование позволяет запустить несколько копий теста и загрузить оба ядра каждого из применяемых процессоров.

Результаты выполнения нескольких копий теста CPUmark99 процессором Intel Core 2 Extreme X6800 приведены в табл. 1.5, процессором Intel Pentium D 820 — в табл. 1.6. Значения сумм в графическом виде представлены на рис. 1.15.

Таблица 1.5. Результаты выполнения 1—4 копий теста CPUmark99 процессором Intel Core 2 Extreme X6800

Intel Core 2 Extreme X6800	CPUMark99 № 1	CPUMark99 № 2	CPUMark99 № 3	CPUMark99 № 4	Сумма
1 CPUMark99	403	—	—	—	403
2 CPUMark99	375	407	—	—	782
3 CPUMark99	220	378	212	—	810
4 CPUMark99	210	221	190	195	816

Таблица 1.6. Результаты выполнения 1—4 копий теста CPUmark99 процессором Intel Pentium D 820

Intel Pentium D 820	CPUmark99 № 1	CPUmark99 № 2	CPUmark99 № 3	CPUmark99 № 4	Сумма
1 CPUmark99	154	—	—	—	154
2 CPUmark99	135	165	—	—	300
3 CPUmark99	165	71,3	72,7	—	309
4 CPUmark99	135	66,8	58,7	57,5	318

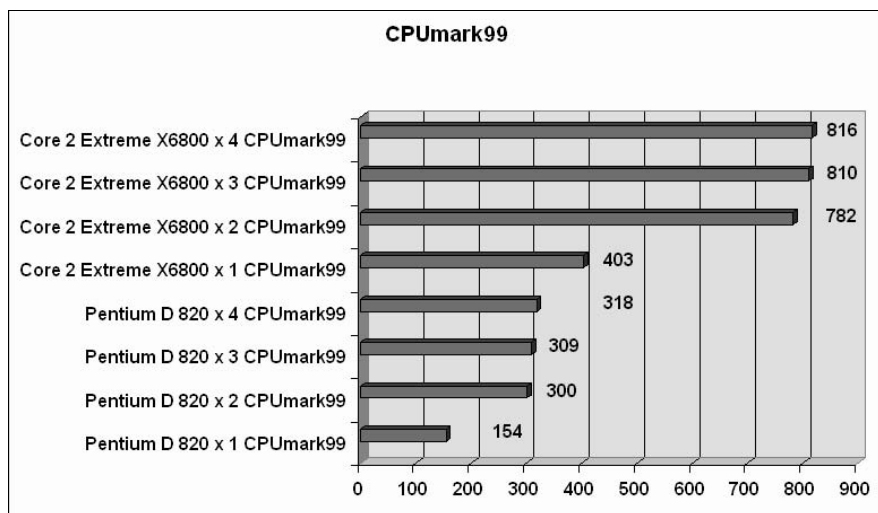


Рис. 1.15. Результаты выполнения нескольких копий теста CPUmark99

Приведенные результаты тестирования иллюстрируют преимущества Intel Core Microarchitecture над предшествующей микроархитектурой NetBurst. Действительно, модель Intel Core 2 Extreme X6800 при превышении на 4,6% внутренней тактовой частоты по сравнению с Intel Pentium D 820 в тесте 3DMark06 (CPU score) демонстрирует на 86% большую производительность в сравнении с предшественником. Не менее интересны результаты одновременного выполнения нескольких копий CPUmark99. В случае запуска одной копии превышение составляет 162%, при двух — 161%. С ростом числа копий теста CPUmark99 преимущество в производительности процессора новой микроархитектуры сохраняется.

Итак, из тестирования следует, что многоядерные процессоры наиболее эффективны в случае запуска нескольких независимых задач, а также приложений, допускающих распараллеливание программного кода.

Остается добавить, что ядерная микроархитектура Intel Core обеспечила полуторакратное, а в некоторых задачах и выше, увеличение производительности при таком же снижении энергопотребления. Однако инженеры Intel не стали почитать на лаврах и вскоре выпустили следующий, еще более совершенный продукт. Им стал четырехъядерный процессор (ядро получило наименование Kentsfield). Он получил наименование Intel Core 2 Extreme QX6700. Внешний вид инженерного образца четырехъядерного процессора Intel Core 2 Extreme QX6700 со штатным кулером приведен на рис. 1.16.

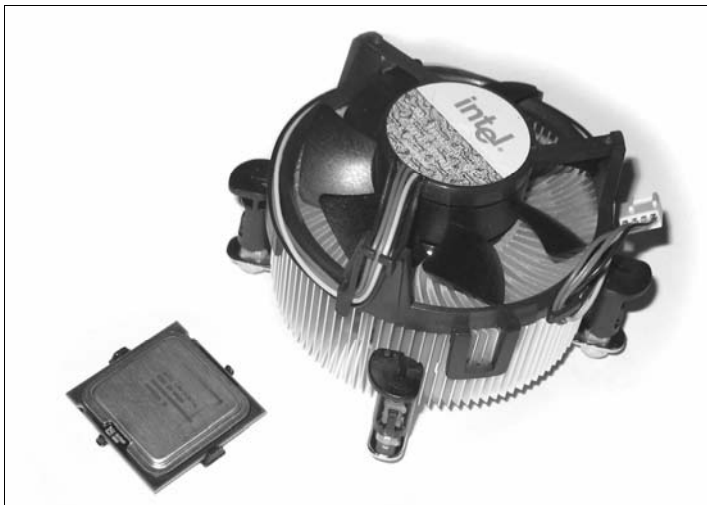


Рис. 1.16. Процессор Intel Core 2 Extreme QX6700

Данный чип позиционировался в момент своего объявления компанией Intel как процессор для игровых ПК. Однако, как показало многочисленное тестирование, этот процессор продемонстрировал высокие результаты не только в играх, но и в приложениях трехмерного моделирования, рендеринга, обработки видео- и аудиоданных.

С конструктивной точки зрения Intel Core 2 Extreme QX6700 — топовый вариант первой волны четырехъядерных процессоров — представляет собой два двухъядерных полупроводниковых кристалла процессора Core, совмещенных в одном процессорном корпусе (рис. 1.17). Не вдаваясь в подробную оценку положительных и отрицательных сторон этого решения, необходимо сказать, что оно позволило существенно снизить себестоимость, а следовательно, и конечную цену (это замечание для ряда критиков). Что же касается пользователей, как показывает практика, их не очень волнует, каким образом скомпоновано многоядерное ядро: представляет ли оно собой цельный кристалл или же собрано из двух отдельных частей, соединенных вместе внутри единого корпуса.

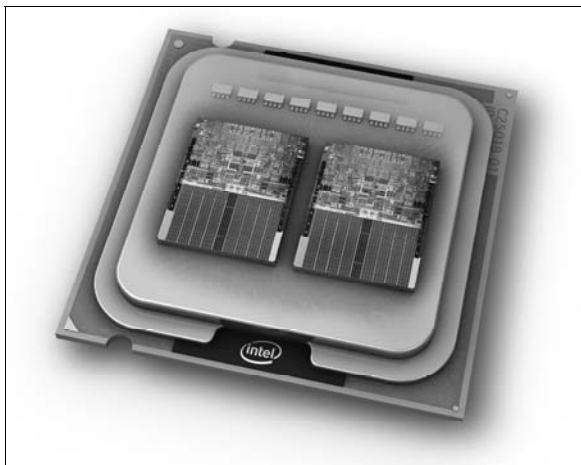


Рис. 1.17. Полупроводниковые кристаллы Intel Core 2 Extreme QX6700

В конце концов, главное, что требуется от процессора, — это корректное и быстрое выполнение прикладных задач, а внутреннее строение — удел специалистов и энтузиастов. Но вот возможностям и особенностям использования новых, производительных, а поэтому и недешевых, компьютерных элементов необходимо уделять повышенное внимание.

Для поддержки четырехъядерных моделей компания Intel рекомендует использовать свои материнские платы, однако вполне подойдут системные платы и от других производителей.

Здесь следует уточнить: не каждая материнская плата, поддерживающая ставшие уже привычными двухъядерные процессоры Intel Core 2 Duo, способна работать с четырехъядерными моделями. Для этого требуется не только соответствующий вариант программного кода BIOS, но и выполнение определенных требований к встроенным преобразователям питания. Кроме того, в системе необходим и блок питания повышенной по сравнению с двухъядерными системами электрической мощности.

Для поддержки четырех-, а также и двухъядерных процессоров можно использовать материнские платы, созданные на основе соответствующих чипсетов. Это могут быть изделия с чипсетом Intel 975X или с более совершенными, но и более дорогими Intel X38 или X48. Для менее взыскательных пользователей, не использующих мощные процессоры и не требующих от своих компьютеров повышенной производительности и функциональности, можно порекомендовать материнские платы, созданные на основе чипсетов так называемой третьей или четвертой линеек. Кроме того, в компьютерных магазинах еще встречаются платы, созданные на чипсетах серии 965 и сертифицированные их создателями для работы с четырехъядерными моделями

процессоров. Однако такие варианты следует рассматривать как промежуточные этапы конструкторской мысли. Они были предложены в период отсутствия соответствующих элементов, хотя надо признать, что такие платы нередко хорошо справляются с поставленными задачами. Сегодня же пользователям следует ориентироваться на более совершенные материнские платы, специально созданные для поддержки современных многоядерных процессоров.

Оценить производительность четырехъядерного процессора можно на примере первой топовой модели, представленной Intel Core 2 Extreme QX6700 (ядро Kentsfield). Этот процессор имеет тактовую частоту ядра 2,66 ГГц, разъем — LGA775, частоту шины 1066 МГц и суммарный объем кэш-памяти второго уровня 8 Мбайт (2×4 Мбайт).

Основой для тестирования послужила материнская плата Intel BadAxe 2 (D975XBX2 Rev. 303).

В качестве эталона для четырехъядерного Intel Core 2 Extreme QX6700 был использован первый топовый процессор предыдущей линейки — Intel Core 2 Extreme X6800 (ядро Conroe). Такой выбор объясняется тем фактом, что до появления четырехъядерного Intel Core 2 Extreme QX6700 модель Intel Core 2 Extreme X6800 являлась самым производительным процессором для настольных систем.

Сравнительные характеристики этих процессоров приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7. Краткие характеристики первых старших 4- и 2-ядерных моделей процессоров

Процессор	Intel Core 2 Extreme X6800	Intel Core 2 Extreme QX6700
Количество ядер	2	4 (2×2)
Тактовая частота	2,93 ГГц	2,66 ГГц
Частота FSB	1066 МГц	1066 МГц
Объем кэш-памяти L2	4 Мбайт	8 Мбайт (2×4 Мбайт)
Напряжение питания	1,213 В	1,238 В

Результаты сравнительного тестирования представлены в табл. 1.8 и на рис. 1.18.

Результаты теста показывают преимущество четырехъядерного процессора Intel Core 2 Extreme QX6700 над двухъядерным Intel Core 2 Extreme X6800, созданным, кстати, по той же микроархитектуре Intel Core. Остается напомнить, что этот прототип не так давно в тестах легко обогнал своих двухъядерных предшественников Intel Pentium D, не говоря уже об одноядерных моделях, ставших экспонатами славной истории эволюции процессоров.