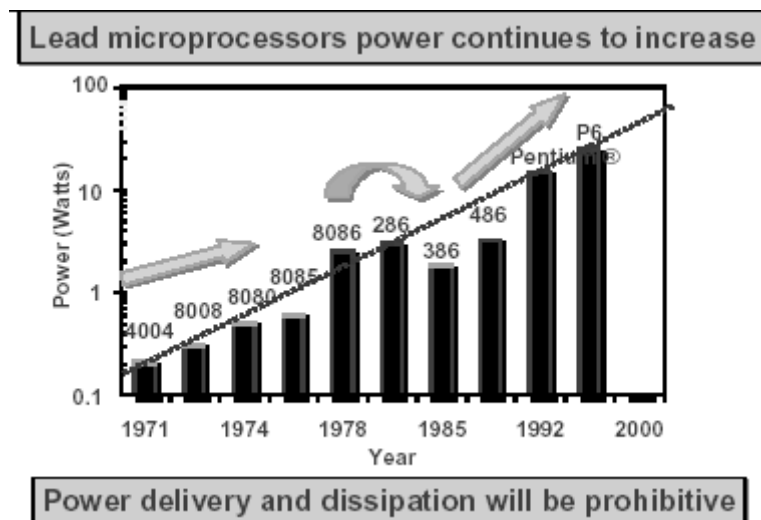


Консумирана мощност (енергия) от CMOS устройства и системи и мерки за тяхното намаляване. Приблизително определяне на електрическата мощност на СПЛ.

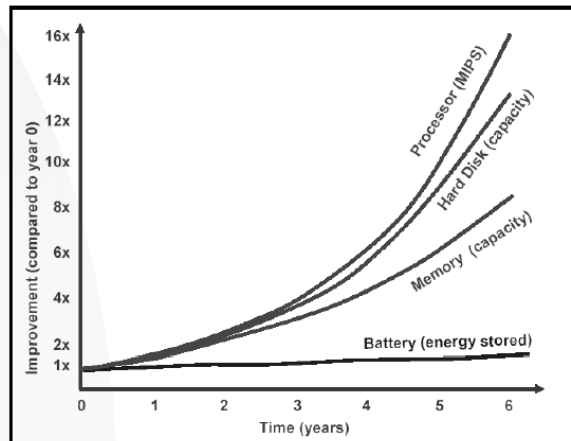
### 1. Консумирана мощност и енергия от CMOS устройства и системи.

Косумираната мощност (енергия) от CMOS устройства и системи се отразява на цената при поставянето на интегралната схема (ИС) в корпус, проектирането на печатните проводници чрез които се захранва ИС, разходите необходими за охлаждането на ИС, надеждната работа и устойчивост на шумови влияния (въздействия), продължителността на работа на батерийно захранваните устройства, въздействието върху околната среда и т.н. В тази връзка са и следващите две фигури показани по-долу. На първата от тях се вижда, че консумацията на електрическа мощност и енергия се увеличава при използването на по-новите типове произвеждани микропроцесори.



По оста Y е посочена консумираната електрическа мощност във ватове (Watts), а по оста X са посочени години в които са създадените съответните типове микропроцесори. В тази връзка може да се добави, че съвременните многоядрени микропроцесори са ограничени откъм консумираната мощност, а не толкова откъм използваната тактова честота.

На следващата фигура се прави сравнение в развитието (усъвършенстването) на различни електронни компоненти в това число и на батерийните източници захранващи преносимите електронни устройства.

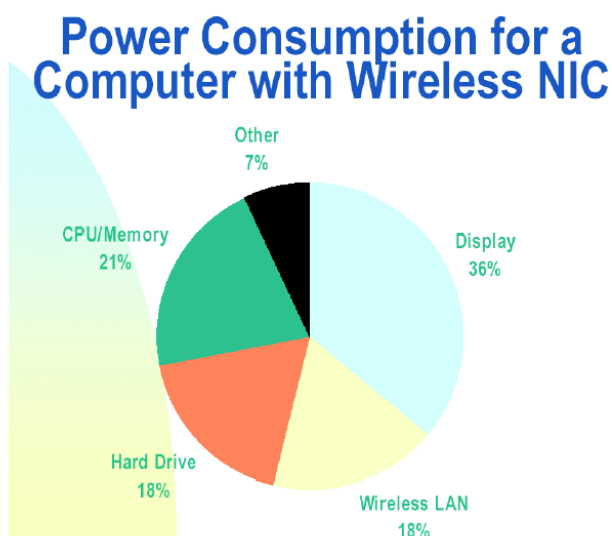


От фигурата се вижда, че микропроцесорите, твърдите дискове и паметите подобряват значително (в пъти) техните основни параметри във времето. Под основен параметър за микропроцесорите е избран MIPS (Million Instructions Per Second, Милиони Инструкции За Секунда). MIPS параметърът се използва при определянето на бързодействието на микропроцесора. За основен параметър при твърдите дискове и паметите е използван техния капацитет (обем, големина), който се измерва в MB и GB. За съжаление в същото това време технологиите за производство на батерии претърпяват сравнително малко усъвършенстване. От фигурата се вижда, че подобренията в съхранената енергия не надхвърлят и два пъти.

Консумацията при CMOS ИС бива два типа – статична и динамична.

Статична консумирана електрическа мощност (енергия) имаме когато електронното устройство не работи. Това се дължи на факта, че дори когато устройството или системата не са активни, то реално те не е изключени напълно т.е. имаме протичане на електрически ток (Leakage Current, ток на утечка).

Динамична електрическа мощност (енергия) се консумира в процес на работа на самото устройство. Първичният източник на тази енергия е зареждането/разреждането на съществуващите паразитни капацитети дължащи се на CMOS технологията. В кои устройства какъв процент от електрическата мощност е енергия се консумира? По-долу са дадени два примера. На първата фигура е дадена консумираната електрическа енергия от компютър съдържащ мрежов адаптер за безжична комуникация с другите компютри в мрежата.



От тази фигура се вижда, че най-много електрическа енергия се консумира от дисплея. Приблизително по-равно се разпределя консумираната електрическа енергия между процесор/памет, твърдия диск и мрежовия адаптер.

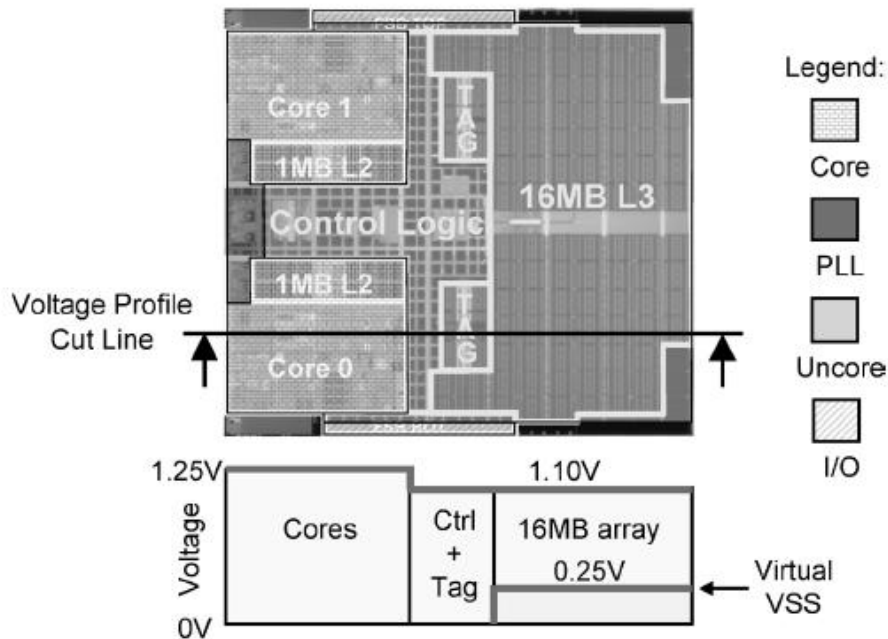


Fig. 9. Voltage domains.

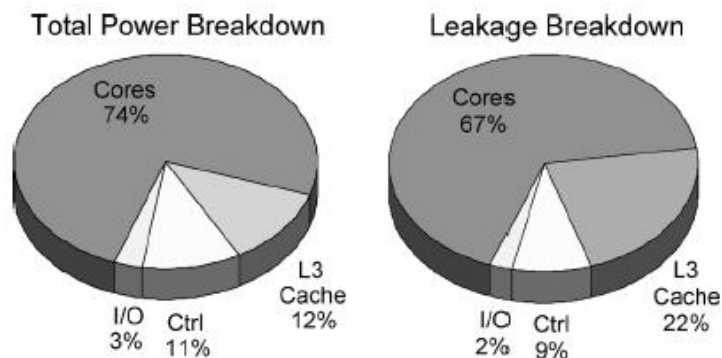
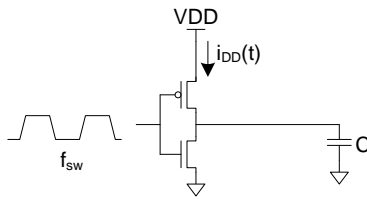


Fig. 10. Power and leakage breakdown.

На следващата фигура, която представлява комбинация от фиг.9 и фиг. 10, е представена информация за консумираната електрическа енергия от микропроцесора Intel Dual-Core Xeон изработен по 65 nm CMOS технология. От фигурата се вижда, че основна част от консумираната електрическа енергия (статична и динамична) се дължи на ядрата на този двуядрен микропроцесор.

## 2. Намаляване на консумираната мощност и енергия от CMOS устройства и системи.

Ще започна с динамичната съставка на консумираната мощност и енергия. Както бе споменато по-горе динамичната консумирана мощност и енергия се дължи на зараждането и разреждането на капацитетите. Това е показано на фигурата по долу.



Формулата за определяне на средната консумирана мощност е следната:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{dynamic}} &= \frac{1}{T} \int_0^T i_{DD}(t) V_{DD} dt \\
 &= \frac{V_{DD}}{T} \int_0^T i_{DD}(t) dt \\
 &= \frac{V_{DD}}{T} [T f_{\text{sw}} C V_{DD}] \\
 &= C V_{DD}^2 f_{\text{sw}}
 \end{aligned}$$

Нека да допуснем, че тактовата честота на дадено устройство или система е  $f$ . Тогава  $f_{\text{sw}} = \alpha \cdot f$ , където с  $\alpha$  сме означили т.нар. фактор на активност (switching activity, activity factor). Факторът на активността се определя като броят превключвания на дадена точка (възел) за един тактов период. Ако сигнала е тактовия сигнал то тогава  $\alpha = 1$ , а ако сигнала се превключва веднъж за 1 тактов период тогава  $\alpha = 1/2$ .

Формулата за консумираната мощност в този случай е

$$P_{\text{dynamic}} = \alpha C V_{DD}^2 f$$

Към динамичната компонента на консумираната мощност може да се причисли и консумацията на електрически ток когато и двата транзистора N каналния и P каналния са едновременно включени (Crowbar current, Ток на късо съединение) т.е. имаме режим на късо съединение.

Що се отнася до статичната компонента, както беше спомената и по-горе, тя се дължи на крайната стойност на съпротивлението при запушено състояние на транзистора.

Мерките които могат да се вземат за намаляване на динамичната компонента в консумираната електрическа мощност и енергия са следните. Намаляване на консумацията на динамичната консумирана мощност и енергия се извършва като се намаляват паразитните капацитети (C), захранващото напрежение ( $V_{\text{dd}}$ ), тактовата честота на която работи електронното устройство (f) и фактора на активност ( $\alpha$ ).

$\alpha$  се намалява чрез управление на тактовия сигнал (Clock gating) и чрез използването на икономични режими т.нар. sleep mode (Спящ режим). Clock gating е забраната за използването на тактовия сигнал в части от ИС, където знаем че не се извършат изчисления в определен момент от време. Що се отнася до sleep mode или stand-by режим, икономията на електрическа енергия се състои в изключване на някои от сигналите на устройствата при което се постига по-ниска консумация на електрическа енергия.

Паразитния капацитет може да се намали чрез използването на по-малки по размери транзистори (използването на по нова и модерна полупроводникова технология), както и чрез използването на по-къси свързващи проводници.

Захранващото напрежение се намалява както в цялата, както и в определени части от ИС (например захранването на ядрото на микропроцесорите е с по-ниско напрежение в сравнение с другите части на микропроцесора). Нека се обърне внимание, че  $V_{dd}$  участва на втора степен в по-горната формула.

Шо се отнася до намаляването на тактовата честота с оглед да не пострада бързодействието на даденото устройство или система обикновено се използва паралелна работа на няколко процесорни ядра, тригери които се превключват и от двата фронта на тактовия сигнал, по малко стъпки при използваните конвейри и т.н.

Обикновено динамичната компонента на консумираната електрическа мощност и енергия доминира над останалите два компонента (динамичната компонента достига до 90% от общата консумирана мощност и енергия). Посочените по-горе начини за нейното намаляване довеждат в най-голяма степен до редуцията на цялата консумирана мощност и енергия от даденото CMOS устройство или система.

### **3. Приблизително определяне на електрическата мощност на СПЛ.**

За приблизително определяне мощността на устройства и системи реализирани чрез програмируеми ИС произведени от фирмата Altera Corporation могат да се използват две програми. Първата от тях се нарича PowerPlay Early Power Estimator, а втората – PowerPlay Power Analyzer.

Предимството на първата програма е, че дава възможност за приблизително определяне на мощността на устройства и системи реализирани чрез програмируеми ИС в самото начало т.е. преди завършване на процеса на проектиране. Освен това тя може да се използва и когато процесът на проектиране е частично или напълно завършен.

Втората програма е част от програмния пакет Quartus® II и тя може да се използва само когато процесът на проектиране на устройства и системи реализирани чрез програмируеми ИС е завършил. В сравнение с PowerPlay Early Power Estimator, която също може да се използва на този етап от проектирането, PowerPlay Power Analyzer може да осигури по-точно приблизително определяне на мощността на СПЛ.

На редовете по-долу ще се спира на факторите, които влияят на електрическата мощност на устройства и системи реализирани чрез програмируеми ИС.

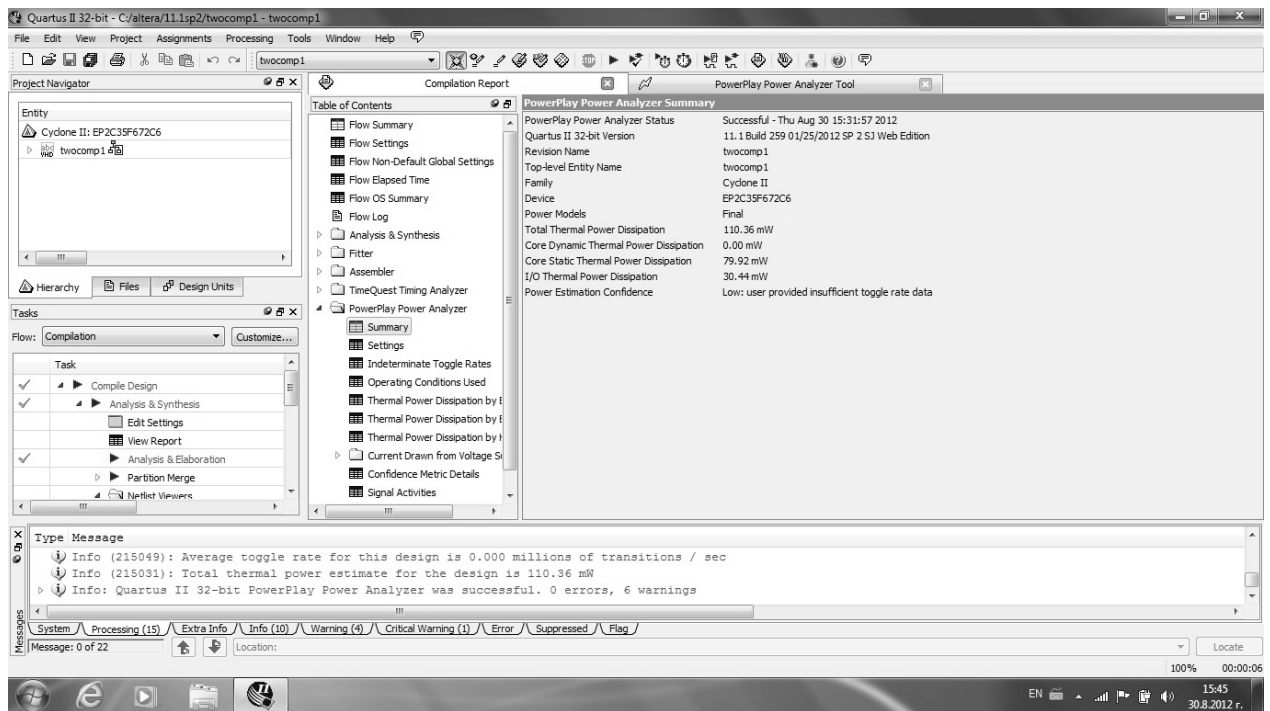
Фамилията, към която принадлежи избраната FPGA или CPLD, задава определени енергийни характеристики, а в това число и електрическата мощност. Различни параметри формират електрическата мощност на дадена фамилия програмируеми ИС като например използваната технология на производство, големината на захранващото напрежение, начина на проектиране, както и архитектурата на избраната интегрална схема. Различните FPGA и CPLD дори и в рамките на една фамилия могат да бъдат с различна електрическа мощност. Програмируемата ИС с по-голяма степен на сложност има и по-голяма електрическа мощност поради по-големия брой използвани транзистори при реализирането ѝ. Динамичната компонента от консумираната мощност (енергия) също може да се повиши при FPGA и CPLD с по-голяма степен на сложност, тъй като се използват по-дълги свързващи проводници. Корпусът на избраната програмируема интегрална схема също влияе на способността ѝ да отделя топлина. Вариациите (промените) в процеса на производство на ИС оказват влияние основно на статичната компонента на консумираната мощност (енергия).

Условията на околната среда също имат значение при определяне на електрическата мощност на дадено устройство или система реализирани чрез програмируеми ИС. По-високата температура на околната среда довежда до по-висока консумация на статичната част на консумираната електрическа мощност (енергия). По-високата скорост на придвижване на въздушния поток довежда до намаляване на термичното съпротивление. Радиаторът, поставен на дадена програмируема ИС, позволява по-лесно охлаждане на последната, тъй като по-голяма повърхност контактува с въздуха. Типа на пастата поставена между програмируемата ИС и радиатора също влияе на отделянето на топлината от ИС.

Броят и типа на използваните ресурси на избраната FPGA или CPLD също влияе съществено върху електрическата мощност на СПЛ. По-големият брой използвани изводи от програмируемата ИС, както и техният тип също са фактори, от които зависи както динамичната, така и статичната компонента на консумираната електрическа мощност (енергия). СПЛ, която изисква по-голям брой програмируеми логически елементи (Logic Elements, Logic Cells, логически клетки), умножители, както и памет ще консумира по-голямо количество електрическа енергия.. Когато се използват по-дълги и разклонени проводници за свързване на различните модули на проекта, това най-често предполага и по-висока консумация на електрическа мощност (енергия).

Друг важен фактор определящ електрическата мощност на СПЛ е споменатият по-горе фактор на активност на сигнала. Двата важни параметъра свързани с  $\alpha$  са честотата на смяна на сигнала (toggle rate) и статичната вероятност на сигнала (static probability). Честотата на смяна на сигнала (ЧСС) е средният брой на смяна на логическата стойност на сигнала за определен период от време. Измерителните единиците за ЧСС са промени за секунда, като под промяна се разбира изменение на логическото ниво на сигнала от 0 в единица и обратно. Статичната вероятност на сигнала (СВС) е частта от време за което той се намира в състояние логическа единица. СВС може да приеме стойности в обхвата от 0 (сигналът се намира постоянно в логическа 0) до 1 (сигналът се намира постоянно в логическа 1). Динамичната компонента на консумираната електрическа мощност (енергия) се увеличава линейно с нарастване на ЧСС, тъй като зареждането и разреждането на кондензаторите се извършва по-често. СВС може понякога да повлияе на статичната компонента на консумираната електрическа мощност (енергия).

Прилизителното определяне на електрическата мощност на проектираните СПЛ се извършва като от менюто Processing се избере възможността PowerPlay Power Analyzer Tool. Появява се нов прозорец, в който по определен начин трябва да се зададат ЧСС и СВС. Това може да стане чрез задаване от потребителя, данни от направената проверка (симулация) на проектираното устройство или система, чрез програмируема ИС, да се използва стойности по подразбиране или пък изчислени приблизителни стойности (vectorless estimation). Щраква се с левият бутон на мишката върху бутона Start от появилия се прозорец и започва приблизителното определяне. На фигурата по-долу е представен резултат (в mW) от работата на PowerPlay Power Analyzer.



За да се получат точни резултати от гореспомената програма за приблизително определяне на електрическата мощност зададеният  $\alpha$  трябва да съответствува на нормалната работа на реализиратата СПЛ. Неточно зададени ЧСС и СВС са главният източник на грешка при приблизителното определяне на консумираната електрическа мощност (енергия).