



DÍKY NOVÝM MOBILNÍM CPU

vám nedojde šťáva

Do mobilních telefonů a tabletů si nacházejí cestu nové procesory, které kombinují výkon stolních počítačů s extrémně nízkou spotřebou energie.

FREDERIK NIEMEYER

Klasické telefony, jako byla například geniální Nokia 6210, měly oproti dnešním smartphonům zásadní výhodu v podobě až několikátýdenní výdrže při provozu na akumulátor. Dlouhou výdrž jim umožňovala kombinace malého černobílého displeje s nízkým rozlišením a pomalého procesoru. Moderní smartphony se naopak výkonem vyrovnají osobním počítačům, i když za přebytek výpočetní síly a ohromný displej s vysokým rozlišením platí daň v podobě pouze maximálně dvoudenní výdrže. Pokud je vytížíte na plný výkon, jejich baterie se vybijí již po pár hodinách.

Moderní mobilní procesor Qualcomm Snapdragon 600, kterým jsou v současnosti osazeny nejšpičkovější smartphony, dokáže za sekundu zpracovat více operací, než dokázaly v době Nokie 6210 nejvýše taktované procesory Pentium 4. Procesor Samsung Exynos 5, který najdeme například v tabletu Google Nexus 10 a v některých modelech Samsung Galaxy S4, je kromě vysokého výkonu zkonstruován s maximálním ohledem na energetickou úspornost. Fakt, že při výběru smartphonu

hraje roli nejen vysoký výpočetní výkon, ale také výdrž na baterii, si uvědomil i Intel a ke konci roku plánuje uvést na trh nový Atom s kódovým označením Silvermont. Ten má obsahovat řadu technických novinek a podle výrobce má pracovat dvakrát rychleji než současné čtyřjadrové ARM procesory, přičemž má spotřebovat čtyřikrát méně energie.

Souboj výrobců procesorů

Na vavřínech mezitím ale nespí ani výrobci procesorů s architekturou ARM, kterou používají například CPU Snapdragon, Tegra a Exynos. Jejich cílem je rovněž vývoj čipu s co největším výkonem a nejúspornějším provozem, což vyžaduje jak neustálé vylepšování výrobního procesu, tak optimalizaci struktury i funkcí procesoru. Jelikož ale není procesor jediným zásadním konzumentem elektrické energie chytrého telefonu, seznámíme vás i s několika aplikacemi pro snížení spotřeby displeje, GPS a GSM modulu, které dokážou bez výrazného omezení uživatelského komfortu prodloužit výdrž telefonu i o několik dní.

VÝROBNÍ PROCES: Čím menší, tím lepší

Při neustálém zmenšování velikosti tranzistorů naráží výrobci na řadu problémů.

Nejefektivnější metodou vylepšování procesorů je zmenšování tranzistorů, ze kterých se skládají, protože menší tranzistory pracují s nižším napětím a navíc se jich na plochu CPU vejde víc. Zvláště důležité je snižování napětí, protože k němu nedochází lineárně, ale exponenciálně. Při zmenšování tranzistorů z 30 na 20 nm ale začínají výrobci narážet na fyzikální limity, které se projevují prosakováním proudu, přičemž bez tohoto nechtěného jevu by mohla být spotřeba CPU až poloviční.

K prosakování proudu dochází, když nosiče náboje nechtěně procházejí izolačními vrstvami, které by pro ně měly být neproniknutelné. Kvantová mechanika popisuje tento stav jako tunelový jev. Čím tenčí je izolační bariéra, tím větší nastává šance vzniku tunelového jevu a tím více proudu touto vrstvou „prosakuje“. Částice pronikají přes izolační vrstvu do vrstvy křemíkového substrátu zejména z brány (viz obrázek vpravo). Intel a Samsung se snaží tomuto pronikání zabránit tak, že místo oxidu křemičitého používají k izolaci brány jiné materiály, jako je například oxid hafnia, které mají vyšší propustnost elektrického pole (High-k), a proto mohou být tlustší, aniž by se snížila rychlost obvodu. Qualcomm používá materiál High-k v procesorech Snapdragon 800 a nVidia v procesorech Tegra 4.

Nové technologie snižují prosakování

Elektrony neprosakují pouze izolační vrstvou mezi bránou a substrátem, ale i vrstvou křemíkového substrátu mezi emitorem a kolektorem. Běžně řídí jejich průchod kanálem spínací proud mezi emitorem a branou, ale pokud je vzdálenost mezi elektrodami příliš malá, dochází k vytvoření elektrického pole a přesakování nábojů mezi elektrodami a substrátem.

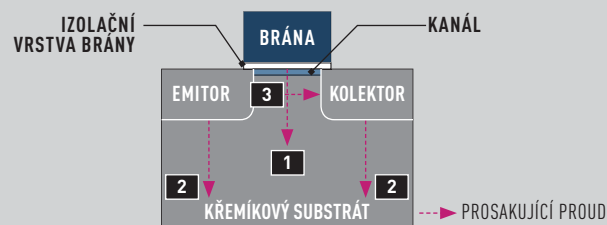
Od třetí generace desktopových CPU řady Core i (Ivy Bridge) používá Intel tranzistory FinFETs¹, známé také jako Tri-Gate, a těmito tranzistory budou vybaveny i nadcházející mobilní procesory Silvermont. Tyto procesory již nemají planární kanál, umístěný v rovině substrátu. Místo něj protéká proud vertikálně umístěnou „ploutví“, která je vyvýšena nad substrát, a kterou ze tří stran obepínají brány. Trojrozměrné tranzistory spotřebují méně energie a navíc výrazně snižují nechtěné protékání proudu. Podle Intelu dokážou tranzistory typu FinFET v ideálním případě snížit spotřebu procesoru až o 50 procent.

Alternativu technologie FinFET představují tranzistory označované jako FD-SOI², které by již koncem roku 2013 měla na trh uvést společnost ST Microelectronics. Tranzistory typu FD-SOI obsahují mezi kanálem a substrátem vrstvu oxidu křemičitého. Díky tzv. vrstvě „Buried Oxide“ (BOx) bude možné vytvořit 28nm generaci tranzistorů s kanálem o šířce 7 nm. U tohoto typu tranzistorů pak nebude emitor a kolektor umístěn ve vrstvě substrátu, ale bude se nacházet nad ním. Tranzistory FinFET a FD-SOI vykazují podobné spínací charakteristiky a oproti klasickým tranzistorům nabízejí výhody v podobě úspory energie a možnosti další miniaturizace.

VYLEPŠENÉ TRANZISTORY

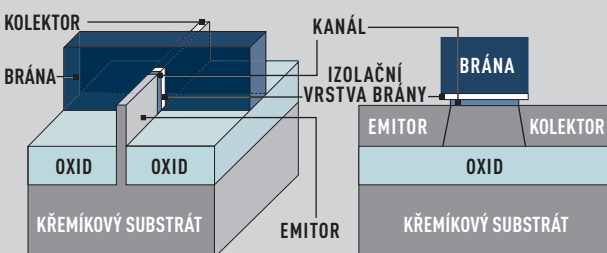
Tranzistory jsou nejmenšími součástkami procesoru a každý z nich představuje jeden bit. Z čím menších tranzistorů je procesor vyroben, tím je energeticky úspornější.

PROBLÉM: PROSAKOVÁNÍ PROUDU



Tranzistor obsahuje tři elektrody: bránu, emitor a kolektor. Napětí mezi emitorem a bránou přepíná tranzistor do stavu, ve kterém probíhá proud od emitoru do kolektoru. U malých planárních tranzistorů dochází k prosakování proudu, tedy ke stavu, kdy elektrony nechtěně prochází od brány **1**, emitoru a kolektoru **2** do substrátu a protékají tranzistorem od emitoru do kolektoru **3** i když tranzistor není sepnutý **3**.

ŘEŠENÍ: NOVÉ TECHNOLOGIE TRANZISTORŮ

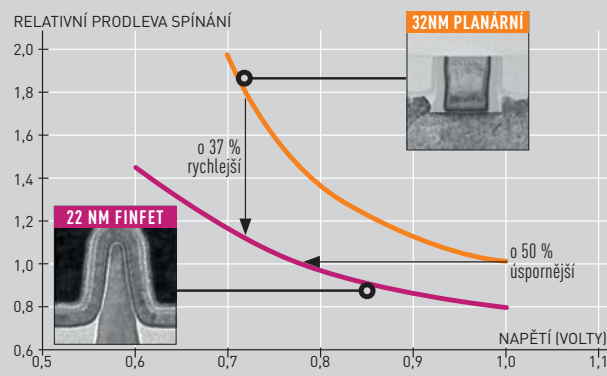


Brána FinFET1 tranzistorů je posazena nad substrátem a díky většímu povrchu kanálu minimalizuje prosakování proudu.

Křemíková vrstva tranzistorů FD-SOI je menší a lépe izolovaná a efektivněji tak zabráňuje prosakování proudu.

VÝHODA: RYCHLEJŠÍ A ÚSPORNĚJŠÍ

Intel tvrdí, že se tranzistory FinFET spínají o 37 % rychleji než tranzistory klasické a navíc při stejné frekvenci spotřebují o 50 % energie méně. Stejné výhody vykazují i tranzistory FD-SOI.



NOVÉ TECHNOLOGIE PRO MOBILNÍ PROCESORY

Intel uvede na trh první mobilní procesor s tranzistory typu FinFET na konci roku 2013 a zhruba ve stejné době plánuje přijít s prvním procesorem vybaveným tranzistory FD-SOI i společnost ST Microelectronics. Další výrobci procesorů ARM prozatím plánují zmenšovat výrobní proces klasických planárních procesorů.

VÝVOJ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

	INTEL	QUALCOMM	SAMSUNG	NVIDIA	STMICROELECT.
2012	32 nm, planární	28 nm, planární	32 nm, planární	40 nm, planární	45 nm, planární
2013	22 nm, FinFET	28 nm, planární	28 nm, planární	28 nm, planární	28 nm, FD-SOI
2014	14 nm, FinFET	20 nm, planární ²	20 nm, planární ²	20 nm, planární ²	20 nm, FD-SOI
2015	14 nm, FinFET	16 nm, FinFET ³	14 nm, FinFET ³	16 nm, FinFET ³	14 nm, FD-SOI

¹ FET: FIELD-EFFECT TRANZISTOR ² FD-SOI: FULLY DEPLETED SILICON ON INSULATOR ³ VÝROBCE ZATÍM NEPOTVŘDIL

ARCHITEKTURA: Výkonná a flexibilní

Nové procesory mají specializovaná jádra a některé části CPU se vypínají.

V současnosti proti sobě v segmentu chytrých telefonů bojují převážně architektury Qualcomm Krait a ARM Cortex, přičemž obě jsou založeny na společném základu ARM v7. Čipy Krait dokážou ovládat napětí jednotlivých jader vícejádrového procesoru. Podle společnosti Qualcomm lze díky tomu dosáhnout v porovnání s procesory Cortex energetické úspory 25 až 40 %. Prodlévky při vypínání a zapínání částí CPU mají však za následek pomalejší zpracování dat mezi jednotlivými jádry.

Další úsporu energie CPU Krait přináší relativně krátká instrukční pipeline, která dokáže najednou zpracovat pouze jedináct kroků, zatímco Cortex A15 provádí příkazy po 15 až 24 suboperacích. Instrukční pipeline rozděluje příkazy na jednotlivé části, které jsou v rychlém sledu načteny a zpracovávány paralelně. Čím více je pipeline zaplněna, tím rychleji zpracovává procesor programový kód, takže má-li CPU pracovat maximálně efektivně, je ideální rozdělit příkaz tak, aby k jeho paralelnímu zpracování došlo během jediného taktu procesoru. Důvodem ke špatnému zaplnění pipeline může být nedostatek dat ve vyrovnávací paměti nebo špatně zadaná posloupnost příkazů ve zdrojovém kódu. Flexibilní architektura procesorů Krait a A15 vykonává příkazy způsobem „out-of-order“ a mění programem určenou posloupnost příkazů tak, aby docházelo k ideálnímu využití paměti i frekvence procesoru. Při takovémto zpracování se ale může stát, že procesor špatně odhadne programovou odbočku a musí tak zpracovaný výsledek části kódu zahodit a spolu s ním všechny subinstrukce, které byly vykonány v rámci dlouhé pipeline. V takovém případě dochází nejenom ke zpomalení výpočtu, ale i ke zbytečnému plýtvání energie. Architektura out-of-order navíc vyžaduje přítomnost dalších obvodů na procesoru, které také spotřebovávají nějakou energii.

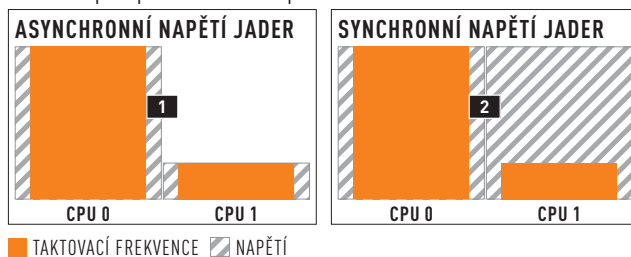
Miniaturní jádra šetří energii

Vysoký výkon procesoru Cortex A-15 s sebou přináší daň v podobě vysoké spotřeby. ARM výrobce doporučuje využití principu „big, LITTLE“, což znamená spojit dohromady silná jádra A15 s méně taktovanými jádry A7. Jádra A15 by pak byla využívána pouze při náročných operacích, v opačném případě by zůstala vypnutá. Velikost čipu A7 je v porovnání s A15 pouze pětinová, jeho výkon je ale poloviční a energeticky vzato je A7 oproti A15 třikrát úspornější. Prvními CPU typu „big, LITTLE“ jsou Samsung Exynos 5 Octa a nVidia Tegra 4. Oba obsahují čtyři výkonná jádra Cortex-A15 a čtyři úsporná jádra Cortex-A7. Jádra A15 a A7 jsou zapojena tak, že mohou být v jeden okamžik aktivní pouze jedna z nich, takže buď pracují rychlá jádra A15, nebo pomalejší a úspornější A7, i proto rozpoznává OS tyto procesory jako čtyřjádrové.

V běžném provozu pracuje primárně jádro A7, ale pokud se jeho vytížení blíží maximu, systém přepne na spřažené výkonnější jádro A15. Podle zatím uvedených podrobností zabere přepnutí jádra od 30 000 do 50 000 cyklů gigahertzového

NAPĚTÍ JÁDRA SE MĚNÍ PODLE ZÁTĚŽE

Procesory Qualcomm **1** dokážou upravit napětí jednotlivých jader i vyrovnávací L2 cache procesoru, což vede k úspoře v řádu 25 až 40 procent. Výrobci jako Samsung nebo nVidia **2** dokážou měnit napětí pouze celého čipu.



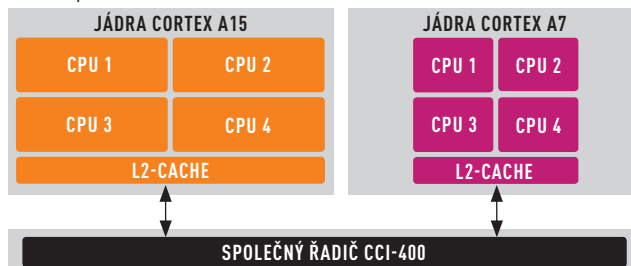
SMARTPHONY S NEJVÝKONNĚJŠÍMI PROCESORY

Ve třech nejvýkonnějších smartphonech současnosti můžeme najít čtyřjádrový procesor Qualcomm Snapdragon 600. Na asijských trzích se prodává i varianta telefonu Samsung Galaxy S4 s novým procesorem Exynos 5 Octa, který využívá technologii big.LITTLE.



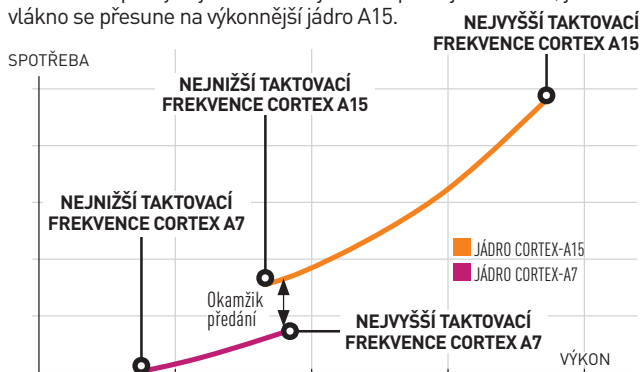
PROCESORY OBSAHUJÍ SPECIALIZOVANÁ JÁDRA

Architektura ARM big.LITTLE umožňuje rozdělovat úlohy mezi výkonná, ale energeticky náročná jádra Cortex A15 a úsporná, ale pomalejší jádra Cortex A7. Řadič synchronizuje jejich vyrovnávací paměti L2 cache.



VYSOKÝ VÝKON A DLOUHÁ VÝDRŽ

Architektura big.LITTLE, na které je založen například procesor Exynos 5 Octa, umí za chodu přidělovat méně složité úlohy pomalejším a úspornějším jádrům a ty náročné pak posílat do výkonnějších, ale méně úsporných jader. Pokud jádro A7 pracuje na 100 %, jeho vlákno se přesune na výkonnější jádro A15.



procesoru, tedy přibližně 30 až 50 mikrosekund. Kvůli úspoře energie se nevyužitá jádra vypínají, přičemž CPU obsahuje dokonce oddělené L2 cache. Při deaktivaci jednoho jádra a zapojení druhého ale dochází ke zvýšení spotřeby, takže je dobré ji provádět, pouze pokud je to opravdu nutné.

ARM pracuje na vývoji ještě účinnější metody, označované jako „big.LITTLE MP“. Ta dokáže v případě dostatečného chlazení používat všechna jádra v libovolné kombinaci (například dvě jádra A15 a čtyři jádra A7).

Intel se snaží dohnat zpoždění a etablovat se na trhu se smartphony a tablety. Docela povedené jsou už CPU současné generace Atom Saltwell, které můžeme najít například v telefonech Motorola Razr i a Asus Fonepad. Tato zařízení získala díky slušnému výkonu a dlouhé výdrž v našich testech vysoké bodové hodnocení. Za nízkou spotřebou těchto CPU stojí především úsporné režimy SOi1 a SOi3, které používají agresivní Powergating. To znamená, že namísto vypínání a zapínání celých jader, dochází v úsporném režimu pouze ke snížení napětí nepoužívaných logických obvodů, zatímco zbytek čipu zůstává aktivní. Díky tomu procesor dokáže rychleji probouzet a při tomto přechodu z klidu do výkonu spotřebuje méně energie. V okamžiku, kdy uživatel dokončí práci s telefonem a dojde k vypnutí displeje, telefon přechází do stavu SOi1. Po delší nečinnosti pak přejde do režimu hlubokého spánku SOi3. Na rozdíl od klasického režimu S3, jaký známe ze systémů Android a Linux, dokáže procesor Atom zajistit, aby i v hlubokém spánku SOi3 byl telefon schopen aktivně synchronizovat data hibernovaných aplikací. Nástupce procesorů Saltwell s kódovým označením Silvermont má přijít na trh ke konci roku a díky tranzistorům typu FinFET, 22nm výrobnímu procesu a vykonávání instrukcí způsobem out-of-order, slibuje ještě zásadnější úsporu elektrické energie. Silvermont má mít podle dosavadních informací při stejné spotřebě dvakrát vyšší výkon než současné procesory ARM a při stejném výkonu má být čtyřikrát úspornější.

Správné aplikace šetří energii

CPU se sice na spotřebě smartphonu podílí zásadním způsobem, ale značnými žrouty energie jsou i displej a další čipy. Z toho důvodu Android ve stavu nečinnosti co nejrychleji vypíná displej a snižuje frekvenci procesoru, i pak ale na pozadí OS běží aplikace, které vyžadují určitou část systémových prostředků, a zvyšují tedy spotřebu telefonu. V některých případech, jako například při stahování souborů nebo přehrávání hudby, je činnost aplikací na pozadí oprávněná a chtěná, ale samotný Android bohužel nabízí jen málo možností, jak přesně nastavit, které programy se mají vypínat a které nikoliv. Této příležitosti se chytli výrobci procesorů i vývojáři aplikací, takže existuje řada nástrojů, určených pro optimalizaci spotřeby a nastavení aktivity telefonu ve spánku. Qualcomm nabízí aplikaci BatteryGuru, která analyzuje způsob využití telefonu, a podle toho určí, které aplikace musí pracovat na pozadí, a které lze vypnout. Podobným způsobem funguje aplikace Juice Defender, která například dokáže ve stand-by režimu zachycovat datové požadavky aplikací a v určitých intervalech je hromadně synchronizovat se sítí, což významně šetří energii. Smartphony Sony umí zajímavý úsporný trik, když zapínají Wi-Fi adaptér pouze tehdy, pokud se uživatel nachází tam, kde se již k Wi-Fi připojoval, a má uložené přihlašovací údaje.

VARIABILNĚJŠÍ STAND-BY ZVYŠUJE ÚSPORNOST

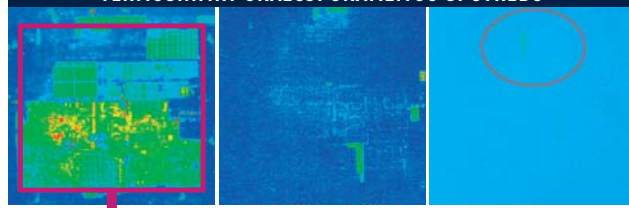
Mobilní procesor Intel Atom Z2480 dokáže vypínat obvody, které momentálně nepoužívá, čímž spoří elektrickou energii, aniž by uživatel pocítil omezení funkčnosti telefonu.

ÚSPORNÝ REŽIM NOVÝCH PROCESORŮ INTEL ATOM

STAV SYSTÉMU	S0 (SYSTÉM AKTIVNÍ)	SOi1	SOi3	S3
JÁDRA CPU	Proměnné taktování	🔴	🔴	🔴
PAMĚŤ SRAM	🟢	🟢	🔴	🔴
PAMĚŤ DDR	🟢 / 🟡	🟡	🟡	🟡
ENERGETICKÝ SPRÁVCE	🟢	🟢	🔴	🔴
GRAFICKÁ JEDNOTKA	🟢 / 🟡	🟡	🔴	🔴
VIDEODEKODÉR	🟢 / 🟡	🟡	🔴	🔴
VIDEOKODÉR	🟢 / 🟡	🟡	🔴	🔴
ŘADIČ DISPLEJE	🟢 / 🟡	🟡	🔴	🔴
DISPLEJ	🟢	🔴	🔴	🔴
APLIKACE	🟢	🟢	🟢	🔴

- 🟢 ZAPNUTO
- 🔴 VYPNUTO
- 🟡 POWERGATING
- 🟠 SELFREFRESH

TERMOGRAMY UKAZUJÍ OKAMŽITOU SPOTŘEBU



SO: AKTIVNÍ
Při plném vytižení se výrazně zahřívá grafický procesor a regulátor napětí (červená). Vyšší teplota naznačuje vysokou spotřebu.

SOI1: AKTIVNÍ SPÁNEK
V režimu aktivního spánku procesor dočasně vypíná několik obvodů, čímž dojde k výraznému snížení teploty i spotřeby (modrá).

SOI3/S3: HLUBOKÝ SPÁNEK
V režimu hlubokého spánku dochází ke kompletnímu vypnutí celých bloků procesoru. Spotřeba je téměř nulová.

BEZPEČNOSTNÍ ENGINE	SPRÁVCE ENERGIE	ŘADIČ ZVUKU
PAMĚŤ	PROCESOR + L2-CACHE	
2D/3D GRAFIKA	VIDEODEKODÉR	
ZPRACOVÁNÍ OBRAZOVÉHO SIGNÁLU	ŘADIČ DISPLEJE	

Důležitým trikem pro snížení spotřeby je tzv. Powergating, který umožňuje provoz procesoru s vypnutými oblastmi, a tím výrazně spoří energii. Grafika nalevo ukazuje hrubé rozložení jednotlivých segmentů na desce procesoru. Intel Atom obsahuje 19 tzv. „Power Islands“, tedy samostatně napájených oblastí.

OVLÁDÁNÍ FUNKCÍ PROSTŘEDNICTVÍM APLIKACÍ

K prodloužení chodu na baterie mohou kromě architektury procesoru posloužit i speciální aplikace pro Android, které dokážou inteligentně a samočinně vypínat energeticky náročné moduly smartphonu.

*KOMPATIBILNÍ POUZE S PROCESORY QUALCOMM