

Energieeffizientes Schaltungsdesign für tragbare Elektronik

Komponenten und Schaltungsentwicklung müssen Hand in Hand arbeiten



Alle Bemühungen, eine Multimediaanwendung möglichst energiesparend zu gestalten, können scheitern, wenn ungeeignete Komponenten selektiert werden. Der Ingenieur sollte daher bei der Entwicklung moderner tragbarer Multimediaanwendungen nicht nur Maßnahmen wie die Verringerung der Versorgungsspannung, die Optimierung der Prozessorlast oder die Verbesserung des Leistungsmanagements ergreifen, sondern auch den kritischen Bauelementen – und hier besonders den Mixed-Signal-Komponenten – besondere Aufmerksamkeit schenken. JULIAN HAYES

Die Marketingfreaks unter uns lassen uns glauben, dass der Weg zum technologischen Paradies mobiles Multimedia heißt: Audio und Video; jederzeit und überall. Dieser von Natur aus steinige Weg ist mit technischen Stolpersteinen gepflastert. Eine leistungsfähige Analogsignalverarbeitung mit praktisch vernachlässigbarem Stromverbrauch bei immer kleineren Betriebsspannungen zu realisieren, bedeutet, dass sich die Entwickler von Mixed-Signal-ICs heute an vorderster Front der Technik bewegen müssen. In diesem Beitrag sollen einige der kritischen Probleme behandelt und der Nutzwert von neuen Techniken für diesen Spezialbereich untersucht werden.

Schaltungsdesign bei geringen Spannungen

Die wohl offensichtlichste Art und Weise, wie sich Leistung einsparen lässt, besteht darin, die Betriebsspannung zu reduzieren. Das Ohmsche Gesetz verrät uns, dass eine Absenkung der Be-

triebsspannung von z.B. 3,3 V auf 1,8 V eine Leistungsersparnis von 70 Prozent mit sich bringt. Wenn es aber darum geht, solche Einsparungen in einem Mixed-Signal-SoC (System-on-Chip) zu realisieren, dann sieht sich der Designer mit komplexen Herausforderungen konfrontiert, zum Beispiel einer geringeren Toleranz gegen Störungen und Modellfehlern, die sich verheerend auswirken. Betrachten wir einen 14-Bit-Analog-/Digitalwandler (ADC), der zusammen mit einem 100.000 Gatter umfassenden Digitalen Signalprozessor (DSP) auf einem einzigen Chip integriert werden soll. Wolfson hat vor kurzem die Entwicklung eines solchen Bausteins für den Einsatz in modernster Unterhaltungselektronik fürs Auto abgeschlossen. Dieser basiert auf einem 0,18- μm -CMOS-Prozess mit fünf Metalllagen und einer Betriebsspannung von 1,8 V. Bei einer Auflösung von 14 Bit dürfen auf den Signalleitungen auftretende Störungen nicht mehr als 0,006 Prozent des maximalen Signalpegels betragen, wenn die LSBs (Least Significant Bits) des ADC noch irgendeine Bedeutung haben sollen. In jedem Mixed-Signal-System wird die Integrität



JULIAN HAYES ist Vice President Marketing, Wolfson Microelectronics, UK

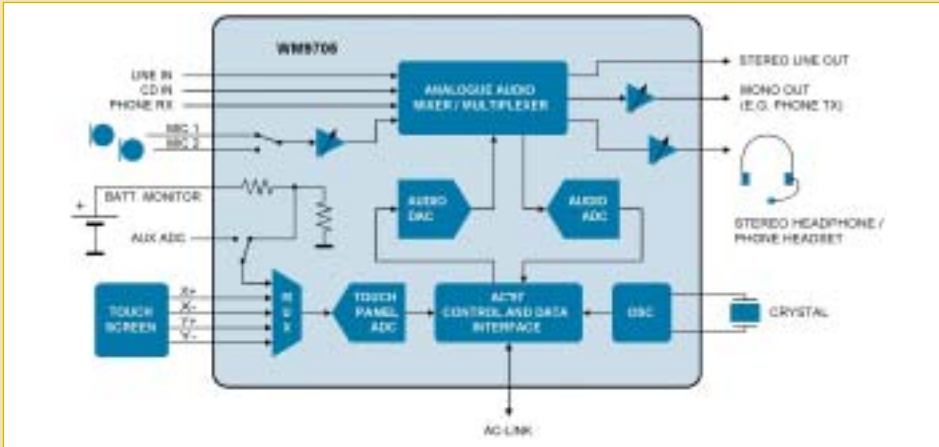


Abb. 1: Der kombinierte Audio/Touch-Screen-IC, WM9705' verfügt über einen speziellen Wandlermodus zur Stifterkennung, mit dem sich die Anzahl der an den Controller gestellten Interrupt-Requests (IRQ) reduzieren lässt

der Analogsignale durch digitale Schaltvorgänge beeinträchtigt. Störungen rühren von hochfrequenten Stromspitzen und auch von Schwankungen der Betriebsspannung her, die ihrerseits durch den von den digitalen Schaltungsteilen aufgenommenen Strom verursacht werden. Reduziert man aber die Betriebsspannung, so schränkt man damit auch den verfügbaren Signalebereich für den Analogteil ein. Das für den Einsatz im Automobilbereich konzipierte Wolfson-SoC erreicht einen Störabstand von 80 dB, und zwar dank sorgfältiger physikalischer und elektrischer Isolierung wie auch prozesstechnischer Maßnahmen, die sowohl über das Substrat induzierte Störungen als auch deren Auswirkungen auf Analogsignale reduzieren. Während der Digitalteil des Bausteins mit 1,8 V läuft, wurde die Betriebsspannung für den Analogteil auf 3,3 V angehoben, um Störeffekte zu reduzieren. Die physikalische Isolierung auf Layoutebene ist ein probates Mittel für die Unterdrückung von Störungen, weil durch den Substratwiderstand Störströme auf ihrem Weg vom Entstehungsort durch das Substrat abgeschwächt werden. Man platziert die empfindlichsten analogen Schaltungsteile so weit wie möglich von digitaler Logik entfernt und gestaltet das Layout so, dass analoge und digitale Schaltungsteile möglichst kleine gemeinsame Nachbarschaftsbereiche aufweisen. Eine elektrische Isolierung lässt sich erreichen, indem man sowohl auf dem Chip als auch extern Kapazitäten zwischen Versorgungsspannung und Masse einführt, die Störungen kurzschließen, bevor diese auf den Analogteil treffen. Ein sorgfältiges Layout und die Entkopplung von Referenzsignalen tragen weiter zur Störunterdrückung bei. Bei der Entwicklung des Automobil-ICs widmete Wolfson auch dem Gehäusekonzept ein hohes Maß an Aufmerksamkeit. Zusätzliche Kontaktflächen und doppelte Bonddrähte kamen zum Einsatz, um durch die Induktivität der Bonddrähte verursachte Störungen zu minimieren. Da der verwendete 0,18- μm -Herstellungsprozess noch immer nicht zur Gänze beschrieben ist, ergeben sich potenzielle Modellfehler. Bis heute hat sich der Groß-

teil des Branchen-Know-hows bei 0,18 μm auf digitale und nicht auf analoge Schaltungsentwicklungen konzentriert. Digitale Schaltungen jedoch können Modellfehler tolerieren, die eine analoge Schaltungsentwicklung eventuell ruinieren. Im Bewusstsein, dass untergeordnete Effekte in einem späteren Stadium des Projekts für Überraschungen gut sein können, haben sich die Wolfson-Ingenieure daran gemacht, solche Fehler bereits in der frühen Entwicklungsphase auszumerzen, indem sie präzise Schaltungsmodelle für Transistoren, parasitäre Elemente und Substratströme erstellt haben. Neben einer geringeren Toleranz gegen Störungen wird es bei niedriger Betriebsspannung auch zunehmend schwieriger, selbst relativ einfache Analogfunktionen zu realisieren. So können zum Beispiel analoge Eingangssignale von einem modernen, rauscharmen Mikrofon eine Verstärkung von bis zu 50 dB erfordern, was sich aber wesentlich schwieriger gestaltet, wenn man mit geringerer Spannung arbeitet, da der Arbeitsbereich der Analogschaltung nicht den gleichen Umfang besitzt. Die niedrigere Betriebsspannung zwingt daneben zum Einsatz von Transistoren mit geringerer Schwellenspannung (V_T), um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten. Um solche Transistoren herzustellen, müssen die Toleranzen des Fertigungsprozesses in der Foundry strenge Beachtung finden.

Kleinere Siliziumfläche

Lassen wir den Fortschritt hin zu kleineren Prozessgeometrien für den Moment außer Acht – auch durch andere Maßnahmen zur Optimierung der für eine SoC-Schaltung benötigten Siliziumfläche kann Leistung gespart werden. Im Vergleich zum normalen SoC-Designablauf erfordert dies aber einen völlig anderen Ansatz. Übersetzt man das in einer Hochsprache wie C erstellte Modell nach Verilog/VHDL und synthetisiert dieses dann mit Hilfe von EDA-Tools, so resultiert dies von Natur aus in einer nicht gerade effektiven Ausnutzung der Siliziumfläche. Eine direkte Abbildung

der Funktion in Silizium hingegen bringt ein sehr viel kompakteres Ergebnis, erfordert aber ein tief greifendes Verständnis der Schaltung auf Gatterebene. Mehrere Bausteine aus dem Wolfson-Katalog wurden in Handarbeit auf eine minimale Siliziumfläche getrimmt, darunter auch manuell codierte DSP-Strukturen. Als Ergebnis verfügt Wolfson nun über eine Vielzahl von wieder verwendbaren IP-Blöcken, in denen gebräuchliche Funktionen mit extrem niedrigen Gatterkomplexitäten realisiert worden sind.

Optimierung der Prozessorlast

Hard- und Softwaremaßnahmen zur Reduzierung der Prozessorlast, z.B. indem ein Höchstmaß an Effizienz bei der Verwendung von Interrupts und Taktzyklen erreicht wird, können deutliche Einsparungen in der Leistungsbilanz zur Folge haben. Denn die notwendige Systemtaktfrequenz lässt sich so senken, und möglicherweise lassen sich sogar die Komplexität des Prozessors und damit die Gatterzahl reduzieren. So macht zum Beispiel ein neues, von Wolfson für den Einsatz in PDAs und Smartphones konzipiertes Audio-/Touch-Screen-IC (Abb. 1) von einem neuartigen und effizienteren Konzept für die Stifterkennung Gebrauch – so lässt sich die Anzahl der an den Controller gestellten Interrupt-Anforderungen reduzieren. Touch-Screen-ICs arbeiten normalerweise als Slave-Baustein und fordern jede Akquisition einzeln an; um eine einzige Koordinate aufzulösen, benötigt dieses Konzept drei Taktzyklen und stellt so für den Systemcontroller eine zusätzliche Belastung dar, wenn die Wandlungen mit einer vernünftigen Zyklusrate erfolgen sollen. Der von Wolfson konzipierte kontinuierliche Akquisitionsmodus hingegen erlaubt, dass eine ganze Folge von Wandlungen – zum Beispiel für X- und Y-Koordinaten und die Druckmessung – mit einer einzigen Anforderung ausgelöst wird. Die Koordinatendaten werden direkt an den Speicher übertragen, was in deutlich weniger IRQs resultiert und Prozessorleistung für andere Funktionen sparen hilft. Durchdacht entwickelte und effizient kompilierte Algorithmen können ebenfalls zur Einsparung wertvoller Taktzyklen bzw. zur Senkung der Systemtaktfrequenz beitragen. Betrachten wir beispielsweise einen Audioprozessor, der mit einem starren Vielfachen der Abtastrate getaktet wird. Limitiert man die Taktfrequenz eines für mobile Multimediaanwendungen konzipierten Prozessors auf das 256-fache der Abtastrate von 48 kHz, so erhält man eine gut handhabbare Taktfrequenz von 12,288 MHz. Auf der anderen Seite ist damit die Vorgabe verbunden, dass die Verarbeitung eines Stereokanals in 256 Taktzyklen abgeschlossen sein muss. Und diese kann unter Umständen Audiofilterung, Klangkontrolle, 3D-Aufbereitung sowie die Wandlung von Abtastwerten beinhalten. Software- und Hardwareentwickler werden somit vor eine wahre Herausforderung gestellt.

Leistungsmanagement

Die weltweite Energie- und Rohstoffknappheit hat dazu geführt, dass Ingenieure ihre Aufmerksamkeit dem Leistungsmanagement in allen Bereichen widmen; um nur zwei Beispiele zu nennen: bei Automotoren werden im Leerlauf ein oder mehrere Zylinder abgeschaltet, und intelligente Gebäudesysteme optimieren den Lichteinfall, um das Tageslicht bestmöglich auszunutzen bzw. schalten in unbenutzten Räumen automatisch das Licht ab. In der Welt der Halbleiter findet man heutzutage immer ausgeklügeltere Energiesparmaßnahmen, auch 'Sleep'- oder 'Idle'-Modus genannt, die inzwischen mit einer einfachen Deaktivierungsfunktion des Chips kaum noch verwandt sind, sondern die Abschaltung einzelner, momentan nicht benötigter Funktionsmodule ermöglichen. Der integrierte Audio-/Touchscreen-Controller WM9712 verfügt zum Beispiel neben dem im AC-'97-Standard für Audio-Codex definierten 26h-Register noch über ein zusätzliches Power-Down-Steueregister (Tab. 1). Dies erlaubt eine feiner abgestimmte Kontrolle der einzelnen Blöcke des Bausteins und ermöglicht die erweiterten, in Tabelle 2 aufgeführten Energiesparfunktionen. Auch der zusätzlich vorhandene DAC und die Touch-Panel-Schnittstelle können abgeschaltet werden. Damit lässt sich mit dem Baustein in nahezu jeder denkbaren Betriebsart Strom sparen:

- ▶ Sleep (alle Funktionen deaktiviert): 10 μ W
- ▶ Sleep (Stifterkennung und GPIO-Interrupt aktiv): 20 μ W
- ▶ nur Touch Panel: 5 mW
- ▶ nur Wiedergabe über Stereo-Kopfhörer: 10 mW
- ▶ Telefonanrufsfunktion (mit Kopfhörer): 15 mW
- ▶ alle Funktionen aktiv (worst case): 45 mW

Tabelle 2: Erweitertes Power-Down-Register des integrierten Audio / Touchscreen-Controllers ,WM9712'

Registeradresse	Bit	Bezeichnung	Default	Beschreibung
24h Powerdown / status register	15	PD15	0 (ON)	Disables Crsytal Oscillator
	14	PD14	0 (ON)	Disables left audio DAC
	13	PD13	0 (ON)	Disables right audio DAC
	12	PD12	0 (ON)	Disables left audio ADC
	11	PD11	0 (ON)	Disables right audio ADC
	10	PD10	0 (ON)	Disables MICBIAS
	9	PD9	0 (ON)	Disables left headphone mixer
	8	PD8	0 (ON)	Disables right headphone mixer
	7	PD7	0 (ON)	Disables speaker mixer
	6	PD6	0 (ON)	Disables MONO_OUT buffer (pin 33) and phone mixer
	5	PD5	0 (ON)	Disables OUT3 buffer (pin 37)
	4	PD4	0 (ON)	Disables headphone buffers (HPOUTL/R)
	3	PD3	0 (ON)	Disables speaker outputs (LOUT2, ROUT2)
	2	PD2	0 (ON)	Disables Line input PGA (left and right)
	1	PD1	0 (ON)	Disables phone input PGA
	0	PD0	0 (ON)	Disables Mic input PGA (left and right)

Tabelle 1: Power-Down- und Status-Register entsprechen dem AC-'97-Standard für Audio-Codex

Registeradresse	Bit	Bezeichnung	Default		Beschreibung
			Normal	Pin 47 HI During Reset	
26h Powerdown / status register	14	PR6	0 (ON)	1 (OFF)	Disables HPOUTL, HPOUTR and OUT3 Buffer
	13	PR5	0 (ON)	1 (OFF)	Disables Internal Clock
	12	PR4	0 (ON)	1 (OFF)	Disables AC-link interface (external clock off)
	11	PR3	0 (ON)	1 (OFF)	Disables VREF, analog mixers and outputs
	10	PR2	0 (ON)	1 (OFF)	Disables analog mixers, LOUT2, ROUT2 (but not VREF)
	9	PR1	0 (ON)	1 (OFF)	Disables Stereo DAC and AUXDAC
	8	PR0	0 (ON)	1 (OFF) Mux	Disables audio ADCs and input
	3	REF	1	0	Read-only bit, indicates VREF is ready (inverse of PR2)
	2	ANL	1	0	Read-only bit, indicates analog mixers are ready (inverse of PR3)
	1	DAC	1	0	Read-only bit, indicates audio DACs are ready (inverse of PR1)
0	ADC	1	0	Read-only bit, indicates audio ADCs are ready (inverse of PR0)	

Leistungsdaten mit Kompromissen

Der Markt für mobiles Multimedia lässt den fundamentalen Konflikt zwischen der Forderung nach schier unbegrenzter Leistungsfähigkeit und dem Zwang, die Stromaufnahme zu senken, offensichtlich werden; Entwickler müssen in jedem Falle etwas Leistungsfähigkeit opfern, um die selbst auferlegten Ziele hinsichtlich Betriebsspannung und Stromaufnahme erfüllen zu können. Durch eine Steigerung von Standby- und Sprechzeit lassen sich bei den Handyabsatzzahlen einige Schlachten gewinnen, aber dafür muss man in anderer Hinsicht Abstriche in Kauf nehmen. Unter anderem ist hier die Forderung nach einer angemessenen Lautstärke des Klingeltons zu nennen. In vielen Fällen wird der Lautsprecher des Handys direkt mit dem Spannungspegel der Batterie betrieben und nimmt daher relativ viel Leistung auf. Einige Verstärker-

schaltungen verfügen heute über auf dem Chip integrierte Spannungsregler, um dieses Problem zu lösen und erreichen so unter dem Strich eine Reduktion der aufgenommenen Leistung, und das, obwohl der Regler selbst eine zusätzliche Last darstellt. Daneben wird die Lautsprecherleistung durch das Schaltungskonzept des Audioverstärkers bestimmt; herkömmliche, im A-Betrieb arbeitende Ausgangsstufen liefern eine optimale Klangqualität ohne Verzerrungen. Entwickler ringen sich aber vielleicht dazu durch, eine Endstufe im A/B-Betrieb einzusetzen, um so den Wirkungsgrad auf Kosten etwas höherer Verzerrungen zu steigern.

Schlussfolgerung

Entwickler moderner Geräte für mobilen Multimediaeinsatz sehen sich einerseits mit einer knapp bemessenen Energiebilanz konfrontiert, sollen aber andererseits für eine höhere Attraktivität ihrer Produkte am Markt und eine gesteigerte Anwenderfreundlichkeit durch längere Ladeintervalle, geringeres Gewicht und ein kompaktes, 'cooles' Design sorgen. Gleichzeitig müssen diese Produkte ein Höchstmaß an Funktionalität, Geschwindigkeit, Klangqualität und Robustheit aufweisen. Diese zwei Forderungspakete stehen ganz offensichtlich zueinander in Widerspruch, und die Entwicklungingenieure müssen jede verfügbare Chance ergreifen, die Energiebilanz zu optimieren und gleichzeitig erstklassige Funktionsdaten zu gewährleisten.

Beitrag als PDF per ,more@click':

