

Microprocessorsen in diepe rust

Nieuwe methoden sturen embedded vermogenbeheer ver onder de grenzen van de normale slaapmodus

De gangbare slaapmodi zijn niet langer in staat om het gewenste energiebeheer te leveren ter ondersteuning van een nieuwe generatie producten met een batterijlevensduur van tien jaar, of om gelijke tred te houden met de steeds hogere eisen die aan 'groene' producten worden gesteld. Daarom gaan fabrikanten van microcontrollers over tot nieuwe technieken om ingebed vermogenbeheer voorbij de conventionele slaapmodus te tillen.

Onlangs zijn bijvoorbeeld fabrikanten van microcontrollers (MCU's) begonnen om elektronische 'schakelaars' te gebruiken om de voedingsspanning van bepaalde delen van de chip volledig te verwijderen als ze niet worden gebruikt. De spanningbewakingsschakelingen zijn inmiddels zo geavanceerd dat ze een spanning continu kunnen bewaken, waarbij de stroomopname van de batterij tot een absoluut minimum wordt beperkt. Door deze uitdagende technologieën te onderzoeken, kan inzicht worden verkregen hoe deze technieken kunnen worden geïmplementeerd voor een maximaal effect.

De slaapmodus raakt verouderd

Traditioneel is de slaapmodus van de MCU voor ontwerpers van ingebelde systemen het meest krachtige hulpmiddel voor vermogensbeheer. Maar de slaapmodus wordt al vele jaren toegepast en langzamerhand raakt deze gedateerd. Er kan niet langer op worden vertrouwd dat deze voldoet aan de alsmat strengere eisen die aan het terugdringen van de vermogenopname worden gesteld en die met name geldt voor de nieuwe generaties van ingebelde producten.

Een van de redenen hiervoor is dat microcontrollers door de jaren heen steeds complexer worden, waarbij steeds meer functies en periferiebouwstenen worden geïntegreerd. Met elke toename van de complexiteit bevat de microcontroller extra werkkingsknooppunten die allemaal kunnen bijdragen aan het weglekken van energie binnen het systeem. Tel dit op bij het grote aantal producten dat een batterijlevensduur van tien jaar of meer moet hebben, in toepassingen als intelligente verbruiksmeters en rookdetectoren, naast de stijgende behoefte om maatregelen te treffen die het energieverbruik kunnen regelen. Het wordt dan al gauw duidelijk dat de traditionele slaapmodus niet langer de gewenste vermogensbesparing kan leveren.

Dieper dan slaap

Om de effecten van toenemende complexiteit en de alsmat kleiner wordende geometrieën van het fabricageproces de baas te blijven, hebben fabrikanten van MCU's nieuwe modi geïntroduceerd om de vermogenopname nog verder terug te kunnen

dringen. Alhoewel de naam kan variëren, zoals standby, STOP2, LPM5 of deep sleep, hebben ze allemaal hetzelfde effect: ze zijn bedoeld om het stroomverbruik van de microcontroller te beperken tot ver beneden de grenzen die met de slaapmodus wordt bereikt, zie figuur 1.

Alle technieken die bij diepe rust (deep sleep) worden toegepast, maken gebruik van ingebouwde, software-gestuurde schakelaars om de spanning te verwijderen van belangrijke delen van de microcontroller. Door de transistoren in bepaalde gebieden van de chip af te schakelen, wordt afgekeerd met de lekstromen van deze transistoren waardoor de levensduur van de batterij aanzienlijk toeneemt. In de diepe rust modus zullen alleen de groene circuits van figuur 2 nog steeds stroom opnemen, terwijl van de andere circuits de voedingsspanning wordt verwijderd.

Lang niet alle fabrikanten halen hetzelfde vermogenbesparingsniveau uit diepe rust. Doorgaans wordt een besparing van 80% op de slaapstroom bereikt, maar bepaalde MCU's halen stromen in diepe rust van slechts 20 nA. Door de combinatie van lage stromen in de diepe rust modus, met batterijen die een minimale zelfontlading bieden, kan de levensduur van de batterij in een bepaalde toepassing met enkele jaren worden verlengd.

Nadelen van diepe rust

Natuurlijk kleeft aan elk voordeel ook weer een nadeel en voor de diepe rust modus is dat de langere opstarttijd. Normaliter heeft een MCU voor het ontwaken uit de standaard slaapmodus een tijd nodig tussen 1 en 10 µs, maar afhankelijk van de fabrikant vraagt een MCU tussen de 300 µs...3 ms om te ontwaken uit diepe rust. De langere opstarttijd is noodzakelijk om de opstartprocedure af te ronden en om de spanningregelaars op de chip de tijd te geven om zich te stabiliseren. Het ontwaken uit de diepe rust modus komt vrijwel overeen met een volledige power-on reset.

Een ander belangrijk verschil is dat de meeste implementaties van diepe rust de spanning verwijderen van het RAM, de perifere registers en van de I/O, terwijl in de standaard slaapmodus de verwerking van de instructies exact begint op het punt waar dit is gestopt.



Figuur 1: De PIC24F16KA XLP gaat over in diepe rust (deep sleep) om de stroomopname te beperken.

Bij diepe rust modi moet de programmacode worden opgehaald uit een niet-vluchtige geheugenbron, zoals een flash-geheugen of EEPROM, of uit kleine gebieden van het back-up RAM die in de diepe rust modus spanning blijven voeren. Omdat er stroom nodig is voor het uitvoeren van de programmacode die de MCU terug moet brengen naar zijn status voorafgaand aan de diepe rust stand, treedt er helaas een stroompiekje op bij het ontwaken uit diepe rust. Ondanks deze nadelen zijn er veel toepassingen die kunnen profiteren van diepe rust. Het probleem is natuurlijk om te bepalen welke toepassingen diepe rust moeten implementeren en welke niet. De onderstaande eenvoudige vergelijking geeft een antwoord op deze vraag:

$$T_{be} = ((T_{init} \cdot I_{dd}) + (T_{por} \cdot I_{por})) / (I_{pds} - I_{pdds})$$

Hierbij geldt:

- T_{be} = breakeven tijd (omslagpunt), waarbij de lading in slaap gelijk is aan de lading in diepe rust
- T_{init} = initialisatietijd voor het herstellen van de werking onder volledige spanning
- I_{dd} = opgenomen stroom tijdens de run-modus
- T_{por} = tijd die nodig is voor power-on reset
- I_{por} = power-on reset stroom (inclusief condensatorstroom voor de spanningregelaar, indien aanwezig)
- I_{pds} = statische stroom in slaapmodus
- I_{pdds} = statische stroom in diepe rust modus

(Formule volgens Microchip: zie toepassingsbericht AN1267)

De bovenstaande vergelijking legt de lading vast in slaap en diepe rust. Het omslagpunt, T_{be}, is het punt waarbij de lading in elke modus gelijk is. Diepe rust levert het maximale voordeel op dat uitgaat boven T_{be}, zoals in het volgende voorbeeld wordt aangegeven. Veronderstel dat de MCU met diepe rust modus de onderstaande eigenschappen heeft:

- Tijd die nodig is voor de initialisatie (T_{init}) = 200 µs
- Stroom tijdens de initialisatietijd (I_{dd}) = 400 µA
- Power-on reset tijd (T_{por}) = 600 µs
- Stroom tijdens POR (I_{por}) = 30 mA*
- Stroom in slaapmodus (I_{pds}) = 3,5 µA
- Stroom in diepe rust modus (I_{pdds}) = 28 nA

* 30 mA inclusief oplaadstroom voor de condensator van de spanningregelaar

Hieruit volgt dat:

$$T_{be} = T_{pd} = ((T_{init} \cdot I_{dd}) + (T_{por} \cdot I_{por})) / (I_{pds} - I_{pdds}) = ((200 \mu s \cdot 400 \mu A) + (600 \mu s \cdot 30 mA)) / (3,5 \mu A - 28 nA) = 5,2 \text{ seconden}$$

Dus, als T_{be} gelijk is aan 5,2 seconden, dan zal een toepassing die langer dan 5,2 seconden in diepe rust blijft voldoende.

Uit diepe rust porren

Het laten ontwaken van een MCU uit diepe rust verschilt van het ontwaken uit de slaapmodus. De traditionele slaapmodus kent een aantal manieren om de MCU te activeren, zoals interrupts, timers, communicatie-ontvangst, het eind van een A/D-omzetting en verandering van de voedings-

spanning. Enkele, maar niet alle van deze activeringsbronnen zijn door de fabrikanten van MCU's toegevoegd aan de diepe rust modi. Beschikbare activeringsbronnen vanuit de diepe rust modus kunnen bestaan uit interrupts, resetpennen, power-on reset, real-time klok alarmsignalen, watchdog timers en brownout detectie. Wat hieraan ontbreekt is ontwaken via een communicatie-ontvangstbericht en het einde van een A/D-omzetting. Omdat deze onderdelen van de component geen spanning voeren, kunnen deze activeringsfuncties niet worden ondersteund in de diepe rust modus. Omdat fabrikanten ervoor kunnen kiezen om verschillende implementaties toe te passen om een chip te laten ontwaken, is het van belang om de activeringsmogelijkheden te bestuderen die door verschillende microcontrollerseries worden geboden.

Bij producten van bepaalde fabrikanten kan de diepe slaap modus bijvoorbeeld uitsluitend worden verlaten door het activeren van de reset-pen. Dit werkt voor toepassingen die over een 'aan'-knop beschikken en vraagt geen extra stroom. Het indrukken van de knop haalt de toepassing uit diepe rust, herstelt zijn toestand waarna het product het weer doet. Dit werkt voor toepassingen als thermometers en handheld apparaatjes en kan ook worden gebruikt om de levensduur van batterijgevoede producten tijdens de opslag ervan in een magazijn te verlengen, omdat ze kunnen worden verzonden in een toestand van diepe rust. Andere fabrikanten bieden een wat completere systeemimplementatie en bieden meer flexibiliteit door het toevoegen van real-time klok- en kalenderfuncties. Hierdoor kan de toepassing autonoom werken en wordt slechts 500 nA toegevoegd aan de stroomopname in diepe rust. In plaats van te wachten totdat er een knop wordt ingedrukt, schakelt het alarmsignaal van de klok het apparaat in. Dit is belangrijk voor toepassingen als rookdetectoren, die twee of drie keer per minuut moeten worden geactiveerd om de luchtkwaliteit te meten, of voor een batterijgevoede sensor die enkele keren per dag ontwaakt voor het verzenden van gegevens. Een belangrijk langere levensduur van de batterij kan echter worden gerealiseerd door elke toepassing nauwkeurig af te stemmen op specifieke activeringsfuncties die vanuit de diepe rust modus worden geboden.

Einde van de levensduur

Alhoewel diepe rust de levensduur van de batterij verlengt, is het onontkoombaar dat de batterij leeg raakt waarbij het risico van een onbetrouwbare werking van de toepassing toeneemt. Normaliter worden bewakingsschakelingen, zoals brownout resetcircuits (BOR) en watchdog timers (WDT's) toegepast om problemen te voorkomen. Brownout circuits kunnen detecteren of de batterijspanning te laag is voor een betrouwbare werking en dwingen de toepassing in een veilige toestand. Watchdog timers bieden een soortgelijke beveiliging tegen foutieve codeverwerking als de MCU probeert om een programmacode te verwerken binnen onbetrouwbare spanning- of frequentiecondities. Het grootste probleem van deze schakelingen is hun stroomopname, die in de buurt van 5...50 µA kan liggen. In een MCU, die moet voldoen aan de gestelde lage eisen voor energie-opname in de diepe rust modus, is het opgenomen vermogen van deze traditionele schakelingen onacceptabel. Bij de modernste MCU's wordt dit probleem ondervangen door de introductie van een aantal BOR- en WDT-schakelingen met een lage stroomopname die specifiek zijn ontwikkeld voor de diepe rust modus. Deze brown-out circuits, die bekend staan als deep sleep BOR (DSBOR) of

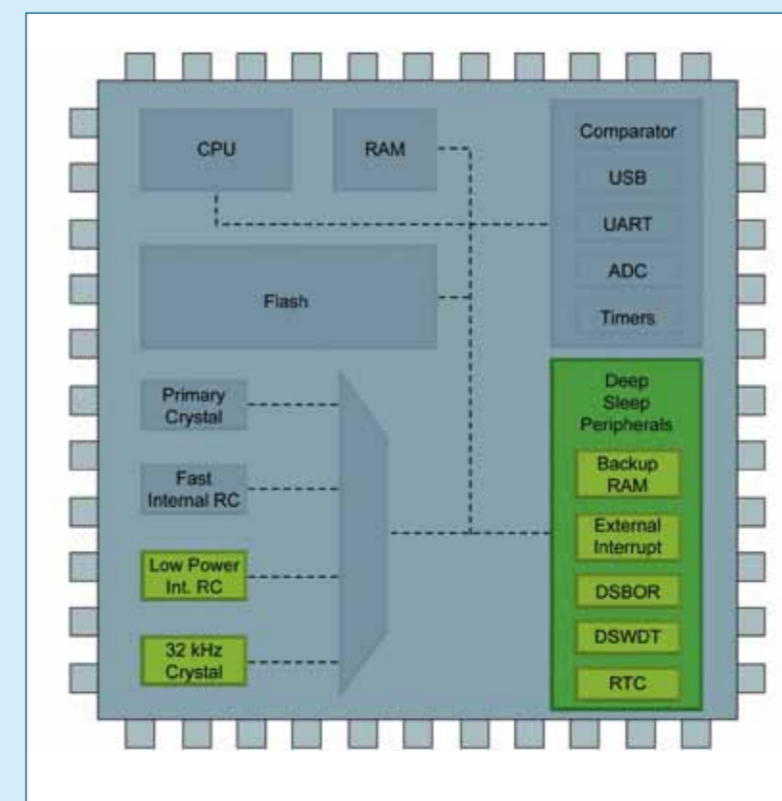
zero-power BOR, leveren nauwkeurigheid in ten gunste van een stroomopname die slechts 45 nA kan bedragen. Dit beschermt het product niet alleen aan het eind van de levensduur van de batterij, maar biedt tevens een beveiliging tegen het periodiek uitvallen van de voedingsspanning ten gevolge van een slecht contact van de batterijhouder, hetgeen vaak voorkomt in batterijgevoede systemen. De manier, waarop een BOR met lage stroomopname wordt geïmplementeerd, varieert per fabrikant. Sommige schakelingen kunnen worden uitgeschakeld, terwijl andere permanent aan staan. Omdat lang niet alle fabrikanten van MCU's voorzien in een BOR voor de diepe rust modus, is het belangrijk om even te controleren of de MCU over deze functie beschikt als die handig is voor een applicatie. Enkele fabrikanten hebben ook de stroomopname van de watchdog timer in MCU's met diepe rust modus teruggebracht tot 400 nA. Deze verbeteringen in de stroomopname houden in dat beide spanningbewakingsschakelingen nu spanning mogen blijven voeren in de diepe rust modus, waarbij de totale stroomopname van beide schakelingen is beperkt tot 445 nA. Hierdoor wordt een 99% lagere stroomopname gerealiseerd ten opzichte van de voorafgaande generatie MCU's. Volgens de bovenstaande vergelijking bedraagt het omschakelpunt (T_{be}) met beide spanningbewakingsschakelingen dan 5,9 seconden. De totale stroomopname van deze nieuwe spanningbewakingsschakelingen maakt daardoor een betrouwbare werking van een hele reeks toepassingen mogelijk die langer dan 6 seconden in slaap worden gesust.

Samenvatting

Door de alsmat toenemende integratiedichtheid met steeds kleiner wordende processorgeometrieën bieden de MCU's steeds meer functies, waardoor traditionele slaapmodi de hogere lekstromen van de duizenden geïntegreerde transistoren niet langer kunnen onderdrukken. Fabrikanten van microcontrollers gaan daarom over naar diepe rust modi, waarbij delen van de chip volledig worden uitgeschakeld als ze niet worden gebruikt. In combinatie met activeringsschakelingen die veel minder stroom vragen, kunnen opgenomen stromen in de diepe rust modus worden bereikt die 80% lager liggen dan bij de voorafgaande voedingsbewakingsschakelingen. Alhoewel de diepe rust modus de levensduur van de batterij in op MCU-gebaseerde applicaties aanzienlijk kan verlengen, is het belangrijk om het omslagpunt van het opgenomen vermogen in ogenschouw te nemen, waarbij het bespaarde vermogen groter is dan het vermogen dat nodig is om het de schakeling uit de toestand van diepe rust te laten ontwaken. De eenvoudige formule die hierboven wordt toegelicht, stelt ontwerpers van ingebelde systemen in staat om een en ander naar waarde te schatten en om een nieuwe generatie batterijgevoede producten te realiseren met een ongekend lange levensduur van de batterij.

Voor meer informatie www.etotaal.nl/achtergrond, artikel "Microprocessorsen in diepe rust".

Auteur: Jason Tollefson, Microchip Technology
Vertaling/bewerking: Johan Smilde, Copytronics



Figuur 2: In diepe rust blijven slechts enkele (groene) circuits geactiveerd en wordt de voedingsspanning van de andere circuits afgeschakeld.