

Temperatursensor forbedrer performance og pålidelighed

Håndtering af 'varme' bliver en stadig større udfordring i mange applikationer. Linear Technology har udviklet en familie af præcisions temperaturmonitører, der let kan distribueres hen over den samlede systemløsning.

Af Christoph Schwoerer, Design Section Leader, og Gerd Trampitsch, Design Engineer, Linear Technology Corp.

Den løbende udvikling mod stadig 'tættere' og højt integrerede computing-platforme er samtidig med til at forstærke de udfordringer, der er relateret til håndtering af den varme, der genereres i systemerne, og i mange systemimplementeringer er kapaciteten af kølingssystemerne en signifikant begrænsning for den overordnede ydelse.

Standard kølingskomponenter som køleplader og effektkrævende og støjende ventilatorer (eller meget dyrere 'stille' versioner) fylder ligeledes op i de tæt pakkeede elektronikker.

Den eneste måde at maksimere performance og minimere kølingskravene på er at sikre elektronikkens helbredstilstand via en nøjagtig og præcis monitorering af temperaturforholdene i gennem hele systemet.

Med det udgangspunkt har Linear Technology udviklet en familie af innovative højpræcisions temperaturmonitører, som let kan distribueres rundt omkring i systemet.

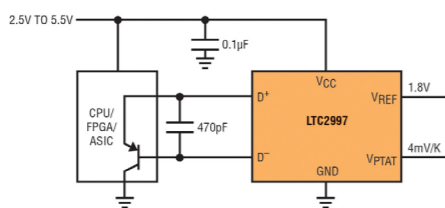
- Familien består af:
- LTC2997, der med høj præcision måler enten dens egen temperatur eller temperaturen af ekstern diode.
- LTC2996 tilføjer monitorerings-funktionalitet ved at sammenligne den målte

temperatur med defineret temperatur-tærskelværdi (høj og lav) og kommunikere eventuelle overskridelser videre via 'open drain alert' outputs.

- LTC2995 kombinerer funktionaliteten i LTC2996 med en dual supply spændingsmonitor, som gør det muligt at måle temperatur, sammenligne temperaturer med konfigurerbare tærskelværdier samt overvåge to forsyningspændinger.

LTC2997 – en højpræcisions temperatursensor

LTC2997 er indkapslet i en 2mm × 3mm 6-pin DFN pakning, der er ideel til måling af temperatur i en FPGA eller en microprocessor, som det er vist på figur 1.

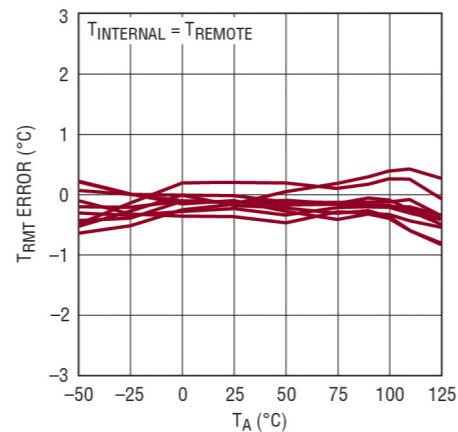


Figur 1. Remote CPU temperatursensor

LTC2997 sender målestrømme til temperaturmonitorerings-dioden i FPGA'en eller microprocessoren og genererer et V_{PTAT} spændingsoutput, der er proportional til temperaturen af dioden på dens V_{PTAT} output.

LTC2997 tilbyder også en 1,8V reference-spænding på V_{REF} outputtet, som kan bruges som referencespænding for den indbyggede A/D konverter i FPGA'en eller microprocessoren.

Målefejlen i denne konfiguration med ekstern sensorelement er *garanteret* til at holde sig inden for ±1°C over et bredt temperaturområde fra 0°C til 100°C og ±1,5°C fra -40°C til 125°C. Fejlene i de typiske temperaturmålinger er dog langt mindre, som det er vist på figur 2.



Figur 2. Temperaturfejls vs temperatur (LTC2997 ved samme temperatur som en remote diode)

Ved at forbinde D+ pin'en til VCC konfigureres LTC2997 til at bruge dens egen interne temperatursensor. V_{PTAT} spændingen har en hældning på 4mV/K og opdateres hvert 3,5ms.

Operative principper

LTC2997 opererer med særdeles høj præcision ved at måle diodespændingen ved *multiple* teststrømme, og målingerne bruges til at fjerne alle proces-afhængige fejl og seriemodstands-fejl.

Diodeligningen kan løses for T, hvor T

er temperaturen Kelvin, IS er en procesafhængig faktor i størrelsesordenen 10⁻¹³A, η er diode 'idealitets-faktoren', k Boltzmann konstanten og q elektronladningen:

$$T = \frac{q}{\eta \cdot k} \cdot \frac{V_D}{\ln\left(\frac{I_D}{I_S}\right)}$$

Denne ligning har en relation mellem temperatur og spænding, der er afhængig af den procesafhængige variabel I_S. Ved at måle den samme diode (med samme I_S værdi) ved to forskellige strømme fås imidlertid et udtryk, der er uafhængig af I_S.

Værdien i form af en naturlig logaritme vil derfor være forholdet mellem de to strømme:

$$T = \frac{q}{\eta \cdot k} \cdot \frac{V_{D2} - V_{D1}}{\ln\left(\frac{I_{D2}}{I_{D1}}\right)}$$

Modstanden i serie med remote dioden giver anledning til en positiv temperaturfejls ved forøgelse af den målte spænding ved hver teststrøm. Den sammensatte spænding er lig med:

$$V_D + V_{ERROR} = \eta \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_D}{I_S}\right) + R_S \cdot I_D$$

hvor R_S er seriemodstanden.

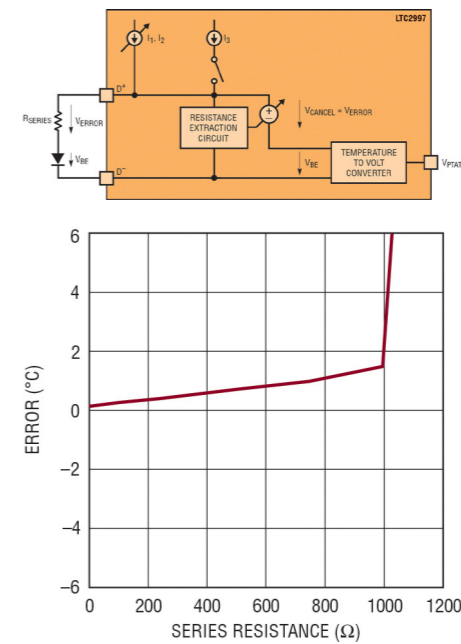
LTC2997 fjerner denne fejl fra sensor-signalet ved at fratække en 'cancellation' spænding (se figur 3a). Et modstands ekstraktions-kredsløb anvender en yderligere målestrøm (I₃) til at bestemme seriemodstanden i måle path'en.

Når den korrekte værdi af modstanden er fastlagt, vil værdien for V_{CANCEL} være lig V_{ERROR}. 'Temperatur-til-spænding' konverterens inputsignal er nu fri for fejl, der er relateret til seriemodstanden, og sensortemperaturen bestemmes dermed ved brug af strømmene I₁ og I₂.

En seriemodstand på 1k giver typisk anledning til mindre end 1°C temperaturfejls, som det er indikeret på figur 3b, hvilket gør LTC2997 til en ideel device til at aflæse diodesensorer, der rent fysisk er placeret adskillige meter væk fra tempe-

ratur-management systemet. Reelt set er den maksimale distance begrænset mere af linje-kapacitansen end linje-modstanden.

Kapacitanser, der er større end 1nF, vil have indflydelse på 'setling' af sensor-spæn-

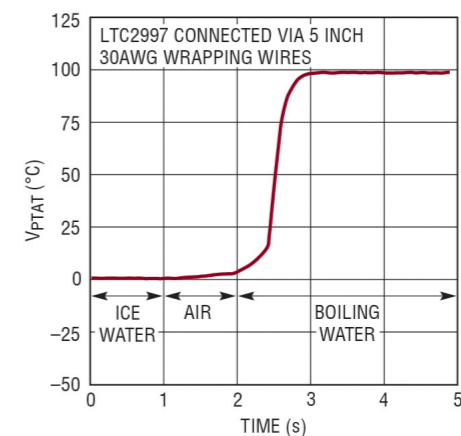


Figur 3. Eliminering af seriemodstand. a. Simplificeret blokdiagram b. Temperaturfejls vs seriemodstand

dingen ved de forskellige følestrømme og dermed introducere yderligere temperaturlæsningsfejls. Et 10 meter langt CAT 6 kabel har f.eks. omkring 500pF kapacitans.

I modsætning til mange remote diode-sensorer kan LTC2997 tracke hurtige temperaturændringer præcist som følge af den korte opdateringstid (3,5ms) og dens robuste temperaturmåle-algoritmer til detektering af temperaturvariationer.

Figur 4 viser step-responsen for LTC2997's interne sensor, når hele enheden dyppes



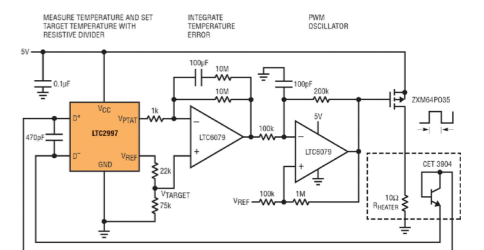
Figur 4. LTC2997's interne sensors termiske step-respons.

ned i kogende vand straks efter at være placeret i isvand.

LTC2997 har mange fordele i sammenligning med digitale implementeringer, når den benyttes i temperatur regulerings-loops. Den hurtige responstid og den analoge output-temperatur eliminerer meget af den kompleksitet, som man ser i digitale systemer.

Figur 5 viser f.eks. LTC2997 i en heater-implementering, der regulerer ved 75°C. I denne applikation bruges referencespændingen til at generere (ved hjælp af en resistiv divider) en targetspænding på 1,392V = (75 + 273.15)K • 4mV/K.

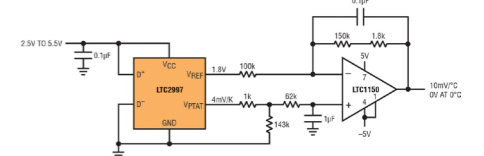
Den første micropower rail-to-rail amplifier, LTC6079, i diagrammet på figur 5



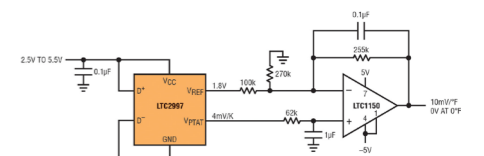
Figur 5. 75°C analog PWM heater controller.

integrerer forskellen mellem V_{PTAT} outputtet på LTC2997 og target-spændingen. Det integrerede fejlsignal konverteres til en puls pulsbredde-moduleret signal af PWM oscillatoren, der driver switch PMOS'en, som kontrollerer strømmen gennem heating modstanden, der genererer varmen.

LTC2997 kan også bruges til at bygge et Celsius termometer (Figur 6), et Fahrenheit termometer (figur 7), et thermocouple termometer med cold junction kompensation



Figur 6. Celsius termometer.

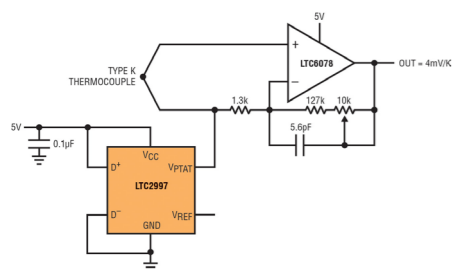


Figur 7. Fahrenheit termometer

...FORTSÆTTES NÆSTE SIDE

FORTSAT FRA SIDE 29:

(figur 8), eller anvendes i talvise andre applikationer, hvor man ønsker præcise og hurtige temperaturmålinger.

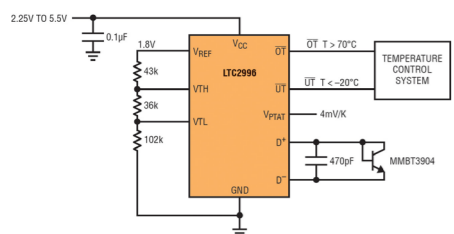


Figur 8. Thermocouple termometer med 'cold junction' kompensation.

LTC2996 - temperaturmonitor

I forhold til LTC2997 er der i LTC2996 tilføjet inputs for tærskelværdier, VTH og VTL, og her sammenlignes V_{PTAT} kontinuerligt til disse tærskelværdier med sigte på at detektere overtemperatur (OT) eller undertemperatur (UT) konditioner.

Tærskel-inputspændingsniveauerne kan let opsættes med resistive dividere med afsæt i den indbyggede referencespænding som vist på figur 9. Hvis temperaturen af remote dioden i figur 9 går over 70°C, vil V_{PTAT} spændingen overstige højtemperatur-tærskelværdien ved VTH.



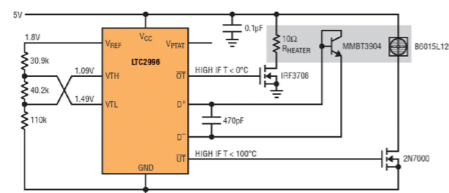
Figur 9. Remote temperaturmonitor med overtemperatur og undertemperatur grænseværdier.

LTC2996 detekterer denne overtemperatur-kondition og advarer temperaturkontrolsystemet ved at trække OT pin'en 'low'. På samme måde vil en temperatur på under -20°C blive viderekommunikeret via UT pin'en.

Det er værd at bemærke, at LTC2996 kun trækker 'open drain alert outputs', hvis temperaturen overgår de korrespondende tærskelværdier i fem efterfølgende opdateringsintervaller på 3,5ms hver. OT og UT pins har en intern 400k pull-up modstand til VCC - og der kræves ikke nogen eksterne modstande i mange applikationer.

LTC2996 kan også bruges til at opbygge en såkaldt 'bang-bang' controller, der sørger

for at holde temperaturen af en følsom device (f.eks. et batteri) inden for et bestemt ønskværdigt temperaturområde som vist på figur 10.



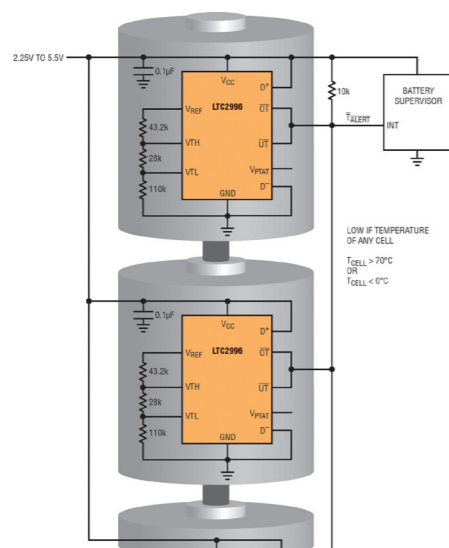
Figur 10. Bang-bang controller opretholder temperaturer mellem 0°C og 100°C.

I denne applikation er undertemperatur input tærskelværdien sat til 100°C, mens overtemperatur inputtærskelværdien er sat til 0°C. Dette umiddelbart omvendte arrangement relaterer til den kendsgerning, at OT og UT trækkes 'low', når en tærskelværdi overskrides.

I den konfiguration vil UT og OT således begge trække gatene i NMOS transistorerne 'low', mens temperaturen ligger inden for det ønskværdige område (over overtemperaturen og under undertemperaturen), og heating-modstanden og ventilatoren er begge inaktive.

Hvis temperaturen stiger over 100°C, vil undertemperatur open drain outputtet UT gå 'high', og ventilatoren aktiveres. På samme måde vil en temperatur på under 0°C starte heateren.

LTC2996 kan også bruges til at styre temperaturen i større batterier, der består af adskillige forskellige celler. Temperaturen i en beskadiget, kortsluttet eller slidt celle vil typisk stige og kan i værste fald gå i brand.



Figur 11. Supervising temperaturer i celler, der indgår i en batteripakke.

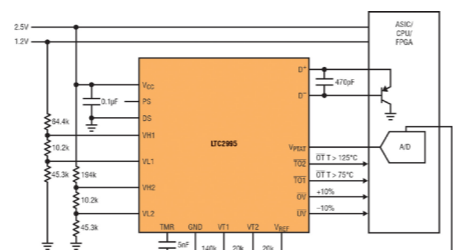
LTC2996 overvåger hver individuel celle med minimal ekstra wiring, som det er vist på Figur 11.

Hvis cellerne er forbundet i serie (batteri-stack), kræves der kun tre ekstra tilledninger - V_{CC} , GND og tilgang til alert output på batteri-supervisor kredsløbet - for at kunne monitorere, hvorvidt temperaturen i hvilken som helst celle 'forlader' det ønskede operative område.

Hvis cellerne er forbundet i parallel, og et batteri med en terminalspænding på mellem 2,25V og 5,5V (f.eks. en Li-ion) monitoreres, er det nok med kun én yderligere tilledning - alert outputtet - for at kunne overvåge temperaturen i hver celle.

LTC2995 kombinerer temperatur og dual spændingsmonitor/supervisor

Udover temperatur-monitorering kræves der i stort set alle systemer også faciliteter til overvågning af multisupply spændinger. For at kunne servicere dette, udbygger LTC2995 funktionaliteten i LTC2996 med en dual spændings-supervisor, der monitorerer to forsyningslinjer for henholdsvis over- og underspændingskonditioner, som det er vist på figur 12.



Figur 12. Dual OV/UV ±10% forsyning og 75°C/125°C OT/OT remote temperaturmonitor.

LTC2995 adderer to høj- og lavspændings inputs per kanal, der kontinuerligt sammenlignes med en intern 500mV reference. Så snart spændingen på enten VH1 eller VH2 falder under 500mV, 'flager' LTC2995 en underspændingskondition ved at trække UV output pin'en 'low'. På samme måde indikeres en overspændingskondition ved at trække OV pin'en 'low', hvis enten VL1 eller VL2 stiger over 500mV.

For at forhindre forkerte resets, der skyldes støj på den monitorerede forsynings-spænding, sørger LTC2995's lowpass filter for, at outputtet fra komparatoren bliver integreret, før UV eller OV indikeres. En

hver transient på inputtet af komparatoren skal være af en tilstrækkelig størrelse og varighed, for at komparatoren trigger output-logikken.

Desuden har LTC2995 en justerbar timeout periode (t_{UOTO}), der holder UV og OV asserter, efter en hver fejl er blevet håndteret. Dette delay minimerer effekten af inputstøj med en frekvens på over $1/t_{UOTO}$. Timeout perioden kan justeres ved at forbinde en kondensator, C_{TMR} , mellem TMR pin'en og ground, så det på den måde er muligt at understøtte en bred vifte af applikationer.

LTC2995 inkluderer endvidere mere flek-

sible temperaturmålings- og monitorerings-features end LTC2997 og LTC2996. Mens de to sidstnævnte devices altid skifter til ekstern mode, hvis en ekstern diode forbindes, hvilket kræver, at D+ forbindes til VCC for at måle på den interne diode, så inkluderer LTC2995 en ekstra diode select (DS) pin, så det bliver muligt at skifte mellem den interne og eksterne diode 'on the fly'.

Hvis DS pin'en efterlades floating, vil LTC2995 gå i 'ping-pong' mode, hvor den skifter mellem interne og eksterne diodemålinger med et tidsinterval på omkring 20ms.

Endelig kan LTC2995 konfigurere dens

to temperatur-grænseværdier som *begge* enten overtemperatur eller undertemperatur ved brug af polarity select (PS) pin'en. Denne feature gør det muligt at reagere på forskellige niveauer i relation til ændringer i temperaturen.

F.eks. kan man blive advaret, hvis temperaturen stiger over 75°C (hvor f.eks. en ventilator startes) og få endnu en advarsel/alarm, hvis temperaturen stiger over 125°C (hvor man måske ønsker at lukke systemet helt ned).