

Strålningshårdiga FPGA:er

FPGA :er används flitigt i rymdtillämpningar eftersom de gör det möjligt att konstruera kretsar som tål rymdens extrema förhållanden samtidigt som utbudet av rymdkvalificerade komponenter är mycket begränsat.

Två av de största utmaningarna för konstruktörer av rymdsystem är effekter av strålningen och strömförbrukningen.

Den totala strålningsdosen (TID) orsakas av strålning från laddade partiklar och gammastrålar i rymden. Denna strålning deponerar energi genom jonisering i materialet, vilket påverkar laddningstransport, bindningar och nedbrytningen vilket försämrar enhetens prestanda.

TID är den ackumulerade joniserande strålning som en krets utsätts för under en viss tidsperiod, vanligtvis uppdragets längd. Strålningsabsorberad dos (RAD) anger mängden absorberad strålning och avgör skadans omfattning. Beroende på enhetens stråltålighet eller TID-klassificering kan den drabbas av funktionella eller parametriska fel.

I FPGA:er kan strålningen leda till längre fördröjningstider och därmed försämrade prestanda. Vid hög TID-exponering kan även läckströmmen öka.

Partikelstrålning orsakar **singelevent (SEE)**, som **singelfel (SEU)**. Protoner, tunga joner och alfa-partiklar kan omedelbart störa eller permanent skada transistorer, vilket leder till logiska fel i systemet. Beroende på var partikeln träffar kan felet försvinna vid nästa klockcykel. Dock kan det även orsaka en **bestående fel (SEFI)**, vilket förändrar systemets beteende.

Single Event Latchup (SEL) är ett tillstånd där en enhet kan sluta fungera på grund av ett högt strömstillstånd orsakat av en enskild händelse.

En **destruktiv latchup** leder till att strömmen inte återgår till normala nivåer, vilket kan leda till permanenta skador.

En **icke-destruktiv latchup** innebär att den höga strömmen återgår till normala nivåer efter att FPGA:n har strömcyklats (stängts av och på igen).

Energiförbrukning i rymden

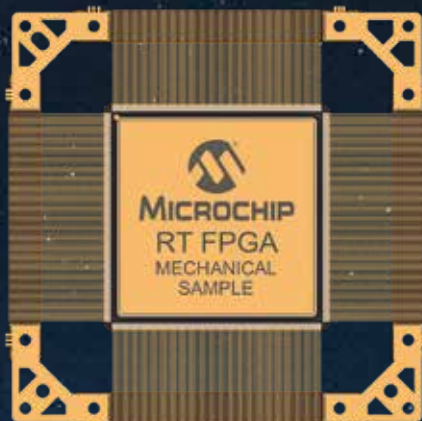
Eftersom det saknas en atmosfär i rymden kan man inte använda luftflöde för att kyla en komponent. Istället måste värmen ledas bort genom termisk ledning till en kall yta.

Låg effektförbrukning minskar behovet av stora värmeledande strukturer, vilket i sin

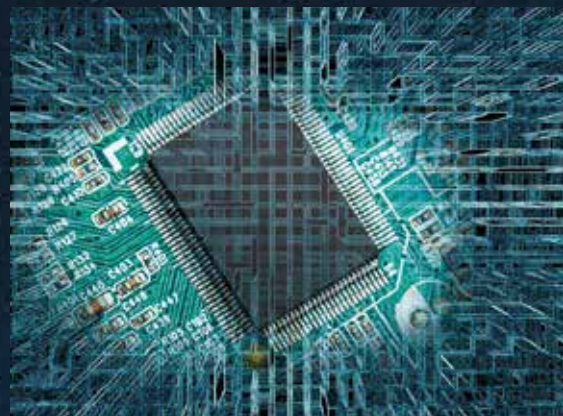


Av Tim Morin, Microchip

Tim Morin är chef över produktmarknadsföring för FPGA:er på Microsemi. Han har drygt 30 års erfarenhet bland annat som konstruktör inom halvledare och försvar. Han har jobbat med hård- och mjukvara för bildbehandling på TI. Tim Morin var produktplanerare för FPGA-familjerna SmartFusion, 1 och 2. Han har en examen i elektroteknik från Purdue University.



Sonos. Strålningsstoleranta PolarFire® SoC.



Antifuse. Antisäkringsbaserad FPGA.

tur minskar massan och därmed uppskjutningskostnaderna. Samtidigt ökar hela tiden behovet av processorkapacitet för bildbehandling, automation och kommunikation i satelliter, landare och rovers vilket späder på problemet med energiförbrukning.

Vid design av satelliter och rymdfarkoster finns det ett antal val när det kommer till **FPGA:er**.

- **Kommersiella produkter (COTS)** har lägre pris och kortare ledtid men saknar tillräcklig tillförlitlighet för rymdmiljöer. De kräver extra testning vilket ökar kostnader och ingenjörresurser, samt implementering av **tredubbel redundans (TMR)** för att hantera påverkan från strålning.
- **Strålningshårdiga FPGA:er** används för uppdrag där fel inte får inträffa. Dessa är förkvalificerade enligt **Qualified Manufacturers List klass Q och klass V**. QML klass V är den högsta standarden och används för bemannade och säkerhetskritiska uppdrag.

Behovet av högre prestanda, mer lokal databehandling och snabbare kommunikation i rymden ökar hela tiden. **Strålningshårdiga FPGA:er** erbjuder en tillförlitlig lösning med beprövad rymdflygshistorik och **QML**

Class V-certifiering. Denna artikel tittar på tillgängliga FPGA-tekniker för rymdapplikationer och utvecklingsprocessen för dessa komponenter.

Satellit- och rymdkonstruktörer har flera alternativ vid val av FPGA:er. Ett är **kommersiella standardkomponenter (COTS)**. De minskar inköpskostnaden och har korta leveranstider. Dock är de generellt sett inte tillräckligt pålitliga för rymdmiljöer, vilket kräver extra tester (up-screening), ökar kostnader och resursbehov, samt **fordrar tredubblad redundans** för att hantera strålningspåverkan.

I uppdrag där **fel inte är ett alternativ** används oftast **strålningshårdade FPGA:er**. Dessa är konstruerade för att tåla rymdens extrema förhållanden och är redan testade och kvalificerade enligt det amerikanska systemet **Qualified Manufacturers List (QML) klass Q och V**.

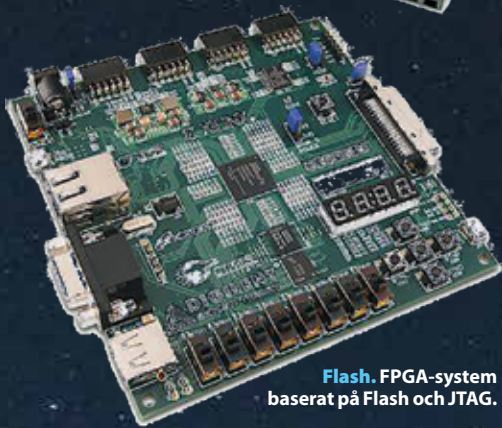
QML klass V är den högsta varianten och används i **bemannade och säkerhetskritiska uppdrag** för att minimera risken för fel.

Strålningshårdiga FPGA:er är utvecklade med processer som har utmärkt strålningsbeständighet och TID-prestanda (totala strålningsdosen). De kan ha en strålningshård design (RHBD) med flip-flops som har tredubbel redundans (TMR) på krets-

för uppdrag i rymden



SRAM.
Ultimate MiSTer FPGA.



Flash. FPGA-system baserat på Flash och JTAG.

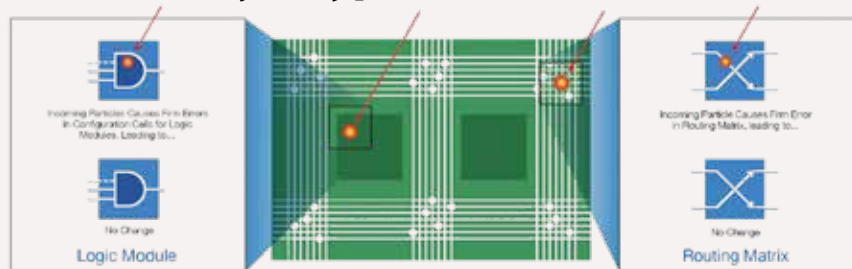


JOHN ONOJOLA/SCREENRANT

"Rymden, den sista gränsen." Orden yttrades av James T. Kirk på rymdskeppet *Enterprise* i tv-serien *Star Trek*. Där ser det enkelt ut, verkligheten är en helt annan. Rymden är en extrem miljö – vakuum, kyla och hetta, samt kosmisk strålning. Sedan finns det också de enorma avstånden mellan objekten.

FAKTA

Fyra typer av FPGA:er



Arkitekturen i Sonosbaserade flash-FPGA:er ger skydd mot enkelfel med hjälp av konfigureringsminnet.

nivå, eller så kan de vara strålningsresistenta med tredubbel redundans implementerad i mjukvara, även kallat soft TMR.

För att produkter ska kunna kvalificeras enligt den högsta standarden måste de följa MIL-PRF-38535 som har utfärdats av USA:s försvarsdepartement. MIL-PRF-38535 ställer krav på halvledartillverkarna som vill listas på det som kallas Qualified Manufacturers List (QML) hos den amerikanska militären. När QML-certifiering har uppnåtts tilldelas ett artikelnummer (Standard Military Drawing, SMD). SMD-nummer garanterar att utvecklare av rymdsystem får en komponent som överlever de extrema förhållandena i rymden.

Lika viktigt som QML-kvalificering är att karakterisera faktisk prestanda för singel-event under olika strålningsförhållanden. Resultaten av dessa är avgörande för systemkonstruktörer och gör det möjligt för dem att konstruera sina system för de specifika strålningsmiljöer som satelliter, landare eller rovers kommer att utsättas för.

Vissa processteknologier kan ha prestanda för TID (totala strålningsdosen) som varierar mellan wafers och från batch till batch. Därför måste tester av TID göras i produktionen, på batchnivå, för att säkerställa att en enhet uppfyller sin specificerade TID-nivå (25 krad, 100 krad eller 300 krad).

SRAM

SRAM-baserade FPGA:er lagrar konfigurationsdata i ett statiskt minne. Eftersom detta är flyktigt krävs omprogrammering vid varje uppstart. Denna teknik har högre strömförbrukning och är mycket känslig för strålning. Till exempel är konfigurationscellerna i FPGA:er inte immuna mot enkelfel (SEU). Den som använder dessa i rymden måste fundera på felfrekvensen för att avgöra om en SRAM-baserad FPGA uppfyller uppdragets tillförlitlighetskrav.

Flash

Flash-baserade FPGA:er använder flashminne som primär resurs för att lagra konfigurationsdata och är immuna mot enkelfel (SEU) vilket eliminerar risken för strålningsinducerade fel i konfigurationsminnet. Flash-baserade FPGA:er av typen RTG4 förbrukar upp till 50 procent mindre ström jämfört med SRAM-baserade alternativ. Flashtekniken förenklar designen genom att eliminera behovet av extern minneslagring, redundans och kontinuerlig konfigurationsövervakning (scrubbing). Dessutom krävs ingen kylfläns, vilket minskar både storlek, vikt och strömförbrukning, något som är särskilt viktigt för produkter som drivs av solpaneler i rymdapplikationer.

Sonos

En variant av flashbaserade FPGA:er tillverkas på Kisel-Oxid-Nitrid-Oxid-Kisel – som RT Polarfire från Microchip – och har hög strålningsprestanda. De har karakteriserade strålningsdata, låg effektförbrukning, konfigurationsimmunitet för enkelfel och hög tillförlitlighet. RT Polarfire är kvalificerade enligt QML-Q och går även att kvalificera enligt QML-V. Tillverkningen sker i en 28 nm process baserad på kisel-oxid-nitrid-oxid-kisel. Jämförelser mellan 28 nm och tidigare 65 nm har gjorts genom att mäta fördröjningen i en inverter, där tester visar att 28 nm med Sonos ger 2,5 gånger högre prestanda än 65 nm. Dessa FPGA:er är immuna mot enkelfel, samtidigt som de erbjuder en energieffektiv lösning. Dessutom går de att kvalificera enligt QML-V och har upp till 50 procent lägre strömförbrukning än motsvarande SRAM-baserade FPGA:er.

Antifuse

Denna typ av FPGA:er programmeras endast en gång, vilket innebär att de inte kan programmeras om som flash- och Sonosbaserade FPGA:er. En antifuse fungerar genom att den initialt inte leder ström, men vid programmering "bränns" den för att skapa en permanent förbindelse. Det är omvänd funktion i jämförelse med en vanlig säkring som bryts vid för hög ström.