

# Precisie OpAmp architecturen

## De ene OpAmp is zeker de andere niet

Alhoewel er geen twijfel over bestaat dat bij operationele versterkers (OpAmp's) met een hogere nauwkeurigheid de noodzaak om een systeem te kalibreren tijdens de productie of in het veld kan komen te vervallen, moeten ontwerpers nog steeds bepalen welke architectuur met lage offset het meest geschikt is voor een specifieke toepassing. Voor het kiezen van de juiste OpAmp moeten de voor- en nadelen van elke architectuur worden beoordeeld. Dit artikel gaat in op de pro's en contra's van OpAmp's die gebruik maken van afregeling met behulp van een EPROM of laser, automatische nulpuntinstelling en kalibratie op de chip.

Bij een precisie, ofwel zeer nauwkeurige OpAmp wordt altijd de een of andere vorm van correctie van de ingangs-offsetspanning geïmplementeerd. De ingangs-offsetspanning is het spanningsverschil tussen de inverterende en niet-inverterende ingangen van de versterker die kan variëren van microvolts tot millivolts. Hoe goed de ingangstransistoren van de versterker op elkaar zijn afgestemd (gepaard), bepaalt grotendeels de mate van offset. Naast de initiële ingangs-offsetspanning kunnen ook andere oorzaken het gedrag van deze foutspanning beïnvloeden, waaronder veranderingen in de common-mode spanning, de voedingsspanning, de uitgangsspanning, de temperatuur en zelfs de tijd. Afhankelijk van de toepassing kunnen deze externe omstandigheden mede bepalen wat de beste versterkerarchitectuur voor een bepaalde toepassing is.

### Afregeling met een EPROM

Een aantal precisie OpAmp's maakt gebruik van niet-vluchtige EPROM zekeringen om de ingangs-offsetspanning te

corrigeren. In veel gevallen wordt dit uitgevoerd in de behuizing tijdens de uiteindelijke testfase en dit is een bijzonder goedkope methode om een versterker te realiseren met een lage initiële offsetspanning. Omdat de versterker wordt afgeregeld na de assemblage, kunnen ook offsets die het gevolg zijn van de assemblage worden gecorrigeerd. Een ander voordeel van deze architectuur is dat de versterker door de fabrikant wordt afgeregeld, zodat de gebruiker naderhand niets meer hoeft af te regelen. Het nadeel is echter dat de EPROM zekeringen ruimte op de chip innemen en daardoor zullen met behulp van een EPROM afgeregelde componenten niet beschikbaar zijn in ultrakleine behuizingen. Net als bij een versterker voor algemene toepassingen is deze architectuur gevoelig voor omgevingsinvloeden, zoals de temperatuur, alsook voor veranderingen in de common-mode spanning of de voedingsspanning.

### Afregeling met een laser

Een andere methode die vaak wordt gebruikt om de nauwkeurigheid van een operationele versterker te verbeteren, is

afregeling met behulp van een laser. Bij deze procedure wordt een laser gebruikt om de weerstandswaarde van dunne-film weerstanden af te regelen op de silicium wafel. De nauwkeurigheid van deze benadering kan relatief hoog zijn, omdat het afregelproces continu verloopt, in tegenstelling tot de serie discrete stappen die bij het afregelen met behulp van een EPROM worden doorlopen. Een ander voordeel is dat dunne-film weerstanden van nature zeer stabiel zijn met betrekking tot het temperatuurverloop, hetgeen bijdraagt aan de algehele nauwkeurigheid over een breed temperatuurbereik.

Het afregelen met behulp van een laser moet echter worden geïmplementeerd op wafelniveau en kan niet worden uitgevoerd als de component in de behuizing is opgenomen. De processen van het zagen van de wafel in individuele chips, het plaatsen van de chips in een behuizing en het aansluiten van de chip op de pennen van de behuizing kunnen allemaal mechanische stress op de wafel tot gevolg hebben, hetgeen de algehele nauwkeurigheid van de component negatief kan beïnvloeden. Dergelijke assemblage-gerelateerde veranderingen kunnen niet worden gecompenseerd bij versterkers die door lasers worden afgeregeld en dragen bij aan de fouten van de versterker. Net als bij niet-vluchtige EPROM zekeringen wordt ook het afregelen met een laser eenmaal gedaan tijdens de fabricage van de component en is nadercorrectie achteraf niet mogelijk. Veranderingen in de externe bedrijfscondities, zoals temperatuur en voedingsspanning, zullen daarom de nauwkeurigheid van de versterker nadelig beïnvloeden, hetgeen van directe invloed is op de prestaties van het algehele ontwerp.

### OpAmp's met automatische nulpuntinstelling

De zogenaamde auto-zero architectuur is een continue, zelfcorrigerende architectuur, waarbij een zogenaamde nulpuntversterker de offsets van de hoofdversterker corrigeert. Deze architectuur realiseert een ultralage offsetfout die een factor honderd beter kan zijn dan bij een versterker die met een EPROM is afgeregeld. Hierbij wordt tevens een lage offsetdrift bereikt waarbij wordt afgetrokken met de 1/f ruis. Tevens is de voedingsspanning- en common-mode-onderdrukking optimaal. Omdat deze architectuur de ingangs-offsetspanning continu corrigeert, is deze van meet af aan ongevoelig voor de omgevingscondities. Veranderingen ten gevolge van de temperatuur en verouderingseffecten, alsook veranderingen in de voedingsspanning of common-mode spanning, hebben nauwelijks invloed op de nauwkeurigheid van de auto-zero versterker. Omdat de zelfcorrigerende schakeling op de chip is geïntegreerd, hoeven gebruikers zelf niets te compenseren. Beschouwd vanuit systeemniveau ziet een auto-zero OpAmp, zoals de MCP6V0 van afbeelding 1, er net zo uit en werkt deze net zo als een standaard OpAmp, maar dan met het toegevoegde voordeel van buitengewone prestaties, zie afbeelding 1.

Ondanks al deze voordelen kent de zelfcorrigerende auto-zero architectuur toch nog enkele beperkingen. Het continue schakelen van de interne correctieschakelingen introduceert schakelruis en heeft eveneens een hogere ruststroom bij de gegeven bandbreedte tot gevolg. Tevens kan, ten gevolge van de ultrahoge nauwkeurigheid van dit soort componenten, de testtijd relatief lang zijn, waardoor de fabricage van de component wat duurder is.

### Kalibratie op de chip

Een alternatief is om een zeer nauwkeurige operationele versterker te voorzien van een kalibratieschakeling op de chip. Met de mCal kalibratietechnologie van Microchip kunnen OpAmp's dezelfde zeer lage initiële offsetspanning bereiken als bij de andere architecturen, maar in tegenstelling tot versterkers die met een EPROM of laser zijn afgeregeld, wordt de kalibratie geactiveerd bij het inschakelen, of via een externe kalibratiepen, zie afbeelding 2.

Hierdoor kan de gebruiker de versterker zo vaak als dit wenselijk is opnieuw kalibreren. Het herhaaldelijk kalibreren kan de nauwkeurigheid van de versterker ongevoelig maken voor de omgeving. Als een gebruiker zich bijvoorbeeld grote zorgen maakt over de drift ten gevolge van het temperatuurverloop, dan kan de driftfout tot en minimum worden teruggebracht door de component bij elke temperatuurverandering van vijf graden opnieuw te kalibreren. Alhoewel dit de drift van de versterker aanzienlijk kan beperken over het temperatuurverloop, moet de gebruiker wel steeds zelf een kalibratieroutine starten door de kalibratiepen van de versterker te activeren.

### Conclusies

De meeste toepassingen hebben baat bij het toepassen van een operationele versterker met een hogere nauwkeurigheid, maar om de juiste versterker te kiezen moeten ontwerpers de

sterke en zwakke punten van elk van de toegepaste architecturen begrijpen om de gewenste lage offset te kunnen halen. Alhoewel alle van de hierboven beschreven architecturen een lage initiële offsetspanning realiseren, kunnen omgevingscondities de nauwkeurigheid van de versterker nadelig beïnvloeden. Het toepassen van een versterker met een continue zelfcorrigerende architectuur, zoals een auto-zero versterker, of een type met de mogelijkheid voor herkalibratie die gebruik maakt van de mCal technologie, kan de negatieve effecten van externe condities tot een minimum beperken. In tabel 1 zijn de eigenschappen op een rijtje gezet waarmee rekening moet worden gehouden bij de evaluatie van welke versterkerarchitectuur het meest geschikt is voor een specifieke toepassing.

### Evaluatiekaart

Voor het meten van de ingangs-offsetspanning van de OpAmp MCP651EV (50 MHz, 6 mA) met mCAL technologie in een laboratoriumopstelling dient de evaluatiekaart MCP651EV-VOS, zie afbeelding 3.

De kaart bevat een complete meetopstelling, waarbij een viertal OpAmp's van het type MCPV01 met auto-zero architectuur de chip omringen. Deze zorgen voor het instellen van de chip en leveren een versterkt signaal van de ingangs-offsetspanning van de geteste component. De meetschakeling levert versterking aan de ingang, voorziet in een PI-regellus (integrator), heeft een uitgangsversterker met instelbare versterkingsfactor en een laagdoorlaatfilter. De gemeten ingangs-offsetspanning omvat de ingangs-offsetspanning die in het specificatieblad wordt opgevoerd, plus veranderingen ten gevolge van de voedingsspanning (PSRR), de common-mode spanning (CMRR), de uitgangsspanning, de ingangs-offsetspanningsdrift over de temperatuur en de 1/f ruis. Alhoewel de kaart het best werkt bij kamertemperatuur (circa 25 °C), dienen metingen bij andere temperaturen te worden uitgevoerd in een oven met een minimale luchtstroom. Omdat de meetschakeling universeel is qua opzet, kan de te testen chip na verwijdering desgewenst worden vervangen door een 8-pens DIL-voetje, zodat ook OpAmp's zonder mCal-pen kunnen worden getest. Belangstellenden in deze materie kunnen alle informatie vinden op de website [www.microchip.com](http://www.microchip.com). Voer daar als zoekterm MCP651EV-VOS in en klik op de eerste link, waarna de informatie over deze evaluatiekaart verschijnt. Aan het eind volgt een lijstje met downloads van documenten, zie tabel 2, waaronder de complete beschrijving (user's guide) van deze evaluatiekaart, inclusief schema en lay-out van de kaart. In de andere specificatiebladen zijn alle eigenschappen van de hier besproken OpAmp's met auto-zero en mCAL technologie te vinden. •

### Voor meer informatie [www.etotaal.nl/achtergrond](http://www.etotaal.nl/achtergrond).

### Artikel "Precisie OpAmp architecturen".

**Auteur: Kevin Tretter, senior product marketing engineer, analog & interface products division Microchip Technology Inc.**  
**Vertaling/bewerking: Johan Smilde, Copytronics**



Afbeelding 1: De MCP6V0X OpAmp met auto-zero architectuur.



Afbeelding 2: De MCP652 OpAmp met kalibratiepen.



Afbeelding 3: Evaluatiekaart MCP651EV-VOS met diverse OpAmp's.

Architectuur	Voordelen	Nadelen
Afregeling met EPROM (niet-vluchtig)	Afregeling in de behuizing bij de eindtest Verlaagt de testtijd	Houdt geen rekening met drift over tijd en temperatuur
	Assemblage-gerelateerde verschuiving van de offsets van de ingangsspanning kan worden weggewerkt	Hogere nauwkeurigheid vereist meer EPROM zekeringen en meer silicium
Afregeling met laser	Hogere nauwkeurigheid ten opzichte van afregeling door EPROM	Assemblage-gerelateerde verschuivingen worden niet weggewerkt
	Hoge stabiliteit van dunne-film weerstanden over de temperatuur	Houdt geen rekening met drift over tijd en temperatuur
Auto-zero	Ultra-lage initiële offsetspanning	Schakelfrequenties/geluid opgewekt door de interne nulpuntversterker
	Drift over tijd en temperatuur is vele malen beter dan bij andere architecturen	Hogere ruststroom voor de gegeven bandbreedte
	Superieure common-mode onderdrukking en voedingsspanning onderdrukking	Architectuur is relatief groot qua siliciumoppervlak, minder kleine behuizing
mCal technologie (on-chip kalibratie)	Onderdrukt 1/f ruis (Ruisniveau blijft laag t.o.v. DC)	Door de ultra-hoge precisie is de testtijd relatief lang (en daardoor duurder)
	Drift over tijd en temperatuur minimaal door periodiek herkalibreren van de versterker	Opnieuw kalibreren kan een andere afregelcode opleveren die een verschuiving van de offset oplevert van de ene kalibratie in de andere

Tabel 1: Voor- en nadelen van de verschillende precisie OpAmp architecturen.

Title	Date Published	Size	D/L
<a href="#">AN1177 - Op Amp Precision Design: DC Errors</a>	3/12/2008 8:08:00 AM	269 KB	
<a href="#">AN1258 - Op Amp Precision Design: PCB Layout Techniques</a>	3/31/2009 9:57:00 AM	979 KB	
<a href="#">MCP651/1S/2/3/4/5/9 Data Sheet</a>	6/20/2011 3:30:29 PM	1743 KB	
<a href="#">MCP6V01/2/3 Data Sheet</a>	6/18/2009 12:27:02 AM	999 KB	
<a href="#">MCP651 Input Offset Evaluation Board Gerbers</a>	5/19/2009 2:30:00 PM	159 KB	
<a href="#">Analog &amp; Interface Product Selector Guide</a>	5/24/2011 12:37:55 PM	592 KB	
<a href="#">Quick Guide to Microchip Development Tools</a>	3/4/2011 10:09:50 AM	582 KB	
<a href="#">MCP651 Input Offset Evaluation Board User's Guide</a>	5/19/2009 4:10:14 PM	1228 KB	

Tabel 2: Documentatie over de betreffende OpAmp's.