

# Oneindigheid van het IC Design

(Anne-Johan Annema)

In de IC-elektronica is het begrip oneindig (en zijn alter-ego nul) al vele jaren zowel de rode draad als de grote leidraad: er worden steeds weer nieuwere technologieën en (systeem- en circuit)principes ontwikkeld om dichterbij het gewenste nulpunt en dichterbij de nagestreefde oneindigheid te geraken. Verbazingwekkende ontwikkelingen en inzichten zijn het gevolg.

Inzoomend op bijvoorbeeld de ontwikkelingen in de CMOS technologie, een technologie waar vrijwel alle circuits in gemaakt worden, is de opmerkelijkste trend de self-fulfilling prophecy die we kennen als de wet van Moore. Gebaseerd op vrijwel geen data stuurt deze wet al decennia lang de technologie-evolutie. Daarin worden de afmetingen exponentieel kleiner en het aantal transistoren op een IC exponentieel groter in de tijd. Een jaar of 15 geleden werden we nog warm van een afname van de minimale afmetingen van 2,5 $\mu$ m naar 1,5 $\mu$ m in ruim een jaar technologie-evolutie: een micron per jaar! Tegenwoordig worden we helemaal blij van een afname van 65nm naar 45nm in een jaar; mooie vooruitgang... 20nm in een jaar is toch nogal wat slechter dan die 1 $\mu$ m per jaar van 15 jaar geleden. Andersom geredeneerd, we zijn steeds makkelijker blij te maken, vroeger was er iets nodig om ons blij te maken (1 $\mu$ m per jaar), nu is er vrijwel niets meer voor nodig (20nm per jaar en afnemend). Hoezo verweende generatie van tegenwoordig? Verweende generaties vroeger!

Enfin, meer, meer, meer, steeds maar meer transistoren en aan de andere kant meer minder, meer minder, meer minder transistoren omdat we graag meer digitaal doen. Een gelijktijdig streven dus naar oneindig veel oneindig kleine transistoren. Met deze trend kunnen we digitaal tenminste iets: een oneindig aantal transistoren met grootte nul plaatsen op een IC met kleine afmetingen en met een beperkte vermogensconsumptie.

In de analoge elektronica is eenzelfde trend te zien: een streven naar oneindige snelheid en nauwkeurigheid bij oneindig laag vermogensgebruik. De mindere transistoren (in de

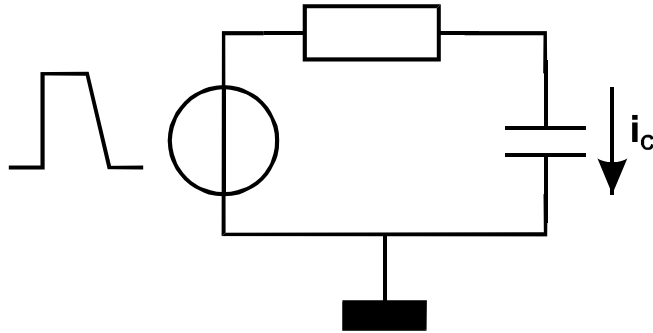
breedste zin van de transistor) zoals gedictieerd door de digitaal gestuurde technologie-evolutie geven analoog echter steeds meer problemen. Dit omdat analoog nu eenmaal te maken heeft met fysische zaken die een hartgrondige hekel hebben aan alles wat maar oneindig of nul is.

Snelheden oneindig? Doen we niet aan. Einstein wist het 100 jaar geleden al. In de RF-elektronica is dat al decennia duidelijk, en de oude RF-frequenties hebben we nu al in “gewone” schakelingen en dergelijke snelheden zijn een groot probleem in bijvoorbeeld snelle digitale processoren. De eindige lichtsnelheid zit ons daar behoorlijk dwars, maar zorgt er tegelijkertijd wel voor dat creativiteit daar tot oneindige hoogtes kan stijgen.

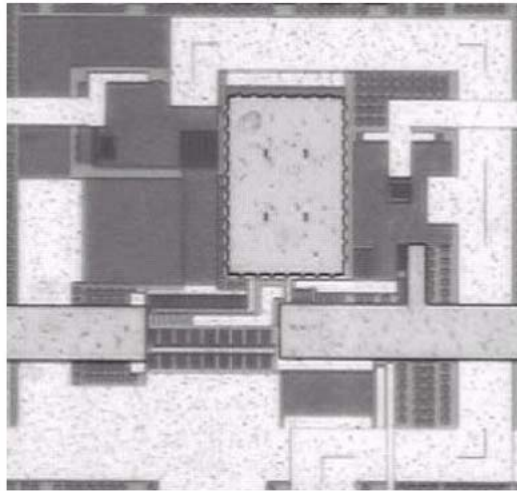
Nauwkeurigheden oneindig? Nou nee. Tot nog toe hebben we te maken met Brownse-bewegingen, Boltzmann, wederom Einstein, en andere figuren die zeggen dat we thermische ruis hebben. Een absoluut niet gratis ondergrens aan nauwkeurigheden, zeker met de huidige energieprijzen. Ook hier levert de eindigheid van iets een oneindigheid van creativiteit en plezier op. En warme gevoelens, die nog meer ruis veroorzaken maar tevens kunnen helpen te convergeren van hedendaagse aanpakken naar iets revolutionairs.

Al deze fysische aspecten, analoog zo U wilt, gaan ervoor zorgen dat de technologie-evolutie en het IC-design andere karakters gaan krijgen. Waar nu veel nieuwe toepassingen geboren worden doordat steeds meer mogelijk is in de digitale wereld, simpelweg door meer van hetzelfde te maken, zal dat in de niet zo verre toekomst anders worden. Als de schier oneindige technologie-evolutie stopt zullen nieuwe dingen moeten ontstaan uit design-ontwikkelingen. Op dezelfde manier zorgen de fysische limieten voor snelheid en nauwkeurigheid in schakelingen voor een constante, en dus oneindige, stroom uitdagingen en creatieve oplossingen op het gebied van het IC-ontwerp teneinde de fysische roadblocks te omzeilen.

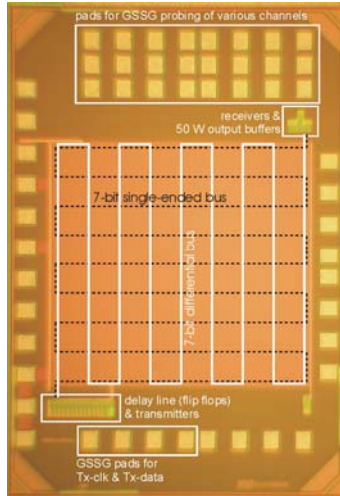
Het einde van de oneindige technologie-evolutie en de fysische begrenzingen van snelheid en nauwkeurigheid zijn dan ook de punten waar ons erg leuke vakgebied van de elektronica, digitaal, analoog of mixed, pas echt oneindig leuk wordt.



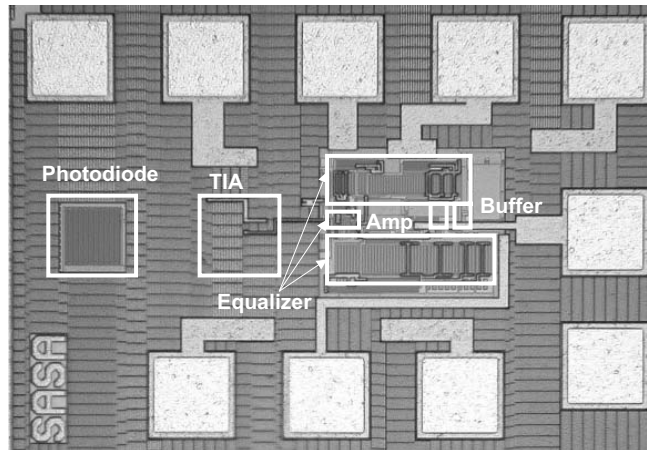
**Figuur 1: Een condensator doet geheel real-time (oneindig snel dus) een Fourier-decompositie van hetingangssignaal en zet voor iedere frequentiecomponent oneindig snel de goede impedantie.**



**Figuur 2: Thermische ruis en  $1/f$  ruis worden gegenereerd in iedere geleider; het is domweg de fysica die ons hier pest. Het kost ons (een) vermogen om het effect in voldoende mate niet te zien. Ruis foppen kan echter ook: tel ruis bij z'n inverse op en het is 0 geworden.... Een nieuw principe om een limiet te doorbreken, en prijswinnend ICD werk op de ISSCC van 2002**



**Figuur 3: Digitale signalen versturen op een IC wordt steeds moeilijker. Dat oneindige snelheid lastig is komt omdat de lichtsnelheid te beroerd is oneindig te zijn. De RC-tijden van draden willen echter steeds belangrijk gevonden worden, en beperken de bitrates over 1cm al tot 500Mb/s... en dat wordt alleen maar lager in nieuwere CMOS technologieën. Met leuke designtrucken kan je dat opkrikken tot 3Gb/s met minder (stuur)vermogen: ICD werk op de ISSCC van 2005.**



**Figuur 4: Licht gaat dan wel met de lichtsnelheid, maar de detectie van licht niet: fotonen creëren elektron-gatparen die uitermate lui zijn. De langzame detectie van deze ladingsdragers zorgt, in CMOS, voor bitrates tot 50Mb/s. Wederom met leuke designtrucken kan deze fysische limiet omzeild worden. 3Gb/s uit een geheel nieuw concept voor een geïntegreerde optische ontvanger, van de leerstoel ICD, op de ISSCC van 2004 is het resultaat.**