

0       $e$       1.94e+03      3.87e+03

0       $v$       250      500

Y  
Z X

Bij het ontwerpen van complexe snelle elektronische systemen neemt het bareboard (printboard of PCB) een steeds belangrijkere plaats in. In het verleden kon worden volstaan met relatief eenvoudige redematies vooraf en metingen aan een prototype achteraf om een kwalitatief ontwerp te realiseren. Deze methode voldoet niet meer aan de eisen van vandaag om op een kosteneffectieve manier robuuste high speed elektronica te ontwerpen. Daarom moet voor en na het ontwerpen van de boardlay-out met behulp van pre- en postsimulaties zo nauwkeurig mogelijk het elektrische gedrag van cruciale delen van het bareboard worden aangetoond.

## 3-Dimensional field solving

**B**ij de moderne digitale elektronica van vandaag gaat het altijd over snelle datasignalen die moeten worden overgedragen. Toen in het recente verleden de signalen nog niet zo snel waren, kon volstaan worden met een relatief simpele benadering. Slechts met de wetten van Kirchhoff kon in een simulator voldoende worden aangetoond dat het circuit voldeed aan de verwachtingen en wat de prestaties zouden zijn. Omdat de frequenties van signalen steeds verder omhoog gaan, wordt het steeds belangrijker om het hoogfrequent gedrag van signalen goed te begrijpen. Bij toenemende frequenties gaan parasitaire effecten een mogelijk dominante rol spelen, waardoor de integriteit van de signalen in gevaar komt. Een Gigahertz-sigitaal over een koperspoor met een scherpe bocht erin kan al voor problemen zorgen.

Om deze effecten inzichtelijk te maken en het ontwerp te kunnen controleren maakt Technolution gebruik van simulatieprogramma's. Simulaties kunnen zowel voor als na het gereed komen van de lay-out worden uitgevoerd. De simulaties vooraf zijn relatief simpele benaderingen gebaseerd op schat-

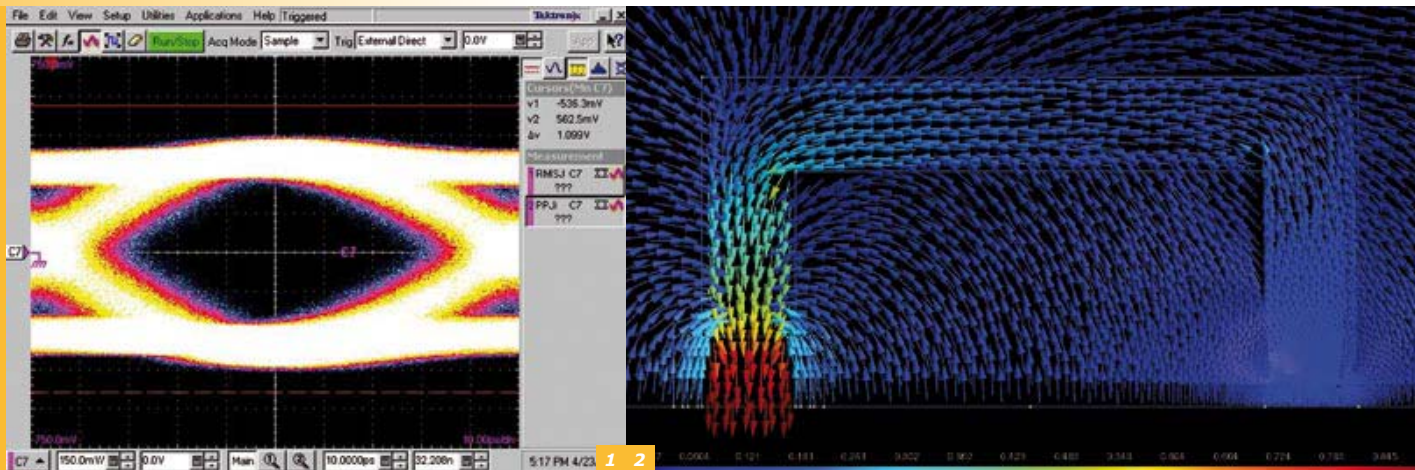
tingen. Ze hebben waarde, omdat zo de principiële werking van het ontwerp te controleren is. Bij deze simulaties wordt een vereenvoudigd model gebruikt waarbij de uiteindelijke geometrie van de sporen op het bareboard buiten beschouwing blijft.

### Signal integrity

Voor signalen met een beperkte snelheid is dit afdoende en kan het bareboard ontworpen worden met uitsluitend "best practice" regels. Dit om signal integrity problemen, zoals crosstalk en te veel demping, te voorkomen. Is dit niet het geval dan wordt, om de uiteindelijke prestaties van transmissielijnen te kunnen bepalen, een spice model op basis van de werkelijke sporenpatronen gemaakt van die lijn. De exacte lengte, breedte en hoogte van sporen evenals van de modellen van via's worden doorgerekend. Bij simulaties van digitale signalen wordt er aan het begin van de transmissielijn een datapatroon gezet en wordt de lijn analoog doorgerekend. Het sigitaal aan het eind van de lijn wordt bij iedere overgang geplot zodat er een zo genaamd oogpatroon ontstaat.

Het oog is een maat voor de integriteit van het sigitaal. Als het oog in het midden voldoende open is

*Bij toenemende frequenties gaan parasitaire effecten een mogelijk dominante rol spelen, waardoor de integriteit van de signalen in gevaar komt.*



1. Het oogpatroon kan een resultaat zijn van 3-D field solving. 2. Magnetisch veld bij een kern met lichtspleet.

**Bij simulaties van digitale signalen wordt er aan het begin van de transmissielijn een datapatroon gezet en wordt de lijn analoog doorgerekend.**

zal het signaal goed zijn. Oogpatronen kunnen later als het fysieke ontwerp beschikbaar is worden gecontroleerd met behulp van meetapparatuur. Echter als de signaalsnelheden nog verder omhoog gaan, gaan analoge parasitaire effecten een overheersende rol spelen. Hierdoor zullen de vereenvoudigingen, die normaliter bij het opstellen van modellen worden toegepast, de werkelijkheid niet meer voldoende weergeven. In simulaties lijkt er dan niets aan de hand maar in werkelijkheid gaat het mis. Veel standaard simulatoren die door elektronici worden toegepast kunnen de complexiteit die hiermee gepaard gaat dan niet meer aan. Om toch te kunnen rekenen aan dit soort schakelingen wordt gebruik gemaakt van zogenaamde 3D-solvers. Deze driedimensionale mathematische rekenprogramma's kunnen geometrische definities van het bareboard, de samenstelling van kopersporen en isolatiemateriaal, in drie dimensies doorrekenen met behulp van de finite element method.

### Wetten van Maxwell

Voor dit rekenwerk moeten de juiste overdracht-functies voor het probleem worden ingebracht. Voor ons vakgebied bieden de wetten van Maxwell hierbij uitkomst.

De vergelijkingen van Maxwell beschrijven hoe een elektromagnetisch veld varieert in ruimte en tijd. Alhoewel deze wetten relatief simpel zijn, zijn de oplossingen van deze vergelijkingen alleen in de meest eenvoudige situaties analytisch op te lossen. Maar het biedt een geweldig inzicht in de natuurkunde, ze verenigen elektriciteit en magnetisme en verklaren de relatie tussen geometrie, topologie en fysica. Ook andere, op bareboard gebaseerde geometrie, zoals planaire trafo's, antennes en filters, leent zich uitstekend voor het doorrekenen van het gedrag met behulp van deze technieken. Het gebruik van mathematische rekenprogramma's voor het oplossen van discrete problemen leent zich ook uitstekend voor het simuleren van andere natuurkundige problemen waar Technolution in haar vakgebied mee te maken heeft. Naast elektro-magnetische problemen valt hierbij te denken aan thermische en mechanische problemen en de koppelingen daartussen. De mathematische complexiteit is aanzienlijk, maar levert veel inzicht, kennis en ervaring op.

Voor meer informatie en achtergrond over signaal integriteit zie de white paper: signal integrity op onze website ([www.technolution.nl](http://www.technolution.nl)).

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu \mathbf{J} + \mu \epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$