

# HET KARAKTERISEREN EN MODELLEREN VAN OPTO-ELEKTRONISCHE COMPONENTEN

Ir. Rob F.M. van den Brink  
PTT Research, Leidschendam

## THE CHARACTERIZATION AND MODELING OF OPTO-ELECTRONIC COMPONENTS

The increasing bandwidth of telecommunication networks is making increasingly stringent demands with regard to the design of broadband electronic circuits. This has resulted in a new specialism (broadband opto-electronics) composed of analog electronics, microwave electronics and optics.

The characterization of laserdiodes, photodiodes and transistors has become a vital aspect of broadband circuit design. This report describes some methods to measure electrical impedance, transfer of amplifiers, transfer of optical receivers and transmitters, noise of optical receivers and the FM-response of laserdiodes.

Bij de ontwikkeling van digitale en analoge glasvezeltransmissiesystemen is de beschikbaarheid van breedbandige schakelingen een voorwaarde, denk hierbij aan lasermodules, ruisarme optische ontvangers, en modulatie/demodulatie circuits. Dit soort schakelingen dienen signalen te kunnen verwerken tot in het GHz-gebied, met een bandbreedte van enige decaden.

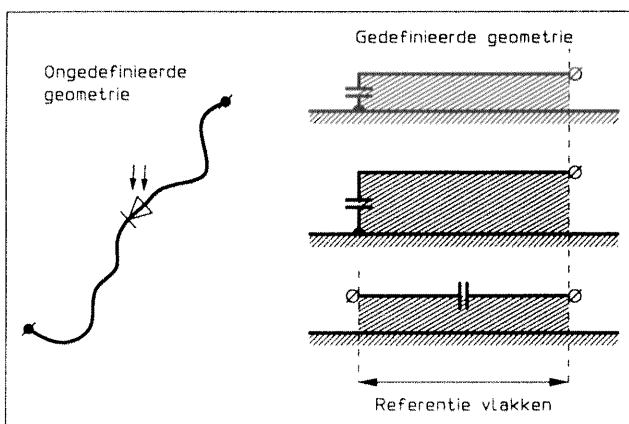
Om deze circuits te kunnen ontwerpen dienen vele component eigenschappen door meting bepaald te worden, hetzij om daaruit een model te extraheren, hetzij door de metingen in tabelvorm rechtstreeks te gebruiken in een circuitsimulator.

Aan de hand van een aantal voorbeelden van elektrisch-elektrische metingen (E/E) en optisch-elektrische metingen (O/E of E/O) zal een indruk gegeven worden van de ontwikkelomgeving zoals die op dit moment operationeel is bij PTT-Research.

### 1. ELEKTRISCHE IMPEDANTIE METINGEN

Een eerste voorbeeld is het bepalen van de impedantie van een laserdiode of een fotodiode. Bij lage frequenties is een fotodiode goed te benaderen door een capaciteit en heeft de wijze waarop deze in een schakeling gemonteerd is weinig invloed op die impedantie. Breedbandig gezien is de 'impedantie' zomaar ergens tussen de twee aansluitdraden een volstrekt ongedefinieerd begrip.

In figuur 1 zijn drie verschillende geometrieën getekend die allen verschillende impedanties bezitten bij gebruik van dezelfde condensator. Zowel de dikte van het printmateriaal als de keuze de condensator te aarden danwel te laten zweven heeft invloed. Om die reden is het zaak eenduidig



Figuur 1 Voor een breedbandige impedantiemeting dient de geometrie en de plaats van de meetvlakken eenduidig vastgelegd te worden.

vast te leggen op(tussen) welk(e) referentie vlak(ken) de impedantie bepaald moet worden. Wanneer de gekozen geometrie en het gebruikte printmateriaal niet lijkt op de wijze waarop straks de component gebruikt gaat worden, is de meting van beperkte waarde.

Hoe is zo iets nu in praktijk te meten? De verbinding (coax kabel) tussen referentie vlak en een impedantie meter zal immers altijd de meting verstoren.

De foto in figuur 2 laat een praktijksituatie zien van een impedantiemeting aan een fotodiode die tegen de rand van een epoxy print is gemonteerd. Gevraagd de impedantie van de fotodiode precies ter plekke van de rand van het printmateriaal.

De impedantiemeter zal een (verkeerde) waarde aanwijzen die dominant beïnvloed wordt door de printbaan, de aansluitkabel en de coaxiale connector. Wanneer de meting herhaald wordt met een andere impedantie in dezelfde configuratie zal wederom een systematische meetfout gemaakt worden. Wanneer dit minimaal met drie bekende impedanties gedaan wordt (bijvoorbeeld  $0 \Omega$ ,  $50 \Omega$  en  $\infty$ ) is het mogelijk die systematische fout te reconstrueren uit hetgeen de impedantiemeter heeft aangewezen. Door de gehele meting onder computerbesturing te plaatsen kan met die gegevens de gevraagde fotodiode impedantie gereconstrueerd worden.

Figuur 3 toont het resultaat van een dergelijke impedantie meting tot 3 GHz. Aan de amplitude en fase karakteristiek is te zien dat de impedantie zich over een groot frequentie interval capacitief heeft gedragen. Bij hoge frequenties zijn er resonantie effecten waar te nemen die zich goed laten beschrijven met het ernaast getekende empirische model. Doordat in figuur 3 twee grafieken over elkaar heen getekend zijn (van het empirische model en van de gemeten data) die zeer goed blijken samenvallen, is te zien dat het empirische model in staat is het gedrag van de fotodiode te beschrijven.

### 2. E/E IMPEDANTIE METINGEN IN BIJZONDERE GEVALLEN

In het voorgaande voorbeeld is er gebruik gemaakt van een universeel toepasbaar printplaatje met bijbehorende referentie impedanties waarop verschillende componenten gemonteerd kunnen worden voor meetdoeleinden. In veel gevallen is dit bruikbaar, maar in sommige gevallen is dit onmogelijk.

De foto in figuur 4 toont zo'n situatie: een laser module, waarbij de laserchip tweezijdig optisch toegankelijk is, een elektrische (microstrip) aansluiting heeft en waarvan de temperatuur met een Peltier element en voeler geregeld kan worden. Om deze laserchip tot boven 5 GHz te kunnen moduleren is het zaak de chipimpedantie over die bandbreedte aan te passen aan de microstrip transmissielijn.

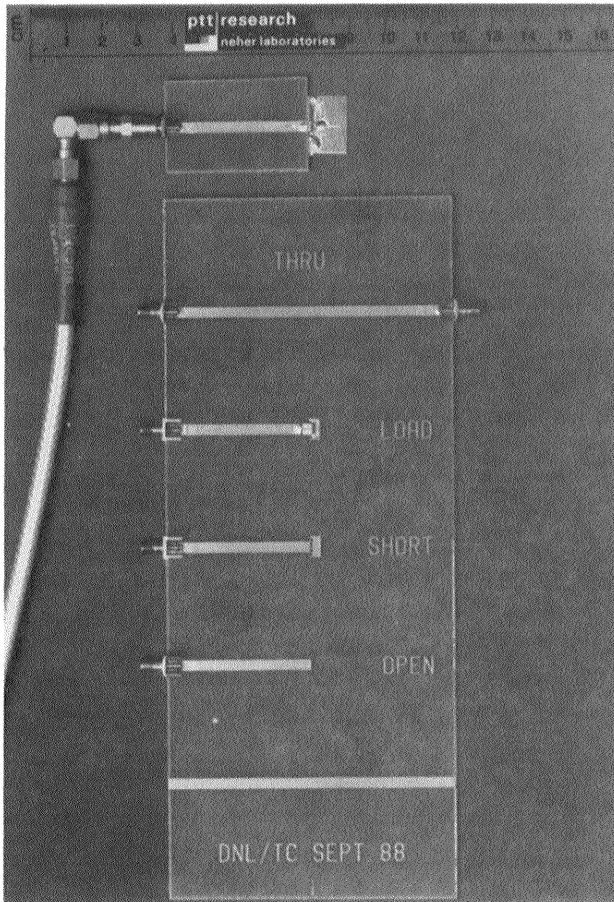


Foto 2 De impedantie van een fotodiode, gemonteerd tegen de rand van de bovenste printplaat kan bepaald worden door deze te vergelijken met drie bekende impedanties. De onderzijde is voorzien van een egaal aardvlak (Microstrip layout).

Om nu de chipimpedantie te meten in deze specifieke configuratie was het nodig, op basis van drie identieke printen de referentie impedanties te monteren op de plaats waar de laserchip gemonteerd is (zie foto in figuur 5). Op basis van een dergelijke impedantie meting kon een aanpasnetwerk berekend worden om de 50 ohm microstrip transmissielijn over de gewenste frequentieband lopend af te sluiten.

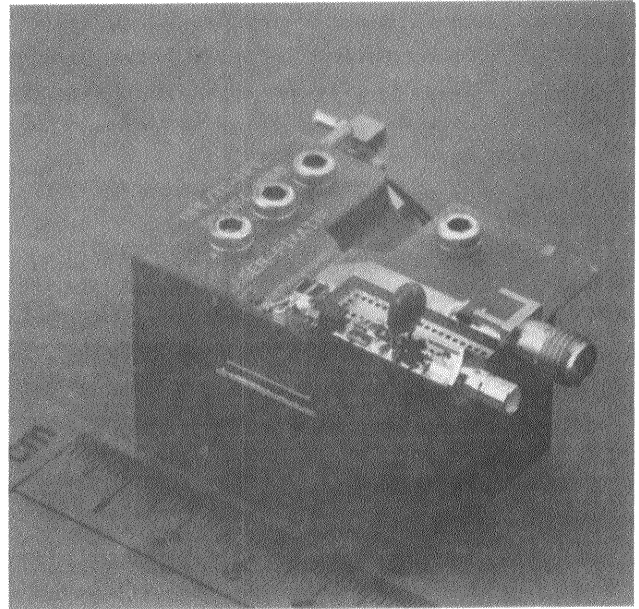
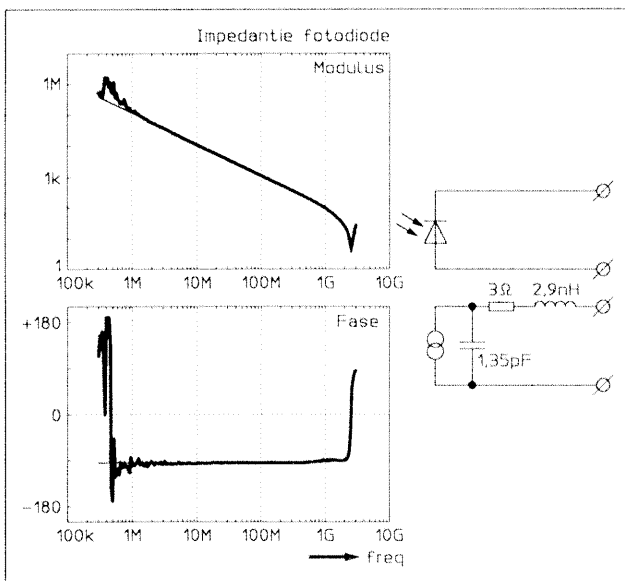


Foto 4 Voorbeeld van een breedbandige laser module.



Figuur 3 Twee impedantie grafieken over elkaar heen getekend, de gemeten impedantie en die van een empirisch model.

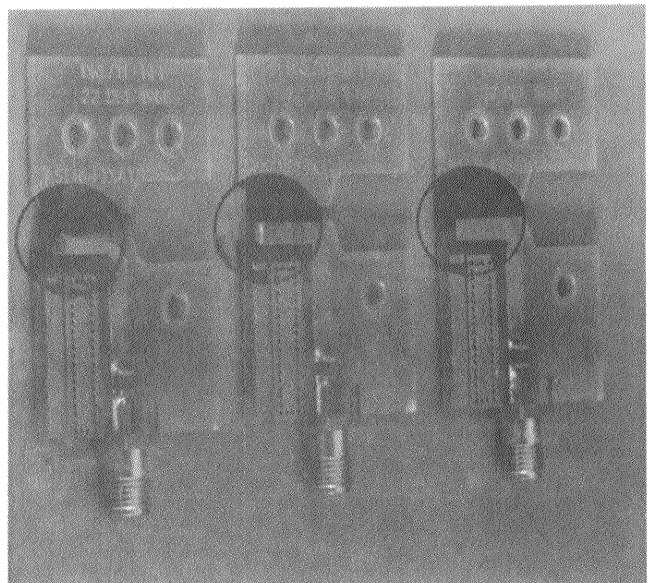


Foto 5 Op basis van de printlayout van een laser module is een calibratie set op maat geconstrueerd, met drie verschillende impedanties: een kortsluiting, een weerstand en een open uiteinde.

### 3. E/E TWEEPOORT OVERDRACHTSMETINGEN

Op dezelfde wijze als hiervoor beschreven kunnen in- en uitgangsimpedanties gemeten worden van bijvoorbeeld transistoren, en versterker IC's. De invloed van het meetsysteem op de meting van versterking en terugwerking kan eveneens rekenkundig geëlimineerd worden zodra de systematische fout bekend is. Deze afwijking is te meten met behulp van een ideale doorverbinding, met lengte nul. Alles wat het meetsysteem anders aanwijst dan een versterking van 1 maal is dan te wijten aan de meetopstelling en hieruit kan de bijbehorende systematische afwijking gereconstrueerd worden.

Wanneer de foutcorrectie volledig wordt uitgevoerd zijn er vier onafhankelijke (complexe) getallen per frequentie te meten die tezamen het lineaire gedrag van de transistor *volledig* kunnen beschrijven tussen twee goed gedefinieerde referentie vlakken. Dit heten tweepoortparameters.

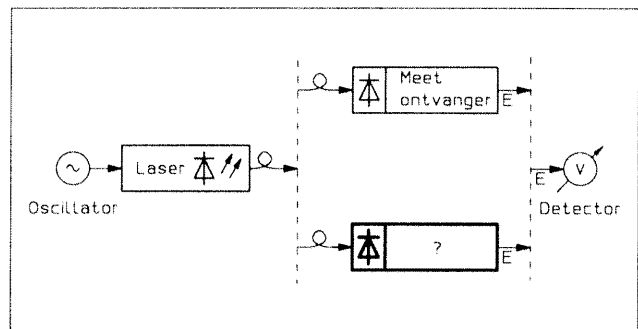
Een dergelijke volledige set tweepoortparameters is binnen een circuit simulator goed te combineren met modellen van eenvoudiger componenten zoals weerstanden, capaciteiten en transmissielijnen. Het gedrag van een te ontwerpen schakeling is dan goed te voorspellen.

Wanneer de invloed van de printlayout van een schakeling veroorzaakt dat simulatie en werkelijkheid onvoldoende overeenkomst vertonen dan kan, in hardnekkige gevallen, circuit stripping een uitkomst bieden (zie foto in figuur 6). In dat voorbeeld is een complete optische ontvanger (breedbandig tegengekoppeld over drie trappen tegelijk) in vier stukken geknipt. Vervolgens zijn de afzonderlijke versterker trappen en het tegenkoppelnetswerk tussen goed gedefinieerde referentievlakken gekarakteriseerd. In de simulator is er daarna weer een complete ontvanger van gemaakt. Door successievelijk steeds meer delen in de simulator stap voor stap te vervangen door modellen, en net zolang door te gaan totdat de simulatie teveel van de werkelijkheid blijkt te verschillen, is het probleem te localiseren.

### 4. O/E OVERDRACHTSMETINGEN

Zodra de elektronische zijde van een optische ontvanger gerealiseerd is, is het wenselijk de totale overdracht te meten, gerekend vanaf de optische ingang tot en met de elektrische uitgang. Wanneer deze wordt aangestuurd vanuit een optische zender (laser diode) met een frequentie onafhankelijke overdracht, is het probleem te reduceren tot een E/E overdrachtsmeting. Bij een paar GHz aan bandbreedte is dit vrijwel onmogelijk en kan de meetopstelling in figuur 7 gebruikt worden. De gevraagde karakteristiek kan gereconstrueerd worden door de totale gemeten E/E overdracht met de onbekende ontvanger te vergelijken met een identieke meting op basis van een meetontvanger met bekende frequentiekarakteristiek.

Deze methode is handig in gebruik, doch vereist een (eenmalige) karakterisatie van de meetontvanger. Figuur 8 toont twee methoden waarbij de E/O overdracht van de lasers geen rol meer spelen, en daardoor zeer geschikt zijn voor eenmalige calibratie van meetontvangers.



Figuur 7 Een overdrachtsmeting van optische ontvangers gebaseerd op een vergelijkende meting aan een meetontvanger met bekende overdracht.

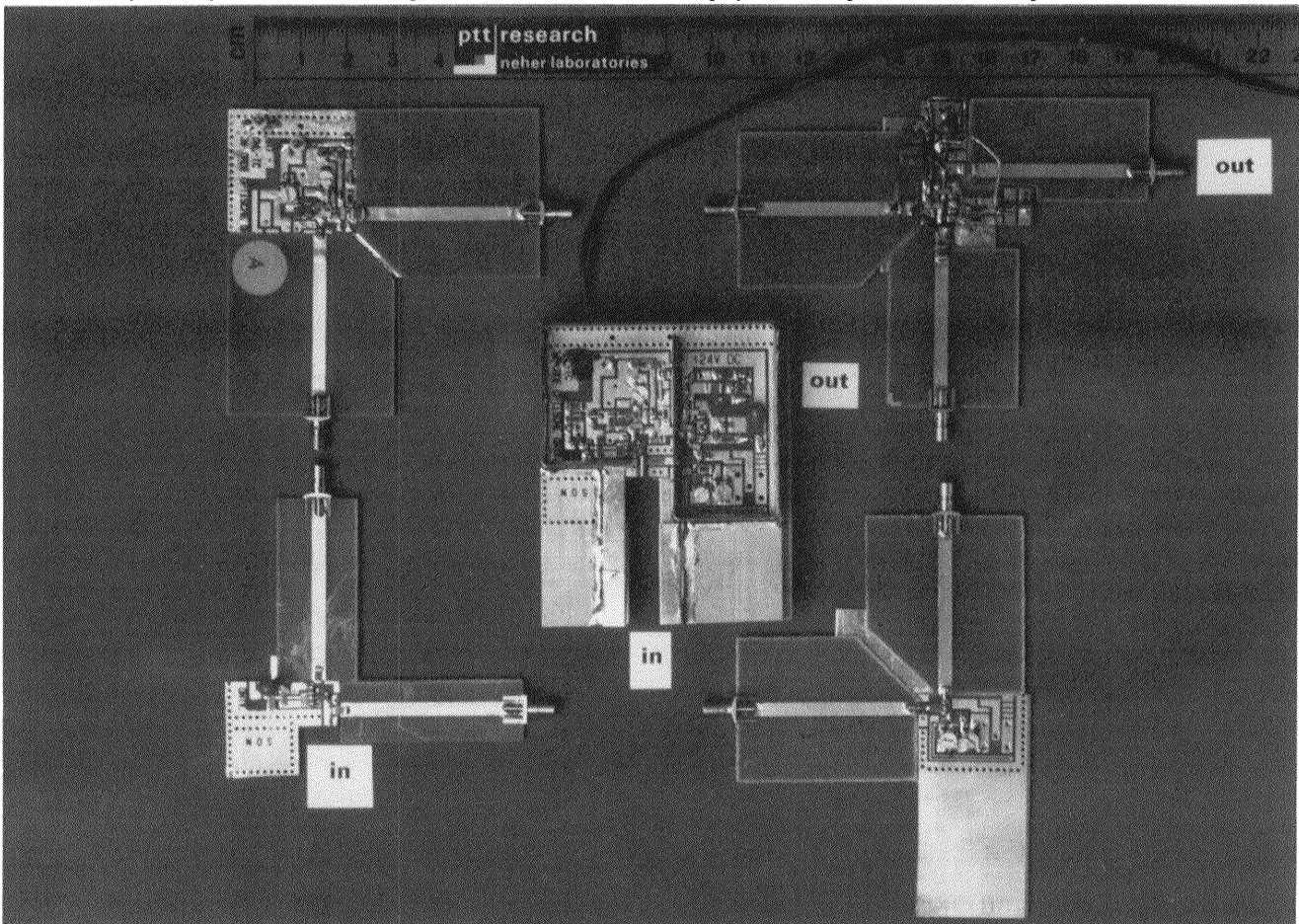


Foto 6 Een opgeknipte optische ontvanger om de afzonderlijke versterker trappen door te meten t.b.v. circuit stripping.