



M.H. Trompstraat 6  
3601 HT Maarssen  
The Netherlands  
Tel: + 31 (0) 346 284004  
Fax: + 31 (0) 346 283691  
Email: [info@totech.nl](mailto:info@totech.nl)  
Web: [www.totech.nl](http://www.totech.nl)  
KvK: 30169033  
BTW: NL1731.97.863.B.01

## **Cursus "Stabiliteit van Versterkers"**

### ***Inleiding.***

In veel systemen is in meer of mindere mate sprake van terugkoppeling, zowel gewenst als ongewenst. Gewenste terugkoppeling wordt in regelsystemen en versterkers gebruikt om een zeker gedefinieerd gedrag te verkrijgen (tegenkoppeling). Gewenste terugkoppeling wordt ook toegepast in oscillatoren (meekoppeling).

Ongewenste terugkoppeling ontstaat meestal door parasitaire koppeling tussen de in- en uitgang van een (deel)systeem. Zowel gewenste als ongewenste terugkoppeling kan overgaan in meekoppeling. Indien in het (deel)systeem voldoende versterking aanwezig is, kan instabiliteit ontstaan.

Om het ontwerp van analoge elektronische schakelingen beheersbaar te houden, worden bepaalde (parasitaire) effecten vaak buiten beschouwing gelaten (of over het hoofd gezien). Men gebruikt "snelle" componenten welke zich in de gewenste band gunstig gedragen. In een simulatie worden vaak niet alle effecten meegenomen (denk aan inductie en capaciteit van gedrukte bedrading). De gebruikte simulatiemodellen hebben een beperkte toepasbaarheid. Voor je het weet heb je te maken met een instabiele schakeling.

Instabiliteit kan zich op verschillende manieren uiten: verloop van gelijkstroominstelling (ontstaan van offset), verandering van overdracht, optreden van hysteresis, ontstaan van intermodulatieproducten, storing in eigen of andere systeemdelen (EMC), oververhitting, overstroom, etc. Voorkomen is beter dan genezen.

De praktijkgerichte cursus "Stabiliteit van Versterkers" verschaft u de kennis om in het ontwerpstadium instabiliteit te voorkomen, achteraf correctief te kunnen handelen en uw ontwerpsoftware en meetapparatuur optimaal in te zetten.

De cursus behandelt instabiliteit op een theoretisch praktische manier welke direct in uw werkpraktijk toepasbaar is. Dit geldt zowel voor de ontwerper van hoogfrequente als laagfrequente elektronica. Er wordt gebruik gemaakt van de theorie van de teruggekoppelde versterker en van de theorie van negatieve weerstand. Om de cursus voor breed publiek toegankelijk te houden, wordt geen gebruik gemaakt van S-parameters en Smith Charts.

Kortom als u zich bezighoudt met analoge elektronica, dan is deze cursus echt iets voor u.

De cursus kan uitgebreid worden met een module ontwerp van LC oscillatoren welke ingaat op ruisaspecten en omhullende instabiliteit in oscillatoren (het zogenaamde “motor boating”).

Voorafgaande aan de cursus kan een introductie complexe rekenwijze en LCR schakelingen gegeven worden. In deze introductie wordt u vertrouwd gemaakt met de in de cursus gebruikte begrippen.

### ***Voor wie is deze cursus bedoeld?***

Deze cursus is bedoeld voor mensen die zich bezighouden met analoge elektronica en meer wil weten over instabiliteit in versterkers en hoe men het kan voorkomen.

Ontwerpers van LF en vermogenselektronica hebben veel baat bij deze cursus. Zij beschikken meestal niet over specifieke HF meetapparatuur om “buiten de band” instabiliteit op te sporen maar gebruiken wel “snelle” componenten. Een BD 135 (LF medium power transistor) kan makkelijk parasitair oscilleren op een frequentie van meer dan 100 MHz.

### ***Leerdoelen.***

Na het volgen van deze cursus heeft u inzicht in: hoe instabiliteit (parasitair oscilleren) ontstaat en hoe u instabiliteit kan herkennen in praktische schakelingen. U bent in staat om in de ontwerp- en simulatiefase de kans op instabiliteit sterk te reduceren en u beschikt over diverse methoden om instabiliteit in bestaande schakelingen te elimineren.

Als tegenhanger van stabiliteit bent u in staat om, bijvoorbeeld, een 150 MHz oscillator te ontwerpen op basis van een BD135 (LF medium power bipolair transistor).

### ***Vereiste voorkennis?***

MBO+ of HBO opleiding. Echter iedereen die affiniteit of ervaring met analogo ontwerp heeft, kan meedoen.

U dient redelijk bekend te zijn met: het AC en DC gedrag van transistors en FET's, het gedrag van de drie basisschakelingen, begrippen met betrekking tot resonantiekringen (Q factor, bandbreedte en  $Z_0$ ) en versterkercircuits met OpAmp's. U dient eveneens bekend te zijn met complexe rekenwijze (voorstelling van complexe grootheden in een rechthoekig en polair assenstelsel, complexe overdracht complexe impedantie en admittantie, begrippen als;  $\text{Re}(Z)$ ,  $\text{Im}(Z)$ ,  $\text{arg}(Z)$ ,  $|Z|$ , etc.

Alle theorie wordt behandeld zonder gebruik te maken van S-parameters en Smith Charts. Er wordt nagenoeg geen gebruik gemaakt van differentiaalrekening. De cursus wordt in het Nederlands gegeven.

Is uw rekenvaardigheid niet (meer) voldoende? Dat is geen probleem. Voorafgaande aan de cursus kan een introductie complexe rekenwijze en LCR schakelingen gegeven worden. In deze introductie wordt u vertrouwd gemaakt met de in de cursus gebruikte begrippen.

## ***De opzet van de cursus:***

Deze cursus is sterk praktijkgericht van opzet. Het doel is immers om u te voorzien van praktisch toepasbare kennis waarmee u een elektronische schakeling kan ontwerpen die zich volgens specificatie gedraagt. De theorie wordt met voorbeelden ondersteund. Veel van de gebruikte voorbeelden zijn gebaseerd op ervaringen uit de eigen advies- en ontwerppraktijk.

Er wordt vanuit gegaan dat u in uw werk gebruik maakt van simulatie. Het is wenselijk, doch niet vereist, dat u kunt beschikken over een computer met daarop een circuit simulatieprogramma dat beschikt over tijddomein en klein-sigitaal analyse en modellen van enkele gangbare transistors en (MOS)FET's. Een SPICE derivaat is zeer geschikt (eventueel een "demo" of "light" versie). De docent maakt gebruik van B2 SPICE A/D V4 Professional (Beige Bag software).

De cursus maakt gebruik van de theorie van teruggekoppelde versterkers en de theorie van negatieve weerstand. De theorie van teruggekoppelde versterkers geeft inzicht in de materie, beoordeling van het impedantieverloop is een effectief middel om uw ontwerpideeën te beproeven.

## **De cursus is als volgt opgebouwd:**

### *Inleiding terugkoppeling, stabiel en instabiel gedrag.*

Behandeling van de teruggekoppelde versterker op systeemniveau en de voorwaarden voor stabiliteit. Er wordt veel aandacht besteed aan het herkennen van instabiliteit aan de hand van Polaire Plots en Bode Plots. De theorie wordt toegepast op enkele OpAmp circuits.

Begrippen en onderwerpen welke aan bod komen: unity gain (in)stabiliteit, phase margin, Bode en Polaire Plots, loop gain, indirecte gevolgen van instabiliteit, relatie tussen phase margin een pulsrespons, gevolgen van capacatieve belasting, gevolgen van ingangscapaciteit, "DC" instabiliteit, het "current feedback" principe, "gevaren" van klein-sigitaal analyse, waar men op moet letten bij het onderbreken van de terugkoppellus t.b.v. meting of simulatie, fasecompensatie ter verbetering van de stabiliteit, bijzondere circuits welke instabiel lijken maar toch stabiel zijn.

### *Negatieve weerstand in circuits.*

Behandeling van de stabiliteit van circuits aan de hand van de analyse van impedantie als functie van de frequentie. Ook hier wordt veel aandacht besteed aan het herkennen van instabiliteit maar dan aan de hand van de impedantieplots. De theorie wordt toegepast op diverse praktische circuits.

Begrippen en onderwerpen welke aan bod komen: behandeling concept negatieve weerstand en relatie met de loop gain methode, praktisch toepasbare criteria ter beoordeling van de stabiliteit aan de hand van het impedantieverloop, het gebruik van de methode in de simulatiepraktijk (waar dient men de stroom- of spanningsbron te plaatsen), gevolgen van demping tussen het meetpunt en de actieve component(en).

Op dit punt aangekomen kunnen de cursisten door middel van simulatie (en evt. meting) bepalen in welk frequentiegebied instabiliteit optreedt, of dat sprake is van een reële kans op instabiliteit.

### *Stabiliteitsvoorwaarden voor de drie basisschakelingen.*

Het klein-sigitaal vervangingschema van de Transistor en FET wordt behandeld. Vervolgens wordt de stabiliteit van de drie basisschakelingen behandeld en enkele mengvormen die minder stabiel zijn.

Begrippen en onderwerpen welke aan bod komen: klein-sigitaal model Bipolaire Transistor, relatie met relevante parameters uit het Gummel Poon model, relatie met modellen van FET's, bepaling van de voor stabiliteit relevante parameters d.m.v. simulatie en meting ( $C_{c'b'}$ ,  $C_{b'e'}$ ,  $r_{b'e'}$ , etc), veel voorkomende parameter extractiefouten, nut van  $f_t$  (transition frequency) en Collector Base time constant, stabiliteit van CE, CC en CB schakeling gezien vanuit de ideaal gemaakte transistor aan de hand van de loop gain methode, invloed Q factor van belasting op de stabiliteit (methode negatieve weerstand), CE schakeling met laagohmige emitterbelasting, CB schakeling met laagohmige basisbelasting, niet lineair gedrag (verzadigingsverschijnselen en klasse B en C versterking, simulatietips)

### *Parasitaire effecten in componenten.*

Behandelt de invloed van parasitaire effecten van componenten op de stabiliteit en hoe de nadelige invloed te beperken is. Ook hier staat de praktijk voorop. De voorbeelden hebben betrekking op LF en HF (tot ongeveer 5 GHz).

Begrippen en onderwerpen welke aan bod komen: parasitaire capaciteit, weerstand en zelfinductie van componenten en elektrische structuren, inschatten van parasitaire effecten, modellering t.b.v. simulatie, strategie met betrekking tot het aanbrengen van reëel deel (weerstand), reduceren van parasitaire resonantie, afsluiting van de actieve component voor buiten de band frequenties, gebruik van diplexers, invloed op ruisgedrag, de invloed van EMC maatregelen op stabiliteit, binnen de band en buiten de band instabiliteit.

### *Bepalen van instabiliteit in praktische schakelingen en simulatietips.*

Behandelt hoe men instabiliteit op het spoor komt in die gevallen waarbij het niet direct blijkt. Hierbij wordt ook rekening gehouden met het feit dat niet iedereen over een spectrum analyzer of snelle oscilloscoop beschikt. Dit aspect is van belang voor ontwerpers die transistors met  $f_t > 500$  MHz gebruiken in relatief laagfrequentie circuits.

Begrippen en onderwerpen welke aan bod komen: diode probes, meting van DC instelling bij AC belastingsvariaties, ontstaan van hysteresis, het handeffect, vaak toegepaste meetmethoden met verhoogde kans op instabiliteit, Op gang helpen van de oscillatie d.m.v stimuli (bronnen en initial conditions), modificatie schema t.b.v. stabiliteitsbepaling niet lineaire circuits (bijv klasse B versterkers), keuze stapgrootte (frequentie en tijddomein).

Het cursusmateriaal bestaat uit afdrukken van sheets en tekst en schema's van de behandelde voorbeelden, aangevuld met voorbeelden welke behandeld zijn naar aanleiding van vragen. De simulatieschema's zijn in elektronische vorm beschikbaar.

De cursus kan worden afgesloten met een examen.

### **Locatie, data en aantal deelnemers.**

De cursus wordt uitsluitend in-company gegeven. Het programma kan aangepast worden aan de specifieke wensen van uw organisatie. De cursus kan zowel overdag als in avonden gegeven worden.

Afhankelijk van het uiteindelijke programma, de gewenste diepgang en de voorkennis van de groep, zijn 2 tot 4 dagen benodigd, eventueel verdeeld over meerdere dagdelen. Voor de introductie complexe rekenwijze dient u één dag uit te trekken.

De voorkeur gaat uit naar spreiding van de cursus over meerdere weken. Dit is om de cursisten de gelegenheid te geven te experimenteren met de opgedane kennis (simulatie of schakeling bouwen). Er wordt aanbevolen om de cursusgroep uit maximaal 10 personen te laten bestaan.

### **Kosten.**

De kosten bedragen in orde van E 850,-- per volledige cursusdag (excl. kosten van vervoer), vermeerderd met eenmalig E 45,-- per cursist.

De volgende kortingsregeling is van toepassing (excl. kosten van vervoer):

3 cursusdagen kosten E 2295,-- (u betaalt 2.7 dagen i.p.v. 3 dagen)

4 cursusdagen kosten E 2890,-- (u betaalt 3.4 dagen i.p.v. 4 dagen)

De definitieve prijs wordt in overleg vastgesteld. Indien een programma van 3 dagen opgesteld wordt voor 4 personen, bedraagt de kostprijs in orde van E 650,--/persoon.

### **Geïnteresseerd?**

Neem dan contact op met TeTech, Telefoon 0346 284004. U kunt ook faxen naar 0346 283691 of mailen naar [info@totech.nl](mailto:info@totech.nl).

Deze cursus bestrijkt slechts een gedeelte van de binnen TeTech aanwezige expertise. TeTech kan ook uw opleidingswensen vervullen op het gebied van bijvoorbeeld Antennes, Propagatie en Signaaltheorie.

Augustus 2009, V1.3.