



M.H. Trompstraat 6
3601 HT Maarssen
The Netherlands
Tel: + 31 (0) 346 284004
Fax: + 31 (0) 346 283691
Email: info@totech.nl
Web: www.totech.nl
KvK: 30169033
BTW: NL001961734B19

Cursus "Ruis en Stabiliteit in elektronische circuits"

Inleiding.

In veel systemen is in meer of mindere mate sprake van terugkoppeling, zowel gewenst als ongewenst. Gewenste terugkoppeling wordt gebruikt in regelsystemen, versterkers en oscillatoren. Ongewenste terugkoppeling kan zeer vervelend zijn, vooral als het in eerste instantie niet opvalt, of slechts af en toe optreedt. Daarnaast heeft terugkoppeling ook invloed op het ruisgedrag van (elektronische) systemen.

Door vraag uit de markt zijn de cursussen "Frequentiespectrum en Ruis" en "Stabiliteit van Versterkers" samengevoegd tot de nieuwe cursus "***Ruis en Stabiliteit in elektronische circuits***".

Met het steeds "sneller" worden van elektronische componenten, kunnen teruggekoppelde circuits worden gebouwd die voorheen niet mogelijk waren. De keerzijde van snelle componenten is dat parasitaire effecten (printsporen, parasitaire capaciteit en inductie) een belangrijke of zelfs overheersende rol kunnen spelen.

Bij gebruik van snelle componenten kan instabiliteit optreden ver buiten de gewenste frequentieband. Het gevolg kan zijn: 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.

De praktijkgerichte cursus "Ruis en Stabiliteit in elektronische circuits" verschaft u de kennis om in het ontwerpstadium zo snel mogelijk tot het gewenste gedrag te komen, achteraf correctief te kunnen handelen, en uw ontwerpsoftware en meetapparatuur optimaal in te zetten.

De cursus behandelt ruis en terugkoppeling 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 terugkoppeling op basis van fysieke modellen van componenten. Daardoor is deze cursus niet geschikt voor mensen welke (teruggekoppelde) systemen ontwerpen m.b.v. de Smith Chart (zoals gebruikelijk is in het microgolfgebied).

De cursus maakt gebruik van complexe rekenwijze. Mocht u dit niet beheersen, of is het wat weggezakt, dan is dat meestal geen probleem. Voorafgaande aan de cursus kan een introductie complexe rekenwijze en LCR schakelingen worden gegeven. U bent dan prima voorbereid.

De cursus kan uitgebreid worden met:

- Ontwerp LC-oscillatoren (ruisaspecten en omhullende instabiliteit in oscillatoren (het zogenaamde "motor boating")).
- Transmissielijntheorie (van belang voor HF ontwerp) en modellering in SPICE.
- Stabiliteit in geschakelde versterkers (bijv geschakelde voedingscircuits).

Voor wie is deze cursus bedoeld?

Deze cursus is bedoeld voor:

- Elektronica ontwerpers (DC, LF en HF, discreet en/of met OpAmp's),
- Ontwerpers van teruggekoppelde systemen waarbij zich in de loop ook mechanica kan bevinden.

Leerdoelen.

Na het volgen van deze cursus heeft u inzicht in:

- Begrippen m.b.t. ruis (ruisdichtheid [W/Hz, V/ $\sqrt{\text{Hz}}$], ruisgetal F, S/N verhouding, statistische eigenschappen van ruis, ruisbandbreedte, etc), ontstaan van ruis, soorten ruis (hagelruis, thermische ruis, 1/f ruis, burst ruis, etc),
- ruisspecificatie van componenten (transistors, OpAmp's, weerstanden, etc), ruis in smalbandige systemen (amplitude- en faseruis), meten van ruis, invloed van bandbreedte, meettijd en ruis op meetnauwkeurigheid,
- Terugkoppeling en stabiliteit (op basis van Bode en Nyquist diagram),
- Overdracht van veel voorkomende functies (eerste orde en tweede orde) en gebruik van P- en D- elementen in de loop om het gedrag van het teruggekoppelde systeem te verbeteren,
- In- en uitgangsimpedantie van teruggekoppelde systemen,
- Het gebruik van een regellus binnen een regellus,
- Bepalen van parasitaire effecten (printsporen, capaciteit, inductie, etc) en hun invloed op de loop gain,
- Hoe de simulator handig te gebruiken.

Vereiste voorkennis?

Eenieder met een technische MBO-opleiding met wiskunde (incl. complexe getallen) of technische HBO-opleiding en kennis van elektronica, heeft in principe voldoende voorkennis. Nadere specificatie vereiste voorkennis:

- Parate kennis van algebra en de functies Cos, Sin, Tan, e^x , 10^x , Ln, Log en dB's,
- Concept differentiëren en integreren (het gaat om het begrip van wat de bewerkingen doen, parate rekenvaardigheid is niet vereist),
- Parate kennis van Complexe Rekenwijze ($a+jb$, $\text{Arg}(Z)$, $|Z|$, complexe frequentie, gebruik van toegevoegd complexe waarde),
- Kunnen rekenen aan eenvoudige RLC netwerken (eerste en tweede orde LPF, HPF en BPF, begrip Q-factor van resonantiekeringen, begrippen impedantie en admittantie),
- Gedrag van transistors (BJT en FET vervangingschema, de drie basisschakelingen [CE, CB en CC]) en OpAmp's.
- Kennis van de door u gebruikte simulator, de cursusleider gebruikt B2 SPICE A/D V4 Professional (Beige Bag software).
- Redelijke kennis Engelse taal.

Kennis van Laplace transformatie (S-vlak) en/of Fourier transformatie is een pré, maar is niet vereist.

Het idee achter polen en nulpunten wordt behandeld tijdens de cursus zodat literatuur van anderen makkelijker toegankelijk is (indien overeengekomen).

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.

Tijdens het simuleren wordt veelvuldig gebruik gemaakt van functionele blokken zoals multipliers, summers, slew rate limiters, output limiters, arbitrary behavioral voltage sources, etc Het is wenselijk dat u deze functionele blokken kunt gebruiken voordat met de cursus begonnen wordt.

Rekenvaardigheid niet (meer) voldoende of wat weggezakt?

Dit is meestal geen probleem. Voorafgaande aan de cursus kan een introductie complexe rekenwijze, LCR schakelingen en dB's worden gegeven, eventueel met polen en nulpunten. In deze introductie wordt u vertrouwd gemaakt met de in de cursus gebruikte begrippen zodat u goed voorbereid aan de cursus kunt beginnen.

Indien meerdere deelnemers onvoldoende rekenvaardig zijn, kan de introductie rekenvaardigheid volledig worden geïntegreerd.

De opzet van de cursus:

Deze cursus is sterk praktijkgericht. Het doel is immers om u te voorzien van praktisch toepasbare kennis waarmee u een elektronische schakeling kan ontwerpen die zich volgens specificatie gedraagt.

Een simulator is geen vervanging voor begrip, maar kan de hoeveelheid rekenwerk sterk verminderen waardoor er tijd beschikbaar is om op voorbeelden en uitdagingen in te gaan. De voorbeelden kunnen bij TeTech vandaan komen, maar ook door u worden aangedragen.

Het is wenselijk dat u kunt beschikken over een computer met daarop een circuit simulatieprogramma dat beschikt over tijddomein en klein-signaal analyse en modellen van enkele gangbare transistors en (MOS)FET's. Een SPICE derivaat is zeer geschikt (eventueel een "demo" of "light" versie, of bijv. LTSPICE). De docent gebruik B2 SPICE A/D V4 Professional (Beige Bag software).

Cursusprogramma

De cursus bestaat uit grofweg uit 4 delen

1. Signaal- en ruisbeschrijving, systeembeschrijving, complexe rekenwijze,
2. Breedband- en smalbandruis in elektronische systemen,
3. Teruggekoppelde systemen,
4. parasitair gedrag van elektronische componenten.

De 4 delen zijn als volgt opgebouwd:

Signaal- en ruisbeschrijving, complexe rekenwijze.

Signaalbeschrijvingen:

Gemiddelde en effectieve waarde van AC en DC signalen, Sinusvormige signalen (fase, amplitude, I&Q), vermogen, dB's, cumulatief vermogensspectrum, spectrale vermogensdichtheid (W/Hz, V/ $\sqrt{\text{Hz}}$, A/ $\sqrt{\text{Hz}}$)

Overdracht en complexe rekenwijze:

Complexe rekenwijze (achterliggende gedachte, Mod(Z), Arg(Z), Re(Z), Im(Z), exponentiële notatie, complexe frequentie, vermogen), Impedantie en complexe rekenwijze, overdrachtsfuncties (H(j ω), Bode diagrammen, integratie, differentiatie), Polen en Nulpunten.

Ruis:

Oorsprong ruis, wat is ruis?, Breedbandruis (W/Hz, V/ $\sqrt{\text{Hz}}$, A/ $\sqrt{\text{Hz}}$, statistische verdeling), smalbandruis (faseruis, amplituderuis, I&Q ruis, statistische verdeling, ruisbandbreedte), rekenregels voor ruis (coherent versus niet coherent), meten aan ruis en meetnauwkeurigheid t.g.v. ruis, smalbandige ruis op oscilloscoop.

Ruis in elektronische systemen

Ruis in componenten:

Thermische ruis, electron ruis (shot noise), 1/f ruis, 1/f stroomruis (in (lek)weerstand), Burst ruis, man made noise, maximaal ruisvermogen, ruisgetal.

Rekenen met ruis:

Ruis in transistors en FET's (transistormodel met stroom- en spanningsruis), ruisspecificatie door fabrikanten, terugrekenen ruisbronnen naar ingang versterker (onder andere Blakesley Transformatie). Ruisversterking (Noise Gain) versus signaalversterking (Signal Gain).

Teruggekoppelde systemen.

Terugkoppeling (gain blok met feedback blok):

Basisprincipe (A_u , feedback, k_i , k_u), invloed componenttolerantie, serie en parallel feedback, Ruisgedrag ten gevolge terugkoppeling. Terugkoppeling met verliesvrije componenten (transformator), In- en uitgangsimpedantie, terugkoppeling en vervorming.

Stabiliteit:

Parasitaire effecten in componenten en circuits en gevolgen voor overdracht, Nyquist en Bode plots, oscilleervoorwaarde, phase margin en overshoot, creëren van dominante pool, verschuiven ongewenste polen, pole splitting, gebruik van P- en D-elementen in terugkoppelnetwerken, impulsrespons, feed forward principe, meerdere terugkoppellussen.

uitwerking transimpedantieverstker (parallel feedback) en buffer (series feedback).

Parasitaire effecten.

Instabiliteit op transistorniveau en negatieve weerstand.

Concept negatieve ingangswaerstand, oscilleervoorwaarde, invloed van bron- en belastingsimpedantie op de stabiliteit (voorwaardelijke en onvoorwaardelijke stabiliteit), invloed "onzichtbare" parasitaire effecten op stabiliteit van transistor (parasitaire inductie en capaciteit), stabiel krijgen/houden van CE, CC en CB schakelingen, keuze transistor (supersnel, of minder snel), indirect herkennen van instabiliteit.

Toelichting eigenschappen transistoren

f_t en diffusiecapaciteit (Totale BE capaciteit t.g.v. ruimtelading en collectorstroom), maximale oscillatiefrequentie en $R_{bb'}$ en $C_{cb'}$, gedrag CB-diode, relatie met Gummel-Poon model, vaak voorkomende fouten in spice-modellen, equivalente f_t van (MOS)FET.

snelle schakelingen en niet lineaire effecten.

Cascode, differential (long tail) pair, bootstrapping, BC diode verzadiging bij transistoren, slew rate begrenzing en gevolgen op stabiliteit,

Parasitaire effecten en simulatie.

Parasitaire effecten van bijv. printsporen, modelleren van parasitaire effecten in SPICE en tips m.b.t. simuleren van loop gain, stabiliteit, etc.

Cursusmateriaal

Het cursusmateriaal bestaat uit overwegend Nederlandstalig materiaal dat speciaal voor deze cursus is gemaakt (ongeveer 230 pagina's). Het overgrote deel is geschikt als naslagmateriaal. De simulatieschema's zijn in elektronische vorm beschikbaar.

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 5..8 dagen benodigd, eventueel verdeeld over meerdere dagdelen. De introductie complexe rekenwijze duurt één tot twee dagen.

De voorkeur gaat uit naar spreiding van de cursus over meerdere weken waardoor cursisten de tijd hebben om de stof te verwerken. Er wordt aanbevolen om de cursusgroep uit maximaal 10 personen te laten bestaan.

Kosten.

De kosten bedragen een vast bedrag in orde van €1000,-- plus €850,-- per volledige cursusdag (excl. kosten van vervoer). Het vaste bedrag varieert afhankelijk van de tijd die nodig is voor aanpassingen/aanvullingen op de cursus.

De definitieve prijs wordt in overleg vastgesteld. Indien een programma van 6 dagen opgesteld wordt voor 5 personen, bedraagt de kostprijs in orde van €1200,--/persoon.

Geïnteresseerd?

Neem dan contact op met TeTech, telefonisch via 0346 284004 of via wimtel@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 Antenneontwerp en Propagatie.

December 2019, V1.1.