



M.H. Trompstraat 6  
3601 HT Maarssen  
Tel: 0346 284004  
Fax: 0346 283691  
E-mail: info@totech.nl

## **Cursus "Spoelen en Transformatoren".**

Deze cursus bevindt zich in de ontwerpfase en is daardoor nog niet leverbaar. Het programma zal worden aangepast naar aanleiding van input van geïnteresseerden. Uw input wordt zeer op prijs gesteld.

### **Inleiding.**

In veel elektronische apparatuur komt men "inductieve componenten" tegen. Hierbij kan men denken aan: signaaltransformatoren, spoelen in filters, transformatoren en (opslag)spoelen in schakelende voedingen (switched mode power supplies), schakelende inverters (Electronic Ballast, DC/AC converters, lasapparaten), common mode en differential mode spoelen/transformatoren ter verkrijging van EMC, spoelen in RF netwerken, spoelen in inductieve antennes (RFID, veldsensoren), etc.

Er is een grote verscheidenheid aan uitvoeringsvormen, te denken valt aan: meer- of enkellaag luchtspoelen, spoelen met ferriet- of ijzerkern (E-, EFD-, ring-, RM- kernen, etc), spoelen en transformatoren in de vorm van gedrukte bedrading op de print, etc.

Ondanks dat spoelen en transformatoren in veel elektronische circuits te vinden zijn, is bij veel ontwerpers en inkopers de kennis weggezaakt of onvoldoende om een goede keuze te maken, de componenten te ontwerpen of te specificeren. Sommige ontwerpers ervaren spoelen als een bijzonder lastig iets. Dit kan zelfs zover gaan, dat men het gebruik van spoelen omzeilt, terwijl een inductieve component commercieel en technisch gezien op zijn plaats zou zijn.

Gebruikt u inductieve componenten in uw ontwerp, bent u betrokken bij het ontwerp, de specificatie of selectie van spoelen en transformatoren? Zo ja, dan is de cursus "spoelen en transformatoren" iets voor u.

De cursus "Spoelen en Transformatoren" behandelt Magnetisme, Spoelen en Transformatoren op een praktisch theoretische manier. Er wordt gebruik gemaakt van het "Course & Go" concept. Dit concept combineert Advies, Ontwerp en Opleiding. Voor u betekent het dat die zaken behandeld worden, welke u nodig heeft. Als uw inductieve componenten gebruikt worden in vermogenstoepassingen, dan wordt u niet "lastig gevallen" met het ontwerp van inducties op basis van Microstrip Lines. In geval van inductieve antennes (bijv RFID readers) kunnen magnetische materialen (ferrieten, en ferrometalen) veelal minder diepgaand behandeld worden.

Voorafgaande aan de cursus kan een introductie complexe rekenwijze, differentiëren en integreren worden gegeven. Deze introductie is geen vervanging voor een cursus

hogere wiskunde, maar maakt u wel vertrouwd met de voor deze cursus benodigde wiskundige kennis.

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

Deze cursus is bedoeld voor eenieder die tijdens het werk te maken heeft met het ontwerpen, selecteren en specificeren van spoelen en/of meten en opwekken van magnetische velden.

### **Leerdoelen.**

Na het volgen van deze cursus:

- Bent u bekend met magnetisme en (zelf)inductie.
- Kent u de in de praktijk gebruikte begrippen.
- Bent u bekend met de wijze van specificeren van kernmaterialen.
- Heeft u inzicht in de eigenschappen van "echte" spoelen (parasitaire effecten)
- Kunt u spoelen en transformatoren (met of zonder ferrietkern) ontwerpen.
- Bent u bekend met veiligheidsaspecten (indien spoelen toegepast worden in vermogenselektronica, wordt niet uitputtend behandeld).

### **Vereiste voorkennis?**

Cursisten dienen bijvoorkeur een MBO (met wiskunde) of HBO denkniveau te hebben. Cursisten dienen bekend te zijn met:

- Algebra en goniometrische functies
- Complexe Rekenwijze ( $a+jb$ ,  $|Z|$ ,  $\text{Arg}(Z)$ , etc)
- Idee achter integreren/differentiëren
- Concept van velden en stroming (E- en H-Veld, fluxdichtheid, etc)
- 2D voorstellingen van 3D problemen

Er wordt weinig gebruik gemaakt van differentiaalrekening. De cursus wordt in het Nederlands of Engels gegeven.

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

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

Deze cursus maakt gebruik van het "Course & Go" principe. Het accent ligt op uw toepassing van inductieve componenten. In de meeste gevallen, worden alleen die zaken behandeld welke van toepassing zijn op uw probleem.

Het is wenselijk, doch niet vereist, dat u kunt beschikken over een computer met daarop een circuit simulatieprogramma dat beschikt over tijddomein- en kleinsignaalanalyse. 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 cursusinhoud.

#### *Inleiding velden en aanverwante begrippen.*

In dit deel wordt het concept van velden behandeld, verwante begrippen en het elektrisch veld (scalair en vectorveld, veldsterkte, veldlijnen, potentiaal, flux, fluxdichtheid, continuïteit van flux en discontinuïteit van veldsterkte, lijn- en kringintegralen, (an)isotropie, etc). De uitleg wordt ondersteund met voorbeelden uit de elektrotechniek en stromingsleer.

Behandeling van elektrisch veld (aan de hand van vlakke plaat condensator), relaties worden gelegd tussen veldgerelateerde grootheden ( $E$ ,  $D$ ,  $\epsilon$ , etc) en component-gerelateerde grootheden ( $Q$ ,  $U$ ,  $I$ , capaciteit, etc).

#### *Het magnetisch veld I, (homogeen medium, spoel van één winding).*

Het magnetisch veld wordt behandeld op nagenoeg gelijke manier als het elektrische veld, uitgaande van een spoel met één winding (Magnetische veldlijnen, koppel/kracht werking [Kompasnaald], Flux, B-veld, H-veld, fluxdichtheid, permeabiliteit). Net als in geval van het elektrisch veld, wordt een directe relatie gelegd tussen veldgerelateerde grootheden ( $H$ ,  $B$ ,  $\mu$ , etc) en componentgerelateerde grootheden ( $V$ -s-product,  $I$ , magnetische spanning [integraal  $H \cdot dl$ ], Zelfinductie,  $R_m$ , etc) zodat men inzicht krijgt in de invloed van geometrie op zelfinductie.

Tot slot wordt in dit deel ingegaan op materiaalovergangen (bijv lucht/ferriet) en wordt een begin gemaakt met het bepalen van (zelf)inductie.

#### *Het magnetisch veld II, (superpositie van velden, meerdere windingen).*

In dit deel wordt dieper ingegaan op hoe het veld er ruimtelijk uitziet en waarom: Biot en Savart wet, principe bepaling magnetisch veld aan de hand van stroomverdeling en superpositie van velden, zelfinductievermeerdering, Magnetisch moment, krachtwerking ( $F = q \cdot v \cdot B$ ,  $E = v \cdot B$ ,  $F = I \cdot l \cdot e \cdot B$ ), opgeslagen energie. Tot slot wordt de veldverdeling van diverse constructies behandeld (lussen, korte en lange draden, lange rechte spoel, toroïde).

Magnetische materialen (zowel hard als zacht).

Magnetische materialen wordt uitgelegd aan de hand van microscopische magneetjes met zeker magnetisch moment en zekere weerstand tegen verdraaien. Er wordt niet ingegaan op de metallurgische aspecten.

De volgende begrippen komen aan bod: groot- en kleinsignaal hysteresislus, permeabiliteit, complexe permeabiliteit ( $\mu'$ ,  $\mu''$ , impedantiepermeabiliteit), verzadigingsveldsterkte, coërcitieve veldsterkte, remanent en permanent magnetisme, magnetostrictie, disaccommodatie, invloed van voormagnetisatie (DC stroom), kernverliezen, invloed van temperatuur op materiaaleigenschappen, eigenschappen en toepassingsgebieden van diverse kernmaterialen (Ferriet, amorphous metal, gelamineerde kernen, poederijzer).

*Inductie, zelfinductie en gebruikte begrippen in relatie tot spoelen.*

AC gedrag van spoel bestaande uit een winding, Principe van (wederzijdse) inductie, flux koppelfactor, effect van meer windingen op flux en zelfinductie, kortgesloten windingen, skineffect, proximity effect, AC & DC zelfinductie, Q-factor, eigenresonantie, schijnbare zelfinductie, etc.

Behandeling van diverse standaardformules om zelfinductie uit te kunnen rekenen. Daar waar het wiskundig gezien niet te gecompliceerd is, worden formules afgeleid of aannemelijk gemaakt (zelfinductie lange rechte spoel, toroïde, spoelen op E-kernen [met en zonder luchtspleet], strip dicht bij grondvlak, printsporen, tweedraadsgeleiders, etc).

*Magnetische circuits en transformatoren.*

Dit hoofdstuk is volledig gewijd aan spoelen en transformatoren op kernmateriaal. Aan bod komt: Wet van Hopkinson, nullast zelfinductie, spreidingszelfinductie, kernverzadiging, magnetische weerstand, effect van luchtspleten (maximale stroom, tolerantie op zelfinductie, lineariteit, etc), DC door transformator, nuttig gebruik van lekflux (lektransformator), spoelen voor filters, spoelen voor energieopslag, meetmethoden ter bepaling van transformatorparameters. De te behandelen voorbeelden en meetmethoden worden in overleg met de klant bepaald.

In dit deel wordt ook aandacht besteed aan veiligheid (basisbegrippen isolatie [enkel, dubbel, versterkt], overspanningsklassen, foutsituaties, minimale isolatieafstand en kruipafstand, thermische overbelasting, thermische beveiligingen).

*Parasitaire effecten en verwante begrippen*

Correctie op berekening van luchtspleten (fringing effect), Lekbuiten de kern om, verliezen t.g.v. lekflux uit luchtspleet, wikkelmethode t.b.v. lage spreidingszelfinductie en proximity-verliezen, modellering t.b.v. simulatie.

*Spoelen t.b.v. EMC en ont koppeling.*

Basisprincipes ont koppeling (Differential en Common Mode), inschakelverschijnselen en hoe deze te beperken, selectie geschikte materialen.

### *Link budget inductieve antennes voor RFID.*

In dit deel wordt de energieoverdracht bepaald tussen een inductieve RFID zendantenne en een RFID tag. Dit gebeurt in stappen; van stroom naar B-veld aan de hand van de geometrie van de zendspoel, van B-veld naar opgewekte nullast spanning aan de hand van geometrie van de tag, van nullast spanning naar belaste uitgangsspanning aan de hand van Q factor van kring en de weg terug).

Het cursusmateriaal bestaat uit speciaal voor deze cursus gemaakte sheets voorzien van begeleidende tekst (deels Engelstalig, deels Nederlandstalig, SI-eenheden worden gebruikt), boek "Transformer and Inductor Design Handbook" (niet definitief) en afdrucken van de behandelde voorbeelden.

De cursus kan worden afgesloten met een examen.

### **Locatie, Datum en Aantal Deelnemers.**

Deze cursus bevindt zich in de ontwerpfase en is daardoor nog niet beschikbaar. Uw input ter verbetering van het programma wordt zeer op prijs gesteld.

Deze cursus wordt on-site gegeven. Dit kan zowel binnen als buiten kantooruren. Dit cursusconcept is intensief met veel terugkoppeling. Hierdoor is het aantal deelnemers beperkt tot 5 per sessie.

De benodigde tijd is afhankelijk van: instapniveau cursisten, aantal cursisten, overeengekomen programma, etc. U dient te denken aan 2 tot 5 dagen, bij voorkeur te verdelen over meerdere dagdelen.

### **Prijs**

Zoals hiervoor genoemd, is de cursusduur afhankelijk van diverse factoren. Daardoor kan een vaste prijs niet gegeven worden. Voor Budgetteringsdoeleinden kan het volgende aangehouden worden:

De totaalprijs is opgebouwd uit: vast deel van E 400,--, vast deel van E 50,-- per persoon, variabel deel van E85,-- per uur, en verplaatsingskosten (allen excl. BTW).

### **Geïnteresseerd?**

Neemt u dan contact op met TeTech. TeTech neemt uw behoeften graag met u door om tot een passende cursus te komen.

Deze cursus bestrijkt slechts een klein deel van de expertise van TeTech. TeTech kan ook uw opleidingswensen vervullen op het gebied van Elektronicaontwerp (Systeem- & Componentniveau) en Signaalbewerking.

Augustus 2009, V0.2.