

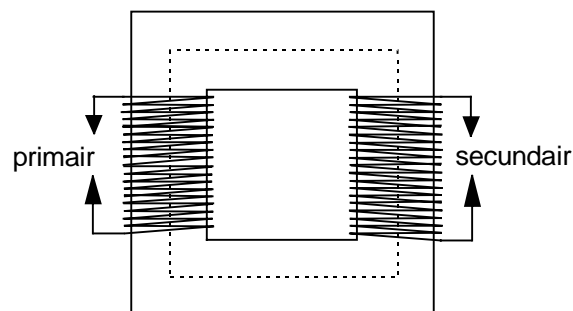
## 5. TRANSFORMATOREN

### 5.1 Inleiding

Overal waar we een of meer spoelen aanbrengen in het magnetisch veld van een andere spoel spreken we van een transformator (trafo). Deze komen we overal tegen in onze apparatuur, van antenne-ingang tot voeding. Zoals we in dit hoofdstuk leren worden ze gebruikt voor verschillende doeleinden:

- vergroten of verkleinen van de wisselspanning
- vormen van afgestemde kringkoppelingen
- scheiden van gelijkspanning tussen twee circuits (stroomlopen)

Hoe lager de over te dragen frequentie hoe beter we de magnetische krachtlijnen moeten geleiden. Daarom maken we gebruik van weekijzerkernen (zie figuur 5-1). In een massief stuk weekijzer kunnen stroomwervelingen optreden (de kern is feitelijk ook een winding). Daarom zorgen we ervoor dat de kern bestaat uit dunne plaatjes, lamellen, welke met lak of papier van elkaar gescheiden zijn. Deze ijzerkern vergroot de zelfinductie. Een gesloten kern vormt een complete weg voor de magnetische krachtlijnen. Hierbij gaan nagenoeg alle krachtlijnen, welke door de primaire worden opgewekt, ook door de secundaire.

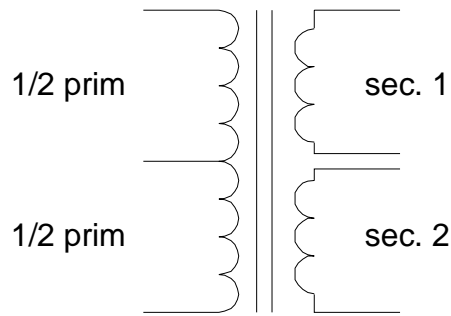


*Figuur 5-1 Mechanische opbouw van een transformator*

Er is weinig strooi (verlies) veld. Bij HF toepassingen verdelen we het ijzer in poedervorm in een keramische drager (poederijzerkern).

### 5.2 De transformator

De spoel welke wordt verbonden met de energiebron heet de primaire, de andere secundaire; soms zijn er meer van (zie figuur 5-2). In schema's wordt primair en secundair niet aangegeven; in enkele gevallen wordt het begin van de wikkeling aangegeven met een punt.



*Figuur 5-2. Schema tekening van een transformator*

Met behulp van de trafo kunnen we een spanning omzetten in een hogere of lagere spanning. Dit wordt transformeren genoemd. Omdat in een spoel, in een veranderend magnetisch veld, een inductiespanning wordt opgewekt, werkt een transformator alleen bij wisselspanning. Wanneer op de primaire van een trafo een gelijkspanning wordt aangesloten zal er een stroomverandering optreden totdat de stroom gelijk is geworden aan:

$$I = \frac{U}{R}$$

Daarna verandert er niets meer en wordt er dus geen spanning meer opgewekt in de secundaire. Dit verschijnsel kennen we al van spoelen (zelfinducties). Toch maken we gebruik van trafo's in het geval dat we een gelijkspanning/stroom hebben waar een (versterkte) wisselspanning bij opgeteld is. Met de trafo worden alleen de veranderingen overgedragen aan de secundaire.

### 5.3 Transformatieverhouding

De in de secundaire wikkeling geïnduceerde spanning hangt af van het aantal windingen van primaire en secundaire. Willen we secundair een twee maal zo hoge spanning verkrijgen dan moeten we het aantal windingen verdubbelen of een tweede gelijke spoel erbij in serie schakelen. De transformatieverhouding geeft aan hoeveel maal de primaire spanning verhoogd/verlaagd wordt.

Bij een primaire spanning van 220 V en een secundaire van 110 V, is de transformatieverhouding :

$$n = \frac{220}{110} = 2$$

(Dit is een getal zonder eenheid)

Wanneer we op de secundaire van deze trafo 12 V wisselspanning aansluiten dan vinden we op de andere spoel een spanning van 24 V. Feitelijk zijn nu primaire en secundaire verwisseld; dat kan bij transformatoren, meestal zonder problemen.

De energie welke we aan de primaire toevoegen komt er aan de secundaire zijde weer uit. Een trafo verbruikt zelf nauwelijks energie (een beetje warmte).

### De secundaire stroom

Wanneer we de secundaire niet aansluiten aan een apparaat, dan vloeit er geen stroom. Primair blijkt er wel een stroom te vloeien en dat is begrijpelijk, want de spoel doet zich voor als een zelfinductie. Bij een goede trafo is deze stroom zeer gering (nullaststroom). Op het examen komen vraagstukken voor waarin wordt gesproken over een 'verliesvrije' trafo: in dat geval gaat er primair geen stroom vloeien wanneer er secundair niets wordt afgenomen. We moeten er echter voor waken dat een trafo niet de belasting vormt voor een gelijkspanning. Door de kleine Ohmse weerstand zou er een grote gelijkstroom gaan vloeien (net als bij een zelfinductie).

Wanneer we secundair een belasting aansluiten, gaat er wel stroom vloeien. Deze stroom veroorzaakt een magnetisch veld, dat tegengesteld aan het veld van de primaire blijkt te zijn. In de trafo heet dit verschijnsel: wederzijdse inductie. Dit heeft dezelfde invloed als het verlagen van de zelfinductie en de reactantie. De primaire stroom neemt daardoor toe. Er wordt energie geleverd aan de primaire, welke door de secundaire weer wordt afgegeven. Omdat een trafo geen energie maakt en in principe ook niet verbruikt, komt er uit wat er in ging. Dit geven we in formule als volgt aan:

$$I_p \cdot U_p = I_s \cdot U_s$$

Wanneer de secundaire wordt kortgesloten, dan betekent dit theoretisch ook een kortsluiting van de primaire, waarbij alleen de Ohmse weerstand van de primaire de stroomsterkte beperkt.

### 5.4 Verliezen

Bij een praktische transformator treden enkele verliezen op. Daardoor wordt de trafo warm en daar mogen we natuurlijk niet te ver mee gaan. Men onderscheidt koper-, ijzer- en spreidingsverliezen.

Het koperverlies wordt veroorzaakt door de wikkeling die natuurlijk enige weerstand heeft. De draaddikte bepaalt daarom de maximaal toelaatbare stroomsterkte. Aangezien het wikkeldraad de ontstane warmte slechts met moeite kwijtraakt, is de maximale stroomsterkte veel kleiner dan bij een draad met gelijke dikte die vrij in de lucht is opgehangen.

De ijzerverliezen ontstaan doordat het ijzer bij iedere periode van de wisselspanning een volledige hysteresislus doorloopt. Die nemen sterk toe als de ijzerkern verzadigt. Daardoor wordt de permeabiliteit van het ijzer veel kleiner en neemt de zelfinductie van de primaire wikkeling af. Dat leidt weer tot een scherpe toename van de nullaststroom. Voedingstrafo's worden doorgaans 'tegen de verzadiging aan' geconstrueerd. Als we bijvoorbeeld een trafo hebben die bestemd is voor een spanning van 110 V, mogen we daar beslist geen 220 V op zetten. Door het hierboven beschreven mechanisme zal hij, ook zonder belasting, in korte tijd verbranden.

Tenslotte heeft een trafo ook verliezen die niet tot verwarming leiden, namelijk de spreidingsverliezen. Ze ontstaan doordat de krachtlijnen van de primaire wikkeling niet voor 100% door de secundaire lopen. Daardoor ontstaan schijnbare zelfinducties die in serie staan met de primaire en de secundaire wikkeling. Bij stroomafname leidt dit tot een (kleine)

vermindering van de secundaire spanning. Bovendien verhouden de primaire en de secundaire spanning zich daardoor niet exact als de windingsgetallen.

### 5.5 Impedanties

Voor een verliesvrije trafo geldt:

$$Z_p = Z_s \cdot n^2$$

Hierin is:

$Z_p$  = de impedantie welke we aan de primaire zijde zien.

$Z_s$  = de impedantie welke we secundair aansluiten

$n$  = de trafoverhouding

We moeten wel goed opletten hoe  $n$  is aangegeven; het gaat om de verhouding van primair tot secundair. In het voorbeeld hieronder hebben we secundair 100  $\Omega$ .  $n$  is gelijk aan 2. Ingevuld in de formule levert dit:

$$Z_p = 100 \cdot 2^2 = 400 \Omega$$

Ter controle:

$$Z_p = \frac{U_p}{I_p} = \frac{300}{0,75} = 400 \Omega$$

Door een juiste transformatieverhouding kan praktisch elke impedantie getransformeerd worden.

### Impedantie-aanpassing

Uit de formule

$$Z_p = Z_s \cdot n^2$$

volgt:

$$n = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}}$$

Met deze formule kunnen we de transformatieverhouding bepalen wanneer  $Z_p$  en  $Z_s$  gegeven zijn.

### Voorbeeld

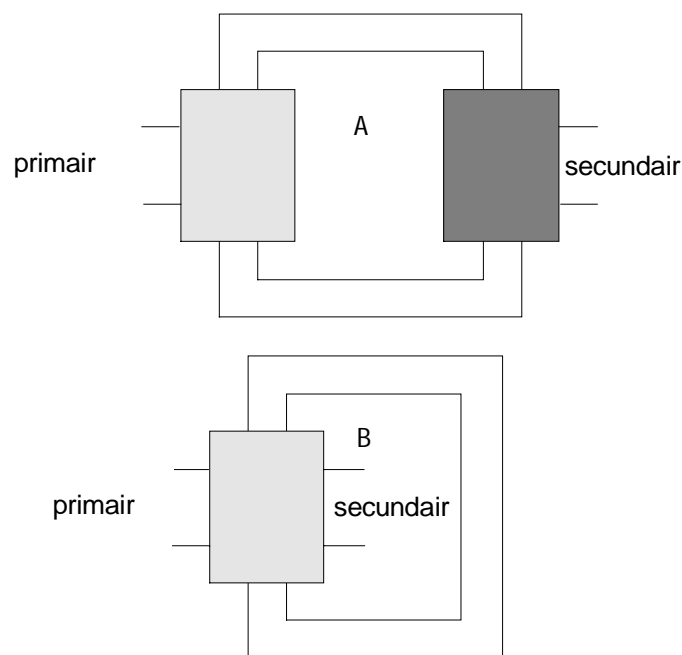
De uitgangsimpedantie van een versterker is 400  $\Omega$  d.w.z. het beste rendement wordt bereikt bij aansluiten van een impedantie van 400  $\Omega$ . We willen hierop met een trafo een luidspreker van 4  $\Omega$  aansluiten. Wat is de transformatieverhouding ?

$$n = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}} = \sqrt{\frac{400}{4}} = \sqrt{100} = 10$$

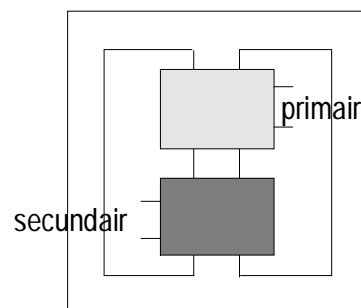
Dat betekent dat voor elke winding secundair er 10 windingen primair moeten worden gewikkeld. Het juiste aantal is afhankelijk van de grootte van de kern en de laagste frequentie. Hier gaan we niet nader op in, dat gaat te ver. Er zijn echter genoeg vuistregels welke hierop van toepassing zijn als je zelf zo'n trafo wilt wikkelen.

### 5.6 Vormen van transformatoren

We onderscheiden trafo's voor 50 Hz welke voornamelijk voor voedingen worden gebruikt, voedingstrafo's. Daarnaast worden transformatoren gebruikt voor elektrische stromen met de frequentie van het geluid, laagfrequent trafo's. Deze trafo's zijn veelal voorzien van een gelamelleerde ijzerkern. Afhankelijk van de vorm van de kern noemen we dit kertrafo (zie figuur 5-4) of manteltrafo (zie figuur 5-5).



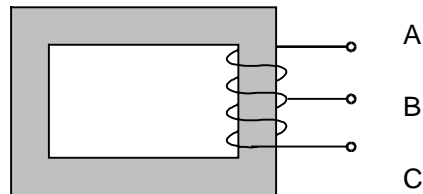
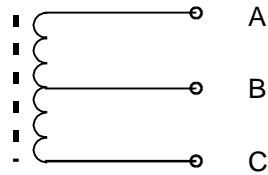
Figuur 5-4 Twee voorbeelden van een kertrafo.



Figuur 5-5 Voorbeeld van een manteltrafo.

Als we gebruik maken van een spoel met aftakking waarbij een deel van de wikkeling de primaire en een ander deel de secundaire vormt, dan spreken we van een *autotrafo* (zie figuren 5-6a en b). Deze vorm wordt vaak

toegepast in netspannings-regelapparatuur. In feite is de *variac*, een regelbare transformator voor de netspanning, ook een autotransformator.



*Figuur 5-6a en 5-6b Een autotrafo.*

Op HF gebied hebben de trafo's een ander doel en een andere vorm. Later zien we het gebruik van bijv. middenfrequenttrafo's, scheidingstrafo's, koppeltrafo's, e.d.

Middenfrequenttrafo's worden toegepast als spoelen in combinatie met condensatoren waardoor een stel trillingskringen ontstaat; scheidingstrafo's worden toegepast bij overdracht van niet af te stemmen signalen van een trap naar een volgende; koppeltrafo's worden gebruikt bijv. om de antenne aan te passen aan de voedingslijn (balun).

## 5.7 Vragen

### Vraag 1

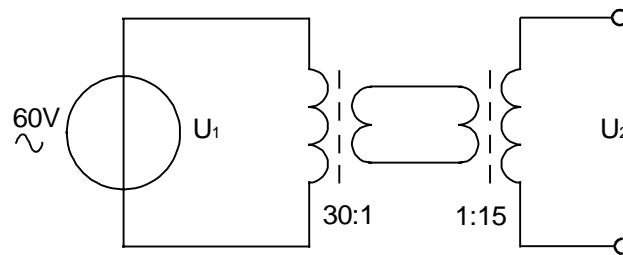
Een ideale transformator heeft een primaire wikkeling van 9 windingen en een secundaire van 3 windingen. Op de secundaire wikkeling wordt een condensator aangesloten van 90 pF.

Op de primaire wikkeling wordt een capaciteit gemeten van:

- A. 10 pF
- B. 30 pF
- C. 270 pF
- D. 810 pF

**Vraag 2**

Twee transformatoren worden geschakeld als hieronder aangegeven. De spanning  $U_2$  is:

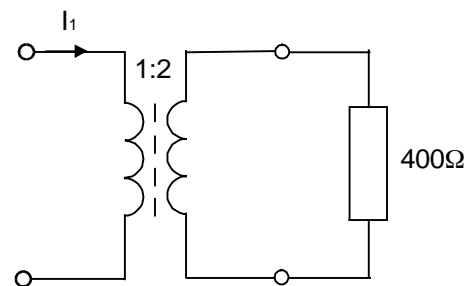


- A. 240 V
- B. 120 V
- C. 10 V
- D. 15 V

**Vraag 3**

In de weerstand wordt een vermogen van 1 watt gedissipeerd.

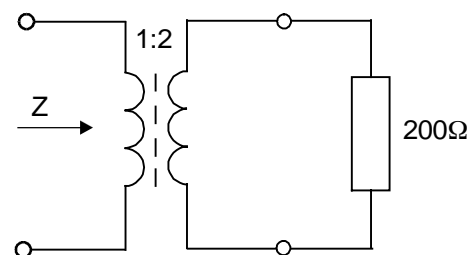
$I_1$  is dan:



- A. 25 mA
- B. 50 mA
- C. 100 mA
- D. 200 mA

**Vraag 4**

De impedantie  $Z$  is:



- A. 50 Ohm
- B. 100 Ohm
- C. 400 Ohm
- D. 800 Ohm

