

mbo

Signaal 5

Omzetten van energie

TECHNIEKSTAD



COLOFON

©2019 Kenteq, Hilversum

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand dan wel openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opname, of enige andere wijze, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Kenteq
Postbus 81
1200 AB Hilversum

info@techniekstad.nl

Inhoudsopgave

1	Transformatoren	5
1.1	Eenfasetransformator	6
1.2	De werking van een eenfasetransformator (onbelast)	7
1.3	De werking van een eenfasetransformator (belast)	16
1.4	Soorten transformatoren	30
1.5	Samenvatting	32
1.6	Antwoorden	33
2	Gelijkrichter	37
2.1	Diode	38
2.2	Gelijkrichting	39
2.3	Samenvatting	63
2.4	Antwoorden	65
3	Omzetting van energie	69
3.1	Thermische energie	70
3.2	Energie en vermogen	72
3.3	Verliezen bij energieomzetting	73
3.4	Verlies en rendement	74
3.5	Toepassingen	79
3.6	Samenvatting	80
3.7	Antwoorden	81
4	Vragen	83
4.1	Vragen Transformatoren	83
4.2	Vragen Omzetting van energie	85

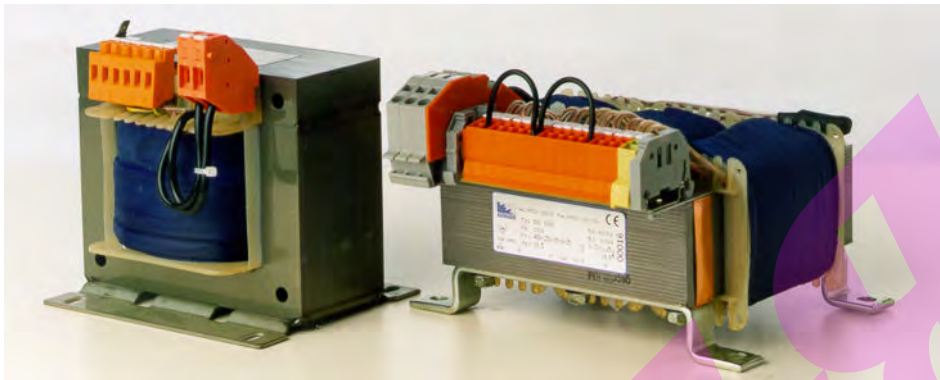
INZELDE

1 Transformatoren

Inleiding

Een transformator, ook wel trafo genoemd, wordt veel gebruikt in de elektrotechniek. Voorbeelden van het gebruik van transformatoren in woningen zijn:

- de voeding van een belinstallatie (230 V \sim /3-5-8 V \sim)
- de aansluiting van halogeenverlichting van 12 V \sim
- een scheertransformator in een badkamer
- transformatoren in de voeding van audio-, video- en huishoudelijke apparatuur.



Transformatoren

Er bestaan ook grote transformatoren. Die worden meestal uitgevoerd als driefasen wisselstroomtransformator. Ze zijn geschikt voor het omzetten van grote vermogens en hoge spanningen.

Je vindt ze onder andere in elektriciteitscentrales en transformatorhuisjes van het elektriciteitsbedrijf.

Driefasen wisselstroomtransformatoren werden ook wel draaistroomtransformatoren of driefasentransformatoren genoemd.

In deze leerstof maak je alleen kennis met eenfasetransformatoren.

Leerdoelen

Je kunt:

- de opbouw van een eenfasetransformator omschrijven en de volgende onderdelen benoemen:
 - kern
 - kernmateriaal
 - primaire en secundaire spoel
- de schemasymbolen (enkel- en dubbellijnig) tekenen
- het verband aangeven tussen de wikkerverhouding, de primaire en secundaire stromen, spanningen en vermogens en berekeningen hiermee uitvoeren
- de begrippen wikkerverhouding en transformatieverhouding omschrijven en aangeven wanneer beiden aan elkaar gelijk zijn
- verschillende soorten transformatoren met hun toepassingen noemen.

1.1 Eenfasetransformator

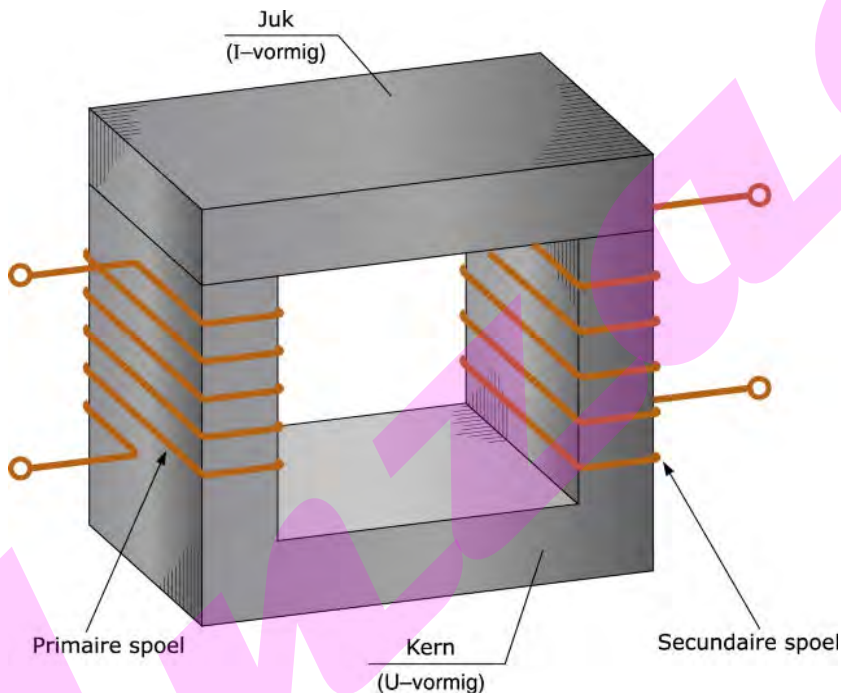
Als je een spanning nodig hebt die anders is dan de gebruikelijke of aanwezige netspanning, dan kun je een transformator gebruiken om de spanning te veranderen. De frequentie van de spanning blijft gelijk.

Je kunt met een éénfasetransformator de spanning:

- omhoog transformeren
Bijvoorbeeld van 230 V_~ 50 Hz naar 400 V_~ - 50 Hz
- omlaag transformeren
Bijvoorbeeld van 230 V_~ 50 Hz naar 24 V_~ - 50 Hz
- gelijk transformeren (scheidingstrafo)
Bijvoorbeeld van 230 V_~ 50 Hz naar 230 V_~ - 50 Hz.

Opbouw van de eenfasetransformator

Een eenfasetransformator bestaat uit een U-vormige kern en een I-vormig juk. Beide zijn gemaakt van gelamelleerd transformatorplaat.



Opbouw van een eenfasetransformator

Een eenfasetransformator bestaat uit een U-vormige kern en een I-vormig juk. Beide zijn vervaardigd uit gelamelleerd transformatorplaat. Tussen de lamellen is een elektrisch isolerende laag aangebracht die kan bestaan uit:

- papier
- een laklaag
- een oxidelaagje.

De laag is aangebracht om het optreden van verliezen in het ijzer zoveel mogelijk te beperken.

Verder bevat de U-kern bij de eenfasetransformator minimaal twee spoelen of wikkelingen. De spoel die de elektrische energie uit het net opneemt en omzet in magnetische energie is de primaire spoel of de primaire wikkeling. De spoel die de magnetische energie opneemt en afgeeft als elektrische energie is de secundaire spoel of de secundaire wikkeling.

Grootheden van eenfasetransformatoren

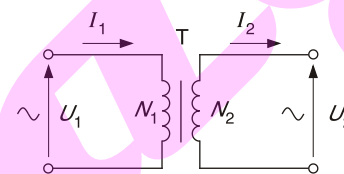
Alle grootheden die aan de primaire zijde voorkomen duid je aan met de index 1. Bijvoorbeeld:

- primaire spanning U_1
- primaire stroomsterkte I_1
- primair opgenomen vermogen P_1
- primair aantal windingen N_1 .

Alle grootheden die aan de secundaire zijde voorkomen duid je aan met de index 2. Bijvoorbeeld:

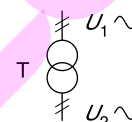
- secundaire spanning U_2
- secundaire stroomsterkte I_2
- secundair afgegeven vermogen P_2
- secundair aantal windingen N_2 .

Een eenfasetransformator wordt in stroomkringschema's aangegeven met dit symbool en aangeduid met de letter T.



Schemasymbool van een transformator

Op een enkellijng schema wordt een eenfasetransformator anders aangegeven.



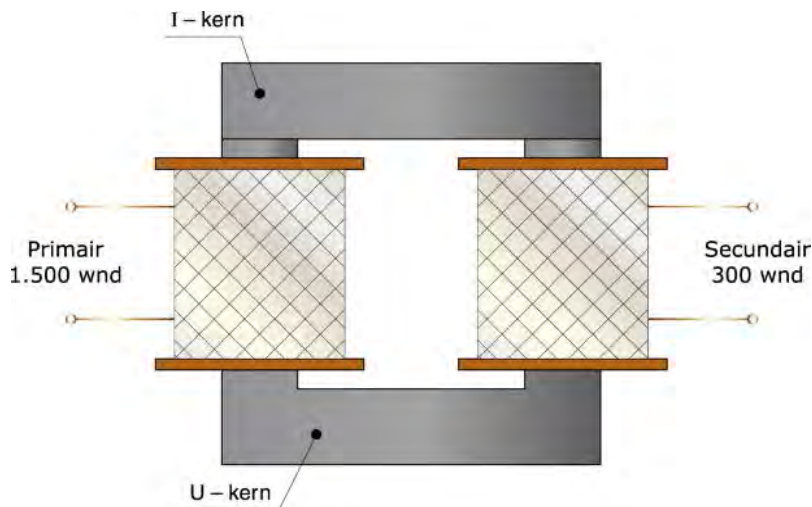
Enkellijng symbool van een transformator

1.2 De werking van een eenfasetransformator (onbelast)

De werking van de transformator berust op de inductiewet van Faraday. Als er binnen een winding een magnetische fluxverandering $\Delta\Phi$ optreedt, dan wordt er in die winding een inductiespanning E opgewekt.

$$E = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Om te zien hoe dit uitpakt voor het overzetten van spanningen doen we een denkbeeldige proef. Met behulp van twee losse spoelen, een U-kern en een I-kern, bouwen we zelf een transformator op. Het aantal windingen korten we meestal af in wnd.

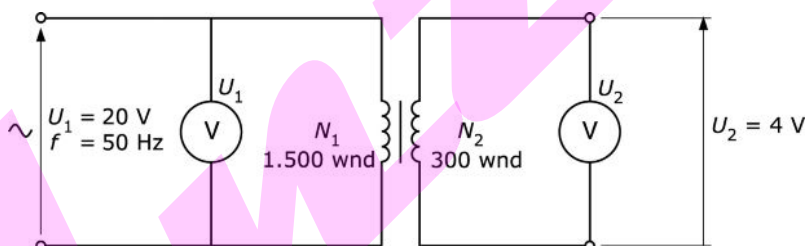


Eenfasetransformator met primair 1.500 windingen en secundair 300 windingen

Aan de primaire zijde van de transformator pas je een spoel met 1.500 wnd toe. Je schrijft dit als: $N_1 = 1.500$.

Aan de secundaire zijde van de transformator pas je een spoel met 300 wnd toe. Je schrijft dit als: $N_2 = 300$.

Als je de primaire spoel nu aansluit op een wisselspanning van $20\text{ V} \sim 50\text{ Hz}$ en je meet met een voltmeter de secundaire klemspanning U_2 , dan blijkt dat deze ongeveer gelijk is aan $U_2 = 4\text{ V} \sim 50\text{ Hz}$.



Meetopstelling voor spanningsmeting aan een onbelaste eenfasetransformator

Voor de verhouding tussen de windingen geldt dat:

$$N_1 : N_2 = 1.500 : 300 = 5 : 1$$

Voor de verhouding tussen de spanningen geldt dat:

$$U_1 : U_2 = 20 : 4 = 5 : 1$$

Uit de meting blijkt een belangrijke eigenschap voor transformatoren.

Bij een transformator verhouden de spanningen zich evenredig met het aantal windingen.

In formulevorm schrijf je dat als volgt:

$$U_1 : U_2 = N_1 : N_2 \quad \text{of} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

U_1 = primaire klemspanning in volt (V)

U_2 = secundaire klemspanning in volt (V)

N_1 = aantal primaire windingen

N_2 = aantal secundaire windingen

Opmerking

Deze formule geldt alleen als er in de transformator geen verliezen optreden. De gemeten secundaire klemspanning zal in werkelijkheid dan ook iets lager zijn dan de (theoretische) spanning.

Voorbeeld

Gegeven

Een eenfasetransformator met:

$U_1 = 400 \text{ V} \sim 50 \text{ Hz}$, $N_1 = 1.000 \text{ wnd}$ en $N_2 = 50 \text{ wnd}$.

Gevraagd

De secundaire spanning U_2 .

Oplossing

$$U_2 = \frac{U_1 \times N_2}{N_1} = \frac{400 \times 50}{1.000} = 20 \text{ V}$$

Voorbeeld

Gegeven

Een eenfasetransformator is primair aangesloten op de netspanning van $230 \text{ V} \sim 50 \text{ Hz}$ en heeft primair 1.150 wnd .

De secundaire klemspanning bedraagt $400 \text{ V} \sim 50 \text{ Hz}$.

Gevraagd

Het aantal windingen secundair.

Oplossing

$$N_2 = \frac{N_1 \times U_2}{U_1} = \frac{1.150 \times 400}{230} \approx 2.000 \text{ wnd}$$

Meerdere secundaire wikkelingen

Een eenfasetransformator kan meerdere secundaire wikkelingen hebben.

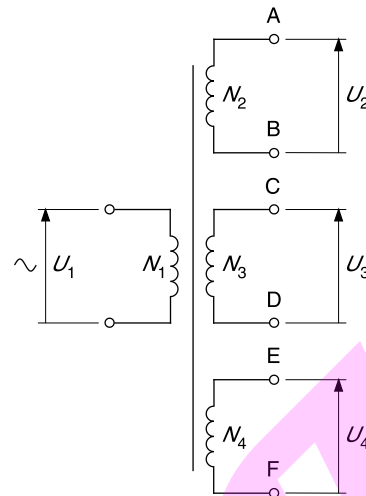
Voorbeeld

De secundaire wikkeling in de afbeelding bestaat uit drie afzonderlijke spoelen, namelijk: AB, CD en EF. Worden bijvoorbeeld de klemmen B en C met elkaar doorverbonden dan geldt:

$$U_{AD} = U_{AB} + U_{CD} = U_2 + U_3$$

Als de klemmen B en D met elkaar zijn doorverbonden dan geldt:

$$U_{AC} = U_{AB} - U_{CD} = U_2 - U_3$$



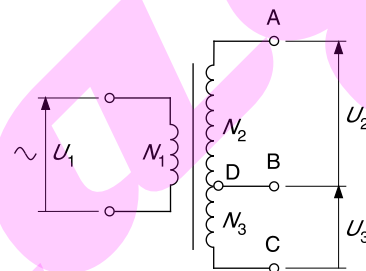
Eenfasetransformator met drie afzonderlijke secundaire spoelen

De secundaire wikkeling in deze afbeelding bestaat uit één spoel AC met een aftakking in punt D. Dit is bijvoorbeeld zo bij een beltransformator.

$$U_1 = 230 \text{ V}_{\sim}, U_2 = 5 \text{ V}_{\sim} \text{ en } U_3 = 3 \text{ V}_{\sim}$$

Tussen de aansluitklemmen A en C staat dan een spanning van:

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = U_2 + U_3 = 5 + 3 = 8 \text{ V}_{\sim}$$



Eenfasetransformator met een secundaire wikkeling met een aftakking

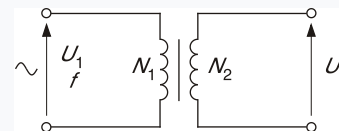
1.

Gegeven

$U_1 = 400 \text{ V}$, $N_1 = 1.600 \text{ wnd}$ en $N_2 = 440 \text{ wnd}$.

Gevraagd

U_2 .



Spanningen en windingen van een eenvoudige éénfasetransformator



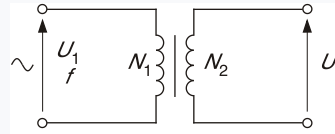
2.

Gegeven

$U_1 = 10 \text{ kV}$, $N_1 = 5.000 \text{ wnd}$ en
 $U_2 = 400 \text{ V}$.

Gevraagd

N_2 .



Spanningen en windingen van een eenvoudige éénfasetransformator



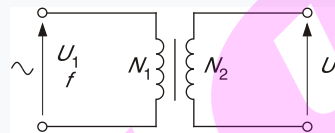
3.

Gegeven

$N_1 = 1.200 \text{ wnd}$, $N_2 = 72 \text{ wnd}$ en
 $U_2 = 24 \text{ V}$.

Gevraagd

U_1 .



Spanningen en windingen van een eenvoudige éénfasetransformator



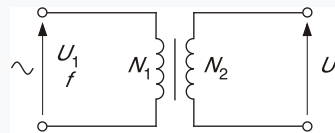
4.

Gegeven

$U_1 = 230 \text{ V}$, $U_2 = 32 \text{ V}$ en
 $N_2 = 176 \text{ wnd}$.

Gevraagd

N_1 .



Spanningen en windingen van een eenvoudige éénfasetransformator

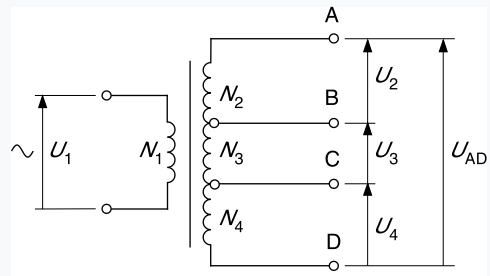


5.

Gegeven

$U_1 = 115 \text{ V}$, $N_1 = 230 \text{ wnd}$,
 $U_2 = 28 \text{ V}$, $N_3 = 284 \text{ wnd}$ en
 $U_4 = 60 \text{ V}$.

Gevraagd



Spanningen en windingen van een ééfasetransformator met 3 secundaire spanningen

a. N_2

b. U_3

c. U_{AD}

d. Het totaal aantal windingen van de secundaire wikkeling.

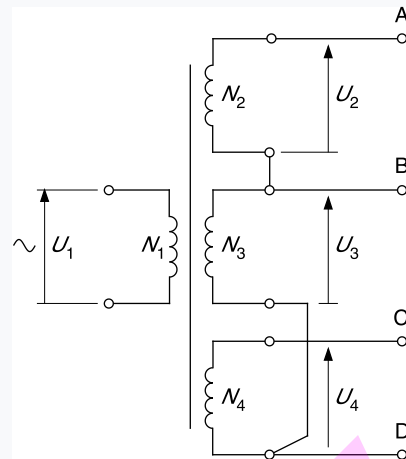


6.

Gegeven

$U_1 = 230 \text{ V}$, $N_1 = 4.600 \text{ wnd}$,
 $N_2 = 20 \text{ wnd}$, $N_3 = 200 \text{ wnd}$ en
 $N_4 = 220 \text{ wnd}$.

Gevraagd



Spanningen en windingen van een éénfasetransformator met 3 secundaire spoelen

a. U_{BC}

b. U_{BD}

c. U_{AC}

d. U_{AD} .

Wikkilverhouding en transformatieverhouding

De wikkilverhouding wordt aangeduid met de kleine letter n en geeft de verhouding aan tussen het aantal windingen primair N_1 en het aantal windingen secundair N_2 .

In formulevorm:

Wikkilverhouding
$n = \frac{N_1}{N_2}$
n = wikkilverhouding
N_1 = aantal primaire windingen
N_2 = aantal secundaire windingen

De transformatieverhouding is de verhouding van de (toegekende) spanning van een wikkeling tot die van een andere wikkeling (NEN 2761).

De transformatieverhouding geven we aan met de grote letter K (IEC-publicaties van lettersymbolen).

Transformatieverhouding
$K = \frac{U_1}{U_2}$
K = transformatieverhouding U_1 = primaire spanning in volt (V) U_2 = secundaire spanning in volt (V)

Bij een eenfasetransformator is de transformatieverhouding gelijk aan de wikkelverhouding $n = K$.

Daarom geldt:

$n = K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$
n = wikkelverhouding K = transformatieverhouding N_1 = aantal primaire windingen N_2 = aantal secundaire windingen U_1 = primaire spanning in volt (V) U_2 = secundaire spanning in volt (V)

Opmerking:

De wikkelverhouding is bij complexere transformatoren niet altijd gelijk aan de transformatieverhouding.

Uit de formule $K = \frac{U_1}{U_2}$ volgt: $U_2 = \frac{U_1}{K}$ en $U_1 = K \cdot U_2$

Is K is kleiner dan 1, dan wordt de secundaire spanning hoger dan de primair aangelegde spanning. De transformator transformeert de spanning dan omhoog.

Is K is groter dan 1, dan wordt de secundaire spanning lager dan de primair aangelegde spanning. De transformator transformeert de spanning dan omlaag.

Voorbeeld

Gegeven

Een eenfasetransformator heeft primair 480 windingen en secundair 240 windingen. De transformator wordt primair aangesloten op een netspanning van 230 V_~ - 50 Hz.

Gevraagd

- a. De wikkelverhouding n .
- b. De secundaire spanning U_2 .
- c. De transformatieverhouding K .

Oplossing

a. $n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{480}{240} = 2$

b. $U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{230}{2} = 115 \text{ V}$

De transformator transformeert de spanning omlaag van 230 V naar 115 V.

- c. De transformatieverhouding bereken je met de formule:

$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{230}{115} = 2$



7. *Gegeven*

De primaire spanning van een transformator is 300 V.
De transformatieverhouding is 5.

Gevraagd

Hoe groot is de secundaire spanning U_2 ?



8. *Gegeven*

De secundaire spanning van een transformator is 24 V.
De transformatieverhouding is 9,583.

Gevraagd

Hoe groot is de primaire spanning U_1 ?



9. *Gegeven*
De primaire spanning van een transformator is 150 V en de secundaire spanning is 600 V.

Gevraagd
Hoe groot is de transformatieverhouding K ?

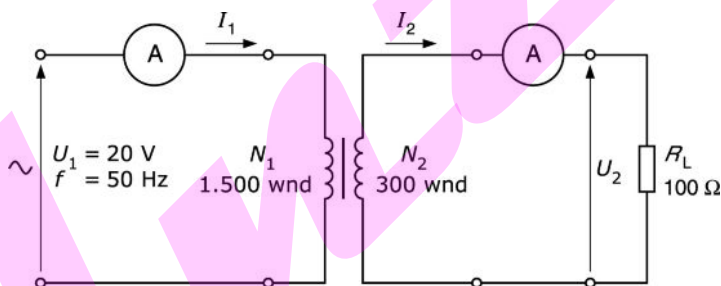


10. *Gegeven*
De primaire spanning van een transformator is 12 V.
De transformatieverhouding is 0,5.

Gevraagd
Hoe groot is de secundaire spanning U_2 ?

1.3 De werking van een eenfasetransformator (belast)

Om het gedrag van een belaste transformator na te kunnen gaan, bouwen we in gedachten de volgende meetopstelling.



Meetopstelling voor stroommeting aan een belaste eenfasetransformator

De primaire spoel is via een ampèremeter aangesloten op een voedingsspanning van 20 V_~ - 50 Hz.

Op de klemmen van de secundaire spoel is via een ampèremeter een belastingsweerstand R_L van 100 Ω aangesloten.

Uit het schema volgt dat:

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1.500}{300} = 5$$

$$U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{20}{5} = 4 \text{ V}$$

Je hebt nu alle gegevens om I_2 te berekenen. Je doet dit met de wet van Ohm.

$$I_2 = \frac{U_2}{R_L} = \frac{4}{100} = 0,04 \text{ A} = 40 \text{ mA}$$

De ampèremeter in de secundaire stroomkring zal dan 40 mA aanwijzen.
De ampèremeter in de primaire stroomkring wijst dan ongeveer 8 mA aan.
 $I_2 = 40 \text{ mA}$ en $I_1 = 8 \text{ mA}$

Voor de verhouding tussen de primaire en secundaire stroom geldt dus dat:

$$I_1 : I_2 = 8 : 40 = 1 : 5 \quad \Rightarrow \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{40}{8} = \frac{5}{1} = 5$$

De verhouding 5 zie je dus terug in de verhouding van de windingen en omgekeerd in de verhouding van de stromen.

Bij een transformator verhouden de stromen zich omgekeerd evenredig met het aantal windingen.

In formulevorm:

Verhouding stromen met aantal windingen bij transformator

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2$$

I_1 = stroomsterkte in de primaire wikkeling in ampère (A)

I_2 = stroomsterkte in de secundaire wikkeling in ampère (A)

N_1 = aantal primaire windingen

N_2 = aantal secundaire windingen

Je kunt deze formule ook in tekst schrijven:

Aantal ampèrewindingen primair = Aantal ampèrewindingen secundair.

Het vermogen bij een transformator

Bij een verliesvrije (ideale) transformator is het primair opgenomen vermogen P_1 gelijk aan het vermogen dat aan de secundaire zijde door de aanwezige belasting wordt gevraagd. Dit vermogen is het secundair afgegeven vermogen P_2 . Met andere woorden:

Opgenomen vermogen primair = Afgegeven vermogen secundair.

In formulevorm:

Vermogen van een eenfasetransformator
$P_1 = U_1 \cdot I_1$ en: $P_2 = U_2 \cdot I_2$ en: $P_1 = P_2$
P_1 = door de primaire wikkeling opgenomen vermogen in watt (W)
P_2 = door de aangesloten belasting opgenomen vermogen in watt (W)
P_2 = door de secundaire wikkeling afgegeven vermogen in watt (W)
U_1 = primaire spanning in volt (V)
U_2 = secundaire spanning in volt (V)
I_1 = stroomsterkte in de primaire wikkeling in ampère (A)
I_2 = stroomsterkte in de secundaire wikkeling in ampère (A)

Bij transformatoren wordt ook vaak het schijnbaar vermogen P_s van de transformator gegeven. Je berekent het schijnbaar vermogen als volgt:

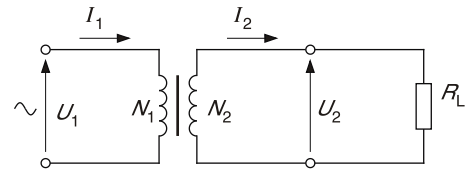
Schijnbaar vermogen van een eenfasetransformator
$P_{s1} = U_1 \cdot I_1$ en $P_{s2} = U_2 \cdot I_2$ en $P_{s1} = P_{s2}$
P_{s1} = door de primaire wikkeling opgenomen schijnbaar vermogen in voltampère (VA)
U_1 = primaire klemspanning in volt (V)
I_1 = stroomsterkte in de primaire wikkeling in ampère (A)
P_{s2} = door de secundaire wikkeling afgegeven schijnbaar vermogen in voltampère (VA)
U_2 = secundaire klemspanning in volt (V)
I_2 = stroomsterkte in de secundaire wikkeling in ampère (A)
P_{s1} = door de aangesloten belasting opgenomen schijnbaar vermogen in voltampère (VA)
P_{s1} = door de secundaire wikkeling afgegeven schijnbaar vermogen in voltampère (VA)

Het schijnbaar vermogen wordt uitgedrukt in voltampère, afgekort tot VA, of in kilovoltampère, afgekort tot kVA.

1 kVA = 1.000 VA

Voorbeeld**Gegeven**

De transformator heeft $U_1 = 230 \text{ V} \sim$ -
 50 Hz , $N_1 = 800 \text{ wnd}$, $N_2 = 400 \text{ wnd}$ en
 $R_L = 57,5 \ \Omega$.



Belaste éénfasetransformator

Gevraagd

- I_2
- I_1
- De wikkelverhouding
- P_2 en P_1
- P_{s1} en P_{s2}

Oplossing

$$\text{a. } U_2 = \frac{U_1 \times N_2}{N_1} = \frac{230 \times 400}{800} = 115 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_L} = \frac{115}{57,5} = 2 \text{ A}$$

$$\text{b. } I_1 = \frac{I_2 \cdot N_2}{N_1} = \frac{2 \times 400}{800} = 1 \text{ A}$$

$$\text{c. } n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{800}{400} = 2$$

- d. Bij een ohmse belasting geldt dat $\cos \varphi = 1$
 Uit $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ volgt:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi = 115 \times 2 \times 1 = 230 \text{ W of:}$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot R_L = 2^2 \times 57,5 = 230 \text{ W}$$

en:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi = 230 \times 1 \times 1 = 230 \text{ W}$$

$$\text{e. } P_{s1} = U_1 \cdot I_1 = 230 \times 1 = 230 \text{ VA}$$

$$P_{s2} = U_2 \cdot I_2 = 115 \times 2 = 230 \text{ VA}$$

Voorbeeld

Gegeven

Een verliesvrije eenfasetransformator met een nominaal schijnbaar vermogen van 10 kVA heeft primair 300 windingen en secundair 24 windingen. De primaire spanning bedraagt 2.000 V_~ - 50 Hz.

Gevraagd

- a. De secundaire spanning U_2 .
- b. De wikkelverhouding n .
- c. De nominale primaire en secundaire stroom I_1 en I_2 .
- d. Het afgegeven vermogen van deze transformator als hij secundair belast wordt met een ohmse belasting van 10 Ω .

Oplossing

a. $U_2 = \frac{U_1 \cdot N_2}{N_1} = \frac{2.000 \times 24}{300} = 160 \text{ V}$

b. $n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{300}{24} = 12,5$

c. $P_{s_1} = P_{s_2} = 10 \text{ kVA} = 10.000 \text{ VA}$

$I_1 = \frac{P_{s_1}}{U_1} = \frac{10.000}{2.000} = 5 \text{ A}$

$I_2 = \frac{P_{s_2}}{U_2} = \frac{10.000}{160} = 62,5 \text{ A}$ of: $I_2 = n \cdot I_1 = 12,5 \times 5 = 62,5 \text{ A}$

De secundaire stroomsterkte wordt dan:

$I_2 = \frac{U_2}{R_L} = \frac{160}{10} = 16 \text{ A}$

d. $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi = 160 \times 16 \times 1 = 2.560 \text{ W}$ of:

$P_2 = I_2^2 \cdot R_L = 16^2 \times 10 = 2.560 \text{ W}$



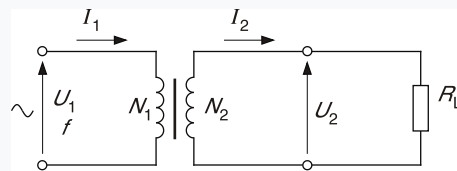
11.

Gegeven

$U_1 = 230 \text{ V}$ en de wikkelverhouding $n = 5$.

Gevraagd

U_2 .



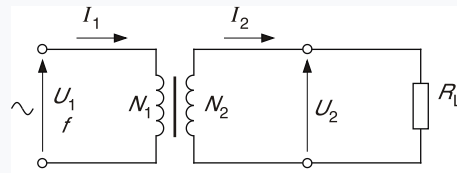
Belaste éénfasetransformator



12.

Gegeven

$U_1 = 24 \text{ V}$, $N_1 = 120 \text{ wnd}$,
 $N_2 = 550 \text{ wnd}$ en $I_1 = 10 \text{ A}$.



Belaste éénfasetransformator

Gevraagd

a. U_2

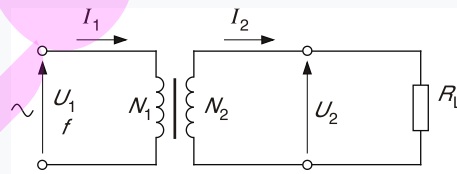
b. I_2 .



13.

Gegeven

$U_1 = 50 \text{ V}$, $U_2 = 200 \text{ V}$ en
 $R_L = 400 \Omega$.



Belaste éénfasetransformator

Gevraagd

I_1 .

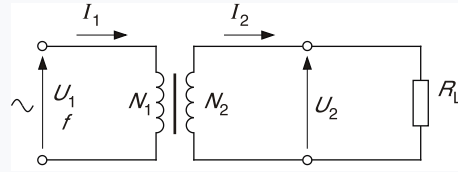


14.

Gegeven

$I_1 = 12 \text{ A}$, de wikkelverhouding

$n = 3$ en $R_L = 10 \ \Omega$.



Belaste éénfasetransformator

Gevraagd

a. I_2

b. U_2

c. U_1 .

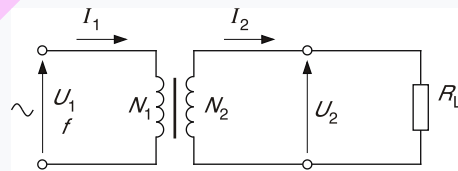


15.

Gegeven

$U_1 = 300 \text{ V}$, $R_L = 80 \ \Omega$ en

$N_1 : N_2 = 3 : 2$.



Belaste éénfasetransformator

Gevraagd

a. I_2

b. I_1 .
