

## Toepassingen



Fig. 11 Radiotoestel



Fig. 12 Lampen

Een radiotoestel met bakelieten behuizing (zie figuur 11). Bakeliet kent talloze toepassingen, zoals:

- A. Tussenlaag in geleiders als elektrische isolatie, bijvoorbeeld bij de stroomleidingen boven de treinsporen
  - B. Hittebestendige handvatten, bijvoorbeeld bij pannen
  - C. Doppen en deksels van vele verschillende levensmiddelen- en chemicaliëncontainers en medicijnflessen
  - D. Handvatten van gebruiksvoorwerpen, zoals scheermessen en scheerdozen
  - E. Bekasting van elektrische apparaten, zoals telefoons, radio's en haardrogers
- 78-toeren grammofoonplaten

## Vragen

1. Wat is de weerstand van de elektromotor voor luchting?
2. Wat is de totale minimale weerstand van de klimaatcomputer?
3. Waarom wordt zilver niet verwerkt in kabels?
4. Wat was het materiaal van een zwarte bakelieten wandcontactdoos?
5. Wat is het materiaal van een wit gekleurde stop?

## 1.2 Vermogen

Vermogen is een natuurkundige grootheid voor de energie (arbeid) per tijdseenheid. De SI-eenheid voor vermogen is de watt. Men leest dan ook vaak het formeel onjuiste wattage in plaats van het officieel correcte vermogen.

Een andere bekende, maar verouderde, eenheid voor vermogen is de paardenkracht. Dat is oorspronkelijk het vermogen benodigd om een massa van 75 kg omhoog te trekken met een snelheid van een meter per seconde. Dit vermogen varieert met de zwaartekrachtversnelling, en dus met de plaats op aarde. Meestal rekent men een pk als 736 watt.

### 1.2.1 Definitie van vermogen

Het vermogen is gedefinieerd als de opgewekte of verbruikte hoeveelheid energie per tijdseenheid. In formulevorm:



$$\text{vermogen} = \frac{\text{arbeid}}{\text{tijdsduur}}$$

oftewel:

$$P = \frac{dW}{dt}$$

waarin:

P: het vermogen, in Watt

W: de arbeid, in Joule

t: de tijd, in seconden

### 1.2.2 Mechanica

In de mechanica geldt:

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

waarin:

$\vec{F}$  de kracht is, in newton

$\vec{v}$  de snelheid is, in m/s

en

$$P = \vec{T} \cdot \vec{\omega}$$

waarin:

$\vec{T}$  het koppel is, in Nm

$\vec{\omega}$  de hoeksnelheid is, in rad/s

### 1.2.3 Stromingsleer

In de stromingsleer geldt:

$$P = Q C_v (T_2 - T_1) \rho$$

waarin:

Q: het debiet, in m<sup>3</sup>/s

C<sub>v</sub>: de soortelijke warmte, in J/kg/K

T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>: de temperatuursverandering in de tijd, in Kelvin

$\rho$ : de dichtheid, in kg/m<sup>3</sup>



### 1.2.4 Hydraulica

In de hydraulica wordt mechanisch vermogen omgezet in hydraulisch vermogen (pomp) en andersom (motor). Het hydraulisch vermogen bedraagt:

$$P = Q \cdot \Delta p$$

waarin

$Q$  = debiet in  $\text{m}^3/\text{s}$

$\Delta p$  = het drukverschil in Pascal.

### 1.2.5 Elektriciteitsleer

#### Momentane vermogen

Als een bron van elektrische energie op het tijdstip  $t$  een elektrische stroom  $i(t)$  levert bij een elektrische spanning  $u(t)$ , is het momentane vermogen  $p(t)$  dat de bron levert:

$$p(t) = u(t)i(t).$$

#### Werkelijk vermogen

Het werkelijke vermogen, ook werkzame of actieve vermogen, is het vermogen dat gedissipeerd wordt in de ohmse component van de impedantie in het circuit. Het werkelijke vermogen wordt uitgedrukt in de eenheid watt (W).

#### Gelijkstroom

Is de bron een gelijkstroombron, dan zijn spanning en stroom constant:

$$u(t) = U_{\text{en}} \quad i(t) = I$$

en is het momentane vermogen gelijk aan het werkelijke vermogen  $P$

$$P = p(t) = U \cdot I.$$

Dit vermogen wordt ontwikkeld in de ohmse weerstand  $R$  in het circuit. Volgens de wet van Ohm geldt:

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 R.$$

Periodieke wisselstroom is de bron een periodieke wisselspanningbron met spanning

$$u(t) = U \cos(\omega t),$$

en is  $Z = R + jX$  de totale impedantie in het circuit, dan is de stroomsterkte

$$i(t) = I \cos(\omega t - \varphi),$$

waarin  $\varphi$  het faseverschil is tussen de spanning en de stroom als gevolg van de niet-ohmse (reactieve) component van de impedantie.



Voor de momentane stroomsterkte geldt:

$$i(t) = I \cos(\omega t - \varphi) = I (\cos(\varphi) \cos(\omega t) + \sin(\varphi) \sin(\omega t)) = i_w(t) + i_b(t).$$

Daarin is

$$i_w(t) = I \cos(\varphi) \cos(\omega t)$$

de actieve stroomsterkte en

$$i_b(t) = I \sin(\varphi) \sin(\omega t)$$

de stroomsterkte van de zogeheten blindstroom. Het is deze blindstroom, die weliswaar in het circuit loopt, maar  $90^\circ$  in fase verschilt met de spanning en dus niet bijdraagt aan het werkelijk ontwikkelde vermogen. De blindstroom wordt a.h.w. niet gezien, vandaar de naam. En een gebruiker neemt dit vermogen ook niet af, omdat het periodiek wordt opgenomen en weer afgestaan. De blindstroom is de stroom ten gevolge van de reactieve componenten in het circuit. De capaciteiten in het circuit worden periodiek geladen en weer ontladen, en de aanwezige zelfinducties bouwen periodiek een magneetveld op en breken het weer af.

### Momentane vermogen

Het momentane vermogen kan uitgedrukt worden als:

$$p(t) = u(t)i(t) = u(t)(i_w(t) + i_b(t)) = p_w(t) + p_b(t),$$

opgebouwd uit het momentane werkelijke vermogen

$$p_w(t) = u(t)i_w(t) = U \cdot I \cos(\varphi) \cos^2(\omega t) = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\varphi) (1 + \cos(2\omega t)),$$

variërend met de dubbele frequentie tussen de minimale waarde 0 en de maximale waarde

$$U \cdot I \cdot \cos(\varphi) = 2 U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\varphi),$$

en het momentane blindvermogen

$$p_b(t) = u(t)i_b(t) = U \cdot I \cos(\omega t) \sin(\varphi) \sin(\omega t) = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin(\varphi) \sin(2\omega t),$$

periodiek wisselend met de dubbele frequentie en amplitude

$$\frac{1}{2} U \cdot I \cdot \sin(\varphi) = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin(\varphi).$$

### Werkelijk vermogen

Het werkelijke vermogen  $P$  is het gemiddeld gedissipeerde vermogen in de ohmse component  $R$  van de impedantie:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) R dt = \frac{I^2 \cdot R}{T} \int_0^T \cos^2(\omega t - \varphi) dt = \frac{I^2 \cdot R}{2} = I_{\text{eff}}^2 \cdot R = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\varphi)$$

Er geldt immers:



$$R = \Re(Z) = \frac{U}{I} \cos(\varphi)$$

De grootheden

$$U_{\text{eff}} = \frac{U}{\sqrt{2}} \quad I_{\text{eff}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

zijn de effectieve waarden van de spanning en de stroom.

Het werkelijke vermogen  $P$  is ook het gemiddelde van het momentane vermogen, of equivalent van het momentane werkelijke vermogen, over een periode  $T$ :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_w(t) dt = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\varphi) \int_0^T (1 + \cos(2\omega t)) dt = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\varphi)$$

Zowel de actieve stroom als de blindstroom dragen bij aan het werkelijke vermogen en wel als de som van hun afzonderlijk ontwikkelde vermogens. Er geldt immers:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) R dt = \frac{1}{T} \int_0^T (i_w(t) + i_b(t))^2 R dt = \frac{1}{T} \int_0^T (i_w^2(t) + i_b^2(t) + 2i_w(t)i_b(t)) R dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T i_w^2(t) R dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_b^2(t) R dt = P \cos^2(\varphi) + P \sin^2(\varphi) \end{aligned}$$

want

$$\frac{1}{T} \int_0^T i_w(t) i_b(t) dt = 0$$

De energie verbonden met het door de blindstroom gedissipeerde vermogen  $P \sin^2(\varphi)$  gaat nutteloos verloren.

### Schijnbaar vermogen

De effectieve waarden  $U_{\text{eff}}$  en  $I_{\text{eff}}$  van respectievelijk de spanning en de stroomsterkte suggereren dat in het circuit een vermogen

$$S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

ontwikkeld wordt. Dit is echter maar schijn omdat er tussen de spanning en de stroom (mogelijk) een faseverschil bestaat. De grootte  $S$  heet daarom schijnbaar vermogen. Om duidelijk te maken dat het slechts een schijnbaar vermogen is, wordt het niet uitgedrukt in watt, maar in de eenheid voltampère (VA).

### Blindvermogen

De blindstroom  $i_b(t) = I \sin(\varphi) \sin(\omega t)$  geeft aanleiding tot het momentane blindvermogen



$$p_b(t) = u(t)i_b(t) = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin(\varphi) \sin(2\omega t),$$

een vermogen dat gedurende een halve periode door de bron geleverd wordt en gedurende de andere halve periode aan de bron terug geleverd wordt, met gemiddeld over een periode de waarde 0. De amplitude van dit vermogen

$$Q = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin(\varphi)$$

wordt het blindvermogen of reactieve vermogen genoemd. Het is een maat voor de verliezen die de bron lijdt in de inwendige weerstand, inclusief de toevoerleidingen, en waarvoor de bron in principe geen vergoeding krijgt. Ook het blindvermogen wordt niet uitgedrukt in watt, maar in de speciaal daarvoor bestemde eenheid voltampère reactief (VAr).

### 1.2.6 Voorbeeld

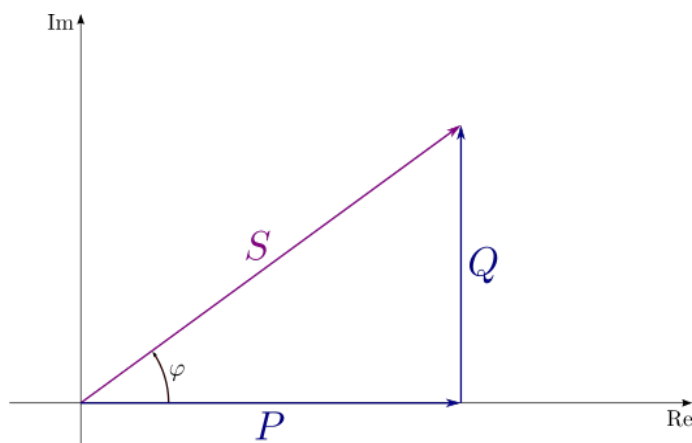
In ondergrondse kabels is de afstand tussen de aders klein, zodat ze een tamelijk grote capaciteit vertegenwoordigen. Zo heeft de ca. 11,5 km lange 380-kV-Transversale Berlin, een grotendeels ondergrondse kabel in het stadsgebied van Berlijn, een capaciteit van 2,2  $\mu\text{F}$ . Bij 50 Hz loopt daardoor een blindstroom van effectief ca. 263 A in het circuit. Het bijbehorende deel van het blindvermogen is ca.  $0,380 \times 263 \approx 100$  MVA<sub>r</sub>. In de praktijk is daardoor de zinvolle lengte van een ondergrondse kabel tot ongeveer 70 km beperkt.

### 1.2.7 Arbeidsfactor

Niet al het schijnbaar ontwikkelde vermogen, uitgedrukt door het schijnbare vermogen  $S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$ , wordt omgezet in arbeid en/of warmte, maar slechts het deel werkelijk vermogen

$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\varphi)$ . De verhouding tussen werkelijk vermogen en schijnbaar vermogen,  $\cos(\varphi)$ , wordt de arbeidsfactor genoemd.

### Complex vermogen



Het complexe vermogen  $S$  is de vectorsom van het werkelijke vermogen  $P$  en het blind vermogen  $Q$ . Het schijnbare vermogen is de grootte  $S$  van het complexe vermogen. De hoek  $\varphi$  is de fase hoek tussen spanning en stroom.



De stroom kan opgebouwd gedacht worden uit de werkelijke stroom, die in fase is met de spanning, en de blindstroom, die 90° in fase verschilt met de spanning. Het is daarom gebruikelijk het vermogen voor te stellen als een vector  $S_c$  in het complexe vlak met als componenten het werkelijke vermogen  $P$  langs de reële as en het blindvermogen  $Q$  langs de imaginaire as. Het complexe vermogen is dus gedefinieerd als:

$$S_c = P + jQ = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot (\cos(\varphi) + j \sin(\varphi)) = S e^{j\varphi}$$

Het schijnbare vermogen

$$S = |S_c| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

is de absolute waarde van het complexe vermogen.

De volgende grootheden met symbool en eenheden met symbool moet je leren.

grootheid en symbool		eenheid en symbool	
spanning	U	Volt	V
stroomsterkte	I	Ampère	A
weerstand	R (Engelse Resistance)	Ohm	$\Omega$
vermogen	P (Engelse Power)	Watt	W
energie	E	Wattuur	Wh
tijd	t	uur	h (Engelse hour)

De volgende formules uit je BINAS hoef je niet uit je hoofd te leren. Je moet ze wel kunnen gebruiken.

Ohm  $U = IR$

Vermogen elektrische stroom  $P = UI = I^2R$

Energie elektrische stroom  $E = Pt$

Stroomsterkte bij:

Serieschakeling:  $I_{\text{tot}} = I_1 = I_2 = \dots$

Parallelschakeling  $I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 + \dots$

Spanning bij:



Serieschakeling:  $U_{\text{tot}} = U_1 + U_2 + \dots$

Parallelschakeling  $U_{\text{tot}} = U_1 = U_2 = \dots$

Vervangingsweerstand bij:

Serieschakeling  $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + \dots$

Parallelschakeling  $\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$

1. Een stofzuiger werkt op het lichtnet (230V). Er loopt dan 5 A door.

Bereken de weerstand.

Antwoord:  $U = I \cdot R \rightarrow 230 = 5 \cdot R \rightarrow R = 230/5 = 46 \Omega$

Door een lampje van  $100 \Omega$  loopt 15 mA. Bereken de spanning waarop het lampje is aangesloten.

2. Een gewone gloeilamp (lamp 1) werkt op 230 V en een autolamp (lamp 2) werkt op 12 V.

Beide lampen zijn 40 W.

a. Bereken door welke lamp de grootste stroom loopt.

b. Bereken welke lamp de grootste weerstand heeft.

Iemand wil een elektrische kachel (230 V, 4000 W) thuis aansluiten op het lichtnet waarin een zekering van 16 A is opgenomen. Ga na of dat kan.

3. Een elektrische kachel van 500 W wordt 4 uur lang op het lichtnet aangesloten (230 V).

1 kWh kost € 0,12.

a. Bereken hoeveel energie het lichtnet heeft geleverd.

b. Bereken hoeveel je aan het energiebedrijf moet betalen.

4. Iemand wil het vermogen van een elektrisch apparaat bepalen. Hij leest eerst de kWh-meter stand af en vindt dan 5789,5 kWh. Nu sluit hij het apparaat aan en na 30 minuten is de meterstand 5790,7 kWh.

Bereken het vermogen van het apparaat.

5. Een lamp van  $75 \Omega$  staat aangesloten op 230 V.

Bereken het vermogen van dit apparaat.

6. Op een elektrisch apparaat staat gedrukt 230 V en 40 W. Je sluit dit apparaat aan op een spanning van 115 V. We nemen aan dat de weerstand hetzelfde blijft.

Bereken hoe groot het vermogen bij 115 V zal zijn.

7. Thuis heb je zekeringen van elk 16 A.

a. Bereken hoeveel lampen van 230V, 100 W je tegelijkertijd kunt aansluiten op één





- zekering.
- b. Je gaat twee weken met vakantie en laat al die lampen aanstaan. Hoeveel gaat die stommititeit je kosten? 1 kWh kost € 0,12.

### 1.3 Transformator

Magnetische flux ( $f$ ) is een maat voor het aantal magnetische veldlijnen dat door de dwarsdoorsnede  $A$  van een spel gaat. De flux zelf wekt geen spanning op ( $U_{ind} = 0$ ), maar de fluxverandering ( $\Delta f$ ) binnen een spel veroorzaakt wel een inductiespanning ( $U_{ind}$ ). Deze fluxverandering is op de volgende manier op te wekken: een permanente magneet wordt naar een spoel toe, of van een spel af bewogen. Een andere manier is de magneet te draaien.

De grootte van de flux bereken je als volgt:

$$f = B \times A \times \cos a$$

- $f$  Magnetische flux in Wb  
 $B$  Magnetische inductie in Tesla  
 $A$  Oppervlakte dwarsdoorsnede spoel in  $m^2$   
 $\cos a$  Hoek tussen de lengte- as van de spoel en de veldlijnen

Zoals gezegd levert een verandering van de magnetische flux een inductiespanning over de spoel.

De inductiespanning bereken je als volgt:

$$U_{ind} = N \times (\Delta f / \Delta t)$$

- $U_{ind}$  Inductiespanning in V  
 $N$  Aantal windingen  
 $\Delta f$  Fluxverandering in Wb  
 $\Delta t$  Tijdsverandering in sec.

Als een Noordpool een spoel nadert is er een toename van de flux, de inductiestroom in de spoel veroorzaakt een tegen flux (het naderen van de Noordpool wordt tegengewerkt). Wanneer de magneet weer van de spoel af beweegt veroorzaakt de inductiestroom een "meeflux" (de stroomrichting is omgekeerd). De spoel werkt als een spanningsbron, buiten de bron loopt de stroom van + naar -, buiten de bron is dit andersom. De stroomrichting van de spoel vind je wederom m.b.v. de rechterhandregel.

#### Werking van een dynamo

Wisselspanning

Een wisselspanning heeft als kenmerk een frequentie en een topwaarde ( $U_{max}$ ). De tijdsduur van één volledige spanningsgolf is de periode ( $T$ ).

De frequentie bereken je als volgt:

$$f = 1/T$$

