

Tentamen Toegepaste Thermodynamica en Energieconversies

Deel B: Elektriciteit en kernenergie

Maandag 8 november 2004 van 9.00 – 11.00 uur

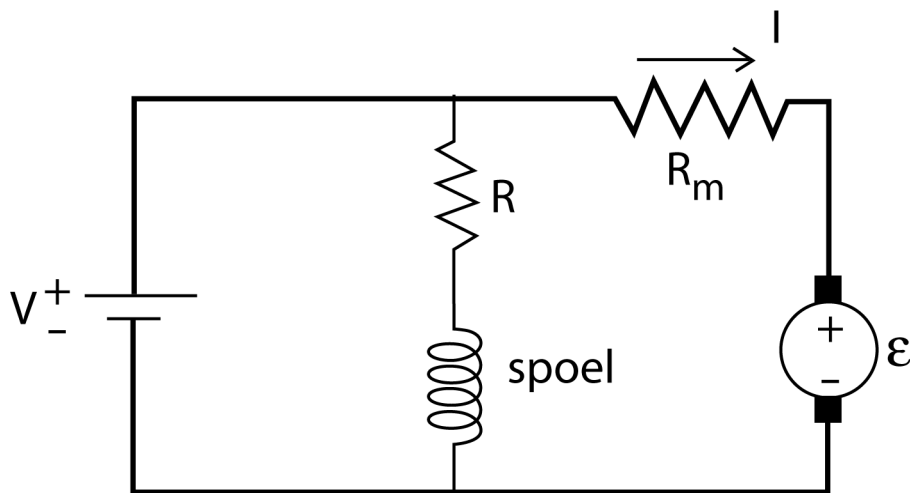
Vermeld op elk nieuw vel: naam en administratienummer.

Geef korte en bondige antwoorden.

Tussen haakjes staat het aantal punten dat per vraag kan worden behaald.

1. Elektromotor

Van een gelijkstroom shuntmotor (zie figuur) zijn de volgende gegevens bekend:



Het toerental bedraagt 1000 omwentelingen per minuut. De motorconstante is 2. De elektromotorische kracht is 100 V. De stroom I door de motor is 5 A. De motorweerstand $R_m = 2 \Omega$. De weerstand $R = 50 \Omega$.

- Bereken het mechanische vermogen van deze motor. (5)
- Hoe groot is het rendement van de motor? (10)
- Bereken de torsie van de motor. (5)
- Bereken de grootte van het door de elektromagneet opgewekte magneetveld. (5)
- Op de as van de motor zit een wiel met een diameter van 20 cm. Aan dit wiel is een touw bevestigd. Hoe groot is het maximale gewicht dat door de motor kan worden getild? (5)

2. Elektriciteitsopwekking

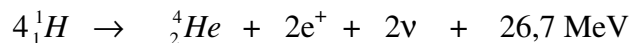
De jaarlijkse mondiale elektriciteitsproductie bedraagt $16,7 \cdot 10^{12}$ kWh. Veronderstel dat de elektriciteitscentrales gestookt kunnen worden met kolen, aardgas of uranium. De typische kentallen voor deze energiedragers staan hieronder. De helft van de elektriciteit wordt opgewekt met kolen, een kwart met gas en een kwart nucleair.

Energiedrager	Verbrandingswaarde	Rendement	CO ₂ -emissie (kg/GJ)
Aardgas	31,68 MJ/m ³	55%	56
Kolen	29,3 MJ/kg	40%	80
Nucleair	2,45.10 ⁶ MJ/kg	34%	10

- Bereken het totale opgestelde mondiale vermogen bij een gemiddelde belastingfactor van 60%. (5)
- Bereken het brandstofverbruik per jaar voor de verschillende energiedragers. (5)
- Bereken de CO₂-emissie (zowel totaal als per kWh) voor de drie verschillende energiedragers. Waarom is de CO₂-emissie van een kerncentrale niet nul? (10)
- Bereken de toename van de CO₂-emissie wanneer alle elektriciteit met kolen wordt opgewekt. (5)
- Bereken de afname van de CO₂-emissie wanneer alle elektriciteit met kernenergie wordt opgewekt. (5)

3. Kernfusie

Het totaal door de zon uitgestraalde vermogen is $4 \cdot 10^{26}$ Watt. De massa van de zon is $2 \cdot 10^{30}$ kg. De afstand van de aarde tot de zon is $150 \cdot 10^6$ km. De energie van de zon wordt opgewekt door de volgende netto fusiereactie:



De massa van het proton is $1,6725 \cdot 10^{-27}$ kg.

De lichtsnelheid $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

De straal van de aarde is 6.400 km.

- Met hoeveel massaverlies per seconde komt het uitgestraalde zonnevermogen overeen? (5)
- Bereken de hoeveelheid waterstof die per seconde wordt omgezet in helium. (10)
- Bepaal de verhouding tussen de totale hoeveelheid ingestraalde zonne-energie en het mondiale energieverbruik (400 EJ/jaar). (5)
- Bereken de hoeveelheid waterstof die per jaar in fusiecentrales moet worden verstoekt om aan de mondiale elektriciteitsvraag (60 EJ/jaar) te voldoen. (10) (Het rendement van de fusiecentrales is 33% en de belastingfactor is 75%)

Antwoorden tentamen Toegepaste Thermodynamica en Energieconversies

Van: 8 november 2004

1a. $P_m = P_e = \epsilon \cdot I = 100 \times 5 = 500 \text{ W}$

1b. $I_s = 110/50 = 2,2 \text{ A}$

$$I_s^2 \cdot R = 242 \text{ W} \quad I^2 \cdot R = 50 \text{ W} \quad \text{Totaal: } 292 \text{ W}$$

Het rendement wordt dan $500/792 = 63\%$

1c. $P_m = \tau \cdot \omega$

$$P_m = 500 \text{ W}$$

$$\omega = 1000 \text{ omwentelingen per minuut} = 104,7 \text{ rad/s}$$

Hieruit volgt dat $\tau = 4,8 \text{ Nm}$

1d. $I = \tau/BK$, daaruit volgt dat $B = \tau/IK = 4,8/5 \times 2 = 0,48 \text{ Tesla}$

1e. $r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

$$\tau = r \times F, \text{ hieruit volgt dat } F = \tau/r = 4,8/0,1 = 48 \text{ N}$$

Met deze kracht kan een gewicht van 4,8 kg worden getild.

2a. Er geldt dat het totaal opgestelde vermogen vermenigvuldigd met het aantal uren in een jaar en de belastingfactor de jaarlijkse mondiale elektriciteitsproductie levert. Hieruit volgt dat het opgestelde vermogen gelijk is aan:

$$\frac{16,7 \cdot 10^{12}}{8760 \times 0,6} = 3,17 \cdot 10^9 \text{ kW} = 3.170 \text{ GW(e)}$$

2b. Het jaarlijkse brandstofverbruik wordt gegeven door de volgende formule:

$$\frac{\text{totaal opgewekte elektriciteit per jaar} \times \text{aantal J/kWh}}{\text{verbrandingswaarde} \times \text{rendement}}$$

Voor kolen wordt dit:

$$\frac{0,5 \times 16,7 \cdot 10^{12} \times 3,6 \cdot 10^6}{29,3 \cdot 10^6 \times 0,4}$$

Hetgeen overeenkomt met $2,56 \cdot 10^{12} \text{ kg}$ kolen.

Voor gas wordt dit:

$$\frac{0,25 \times 16,7 \cdot 10^{12} \times 3,6 \cdot 10^6}{31,68 \cdot 10^6 \times 0,55}$$

Hetgeen overeenkomt met $0,86 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ gas.

Voor kern wordt dit:

$$\frac{0,25 \times 16,7 \cdot 10^{12} \times 3,6 \cdot 10^6}{2,45 \cdot 10^{12} \times 0,34}$$

Hetgeen overeenkomt met $18 \cdot 10^6 \text{ kg}$ splijtstof.

2c. Nu moet het aantal GJ(thermisch) worden berekend en daarna vermenigvuldigd met de CO₂-emissiefactoren uit de tabel.

GJ(thermisch) wordt berekend met de volgende formule:

$$\frac{\text{totaal opgewekte elektriciteit per jaar X aantal J/kWh}}{1 \text{ GJ X rendement}}$$

Hieruit volgt:

Voor kolen:

CO₂-emissie totaal: 6.10⁹ ton CO₂

CO₂-emissie per kWh: 720 gram CO₂

Voor gas:

CO₂-emissie totaal: 1,53.10⁹ ton CO₂

CO₂-emissie per kWh: 366 gram CO₂

Voor kern:

CO₂-emissie totaal: 0,44.10⁹ ton CO₂

CO₂-emissie per kWh: 105 gram CO₂

2d. Alle elektriciteit uit kolen, dan is de totale CO₂-emissie 12.10⁹ ton CO₂

In de oude situatie was de CO₂-emissie 8.10⁹ ton CO₂. Toename 4.10⁹ ton CO₂

2e. Alle elektriciteit uit kern, dan is de totale CO₂-emissie 1,76.10⁹ ton CO₂

In de oude situatie was de CO₂-emissie 8.10⁹ ton CO₂. Afname 6,24.10⁹ ton CO₂

3a. $E = mc^2$, daaruit volgt $m = E/c^2$. Per tijdseenheid geldt $dm/dt = P/c^2$
 $dm/dt = 4.10^{26}/(3.10^8)^2 = 4,4.10^9 \text{ kg/s}$.

3b. Het vermogen van de zon gedeeld door de energieopbrengst per fusiereactie geeft het totaal aantal fusiereacties per seconde. Dit aantal moet worden vermenigvuldigd met viermaal de protonmassa. In formule:

$$\frac{4.10^{26}}{26,7.10^6.1,6.10^{-19}} \times 4 \times 1,6725.10^{-27} = 6,26.10^{11} \text{ kg/s}$$

3c. De aarde ziet er vanuit het heelal uit als een schijf met een straal van 6.400 km. Het oppervlak daarvan is πR^2 . Vermogen per vierkante meter = $P/4\pi a^2 = 4.10^{26}/4\pi.(1,5.10^{11})^2 = 1,4.10^3 \text{ W/m}^2$ (a = afstand aarde-zon)

Het ingestraalde vermogen is dit oppervlak vermenigvuldigd met $1,4.10^3 \text{ W/m}^2$. Voor de totale ingestraalde energie moet dit getal met het aantal seconden in een jaar worden vermenigvuldigd.

De ingestraalde energie is $\pi.(6,4.10^6)^2 * 1,4.10^3 * 31,5.10^6 = 5,7.10^{24} \text{ J}$.

Dit moet door 400 EJ = 4.10^{20} Joule worden gedeeld.

Uitkomst: 14.250 maal het wereldenergiegebruik.

3d. De elektriciteitsvraag bedraagt 60 EJ. De thermische energie die daarvoor in de fusiecentrales moet worden opgewekt is de elektrische energie gedeeld door het rendement. Dit is $60/0,33 = 180 \text{ EJ}$. Toepassing van dezelfde formule als in 3b geeft een jaarlijkse waterstofbehoefte van $2,8.10^5 \text{ kg}$.