
TOEGEPASTE THERMODYNAMICA EN ENERGIECONVERSIES

2^E DEELTENTAMEN: ELEKTRICITEIT EN KERNENERGIE
3 NOVEMBER 2011, 13:30-16:00 UUR

- De drie vragen tellen even zwaar.
- Het gebruik van een (grafische) rekenmachine en het bijgeleverde formuleblad is toegestaan, andere hulpmiddelen niet.
- Lees de vragen zorgvuldig.

Succes!

1. Kernenergie

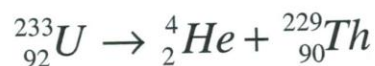
Er zijn voorstellen om thorium te gebruiken in kerncentrales. Thorium komt meer voor dan uranium, en de afval- en proliferatie karakteristieken zijn gunstiger bij de thorium cyclus.

De meest voorkomende isotoop van thorium heeft 232 kerndeeltjes, waarvan 90 protonen. De massa van een dergelijke thoriumkern is 232,038 u.

- Is de massa van de kerndeeltjes los groter, kleiner of gelijk aan de massa van dezelfde kerndeeltjes, maar dan in de vorm van een thoriumkern? Verklaar uw antwoord.
- Bereken de bindingsenergie (in MeV) van thorium-232 op twee manieren. Verklaar het verschil.

Thorium-232 kan niet direct gespleten worden, maar wordt eerst omgezet in U-233. U-233 is splijtbaar, en kan dus als brandstof voor kerncentrales gebruikt worden. Echter, U-233 is niet stabiel, en wordt dus niet in de natuur aangetroffen. U gaat nu kijken naar het natuurlijk verval van U-233.

- Is de volgende reactie mogelijk (i.e. levert deze reactie energie op)? Verklaar uw antwoord.



Gegeven:

Kern	Atomaire massa
${}_{92}^{233}\text{U}$	233.039628 u
${}_2^4\text{He}$	4.00260 u
${}_{90}^{229}\text{Th}$	229.031755 u

- Bereken de hoeveelheid energie die deze reactie oplevert of kost, in MeV.

2. Wisselstroom.

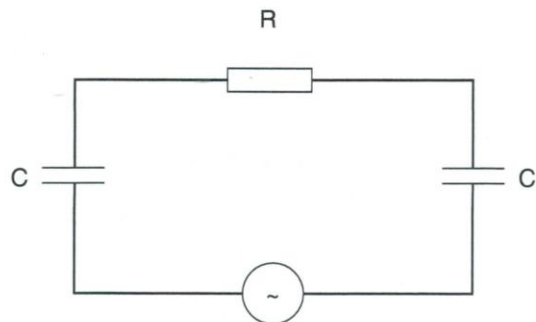
In deze opgave gaat u een innovatief idee van de Toyohashi Universiteit in samenwerking met Toyota onder de loep nemen. In hun eigen woorden:

“Here, Masahiro Hanazawa at Toyota Central R&D Labs. and Takashi Ohira at Toyohashi University of Technology (Toyohashi Tech) propose a potentially revolutionary solution for powering EVs capable of running unlimited distances. The basic concept stems from electric railways, where each car of the train is powered from an overhead wire while the car runs on tracks. The researchers imagined how an automobile running along a road could do so without resorting to dangerous contacting devices such as pantographs, and finally came up with a profound and novel idea: The source of energy from power lines is up-converted into radio frequency (RF) by high-speed inverters implanted along tracks in the road. The RF voltage is applied to a balanced metal track embedded under the surface of the road. The EV picks up the RF voltage via electrical capacitance between the metal and a steel belt installed inside of the tires of the EV.”

Hier is wellicht wat uitleg bij nodig. EV staat voor Electric Vehicle. Radiofrequentie (RF) is wisselstroom met een vrij hoge frequentie (3 kHz tot 300 GHz).

Er wordt dus voorgesteld om een wisselstroom te laten lopen via een condensator die gevormd wordt door wegdek en band naar de auto, en dan weer terug via een zelfde soort condensator tussen een andere band en een ander deel van de weg. Daartussen in moet natuurlijk hetzij de motor, hetzij de batterijen van stroom voorzien worden. Daarvoor is een apparaat nodig dat de frequentie van de stroomsterkte terugbrengt naar normale waarden (bv 50 Hz) of zelfs naar gelijkstroom. Dat apparaat, samen met alle achterliggende apparatuur zoals batterijen of motor modelleren we als een ohmse weerstand.

De schakeling ziet er dan als volgt uit:

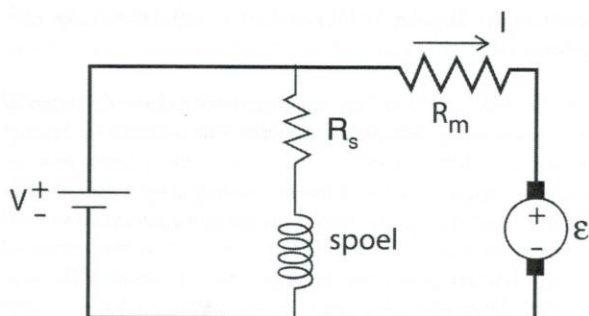


- a. Een auto verbruikt bij een snelheid van 110 km/h ongeveer 20 kW. Neem aan dat dit vermogen is dat door de weerstand R opgenomen wordt. $R = 2,5 \Omega$. Wat is de rms waarde van de stroomsterkte door R ?

De frequentie is 10 kHz en de capaciteit van de condensatoren C is $1 \mu\text{F}$.

- b. Teken een phasor-diagram.
- c. Wat is de amplitude van de spanning die de bron moet leveren?
- d. Wat is de fasehoek tussen spanning en stroomsterkte bij de spanningsbron?
- e. Wat is het vermogen dat de spanningsbron levert?

3. Elektromotor



Beschouw een shuntgeschakelde gelijkstroom motor. De motorconstante is K , de spoel levert in deze omstandigheden een magneetveld B .

- a. Geef een formule voor de maximale torsie die deze motor kan leveren, uitgedrukt in B , K , V , R_m en R_s .
- b. Een motor “brand door” als er een te grote stroom doorheen loopt. Neem aan dat deze motor zo ontworpen is dat dit kan gebeuren. Wanneer zal de motor dan doorbranden:
 - i. als de motor niet draait, omdat hij belast wordt met de maximale torsie,
 - ii. of als de motor onbelast, en dus vrij snel, ronddraait.

Verklaar uw antwoord.

R_m is 1Ω , R_s is $1 \text{ k}\Omega$, V is 5 V , de motorconstante is 20 m^2 , het magneetveld is $0,02 \text{ T}$. De motor moet een torsie leveren van $0,1 \text{ Nm}$, en de tegen-elektromotorische kracht is $4,75 \text{ V}$.

- c. Wat is het rendement van de motor?

Check

- Heeft u alle onderdelen: 1a t/m 1d, 2a t/m 2e, 3a t/m 3c?
- Heeft u alles helemaal uitgeschreven (formule, getallen, eindantwoord, eenheid, uitleg)
- Heeft u de antwoorden nagelopen, en daar waar het een zootje is geworden met doorhalingen en zo, even overgeschreven?

FORMULEBLAD DEEL 2: ELEKTROMAGNETISME EN KERNENERGIE

ENKELE CONSTANTEN:

$$1/4\pi\epsilon_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{C}^2$$

$$\epsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$$

$$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$1 \text{ ame (atomaire massa-eenheid)} = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV}$$

$$m_p = 1,6726231 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

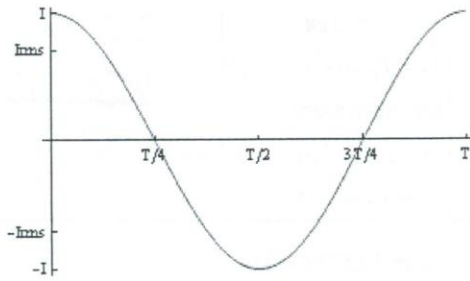
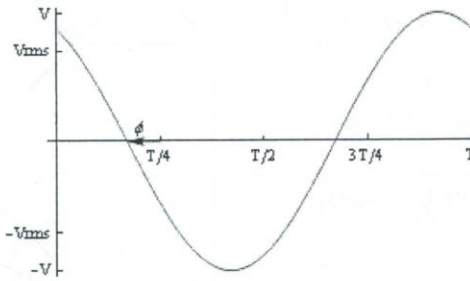
$$m_n = 1,6749286 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_e = 9,1093826 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

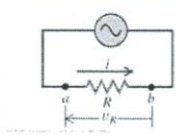
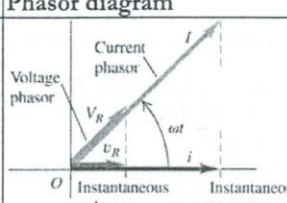
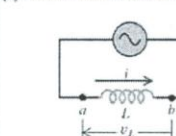
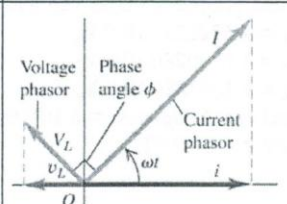
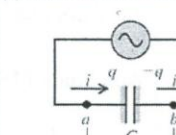
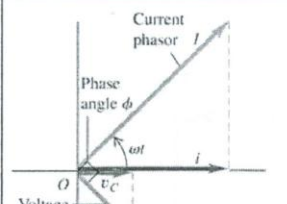
$$\text{getal van Avogadro} = 6 \cdot 10^{23} \text{ moleculen/mol}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

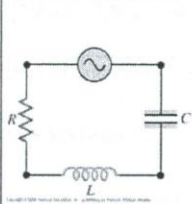
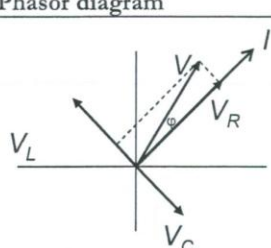
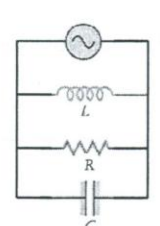
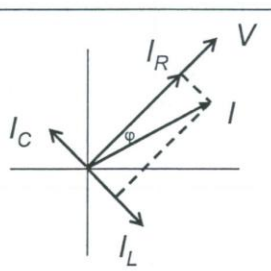
BESCHRIJVING WISSELSTROOM

	<p>Momentane stroomsterkte i</p> $i = I \cos(\omega t) \text{ [A]}$ <p>Amplitude I [A]</p> $I_{rms} = \frac{I}{\sqrt{2}} \text{ [A]}$ <p>Periode T [s]</p> $f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]}$ $\omega = 2\pi f \text{ [rad/s]}$
	<p>Momentane spanning v [V]</p> $v = V \cos(\omega t + \varphi) \text{ [V]}$ <p>Amplitude V [V]</p> $V_{rms} = \frac{V}{\sqrt{2}} \text{ [V]}$ <p>Phaseverschuiving φ [rad]</p>

WEERSTAND, CONDENSATOR EN SPOEL IN EEN WISSELSTROOM

Element	symbol	formules	Phasor diagram
Weerstand	(a) Circuit with ac source and resistor 	$V_R = I_R R$ $i = I_R \cos \omega t$ $v = V_R \cos \omega t$	
Spoel	(a) Circuit with ac source and inductor 	$V_L = I_L \omega L$ $i = I_L \cos \omega t$ $v = V_L \cos(\omega t + \pi/2)$ Of, equivalent: $i = I_L \cos(\omega t - \pi/2)$ $v = V_L \cos \omega t$	
Condensator	(a) Circuit with ac source and capacitor 	$V_C = \frac{I_C}{\omega C}$ $i = I_C \cos \omega t$ $v = V_C \cos(\omega t - \pi/2)$ Of, equivalent: $i = I_C \cos(\omega t + \pi/2)$ $v = V_C \cos \omega t$	

SERIE EN PARALLELSCHAKELING MET WISSELSTROOM

Element	symbol	formules	Phasor diagram
Serie schakeling		$\tan \varphi = \frac{(\omega L - 1/\omega C)}{R}$ $V = I \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$ $i = I \cos \omega t$ $v = V \cos(\omega t + \varphi)$	
Parallel schakeling		$\tan \varphi = R(1/\omega L - \omega C)$ $V = I \left[\frac{1}{\sqrt{1/R^2 + (1/\omega L - \omega C)^2}} \right]$ $i = I \cos(\omega t - \varphi)$ $v = V \cos \omega t$	

INSTANTAAN EN GEMIDDELD VERMOGEN

Instantaan vermogen: $p = vi$ [W]

Gemiddeld vermogen: $P_{av} = \frac{1}{2}VI \cos \varphi = V_{rms} I_{rms} \cos \varphi$ [W]

Dissipatie in ohmse weerstand: $P_{av} = \frac{1}{4}I^2 R = I_{rms}^2 R$ [W]

GEOMETRIE:

Omtrek van een cirkel met straal r : $O=2\pi r$

Oppervlak van een cirkel met straal r : $A=\pi r^2$

Volume van een bol met straal r : $V=4\pi r^3/3$

Volume van een cylinder met straal r en hoogte h : $V=\pi r^2 h$

GENERATOREN EN ELEKTROMOTOREN

De Lorentzkracht op een stroomvoerende geleider is: $\mathbf{F} = I\mathbf{l} \times \mathbf{B}$

De torsie is gedefinieerd als: $\tau = r \times \mathbf{F}$

De torsie uitgeoefend door een magnetisch moment in een magneetveld: $\tau = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$

Voor een elektromotor gelden de volgende algemene relaties: $\varepsilon = B.K.\omega$; $I = \tau/BK$

Het elektrisch vermogen in een elektromotor is $P_e = \varepsilon.I$.

Het mechanisch vermogen in een elektromotor is $P_m = \tau.\omega$

Voor de shuntmotor geldt: $V - (\tau/BK).R_m - BK\omega = 0$

Voor de seriemotor geldt: $\omega = \frac{V}{\sqrt{c\tau}} - \frac{R}{c}$

Elektrische en magnetische krachten en velden		
Type veld	Kracht	Veld
Elektrisch veld	$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$	$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$
Magnetisch veld	$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$	$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} q \frac{\mathbf{v} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$

De wet van Biot en Savart:

$$\mathbf{B} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Het magneetveld van een stroomdraad met een lengte $2a$ in een punt P op een afstand R van het midden van de draad:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}}$$

Het magneetveld in het centrum van een rechthoekige stroomkring met een lengte L en een breedte $2R$:

$$B = \frac{\mu_0 I}{\pi R} \frac{1}{\sqrt{1 + 4R^2/L^2}} + \frac{\mu_0 I}{\pi(L/2)^2} \frac{R}{\sqrt{1 + 4R^2/L^2}}$$

De weerstand van een draad met lengte l , straal r en soortelijke weerstand ρ is gelijk aan:

$$R = \rho \frac{l}{4\pi r^2}$$

De inductiewet van Faraday:

$$V = -\frac{d\Phi}{dt}$$

De magnetische flux in de stator van een generator wordt gegeven door:

$$\Phi_s = B_r A \cos \omega t$$

KERNENERGIE

De bindingsenergie wordt gegeven door:

$$E_B = C_1 A - C_2 A^{2/3} - C_3 \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - C_4 \frac{(A-2Z)^2}{A} \pm C_5 A^{-4/3}$$

met $C_1=15,75$ MeV; $C_2=17,8$ MeV; $C_3=0,71$ MeV; $C_4=23,69$ MeV; $C_5=39$ MeV

De neutronenontsnappingskans wordt gegeven door:

$$p = \exp\left(-\frac{1}{\xi} \int_{E_s}^{E_1} \frac{dE}{E} \cdot \frac{\Sigma_a(238)}{\Sigma_a(238) + \Sigma_s(238)}\right)$$

Het logarithmisch energieverlies wordt gegeven door:

$$\xi = 1 - \frac{(A-1)^2}{2A} \ln \frac{A+1}{A-1}$$

Bij frontale botsing geldt:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{v_2^2}{v_1^2} = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2$$

De tijdsontwikkeling van de neutronendichtheid is gegeven door:

$$\frac{n}{n_0} = \frac{\beta}{\beta - \rho} \exp\left[\frac{\rho}{\beta - \rho} \frac{t}{\tau_v}\right] - \frac{\rho}{\beta - \rho} \exp\left[(\rho - \beta) \frac{t}{\tau_p}\right]$$

De snelheidsgemiddelde reactieparameter: $\langle \sigma v \rangle = \frac{\int \sigma v f(v) dv}{\int f(v) dv}$

Het Lawsoncriterium: $n \cdot \tau > \frac{12kT}{\langle \sigma v \rangle \cdot E_{DT}}$ ($\approx 3 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} \cdot \text{s}$, voor een DT-reactie)

De magnetische druk: $p_m = \frac{B^2}{2\mu_0}$