

11 Magnetism

Magnetiskt fält kring strömförande ledare

11.1 Kraften på en av de två ledarna ges av

$$F = k \frac{I_1 I_2 l}{r}$$

Newtons 3:e lag säger att kraften på den andra ledaren är lika stor men motriktad.

Svar: Falskt

11.2 Fältets styrka ges av

$$B = k \frac{I}{r}$$

där $k = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$, $I = 3,5 \text{ A}$ och $r = 0,15 \text{ m}$

vilket ger $B = 2,0 \cdot 10^{-7} \frac{3,5}{0,15} \text{ T} = 4,67 \cdot 10^{-6} \text{ T}$

Fältets går runt ledaren och HHR 1 ger oss riktningen. Tummen i strömmens riktning, resten av fingrarna runt ledaren och fältet har då en sådan riktning att det kommer ut ur fingertopparna, d.v.s. in i papperet i P .

Svar: $4,7 \mu\text{T}$ in i papperet

11.3 Storleken på kraften på ledaren ges av

$$F = BIl$$

där $B = 35 \text{ mT}$, $I = 2,0 \text{ A}$ och $l = 0,50 \text{ m}$ vilket ger

$$F = 0,035 \cdot 2,0 \cdot 0,50 \text{ N} = 0,035 \text{ N}$$

Kraftens riktning får m.h.a. HHR2: Tummen i strömmens riktning, resten av fingrarna i fältets riktning, kraften kommer ut ur handflatan d.v.s. uppåt i figuren.

Svar: 35 mN uppåt i figuren.

11.4 Kraften på ledarna ges av

$$F = k \frac{I_1 I_2 l}{r}$$

vilket ger oss den sökta strömmen som

$$I_2 = \frac{Fr}{kI_1 l}$$

där $F = 25 \cdot 10^{-6}$, $r = 1,2 \text{ m}$ $k = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$,

$$I_1 = 3,5 \text{ A} \text{ och } l = 1 \text{ m}$$

vilket ger $I_2 = \frac{25 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2}{2,0 \cdot 10^{-7} \cdot 3,5 \cdot 1} \text{ A} = 42,9 \text{ A}$

Svar: 43 A

11.5 Storleken på den magnetiska kraften på partikeln ges av

$$F = BQv$$

där $B = k \frac{I}{r}$

vilket ger $F = k \frac{I}{r} Qv$

där $k = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$, $I = 3,0$, $Q = 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$,

$$v = 28 \text{ m/s} \text{ och } r = 50 \text{ mm}$$

vilket ger $F = 2,0 \cdot 10^{-7} \frac{3,0}{50 \cdot 10^{-3}} 6,5 \cdot 10^{-6} \cdot 28 \text{ N} = 2,18 \cdot 10^{-9} \text{ N}$

Kraftens riktning fås m.h.a. HHR1 och HHR2.

HHR1 ger oss fältet riktning där laddningen befinner sig.

Tummen i strömmens riktning, fingrarna runt ledaren. Fältet går runt ledaren och har en sådan riktning att det kommer ut ur fingertopparna. Det ger att fältet där Q befinner sig är riktat ut ur papperet.

HHR2 ger oss kraftens riktning: Tummen i strömmens riktning (samma riktning som positiv laddnings hastighet), resten av fingrarna i fältets riktning (ut ur papperet), kraften kommer ut ur handflatan d.v.s. bort från ledaren.

Svar: 2,2 nN bort från ledaren.

- 11.6 Den magnetiska flödestätheten 20 cm vänster om den vänstra ledaren fås som summan av fälten från de två ledarna.

HHR1 ger att fältet från den vänstra ledaren är riktat in i papperet i punkten och fältet från den högra ledaren är riktat ut ur papperet i punkten.

In i papperet väljs som positiv riktning. Detta ger

$$B = B_{\text{vänster}} - B_{\text{höger}} =$$

$$= k \frac{I}{r_{\text{vänster}}} - k \frac{I}{r_{\text{höger}}} = kI \left(\frac{1}{r_{\text{vänster}}} - \frac{1}{r_{\text{höger}}} \right)$$

där $k = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$, $I = 5,0 \text{ A}$,

$$r_{\text{vänster}} = 0,20 \text{ m och } r_{\text{höger}} = 0,30 \text{ m}$$

Detta ger fältet i punkten som

$$B = 2,0 \cdot 10^{-7} \cdot 5,0 \cdot \left(\frac{1}{0,20} - \frac{1}{0,30} \right) \text{ T} = 1,67 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

Svar: 1,7 μT i positiv riktning, d.v.s. in i papperet.

11.7 Det verkar två krafter på den mellersta ledaren.

Kraften p.g.a. den vänstra ledaren:

$$\text{Storlek } F_v = k \frac{I_2 I_1}{r} = 2k \frac{I^2 l}{r}$$

Riktning HHR1 ger magnetfältet in i papperet där mellersta ledaren är.

HHR2 ger kraft på mellersta ledaren åt vänster.

Kraften p.g.a. den högra ledaren:

$$\text{Storlek } F_h = k \frac{2I_3 I_1}{r} = 6k \frac{I^2 l}{r}$$

Riktning HHR1 ger magnetfältet ur ur papperet där mellersta ledaren är.

HHR2 ger kraft på mellersta ledaren åt höger.

Summan av krafterna få som

$$F = F_h - F_v = 6k \frac{I^2 l}{r} - 2k \frac{I^2 l}{r} = 4k \frac{I^2 l}{r}$$

åt höger.

Svar: Åt höger

11.8 Det totala magnetfältet kan vara noll endast där fälten är motriktade. Det är de till vänster om ledare 1 och till höger om ledare 2. Då $I_1 > I_2$ kan det totala magnetfältet vara noll endast till höger om I_2 . Avståndet från I_2 till den sökta punkten får heta x .

Då fås

$$B_1 = B_2$$

$$k \frac{I_1}{2,5 + x} = k \frac{I_2}{x}$$

$$k \frac{2,5}{2,5 + x} = k \frac{0,80}{x}$$

ur vilket den sökta sträckan få enligt

$$\frac{2,5}{2,5 + x} = \frac{0,80}{x}$$

$$2,5x = 0,80(2,5 + x)$$

$$2,5x = 2,5 \cdot 0,80 + 0,80x$$

$$2,5x - 0,80x = 2,5 \cdot 0,80$$

$$2,5x - 0,80x = 2,5 \cdot 0,80$$

$$x = \frac{2,5 \cdot 0,80}{2,5 - 0,80} \text{ m} = 1,18 \text{ m}$$

Svar: 1,2 m till höger om den högra ledaren.

Rörelse av elektrisk laddning i magnetiskt fält

11.9 HHR2 ger att kraften på laddningen är vinkelrät mot laddningens hastighet. Ett magnetiskt fält kan därför endast förändra riktningen på laddningens hastighet, aldrig dess storlek. Om laddningens hastighet inte är vinkelrät mot magnetfältet kan hastigheten ses som summan av två hastigheter: En parallell med fältet och en vinkelrät mot detsamma. Den parallella delen påverkas inte av fältet. Den vinkelräta är den del som påverkas och som används då kraftens storlek beräknas enligt $F = BQv$ och den som används i HHR2.

Svar: Sant

11.10 Den magnetiska kraften beräknas enligt

$$F = BQv$$

vilket blir noll om hastigheten är noll.

Svar: 0 N

11.11 Den delen av hastigheten som är parallell med magnetfältet påverkas inte av fältet. Här är hela hastigheten parallell med fältet och därmed är den magnetiska kraften på protonen noll.

Svar: 0 N

- 11.12 HHR2 ger att strömmen är riktad åt höger. Laddningen rör sig åt vänster, d.v.s. dess hastighet är motriktad strömmen. Detta är fallet för en negativ laddning.

Svar: Negativ

- 11.13 Elektronen utför en centralrörelse. Dess centripetalacceleration

ges av
$$a = \frac{v^2}{r}$$

där
$$v = 5,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

Ett uttryck för r fås från att den resulterande kraften riktad mot cirkelns centrum och dess storlek är

$$F_{\text{res}} = \frac{mv^2}{r}$$

Den resulterande kraften ges också av

$$F_{\text{res}} = BQv$$

Detta ger
$$\frac{mv^2}{r} = BQv$$

eller
$$r = \frac{mv^2}{BQv} = \frac{mv}{BQ}$$

vilket ger oss centripetalaccelerationen som

$$a = \frac{v^2}{\left(\frac{mv}{BQ}\right)} = \frac{BQv}{m}$$

där
$$B = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ T}, Q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}, v = 5,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

och
$$m = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Detta ger oss accelerationen

$$a = \frac{2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 5,0 \cdot 10^6}{9,109 \cdot 10^{-31}} \text{ m/s}^2 = 2,20 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$$

Svar: $2,2 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$

Induktion

- 11.14 Den inducerade spänningen i en slinga är proportionell mot förändringen av det magnetiska flödet i slingan.

Svar: Falskt

- 11.15 Den inducerade spänningen beräknas enligt

$$U = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Flödet förändras från 0 till 4,0 mWb på 5,0 ms. Detta ger

$$U = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{4,0 - 0}{5,0} \text{ V} = 0,8 \text{ V}$$

Svar: 0,8 V

- 11.16 Strömmens storlek fås med Ohms lag som

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

där spänningen fås enligt

$$U = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

vilket ger $I = \frac{\Delta\phi}{R\Delta t}$

Här ändrar sig det magnetiska flödet därför att den magnetiska flödestätheten ändrar sig. Detta ger

$$I = \frac{A\Delta B}{R\Delta t}$$

där $A = \pi r^2$

Strömmen fås nu som

$$I = \frac{\pi r^2 \Delta B}{R\Delta t}$$

där $r = 3,0 \text{ cm}$, $\Delta B = 1,0 - 0,4 \text{ T} = 0,6 \text{ T}$

$R = 10 \text{ m}\Omega$ och $\Delta t = 1,2 \text{ s}$

Strömmen beräknas nu till

$$I = \frac{\pi \cdot 0,030^2 \cdot 0,6}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2} \text{ A} = 0,1413 \text{ A}$$

Svar: 0,14 A Se bokens Svar till övningar för strömmens riktning.

11.17 Storleken på ledarens hastighet fås från

$$U = Blv$$

som
$$v = \frac{U}{Bl}$$

där $U = 0,12 \text{ V}$, $B = 23 \text{ mT}$ och $l = 0,90 \text{ m}$

Detta ger
$$v = \frac{0,12}{23 \cdot 10^{-3} \cdot 0,90} \text{ m/s} = 5,80 \text{ m/s}$$

Riktningen på ledarens hastighet fås enligt:

I och med att ledarens nedre del är positiv är den magnetiska kraften på de negativa laddningarna, p.g.a. stavens rörelse, riktad mot ledarens övre del. Det får vi om strömmen använd i HHR2 är riktad åt vänster. Strömmens riktning är motsatt negativ laddnings hastighet, alltså rör sig staven åt höger.

Svar. 5,8 m/s åt höger

11.18 a) Det magnetiska flödet beräknas som

$$\phi = BA$$

där $B = 0,55 \text{ T}$ och $A = 17 \text{ cm}^2 = 17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

vilket ger $\phi = 0,55 \cdot 17 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} = 9,35 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

b) Den inducerade spänningen ges av

$$U = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

ur vilket den sökta tiden fås som

$$\Delta t = N \frac{\Delta\phi}{U}$$

där $N = 35$, $U = 2,5 \text{ V}$ och $\Delta\phi = 9,35 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

vilket ger
$$\Delta t = 35 \frac{9,35 \cdot 10^{-4}}{2,5} \text{ s} = 0,0131 \text{ s}$$

Svar: a) $9,4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$ och b) 13 ms

11.19 Spänningen över staven ges av

$$U = Blv$$

Stavens rörelse är likformigt accelererad och kallas fritt fall.

Hastigheten efter en viss tid ges då av

$$v = v_0 + gt = gt$$

där den sista likheten fås eftersom staven släpps.

Detta ger den sökta spänningen som

$$U = Blgt$$

där $l = 2,0$ m

När staven fallit i 1,0 s är spänningen mellan dess ändar 0,32 mV.

Detta ger oss styrkan på magnetfältet

$$B = \frac{0,32 \cdot 10^{-3}}{2,0 \cdot 9,82 \cdot 1,0} \text{ T} = 1,629 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

Då staven fallit i 3,0 s fås spänningen mellan dess ändar som

$$U = Blgt = 1,629 \cdot 10^{-5} \cdot 2,0 \cdot 9,82 \cdot 3,0 \text{ V} = 9,598 \cdot 10^{-4} \text{ V}$$

Svar: 0,96 mV

Generator

11.20 Den inducerade spänningens amplitud ges av

$$\hat{u} = -NBA\omega = -NBA \frac{2\pi}{T}$$

Om både antalet varv och perioden fördubblas fås

$$\hat{u} = -2NBA \frac{2\pi}{2T} = -NBA \frac{2\pi}{T}$$

d.v.s. den inducerade spänningens amplitud förändras inte.

Svar: Sant

- 11.21 a) Den inducerade spänningens maximala värde är lika med storleken på dess amplitud.

$$\hat{u} = NBA\omega = NBA2\pi f$$

där $N = 8$, $B = 470 \text{ mT}$, $A = 8,0 \text{ dm}^2 = 8,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

och $f = 50 \text{ Hz}$

vilket ger $\hat{u} = 8 \cdot 0,470 \cdot 8,0 \cdot 10^{-2} 2\pi \cdot 50 \text{ V} = 94,45 \text{ V}$

- b) Det allmänna uttrycket för den inducerade spänningen är

$$u(t) = \hat{u} \sin(\omega t)$$

där $\hat{u} = 94 \text{ V}$ och $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 \text{ rad/s} = 314 \text{ rad/s}$

vilket ger uttrycket för den inducerade spänningen som

$$u(t) = 94 \sin(314t)$$

Svar: a) 94 V och b) $u(t) = 94 \sin(314t)$

Växelspänning

- 11.22 Spänningens amplitud ges av

$$\hat{u} = \sqrt{2}U$$

där U är spänningens effektivvärde.

Om U fördubblas blir även amplituden dubbelt så stor

Svar: Falskt

- 11.23 Växelspänningens amplitud ges av

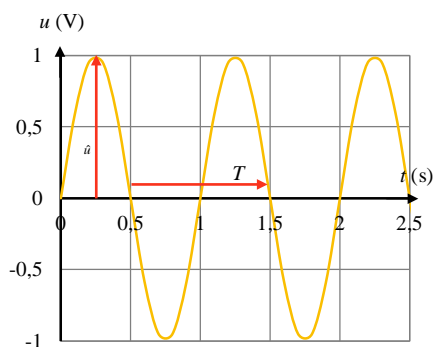
$$\hat{u} = \sqrt{2}U$$

där $U = 220 \text{ V}$

vilket ger $\hat{u} = \sqrt{2} \cdot 220 \text{ V} = 311,1 \text{ V}$

Svar: 311 V

11.24



Spänningens amplitud, \hat{u} , och period, T , är markerade i figuren.

Spänningen har amplituden

$$\hat{u} = 1 \text{ V}$$

och frekvensen

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1} \text{ Hz} = 1 \text{ Hz}$$

11.25 Den inducerade spänningens effektivvärde ges av

$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

där amplitudens storlek ges av

$$\hat{u} = NBA\omega = NBA2\pi f$$

vilket ger $U = \frac{NBA2\pi f}{\sqrt{2}}$

ur vilket den sökta flödestätheten fås som

$$B = \frac{\sqrt{2}U}{NA2\pi f}$$

där $U = 95 \text{ V}$, $N = 500$, $A = 0,035 \text{ m}^2$ och $f = 60 \text{ Hz}$

Detta ger $B = \frac{\sqrt{2} \cdot 95}{500 \cdot 0,035 \cdot 2\pi \cdot 60} \text{ T} = 0,0204 \text{ T}$

Svar: 20 Mt

Transformator

11.26 För en ideal transformator är

$$P_1 = P_2$$

d.v.s. $U_1 I_1 = P_2$

eller $I_1 = \frac{P_2}{U_1}$

Svar: Sant

11.27 För en transformator gäller

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

a) Spänningen över sekundärspolen fås som

$$U_2 = \frac{U_1}{\left(\frac{N_1}{N_2}\right)} = \frac{N_2 U_1}{N_1} = \frac{20 \cdot 230}{400} \text{ V} = 11,5 \text{ V}$$

b) Strömmen i sekundär spolen ges av

$$I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} = 0,83 \frac{400}{20} \text{ A} = 16,6 \text{ A}$$

c) Effekten ut ur kondensatorn fås som

$$P_2 = U_2 I_2 = 11,5 \cdot 16,6 \text{ W} = 191 \text{ W}$$

Svar: a) 12 V, b) 17 A och c) 190 W

11.28 Effekten från generatoren är

$$P_{\text{gen}} = U_{\text{gen}} I_{\text{gen}} = 3500 \cdot 100 \text{ W} = 3,5 \cdot 10^5 \text{ W}$$

a) Effektförlusten vid distributionen är

$$P_{\text{distr}} = U_{\text{distr}} I_{\text{distr}} = I_{\text{distr}}^2 R$$

där I_{distr} fås från

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{\text{gen}}}{U_{\text{distr}}} = \frac{I_{\text{distr}}}{I_{\text{gen}}}$$

som $I_{\text{distr}} = I_{\text{gen}} \frac{U_{\text{gen}}}{U_{\text{distr}}}$

vilket ger $P_{\text{distr}} = \left(I_{\text{gen}} \frac{U_{\text{gen}}}{U_{\text{distr}}} \right)^2 R$

där $I_{\text{gen}} = 100 \text{ A}$, $U_{\text{gen}} = 3500 \text{ V}$,

$U_{\text{distr}} = 2,2 \cdot 10^5 \text{ V}$ och $R = 30 \Omega$

Detta ger förlusten i distributionen som

$$P_{\text{distr}} = \left(100 \frac{3500}{2,2 \cdot 10^5} \right)^2 \cdot 30 \text{ W} = 75,9 \text{ W}$$

och den procentuella förlusten blir

$$\frac{P_{\text{distr}}}{P_{\text{gen}}} = \frac{75,9}{3,5 \cdot 10^5} = 2,17 \cdot 10^{-4} = 0,0217 \%$$

b) Utan transformering hade förlusten i distributionen varit

$$P_{\text{distr}} = 100^2 \cdot 30 \text{ W} = 3,0 \cdot 10^5 \text{ W}$$

och den procentuella förlusten

$$\frac{P_{\text{distr}}}{P_{\text{gen}}} = \frac{3,0 \cdot 10^5}{3,5 \cdot 10^5} = 0,857 = 85,7 \%$$

Svar: a) 0,022 % och b) 86 %