
Kapitel 6
Lektion 6

Övning 6.1.

Jämför energin vid 15°C, 1 atmosfärs tryck, som kan samlas upp i 1 m² vid följande vindförhållanden. Använd $E = \frac{1}{2}\rho Av^3\Delta t$ och $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$.

- a) 100 timmar vind i 6 m/s. Svara i Wh.
- b) 50 timmar vind i 3 m/s plus 50 timmar vind i 9 m/s (det vill säga samma medelhastighet på 6 m/s som i a-uppgiften). Svara i Wh.
- c) Vindens medelhastigheten är 6 m/s i båda uträkningarna. Kommentera hur energin skiljer sig för de två fallen.

Lösning:

$$E = \frac{1}{2}\rho Av^3\Delta t \quad \text{med} \quad \rho = 1.225 \text{ kg/m}^3 \quad \text{och} \quad A = 1 \text{ m}^2;$$

a)

$$v_a = 6 \text{ m/s}; \quad \Delta t_a = 100 \text{ h}$$

$$Energy_a = \frac{1}{2}\rho Av_a^3\Delta t_a = 1.323 \times 10^4 \text{ Wh}$$

b)

$$v_1 = 3 \text{ m/s}; \quad v_2 = 9 \text{ m/s}; \quad \Delta t_1 = 50 \text{ h}; \quad \Delta t_2 = 50 \text{ h}$$

$$Energy_b = \frac{1}{2}\rho Av_1^3\Delta t_1 + \frac{1}{2}\rho Av_2^3\Delta t_2 = 2.315 \times 10^4 \text{ Wh}$$

- c) Båda fallen hade samma genomsnittliga vindhastighet, men kombinationen av vindar på 9 m/s och 3 m/s (genomsnitt 6 m/s) producerar 75% mer energi än vindar som blåser stadigt 6 m/s. Därför ska man undvika att räkna med vindens medelhastighet.

Övning 6.2.

En anemometer monterad 10 m över en yta med grödor, häckar och buskar visar en vindhastighet på 5 m/s. Beräkna vindhastigheten och vindens specifika effekten på en höjd av 50 m. Antag 15°C och 1 atm tryck. Använd Tabell 6.1 och $\left(\frac{v}{v_0}\right) = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha$ för att beräkna vindhastigheten och $P = \frac{1}{2}\rho v^3$ för att beräkna den specifika effekten. Jämför effekten som finns vid 10 och 50 meters höjd.

Friction Coefficient for Various Terrain Characteristics	
Terrain Characteristics	Friction Coefficient α
Smooth hard ground, calm water	0.10
Tall grass on level ground	0.15
High crops, hedges and shrubs	0.20
Wooded countryside, many trees	0.25
Small town with trees and shrubs	0.30
Large city with tall buildings	0.40

Tabell 6.1: Figur till Övning 6.2.

Lösning:

$$P_h = \frac{1}{2}\rho v_h^3 \quad (\text{där } \rho = 1.225 \text{ kg/m}^3)$$

$$v_{10} = 5 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^{0.2} = 5 \text{ m/s}$$

$$P_{10} = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot (v_{10})^3 = 76.6 \text{ W/m}^2$$

$$v_{50} = 5 \cdot \left(\frac{50}{10}\right)^{0.2} = 6.9 \text{ m/s}$$

$$P_{50} = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot (v_{50})^3 = 201 \text{ W/m}^2$$

$$\frac{P_{50}}{P_{10}} = \frac{201}{76.6} \approx 2.6$$

Det finns 2.6 gånger så mycket mer tillgänglig effekt på 50 m än på 10 m.

Övning 6.3.

Ekvationen $P_b = \frac{1}{2}\rho Av^3 \left[\frac{1}{2}(1+\lambda)(1-\lambda^2) \right]$ visar att den effekt som utvinns ur vinden är lika med uppströmseffekt i vinden ($\frac{1}{2}\rho Av^3$) multiplicerat med delen av vindens kraft som utvinns av bladen, dvs rotorns effektivitet och betecknas $C_p = \frac{1}{2}(1+\lambda)(1-\lambda^2)$. Vad är den maximala rotoeffektiviteten?

Lösning:

$$\frac{dC_P}{d\lambda} = \frac{1}{2}[(1+\lambda)(-2\lambda) + (1-\lambda^2)] = \frac{1}{2}(1+\lambda)(1-3\lambda) = 0 \Leftrightarrow \lambda = \frac{1}{3}$$

Dubbelkolla att andraderivatan är negativ för maximum.

($\lambda = \frac{v_d}{v}$, där v_d är vindhastigheten nedströms och v är vindhastigheten uppströms, båda har samma riktning och därmed kan λ inte bli negativ).

$$C_{p,max} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{1}{3}\right)\left(1 - \frac{1}{3^2}\right) = 0.593 = 59.3\%$$

$C_{p,max}$ kallas Betz effektivitet

Övning 6.4.

En 40 m i diameter, trebladig vindturbin producerar 600 kW vid en vindhastighet på 14 m/s. Luftdensiteten är standardvärdet 1.225 kg/m³.

- Vid vilket varvtal roterar rotorn när den arbetar med en TSR på 4.0?
- Vad är rotorns bladspets hastighet?
- Om generatoren måste rotera 1800 rpm, vilket utväxlingsförhållande behövs för att matcha rotorhastigheten med generatorhastigheten?
- Vilken är verkningsgraden för den kompletta vindturbinen (blad, växellåda, generator) under dessa förhållanden?

Lösning:

$$TSR = \frac{\text{Rotor tip speed}}{\text{Wind speed}} = \frac{rpm \times \pi D}{60v}$$

$$\text{Gear ratio} = \frac{\text{Generator rpm}}{\text{Rotor rpm}}$$

$$P_w = \frac{1}{2}\rho Av_w^3$$

$$a) \text{ rpm} = \frac{TSR \times 60v}{\pi D} = \frac{4 \times 60 \text{ s/min} \times 14 \text{ m/s}}{40 \pi \text{ m/rev}} = 26.7 \text{ rev/min}$$

$$b) \text{ Tip speed} = TSR \cdot \text{wind speed} = 56 \text{ m/s} \quad (\text{eller Tip speed} = \text{rpm } \pi D / 60 = 56 \text{ m/s})$$

$$c) \text{ Gear ratio} = 1800 / 26.7$$

- d) Effekten i vinden (med $A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 1256.6 \text{ m}^2$):
- $$P_w = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot A \cdot 14^3 = 2112 \text{ kW}$$
- $$\eta = \frac{600 \text{ kW}}{2112 \text{ kW}} = 28.4 \%$$

Övning 6.5.

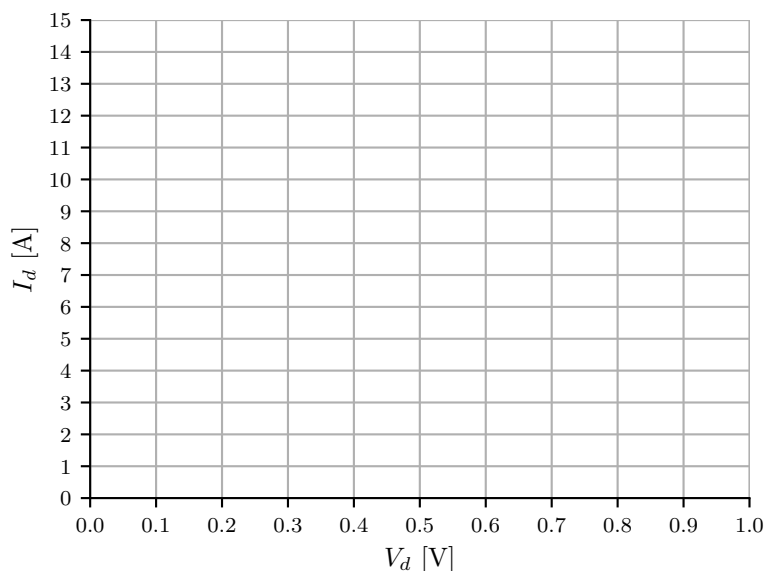
En diod karaktäriseras av Shockley-equationen

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{k}{qT} V_d} - 1 \right)$$

där I_d är strömmen genom dioden, V_d är spänningen över dioden, och I_0 är diodens backström. I denna uppgift kommer vi anta temperaturen 25°C och för övriga parametrar gäller då

$$\frac{k}{qT} = 38.9.$$

Beräkna spänningen över en diod med backström på 10^{-9} A för strömmarna 0 A, 1 A, och 10 A, samt skissa diodens karakteristik i Figur 6.1 nedan.



Figur 6.1: Figur till Övning 6.5

Lösning:

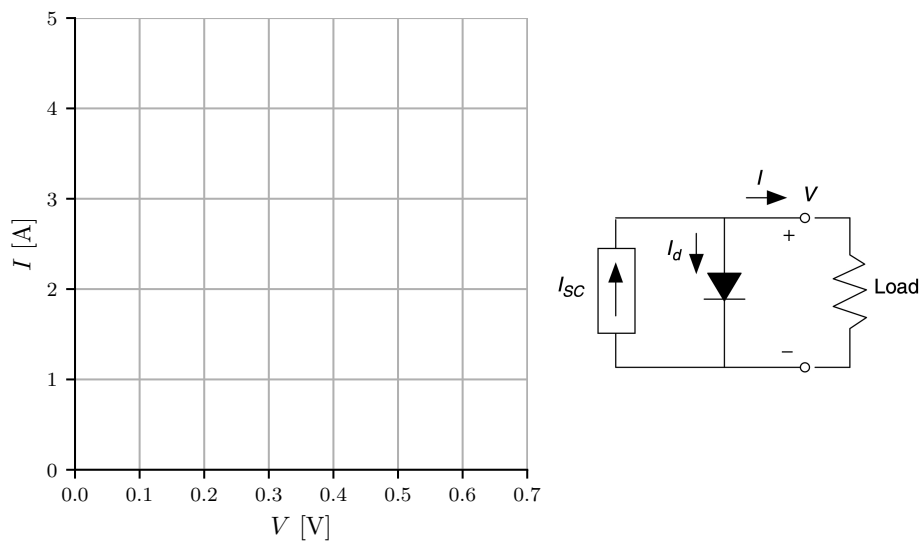
Se facit.

Övning 6.6.

En 100 cm^2 stor solcell har en backström per areaenhet på 10^{-12} A/cm^2 , och vid fullt solljus är dess korslutningsström per areaenhet 40 mA/cm^2 vid 25°C . Beräkna dess öppna krets-spänning vid fullt solljus samt 50 % solljus.

- a) Beräkna kortslutningsströmmen I_{sc} för de två fallen. Ange även spänningen V över cellen vid kortslutning.

- b) Beräkna öppen kretsspänning för de två fallen. Ange även strömmen I för den öppna kretsen.
- c) Ange förhållandet mellan I , I_d , och I_{sc} .
- d) Använd resultatet från a), b) och c) tillsammans med figuren från föregående uppgift för att skissa spänning mot ström för solcellen i de två fallen.



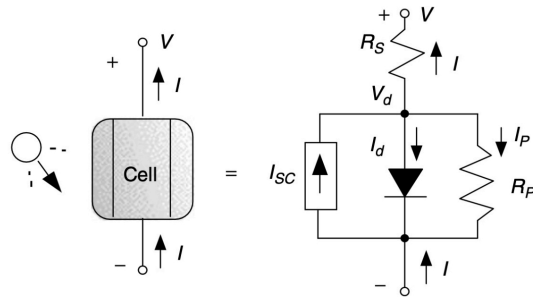
Figur 6.2: Figur till Övning 6.6

Lösning:

Se facit.

Övning 6.7.

En solcellsmodul utgörs av $N = 36$ identiska celler med ekvivalenta krets enligt Figur 6.3, med parallellresistansen $R_p = 6.6 \Omega$ samt serieresistansen $R_s = 0.005 \Omega$. I ett specifikt driftfall är kortslutningsströmmen $I_{sc} = 3.4 \text{ A}$, backströmen $I_0 = 6 \times 10^{-10} \text{ A}$, samt diodspänningen $V_d = 0.5 \text{ V}$. Beräkna modulens spänning, ström, samt levererad effekt.



Figur 6.3: Figur till Övning 6.7

Lösning:*Se facit.***Övning 6.8.**

I denna uppgift ska vi åter igen studera 36-cellsmodul från Övning 6.7. Antag att vid fullt solljus över alla celler så är strömmen $I = 2.14$ A och spänningen över modulen $V_{module} = 19.41$ V. Antag nu att en av cellerna blir fullständigt skuggade, men att strömmen I och spänningen på över de oskuggade cellerna på något sätt förblir den samma. Genom att studera Shockley-equationen kan man även se att $I_d > I_0(0 - 1) = -I_0$, och eftersom värdet I_0 är mycket litet så kan vi anta att strömmen genom en diod aldrig går åt fel håll. Beräkna:

- Vad blir spänningen över de oskuggade cellerna?
- Vad blir spänningen över den skuggade cellen?
- Vad blir den nya modulspänningen?
- Hur mycket effekt förloras i den skuggade cellen?
- Hur mycket effekt levereras nu av modulen?

Lösning:*Se facit.*