

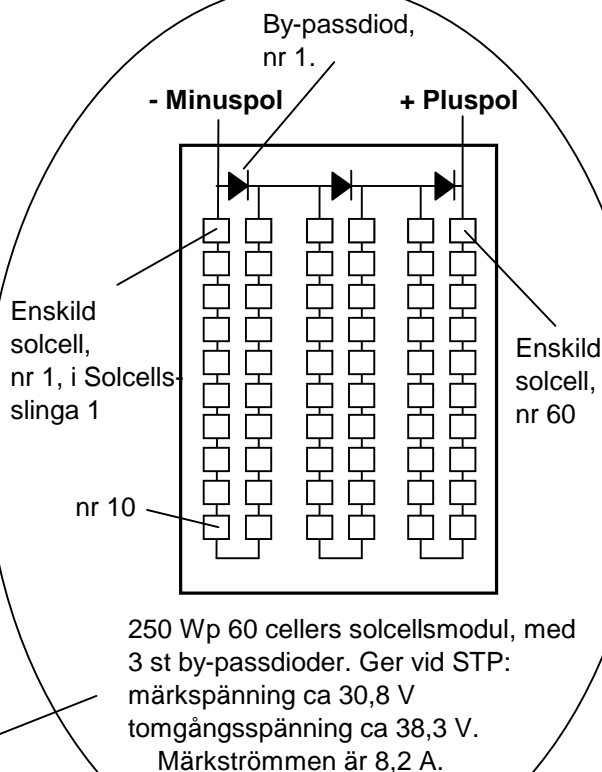
Betraktelse skuggning solcell och solcellsmoduler, 25 sept. 2015

Vi föreställer oss en solcellsanläggning på totalt 10 kWp, som har 2 modulsträngar och skall titta på vad som händer:

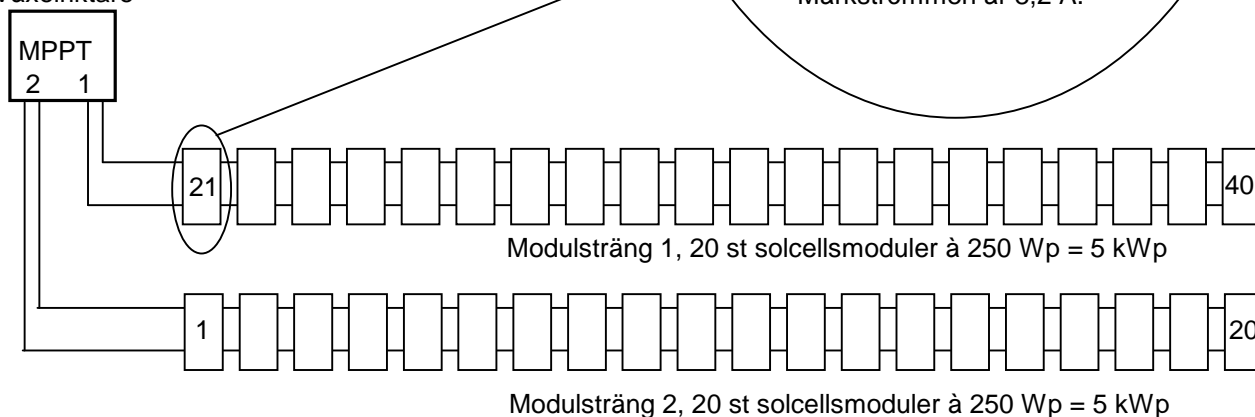
1. om det blir avbrott mellan 2 solceller.
2. om en solcell i en solcellsmodul helt skuggas.
3. om en solcellsmodul **helt** skuggas.
4. om 2 solcellsmoduler skuggas(400 W/m²).

Märksträngspänningen för varje modulsträng är 616 V = 20 x 30,8 och tomgångsspänningen 766 V = 20 x 38,3.

Varje solcellsmodul har 3 st by-passdioder av Schottky-typ, vilket numera år 2015 är det vanliga. Schottky används för att de har lågt spänningsfall i den riktningen de leder ström, ca 0,3 V, gentemot ca 0,7 V för vanlig kiseldiod. Vid normal funktion går aldrig någon ström genom några by-passdioder. Vi antar vidare att växelriktaren behöver minst 200 V för att starta.



Växelriktare



1. Om det nu blir avbrott mellan Solcell nr 9 och 10 i Modul 21. Alla solceller i alla solcellsmoduler belyses med STP(1000/m²), även nr. 9 och 10. Eftersom det inte kan ledas någon ström genom den solcellsslingan, där Solcell nr. 9 finns, kommer strömmen att ledas genom by-passdiod Nr. 1. Solcellsslingan, i vilken Solcell nr. 9 finns, skulle om den vore normalt fungerande, ge märkspänningen 20 x 0,515 = 10,3 V. Strömmen som nu passerar by-passdioden orsakar 0,3 V spänningsfall. Märkspänning för Modulsträng 1 blir nu istället för 616 V, endast 605,4 V = 616 - 10,3 - 0,3. Märkströmmen är dock densamma. Effektförlusten i Modulsträng 1 blir ca 1,7 %. Istället för 5 kW, ger Modulsträng 1 alltså ca 4,91 kW.

I en modulsträng med 20 solcellsmoduler finns totalt 1200 = 20 x 60 solceller, och varje har 2 lödningar. Dessutom finns 2 modulsträngar. Totalt alltså 4800 lödningar. Man kan därför tänka sig att en lödning falerar.

2. Om nu en enda solcell helt skuggas(dvs har belysningsstyrkan 0 W/m²), säg Solcell nr 9 i Modul nr 21. Alla övriga solceller i alla solcellsmoduler belyses med STP(1000/m²), och ger enl. ovan strömmen 8,2 A och ca 0,515 V. Vi tänker oss först att det inte finns några by-passdioder alls. Om nu 8,2 A skulle tvingas igenom Solcell nr 9, så uppstår i den enl. Bild 5.24 ett negativt spänningsfall på ca 16,3 V. De övriga 19 solcellerna i denna Solcellsslinga nr. 1 ger 9,8 V = 19 x 0,515. Den skuggade solcellen åter alltså upp 16,3 V, och kvar i modulsträngen blir 599,3 V = 19 x 30,8 + 59 x 0,515 - 16,3. Detta innebär en förlust för Modulsträng 1 på 2,7 %, en icke obetydlig förlust. Värmeeffekten i Solcell nr 9 blir 133,7 W = 16,3 V x 8,2 A. Om ännu fler separata solceller i Solcellsslinga 1 också skulle vara helt skuggade, så blir spänningsförlusten för varje sådan helt skuggad solcell ytterligare 16,3 V. Det börjar då bli mycket besvärande.

Men nu finns det ju by-passdioder, tack och lov. By-passdiod 1 kommer att börja släppa förbi ström, då en negativ spänning på ca 0,3 Volt uppstår, vilket enl. Bild 5.24 sker vid en ström igenom solcellsslingan där Solcell nr 9 sitter, på några milli-Ampère. I princip kommer de 8,2 A att by-passas genom by-passdiod 1. Effektförlusten för Modulsträng 1 blir inte alls lika stor, som utan by-passdioden. Det blir en total spänningsförlust på $10,6 \text{ V} = 20 \times 0,515 + 0,3$. Istället för att 616 V, fås 605,4 V, dvs en förlust för Modulsträng 1 på ca 1,7 %. Nästan acceptabelt. Om ännu fler separata solceller i Solcellsslinga 1 också skulle vara helt skuggade, så blir det inte sämre än så. En by-passdiod gör alltså nytta (så länge den är hel).

3. Om nu en hel solcellsmodul helt skuggas, t.ex. Modul 21, och om det inte skulle finnas några by-passdioder i den modulen, förstår man av tidigare resonemang, att det blir mycket stora förluster. En enda helt skuggad solcell orsakar ju 16,3 V spänningsfall. Finns 37 helt skuggade solceller i Modul 21, så orsakar de tillsammans spänningsfallet hela $603,1 \text{ V} = 37 \times 16,3$, vilket är mer än vad de övriga fullt belysta solcellerna producerar ($597,0 \text{ V} = 19 \times 30,8 + (60 - 37) \times 0,515$). De 37 solcellerna i Modul 21 kommer att fungera som kokplattor med effekten ca 4,9 kW. Växelriktaren får givetvis ingen spänning för att kunna hållas igång redan om ca 26 solceller helt skuggas i modul 21, pga då blir det endast 192,2 V över till växelriktaren.

Men tack och lov har Modul 21 by-passdioder. Strömmen från de övriga modulerna passerar därför de 3 by-passdioderna. Ett spänningsfall på $0,9 \text{ V} = 3 \times 0,3$ uppstår över by-passdioderna och givetvis förloras modulens märkspänning 30,8 V också. Förlusten blir alltså 31,7 V, motsvarande en förlust för Modulsträng 1 på 5,2 %, vilket innebär en effektförlust på 259,9 W.

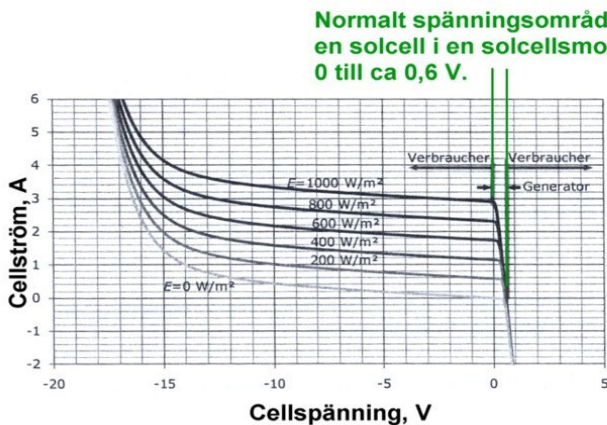


Bild 5.24 Ström-spänning för en enda solcell, med parametern bestrålningsstyrka.

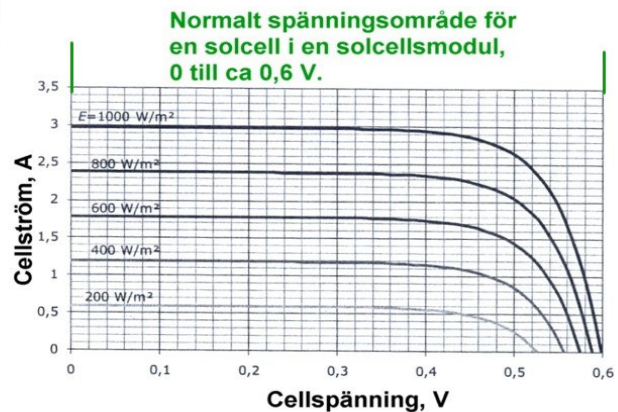


Bild 5.18 Ström-spänning för en enda solcell, med parametern bestrålningsstyrka.

Dessa två diagram är gjorda för en solcell, som vid 1000 W/m^2 bestrålning har märkspänningen ca 0,5 V och då märkströmmen 2,65 A. Men vår solcell ovan, har samma märkspänning ca 0,5 V, men högre märkström, nämligen 8,2 A. Om spänningsaxel på diagrammen behålles, kan man helt enkelt multiplicera strömaxels värdet med $3,09 = 8,2/2,65$ för att få strömmen för vår solcell. Förmodligen har dessa diagram några år på nacken, då man hade svagare solceller än idag. Kurvformen är dock densamma.

En solcell som är helt skuggad, protesterar om man kör igenom märkströmmen 8,2 A, och orsakar 16,3 V negativt spänningsfall, vilket omnämns ovan. Är solcellen ca till hälften skuggad, dvs belyst med endast 600 W/m^2 , och om man tvingar igenom märkströmmen 8,2 A, så orsakar den ett negativt spänningsfall på ca 13,5 V. På samma sätt ger 800 W/m^2 ett negativt spänningsfall på ca 4,5 V.

Som var och en förstår gör by-passdioder en hel del nytta. Skulle en eller flera bypass-dioder gå sönder, så är det inte så bra. Tydligt kan man då med värmekamera eller temperaturmätning (Infraröd-termometer, t.ex. IR-pistol.) hitta solceller, som blir varma.

4. De 2 solcellsmodulerna Modul 21 och 22 skuggas och får endast belysningsstyrkan 400 W/m², vilket kan motsvara diffusa solljuset. Alla övriga moduler får belysningsstyrkan 1000 W/m², som motsvarar direkt solbestrålning. Nu skall 8,2 A tvingas igen de skuggade solcellerna. Enligt Bild 5.24 skall man då se vilken **negativ** spänning som $2,65 A = 8,2/3,09$ och belysningsstyrkan 400 W/m² ger upphov till, och det är ca 15,3 V. En solcellsslinga omfattar 20 st skuggade solceller, som om de belyses med 400 W/m² tillsammans orsakar 306 V = 20 X 15,3 V. Men eftersom solcellsslingan har by-passdiod, så uppstår högst 0,3 V **negativ** spänning, och strömmen 8,2 A leds genom denna by-passdiod. Det blir samma för de övriga 6 st skuggade solcellsslingorna. Totala spänningsförlusten blir 63,4 V = 2 x 30,8 + 6 x 0,3, vilket motsvarar effektförlusten 519,9 W = 63,4 x 8,2. Effektförlusten för Modulslinga 1 blir 10,4 %. Effekten som växelriktaren kan klämma ut ur Modulsträng 1 blir 4,53 kW = 552,6 x 8,2.

Det är alltså samma förlust med dessa delskuggade moduler(400 W/m²) som om de vore helt skuggade (0 W/m²). Om en solcellsslinga belyses med 900 W/m², så uppstår **negativ** spänning på ca 20 V = 20 x 1,0 V, och by-passdioden tar hand om strömmen 8,2 A. För att en solcellsslinga precis skall få en **positiv** spänning, får belysningsstyrkan inte vara lägre än ca 980 à 990 W/m², om övriga moduler i modulsträngen belyses med 1000 W/m². Då förlorar solcellsslingan likväl 10,3 V = 20 x 0,515 V, och modulen förlorar 30,8 V. Det verkar alltså vara väldigt viktigt med jämn belysning över alla moduler i en modulsträng.

Växelriktarens MPPT, dvs max-effektpunkt-sökare försöker ständigt att få ut så hög effekt som möjligt ur Modulsträng 1. Den provar kanske att minska strömmen från 8,2 A till en lägre ström och då stiger spänningen över de normalbelysta modulerna och den negativa spänningen över de skuggade modulerna minskar till 0 V eller till och med blir positiv. Detta innebär dock fortfarande en stor effektförlust. För de med 400 W/m² skuggade solcellerna måste strömmen minska till ca 3,7 A, för att det precis skall bli **positiv** spänning över dessa solceller. Då ökar spänningen över de solceller som är belysta med 1000 W/m² till ca 0,575 V. Varje sådan modul ger alltså nu istället 34,5 V = 60 x 0,575 V. Total spänning över Modulsträng 1 blir nu 621 V = 18 x 34,5, men strömmen är bara 3,7 A. Växelriktareffekten blir alltså endast ca 2,3 kW. Alltså, är det bättre att tvinga igenom märkströmmen 8,2 A genom by-passdioderna på de skuggade solcellsslingorna, vilket ju ger 4,53 kW.

Begrepp att hålla isär

Solcell = varje enskild cell(ofta 60 st) i en solcellsmodul.

Solcellsslinga = flera enskilda solceller (ofta 20 st) seriekopplade till en slinga.

Skyddas av 1 st by-passdiod.

Modulsträng = flera enskilda moduler seriekopplade till en sträng.

Modul = solcellsmodul = panel med ofta 60 st solceller inramade i alu-ram.

Enl. sidan 191 till 195 boken "Regenerative Energiesysteme", Volker Quaschnig, 2013

Enl. sidan 107 till 117 boken "Solar-Dachanlagen", Richtig planen und installieren, Bo Hanus, 2009