

Partiell Skuggning i solpaneler

Amir Baranzahi
Solar Lab Sweden
60222 Norrköping

Introduktion

Spänningen över en solcell av kristallint kisel är cirka 0,5V (vid belastning) och cirka 0,6V i tomgång. För att få tillräcklig hög spänning att driva apparater eller ladda batterier seriekopplas flera solceller till en solcellsmodul, kallas även solcellspanel eller kort för solpanel. Antalet solceller i serie i en solpanel varierar beroende på användningsområde. För att ladda 12Volts batterier behövs det 36 solceller i serie. 36 solceller i serie ger cirka 17-18V spänning vid laddning under full solljus. Vid mulet väder sjunker spänningen något (14V-16V), vilket är tillräcklig högt att ladda 12volts batterier även under molniga dagar. För andra applikationer förekommer solpaneler med andra antal solceller i serie. För att ansluta solcellerna till elnätet och generera 230V AC seriekopplas många solpaneler och spänningen blir flera hundra volt. Antalet solceller i en solpanel för nätanslutning varierar. Det förekommer solpaneler med 36, 48, 54, 60 eller andra antal solceller i en solpanel för nätanslutning. Det är inte antalet solceller i en enskild solpanel som är viktigt utan den totala spänningen av flera solpaneler i serie.

Skuggning

Solceller behöver sol för att generera ström, därför placeras solceller på en solig plats och vinklas mot solen för att ge bästa infallsvinkel mot solstrålarna. Strömmen är direkt proportionell mot ljusstyrkan. En solig dag i april-augusti kan solstyrkan vara nära $1000 \frac{W}{m^2}$ i Sverige. I skuggan är ljusstyrkan cirka 4-6% av fullt solljus (vid klar och torr luft). (ljusstyrkan i skugga beror på väderförhållandena, dimma, aerosol och partiklar i luften, luftfuktighet med mera). Vid mulet väder kan ljusstyrkan vara så låg som 1-2% av full solljus och i bra belyst inomhusbelysning är ljusstyrkan mindre än 1 % av fullt solljus. Det är alltså inte möjligt att få ut någon vettig ström inomhus från solceller. Skugga är heller inte bra för solceller men vad händer om en del av en solpanel hamnar i skugga, kan solpanelen generera ström proportionellt mot den yta som är i solen? Svaret är tyvärr nej. För att förstå varför, läs resten av denna skrift.

Partiell skuggning

När solcellerna ligger i serie passerar strömmen alla solceller i serien. Kisels ledningsförmåga beror starkt av ljusstyrkan. Kisel i skugga är en dålig elektrisk ledare. (mer än 1000 gånger försämrad ledningsförmåga i skugga jämfört med solljus).

Antag att strömmen i en solpanel med 36 st. solceller är 5A i solljus. Varje solcell i solpanelen genererar då 5A och bidrar med cirka 0,5V, en total spänning på cirka 18V. Effekten är $P = U \times I$, där P är effekt (watt), U är spänning (volt) och I är ström (ampere, A). Effekten av hela solpanelen i solen är $18 \times 5 = 90W$.

I denna solpanel är bidraget från varje solcell 2,5W. (fås genom att dela 90W med 36 solceller, eller genom att $P = U \times I = 0,5V \times 5A = 2,5W$). Om en solcell hamnar i skugga kan man tro

att 2,5W ska försvinna. Så är tyvärr inte fallet. En solcell i skugga medför att större delen av effekten försvinner. Solcellen i skugga får mycket högt motstånd och stryper strömmen från alla andra solceller (Se Fig.2).

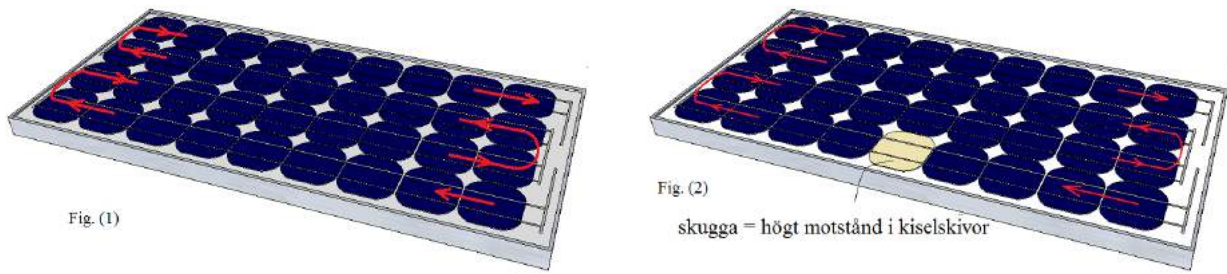


Fig. 1: En solcellspanel med 36 st. solceller i serie, strömmens väg visas med röda pilar. Fig. 2: En solcell i skugga har högt motstånd och strömmen begränsas av motståndet i den skuggade solcellen.

Ström- och effektförlust

Hur mycket av strömmen och effekten försvinner vid partiell skuggning?

Förlusten beror på flera faktorer, skuggans intensitet, hur stor del av en solcell är i skugga och solcellens temperatur. Fig.3.a visar en solpanel där en solcell (av 36 solceller) är täckt med en tjock kartong. Den maximala effekten har sjunkit från 39,5W till 8,5W (en effektförlust med närmare 80 %). effektbortfallet är ännu större runt 12-14V, det spänningsområde som är relevant för batteriladdning. Täcks en hel rad av solceller med kartong (bild3.b) försvinner nästan hela effekten (grön kurva). Effekten har sjunkit till cirka 0,1W minskning med (99,8%).

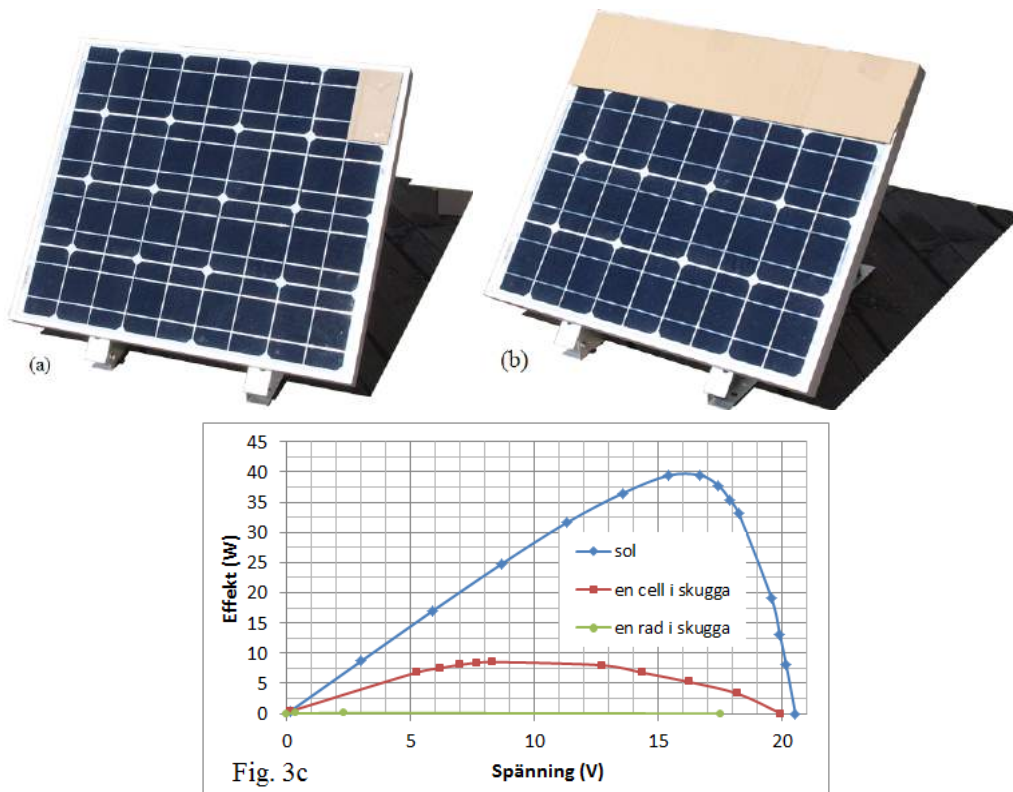


Fig. 3.a: en solpanel med 36 solceller, en av solcellerna är täckt med kartong. Fig.3.b: en hel rad av solceller (9 st. solceller) är täckta med kartong. Fig. 3.c: Effektkurvor, effekten då alla solceller är i solen är 39,5W (blå kurva). effekten har sjunkit till 8,6W då en solcell är täckt (röd kurva) och endast 0,1W av effekten är kvar då en hel rad av solceller är täckta (grön kurva).

Minimera skuggningseffekten

Går det att lösa problemet med partiell skuggning?

En fullständig lösning existerar inte..

En lösning som används i större solpaneler är att sätta två till tre bypass dioder i en solpanel (Fig 4). Med denna lösning, om en solcell i en rad blir skuggad går strömmen genom bypass dioden. I exemplet i Fig.4 med två bypass dioder går 50 % av strömmen och effekten förlorad.

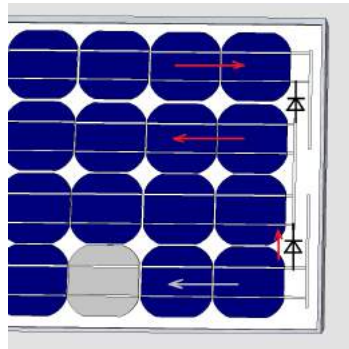


Fig. 4: Figuren visar en solpanel med två bypass dioder. Om en solcell blir skuggad går strömmen genom bypass dioden. Strömmen som genereras i de två översta raderna påverkas inte av skuggan. Den gråa pilen visar strömmens normala väg. P.g.a. den skuggade cellen går strömmen genom bypass dioden.

En annan lösning som vi på solar Lab Sweden använder är parallella solcellslingor. I stället för 36 solceller har vi 2x36 solceller (Fig. 5.a). Det är två rader med solceller parallellt med varandra. Om en rad hamnar i skugga tar strömmen den parallella vägen (Fig. 6.b). I en solpanel med två uppsättningar solceller av 36 st. i serie blir strömbortfallet mycket mindre.

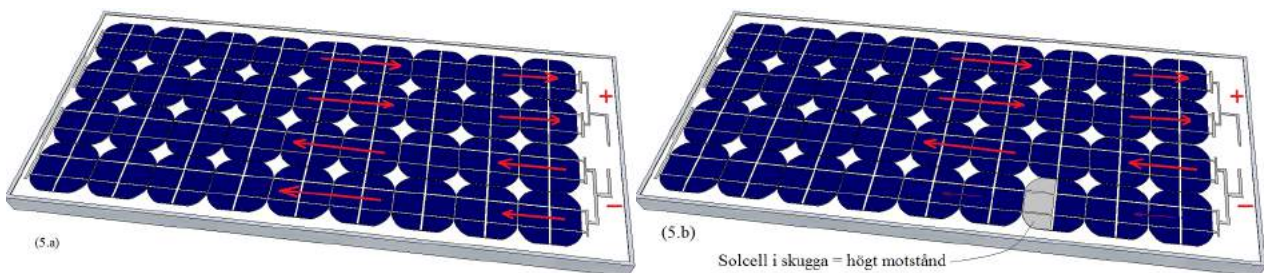


Fig. 5.a: En solpanel med 2x36 solceller parallellt. Strömmen går genom två parallella vägar. Fig. 5.b: Om en solcell hamnar i skugga tar strömmen den parallella vägen.

Resultat från solpaneler med 2×36 solceller

Hur mycket är effektbortfallet när en solcell är skuggad i en solpanel med 2x36 solceller?

Vi undersöker tre fall av skuggning för en solpanel med 2×36 solceller. 1) En solcell är skuggad, 2) halva solpanelen (en hel slinga) är skuggad (en parallell slinga är i solen) och 3) hälften av varje slinga är skuggad. Dessa fall visas i Fig. 6.a-6.c. . Solcelleffekten för respektive fall visas i fig.6.d

När en solcell är i skugga (Fig. 6.a samt röd kurva i Fig. 6.d) har effekten sjunkit från 43W till 25W. En effektförlust med 42 %.

. När halva solpanelen är skuggad (en hel slinga är i solen, fig 6.b) är effektförlusten 22,6W (från 43 till 20,2W), en förlust på 53 %. När 18 st. solceller i varje slinga är i skugga (Fig. 6.c) är effektförlusten 99,8% . Samma resultat som för en solpanel med en slinga av 36 solceller och en rad av solceller i skugga.

Att jämföra en solpanel med 2x36 solceller med en solpanel med endast 36 solceller ser vi en markant förbättring vid partiell skuggning.

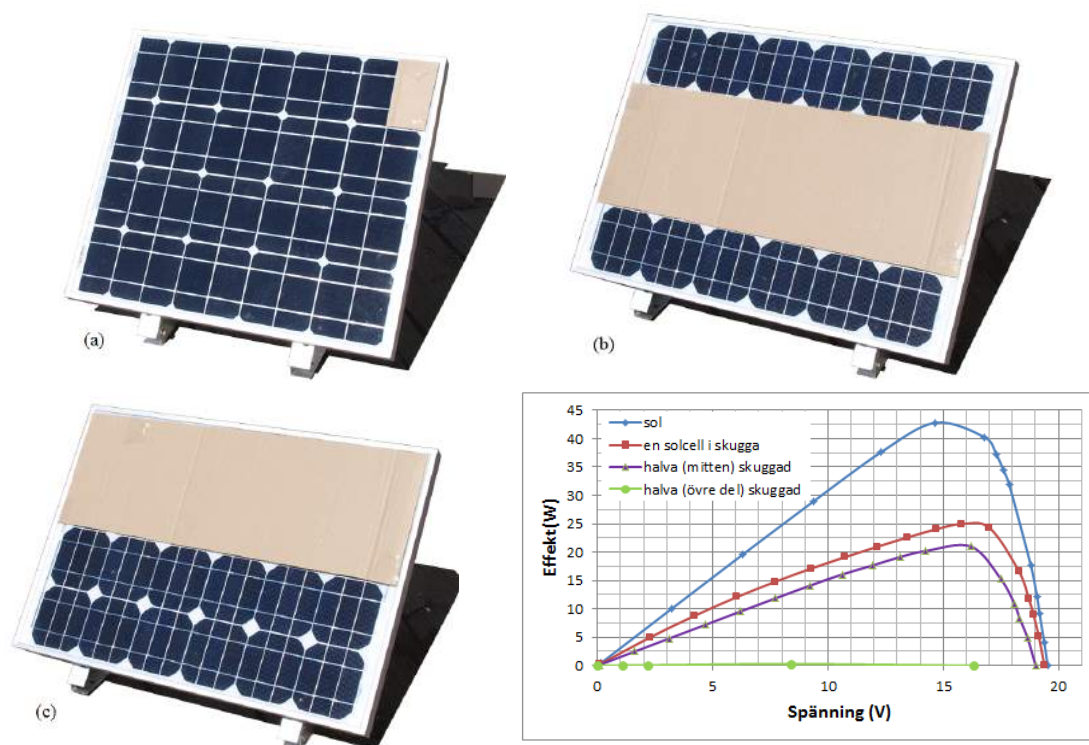


Fig.6: Solpanel med 2x36 solceller som är delvis skuggade på olika sätt, en solcell täckt (6.a), halva solpanelen i mitten är täckt (6.b) och halva övre delen av solpanelen är täckt (6.c). Fig. 6.d visar effekten vid dem olika lägen samt referens för icke täckt solpanel.

Effektbortfall med del av en solcell i skugga

Oftast hamnar en eller flera solceller delvis i skugga. Hur stor effektbortfallet blir beror på hur stor del av en solcell /flera solceller är i skugga. Fig 7.a. visar en solpanel med 1x36 solceller där 7 solceller är delvis skuggade. Som mest är en solcell skuggad till cirka 80% . För övrigt är solpanelen i solen. Den lövtäckta delen av solpanelytan som är täckt av löv uppskattas till 10% av solpanelytan. Fig. 7.b visar effektförlusten. Effekten har fallit från 40W till cirka 17,4W (56 % förlust).

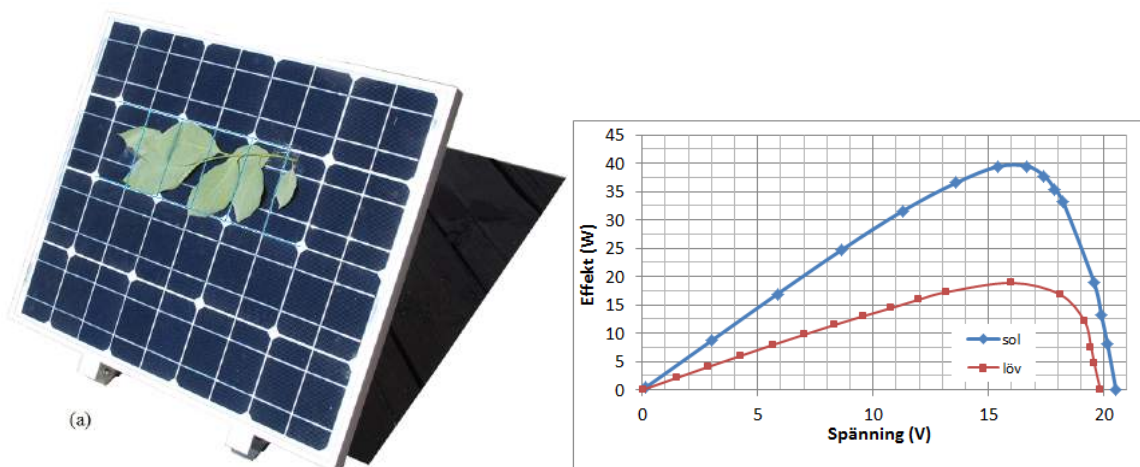


Fig. 7: En solpanel med 36 solceller, varav 7 solceller är delvis täckta med löv, de blåa linjerna visar solcellernas läge (7.a). Effektkurva för solpanelen i 7.a. Effekten har sjunkit med 56% från 40W till 17,4W (röd kurva).

Fig. 8.a visar en solpanel med 2x36 solceller. 32 solceller är delvis skuggade av löv. Flera solceller är skuggade till cirka 90 % eller mer och cirka 20% av solpanelytan är täckt. Effektkurvor visas i Fig.8.b. Effekten har sjunkit från 42,8W till 33,6W en förlust på 9,2W (21 %)

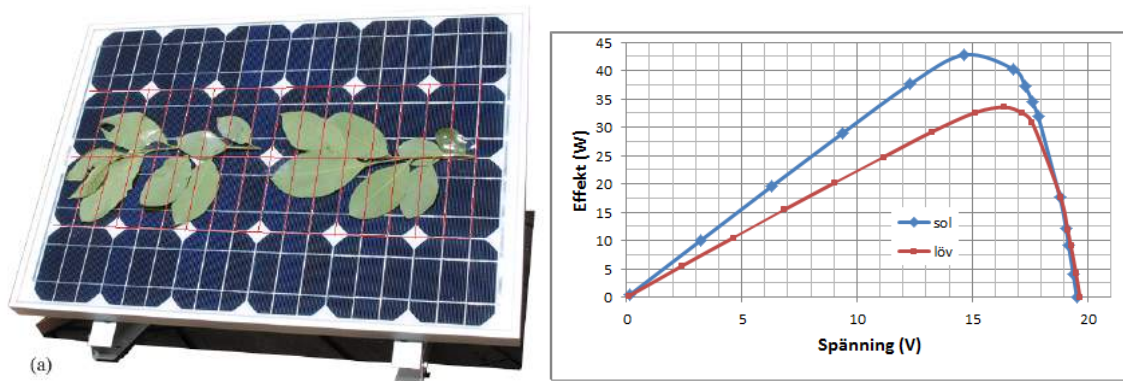


Fig. 8.a: En solpanel med 2x36 solceller, 32 solceller är delvis täckta med löv. Fig. 8.b: Effektkurva för solpanelen i 8.a. Effekten har sjunkit med 21% från 43W till 33,6W.

Slutsats

Om en solcell i en solpanel hamnar i total skugga försvinner över 80 % av effekten. I solpaneler med flera parallella solcellsslingor försvinner inte lika mycket effekt. Förlusten för en solpanel med två parallella solcellsslingor är cirka 40 % med en solcell i skugga. I gynsamma skuggningsfall är halva effekten kvar även då halva solpanelen med två solcellsslingor är skuggad. Vid ogynsamm skuggning (då en del i varje slinga) hamnar i skugga blir förlusten är över 99 %.

Vid gynsam skuggningsfall av en solpanel med 2x36 solceller är effekt förlusten proportionell mot den skuggade delen av solpanelen. I solpaneler med en slinga av solceller (1x36 solceller) är förlusten mycket högre även då ingen solcell är helt skuggad.

Något om bypassdioder

Alla större solpaneler borde ha minst en bypassdiod. Vid seriekoppling av två/flera solpaneler med bypassdioder blir inte strömmen som genereras av andra solpaneler påverkad av den solpanel som är delvis i skugga. Partiella skuggningseffekten blir inte förbättrad i en solpanel med en enda bypass diod.

Frågor och svar

Fråga:

Kan man inte lägga en bypass diod parallellt med varje solcell som i Fig. 9. Då skulle problemet med partiell skuggning försvinna och effekt och ström skulle bli proportionellt mot de solceller som är i solen.

Svar

Denna lösning är inte praktisk. Det skulle medföra ökade tillverkningskostnader samt resultera i ett spänningsfall på cirka 0,2V över varje bypass diod. I en solpanel med 36 solceller ska det bli cirka 7,2V permanent spänningsbortfall vilket kan ge en större förlust än om någon solcell skulle hamna i skugga tillfälligt.

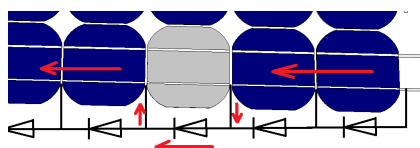


Fig. 9: En tänkbar metod att minimera skuggningseffekten. Parallellt med en solcell ska det finnas en bypassdiod. När en solcell hamnar i skugga går strömmen genom bypass dioden.

Fråga:

Finns det solcellstyper som inte är känsliga mot partiell skuggning?

Svar:

Nja, Alla solceller som bygger på pn-övergång-principen i halvledare är känsliga för skuggning (praktiskt taget alla solceller som finns på marknaden). Solcellstyper som bygger på andra principer som (organiska solceller och Grätzel solceller) behöver inte vara känsliga på samma sätt, dessa finns dock inte för kommersiellt bruk än.

Fråga:

Jag har hört att tunnfilm solceller inte är känsliga för partiell skuggning. Är det sant?

Svar

Nja, Motståndet i en solcell utgörs av bla. det avstånd som strömmen går igenom i solcellen. Det avståndet är solcellens tjocklek (strömmen går från baksidan till fram sidan av solcellen). Typiska tjocklekar för kiselbaserade solceller är 0,2mm. I tunnfilm solceller är tjockleken mycket mindre och därmed blir motståndet mycket lägre. Så även i tunnfilm solceller finns partiell skuggningseffekten med den är inte så kraftig som i kristallina solceller.

Fråga:

Kan partiell skuggning skada solpanelen?

Svar

Ja, i vissa lägen kan partiell skuggning vara skadlig för solpanelen. Vid kraftig skugga över en enda solcell, hamnar solpanelens hela effekt över den skuggade cellen. Värmeutvecklingen blir så kraftig att skyddsglasat kan spricka och lödningar kan smälta. Detta fenomen kallas för hot spot och är väl känt. Lyckligtvis sker det väldigt sällan av slump. För att det ska bara en enda solcell vara mörklad och resten av solcellerna ska vara i fullt solljus.



Källa: <http://pveducation.org/pvcdrom/modules/hot-spot-heating>

Solpanelens skyddsglas har spruckit pga värmeutveckling över en skuggad solcell.

Fråga:

Går att se partiell skuggningseffekten vid mulet väder eller när solpanelen är i skugga?

Svar:

I skugga eller i mulet väder är alla celler i skugga och har högt motstånd., att en solcell är i mörkare skugga påverkas strömmen marginellt, det går att se effekten vid noggrana mätningar men effekten är inte så påtagligt.

Tacksamhet

Stort tack till min kollega Gustav Knutsson för diskussioner, synpunkter, konstruktiv förslag och korrekturläsning av denna skrift.

Copyright © www.solarlab.se

Användning av hela eller delar av denna skrift är tillåtet för icke kommersiella syften, källan ska alltid anges. Behöver du bättre bilder (bilder utan solarlab logo, kontakta oss gärna per epost.