

# MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC

20.9.2013, s. 1

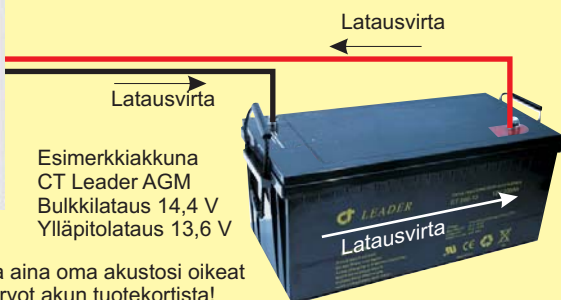
# REPS

Renewable Energy  
Production Solutions

Bockholm, FIN-21760 Houtskär  
www.reps.fi, +358-40-5883344

## Mihin aurinkopaneelin lataus perustuu?

### 1) Esimerkki, paneeli kytkettynä suoraan akustoon



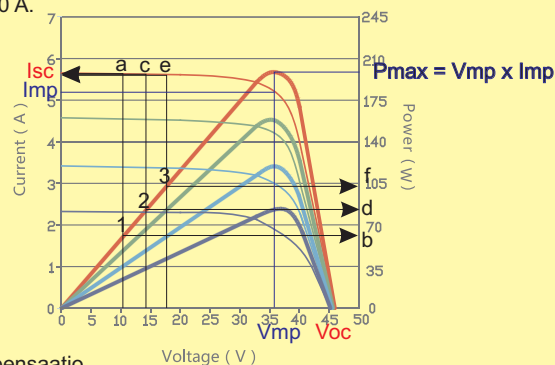
Esimerkkiakuna  
CT Leader AGM  
Bulkkilataus 14,4 V  
Ylläpitolataus 13,6 V

Tarkista aina oma akustosi oikeat  
latausarvot akun tuotekortista!

Arvot riippuvat myös lämpötilasta, joten säätimessä on hyvä olla lämpötilakompensatio.

Esimerkipaneelina 195 Wp  
72 kennoinen paneeli, jolla  
 $V_{oc} = 45,4 \text{ V}$ ,  $V_{mp} = 36,8 \text{ V}$   
 $I_{sc} = 5,67 \text{ A}$ ,  $I_{mp} = 5,30 \text{ A}$ .

1000 W/m<sup>2</sup> 600 W/m<sup>2</sup>  
800 W/m<sup>2</sup> 400 W/m<sup>2</sup>



**Kun auringon tuottama jännite on korkeampi kuin akun jännite**, lyijylevyihin sidottu rikki (lyijysulfaatti) hajoaa uudestaan rikkihapoksi ja lyijyksi, ja elektronit alkavat siirtä levystä toiseen ja plusnavasta miinusnavalle. Elektronivirta mitataan ampeereissa (A) ja paneelia voidaan verrata vesipumppuun, joka "pumppaa" elektroneja "kemiallisesti ylämäkeen" eli plusnavasta miinusnavalle.

Kun akkua puretaan, reaktio on päinvastainen, eli esim. lampulle menevä virta muodostuu siitä, että rikki taas sitoutuu lyijyyn ja elektronit virtaavat levystä toiseen, ja lampun piiriä pitkin miinusnavasta, lampun kautta plusnavalle. Tällaista pientä purkautumista tapahtuu myös ilman kuormitusta ajan myötä, jolloin puhutaan akun itsepurkautuvuudesta. Akussa siis tapahtuu pientä kemiallista reaktiota koko ajan - sitä nopeammin, mitä korkeammassa lämpötilassa akku on.

Samalla akku "tyhjenee", eli rikkihappo-vesiseoksessa oleva rikkimäärä vähenee. Tämä on avoimessa akussa mitattavissa elektrolyytin pienenevänä tilavuuspainona. Tyhjässä akussa elektrolyytti on lähinnä vain vettä ja se voi siis jäätyä. Lyijylevyissä oleva lyijysulfaatti kovenee aikaa myöden, ja näin tyhjiilleen jätetty akku on vaikea elvyttää, kun latausvirran elektronit eivät välttämättä enää kykene "ampumaan" tuon lyijysulfaatin irti levyistä. Sulfoituneen akun uudelleenlatauksessa myös osa lyijystä irtoaa levyistä ja putoaa sakkana akun pohjalle. Etenkin avoimessa akussa tuo lyijysakka oikosulkee lopulta akun lyijylevyt keskenään tai etenkin lyijylevyjen ollessa ohuita (starttiakku) levyt hajoavat ja irtoavat, niinikään oikosulkien akun.

**Kun aurinko paistaa aurinkopaneeliin** jännite nousee hyvin nopeasti. Jos paneelin johtoja pidetään irtonaisina ja jännite mitataan johtojen päistä kyseessä on nk. **avoin jännite, Voltage Open Circuit, Voc**. Näette että tuo Voc kyseisellä paneelilla on reippaasti yli 40 voltin myös alhaisella auringonsäteilyllä (400 W/m<sup>2</sup>, tummansininen käyrä) eli jos paneeli on ehjä tuon Voc:n tulisi pystyä mittamaan. Jännite muodostuu paneelissa siten, että se kasvaa kennosta toiseen saman verran. Näin yllä oleva 72-kennoinen paneeli nousee yli 45 voltin kun taas "perinteisessä 12-voltin paneelissa" normaalisti on ollut 36 kennoa.

Jos laitat paneelin johdot kiinni toisiinsa, paneeli pyörittää elektroneja "vesipumpun tavoin" paneelin ja johtojen läpi ympärässä. Koska johdot ovat toisissaan kiinni, niiden keskinäinen jänniteero on nolla (0 V), mutta virta on tällöin korkeimmillaan. Puhutaan **oikosulkuvirrasta, Short Circuit Current, Isc**.

Paneelin tuottama virta ja jännite on sidottu kuvaajassa näkyvään Isc:n ja Voc:n väliseen käyryyn (kuvaajassa on eri värisiä käyriä eri auringonsäteilyille, joten katsokaamme sitä punaista käyryä, joka alkaa vasemmasta laidasta Isc:n kohdalla). Kun jännite [V] laskee, virta [A] nousee hieman ja päinvastoin. Koska paneelin antama teho (P), joka mitataan wateissa [W] on yhtä kuin Jännite [V] x Virta [A], näemme että jännitteen ollessa maksimissaan (Voc virta on nolla ja virran ollessaan maksimissaan (Isc) jännite taas on nolla. Ääripäissä ei siis tule yhtään tehoa paneelista, vaan tehokkain piste, jossa Jännite x Virta on suurimmillaan löytyy jossakin kohtaa tuota Jännite-Virta-suhdetta. Piste, jossa teho on suurimmillaan on nimeltään **Pmax**, jossa Virta on **Imp (Maximum Power Current, tehollinen virta)** ja Jännite on **Vmp (Maximum Power Voltage, tehollinen jännite)**. Vain tällä jännitteellä, tuo 195-wattinen paneeli antaa oikeasti tuon 195 wattia ulos.  $36,8 \text{ V (Vmp)} \times 5,30 \text{ A (Imp)} = 195 \text{ W}$ .

**Mitä yllä olevassa kytkennässä tapahtuu** (oletus että aurinkosäteily on 1000 W/m<sup>2</sup>)?

Koska tuo 72-kennoinen paneeli on hyvin epäsuotuisa 12-voltin akustojärjestelmälle (paneelin Vmp-jännite paljon korkeampi kuin akkujännite) paneelin "pumppaama" virta noudattaa tuota punaista Isc-Voc-käyryä. Akun suuri vastus pakottaa jännitteen johtojen välissä samaan kuin akkujännite. Koska latausta tapahtuu, akkujännite nousee hieman, mutta esim. lähes tyhjänä ollessaan (noin 10 V) virta on n. 5,6 A (piste a) ja jännite siis tuo 10 V. Tehoa tyhjiin akkuun tulee siis vain noin 56 wattia (piste b), vaikka aurinko paistaa täydellisesti tuohon 195-wattiseen paneeliin.

Kun akkujännite on noussut akun haluamaan 14,4 volttiin (kohta 2), virta on edelleen suurinpiirtein tuo 5,6 A (piste c) mutta teho on noussut  $5,6 \text{ A} \times 14,4 \text{ V} = 80,64 \text{ wattiin}$  (piste d). Tyhjiin akkuun menee siis valitettavasti vähemmän tehoja kuin täyteen akkuun, jolloin niitä tehoja ei enää tarvittaisi.

Koska meillä ei ole säädintä välissä, jännite jatkaa tämän jälkeen vielä nouseaan. Teoreettisesti jännite nousisi aina paneelin antamaan Voc:hen eli yli 45 volttiin asti, mutta koska elektrolyytti alkaa kuivua tuon 14,4 voltin yläpuolella ja kiehuu oikein reippaasti 17 voltin kohdalla, niin 17 voltin kohdalla noin 5,6 A (piste e) x 17 V = 95,2 wattia kuluu elektrolyytin kiehumiseen. Jännite ei juuri tuosta nouse, vaan teho kuumentaa akkua ja/tai haihduttaa kaikki nesteet korkkien tai suljetun akun tapauksessa hätäventiilien kautta pois akusta.

Akku luovuttaa tuon energian joko kuorensa läpi kuumuutena tai höyrystämällä nestettä.

# MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC

20.9.2013, s. 2

# REPS

Renewable Energy  
Production Solutions

Bockholm, FIN-21760 Houtskär  
www.reps.fi, +358-40-5883344

## Lataus ilman säädintä tuhoaa akun!



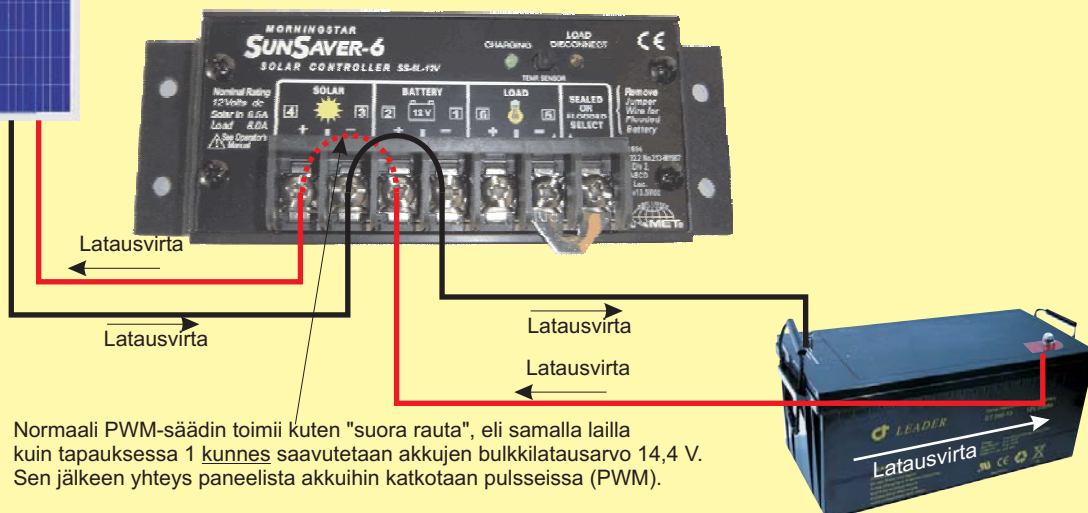
Kuvassa olevat akut, yhteensä 3 kpl, sulivat toisiinsa ja olisivat hyvin voineet sytyttää asiakkaan vajan ja sitä mukaa koko saaren.

Tässä tapauksessa 900 watin tuulimyllyn säädin oli pettänyt ja näin koko tuo 900 wattia kului nesteeseen haihduttamiseen ja liijyn kuumentamiseen. Akkujen kuoret olivat sulanneet ja ne piti irroittaa toisistaan rautakangella.

## 2) Esimerkki, paneeli kytkettynä PWM-säätimen kautta akustoon



Lataussäädin. Esimerkissä Morningstar SunSaver 6L-12V.



# MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC

20.9.2013, s. 3

# REPS

Renewable Energy  
Production Solutions

Bockholm, FIN-21760 Houtskär  
www.reps.fi, +358-40-5883344

**Mitä esimerkkikytkennässä No 2 tapahtuu** (oletus että aurinkosäteily on 1000 W/m<sup>2</sup>)?

Kunnes jännite nousee akun haluamaan 14,4 volttiin (kohta 2), järjestelmä toimii aivan samalla lailla kuin tapauksessa 1. Virta on siihen asti edelleen suurinpiirtein tuo 5,6 A (piste c), teho on noussut  $5,6 \text{ A} \times 14,4 \text{ V} = 80,64 \text{ wattiin}$  (piste d) ja jännite on siis noussut 14,4 volttiin.

Jos säädintä ei olisi, jännite jatkaisi tämän jälkeen nousuaan tuhoisin seurauksin.

Ensimmäisen sukupolven säätimet - ja edelleen monet tuulimyllyjen säätimet - toimivat siten, että ja lakkasivat kokonaan lataamasta tuolla 14,4 voltin jännitteellä ja aloittivat latauksen uudelleen kun jännite oli laskenut esim. 12,6 volttiin.

Akun noustessa ensimmäisen kerran tuohon 14,4 volttiin sen varausaste on noin 85-90 %. Edelleen on siis lyijysulfaattia kiinni levyissä joka vaatii jatkuvan elektronivirran irroittaakseen rikin lyijystä - täyttäen akun varaustilan 100 % asti.

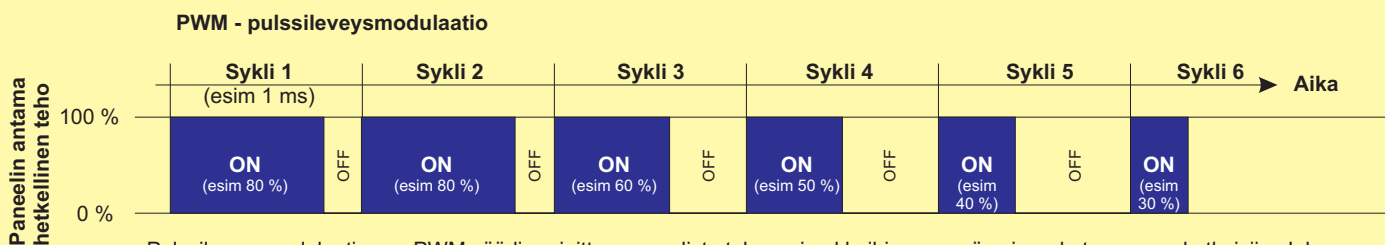
Jos virtaa tulisi edelleen niin paljon kun aurinkopaneeli (tai tuulivoima tai muu latauslähde) antaa, jännite jatkaisi nousuaan. Ilman latausvirtaa taas akusto ei täyty kunnolla. Morningstarin PWM-säätimet mullisti tämän 90-luvulla tuoden markkinoille PWM-tekniikkaan perustuvat säätimet. PWM, Pulse Width Modulation, eli pulssileveysmodulaatio pystyy jakamaan aurinkopaneelin antaman elektronivirran osiin - jatkuvalla "ON-OFF-ON-OFF", siten että tuon ON-tilan pituus koko ajan säädellään, siten että keskimääräinen virta on juuri niin suuri, että akun jännite pysyy vakaana tuossa 14,4 voltissa. Jos välillä käytetään enemmän sähköä akun jännite laskee heti, jolloin tuo ON-jakso pysyy päällä kunnes jännite taas nousee tuohon 14,4 voltin asetusravoon.

Kun akku on pidetty riittävän pitkän aikaa tuossa 14,4 voltissa, säädin huomaa, että virtaa menee enää hyvin vähän akkuun kunnes loppujen lopuksi siihen ei mene enää laisinkaan, ilman että jännite nousisi. Silloin säädin tietää, että akku on täynnä ja laskee akun jännitteen hieman alemmalle tasolle - ylläpitolataukseen, jossa se jatkaa säätelystä sisääntulevan virran niin että jännite pysyy vakaana tuossa ylläpitolatausjännitteessä.

Uusimmissa säätimissä säädin antaa akun välillä levätä kokonaan, antaen akun jännitteen laskea sen lepojännitteeseen asti. Täyden akun lepojännite, mihin se asetuu on noin 12,6 voltia. Välillä se sitten nostaa tuon jännitteen ylläpitolataukseen pitääkseen akun koko ajan täydellisessä latauksessa.

Jatkuva tällainen PWM-pulssitus ei olisi ollut mahdollista vanhoilla mekaanisilla releillä, joten tekniikan kehittäminen perustui puolijohdereleiden yleistymiseen ja niiden hintatason alenemiseen. Puolijohdereleessä ei ole mekaanisia osia, joten ne voivat "klikata" miljoonia kertoja.

Syvällisempää luettavaa (englanniksi): [www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-Morningstar-why-PWM.pdf](http://www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-Morningstar-why-PWM.pdf)

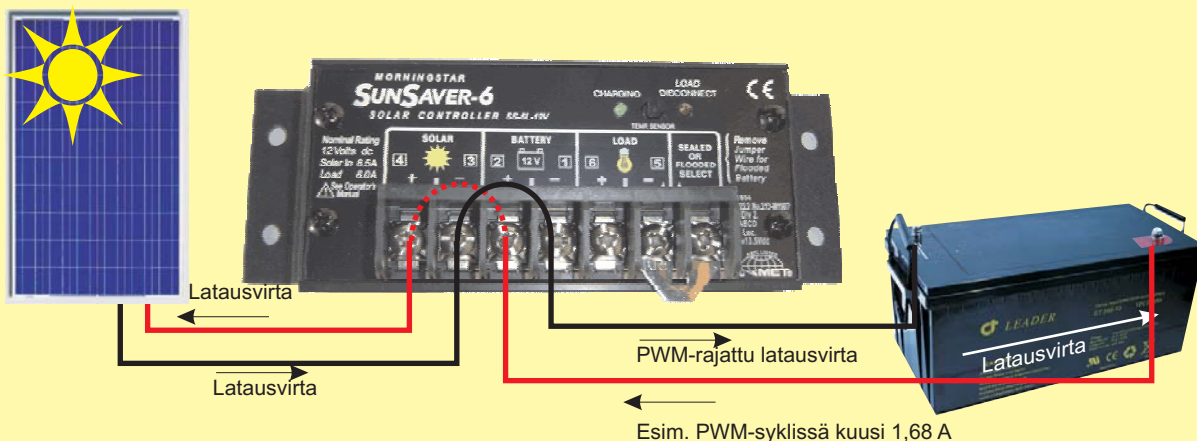


Pulssileveysmodulaatiossa, PWM säädin rajoittaa paneelista tulevan ja akkuihin menevän virran kuten nopea katkaisija. Joka PWM-syklin välissä säädin tarkkailee akun jännitettä ja pyrkii pitämään sen vakiona, esim. 14,4 voltissa, näin estäen akun yllä latautumista ja elektrolyytin kuplimista. Akkuun kuitenkin menee juuri niin paljon virtaa kun se ottaa vastaan jännitteen nousematta. Näin akku täyttyy kokonaan.

Jos panelin antama virta on esimerkin 1 mukaisesti noin 5,6 A, niin yllä olevassa esimerkissä akkuihin menee syklien aikana keskimäärin:

- Sykli 1:  $80 \% \times 5,6 \text{ A} = 4,48 \text{ A}$ . Jos säädin toteaa, että jännite pysyy vakaana, seuraava sykli on samanlainen, eli
- Sykli 2:  $80 \% \times 5,6 \text{ A} = 4,48 \text{ A}$ . Esimerkissä jännite lähtee pienenöseen nousuun, jolloin seuraavassa syklissä ON-aika pienenee
- Sykli 3:  $60 \% \times 5,6 \text{ A} = 3,36 \text{ A}$ .

Jos jännite edelleen jatkaa pientä nousuaan, syklin "ON-aika" lyhenee koko ajan siten että keskimääräinen virta kuudennessa syklissä on enää  $30 \% \times 5,6 \text{ A} = 1,68 \text{ A}$ . Kun säädin toteaa, että virtaa ei enää mene akkuihin, sen nk. absorptiovaihe on valmis ja akku päästetään ylläpitolataukseen, jossa PWM-säätely jatkaa yllä olevalla tavalla, kuitenkin vain siinä määrin, että akun varaustila pysyy ylläpitotasolla.



# MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC

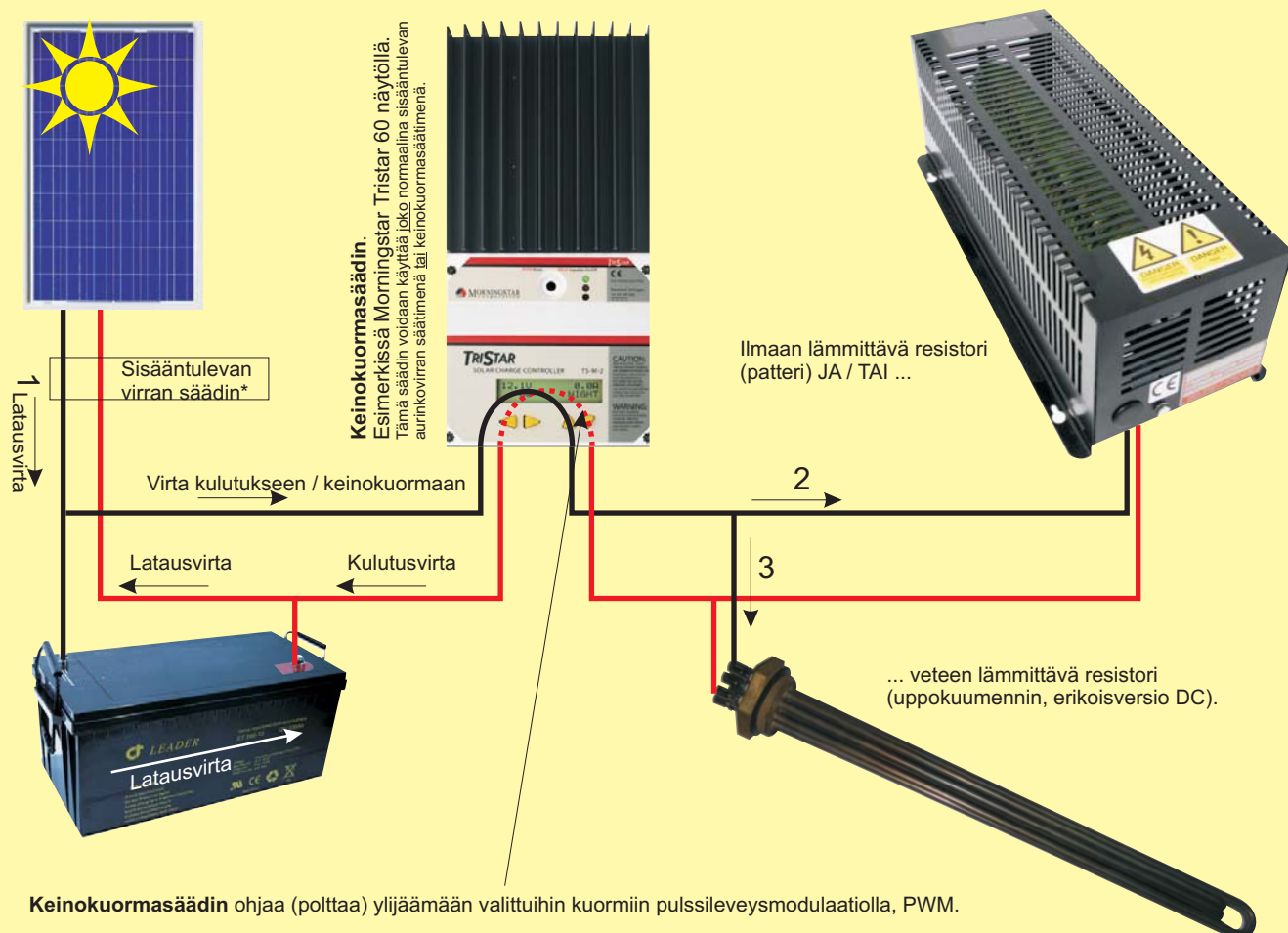
20.9.2013, s. 4

# REPS

Renewable Energy  
Production Solutions

Bockholm, FIN-21760 Houtskär  
www.reps.fi, +358-40-5883344

## 3) Esimerkki, keino kuormasäätimen käyttö - Diversion Load Control



**Keino kuormasäädin** ohjaa (polttaa) ylijäämään valittuihin kuormiin pulssileveysmodulaatiolla, PWM.

Akun ollessa tyhjiillään (bulkilatausvaihe) kaikki paneelista tuleva virta menee ensisijaisesti normaaleille kuormille (valot, TV jne) ja kaikki ylijäämä ohjautuu akkuun. Tässä vaiheessa PWM-säätimen PWM-syklin ON-vaihe on nolla, eli sen läpi ei mene laisinkaan virtaa.

Vasta kun akun jännite on saavuttanut asetusrajansa (14,4 V) keino kuormasäädin alkaa ensin lyhyillä ON-pulsseilla ohjaamaan pienen määrän virtaa keino kuormiin ja akun täytyessä yhä suurempi määrä paneelista tulevasta virrasta ohjautuu saman tien pois. Näin akkuun menee vain Latausvirran ja Kulutusvirran ja Keino kuormavirran erotus. Keino kuormasäädin tarkkailee koko ajan akun jännitettä ja säätää PWM-syklin ON-vaiheen pituutta sen mukaan.

Jos verrataan edelliseen esimerkin Sykliin No 1, niin tässä tapauksessa kaikki (100%, 5,6 A) latausvirta päästetään aurinkopaneelista akulle päin. Keino kuormasäädin polttaisi tässä sykissä 20 % siitä energiasta, jolloin akkuihin menee tuo sama 100 % -20%, eli  $80\% \times 5,6 \text{ A} = 4,48 \text{ A}$  ja sykissä kuusi keino kuorma polttaisi jo 70 %, eli akkuihin menisi  $5,6 \text{ A} - (70\% \times 5,6 \text{ A}) = 1,68 \text{ A}$ , eli sama määrä kuin edellisen tapauksen sykissä kuusi.

\*) Jos keino kuormat kykenevät polttamaan kaiken sisääntulevan virran, eikä ole sitä vaaraa, että esim. termostaatti katkaisee niiden virranpolttoa (esim. ilmaan lämmittävä resistori ilman termostaattia, esim. kivikellarissa tai -majakassa) sisääntulevaa säädintä ei tarvita laisinkaan. Muussa tapauksessa tarvitaan myös sisääntulevan energian säädin (PWM tai MPPT), ja säädetään säätimen väliin jonkun 0,1-0,2 voltin eron, siten että ensisijaisesti poltetaan kaikki energia hyödyksi (lämpöön) ja vasta toissijaisesti rajataan sisääntulevaa virtaa.

Etenkin monessa tuulimyllysovelluksessa, keino kuorman käyttö mahdollistaa tuulivoimalan täyden lataustehon sisäänpäästämistä, jolloin lämpötilakompensoidusti ja PWM-tekniikalla akut täyttyvät kunnolla (absorptiovaihe, eli se vaihe jolloin virtaa vielä menee akkuihin, mutta jännite pidetään 14,4 voltissa).

**Keino kuormien (resistoreiden) mitoituksessa** keino kuorman tulee olla riittävän iso, että se kykenee polttamaan kaiken sisääntulevan energian, sikäli kun sisääntulevaa virtaa ei rajoiteta esim. sisääntulevan virran lataussäätimellä. Jos esimerkiksi tuulesta ja paneeleista voi yht'aikaa tulla 2 kW, niin keino kuormien tulee yhteensä olla suurempia kuin tämä teho.

**Keino kuormasäädin** (tai puolijohderelen, jos käytetään esim. OutBack Flexmax:in AUX-ohjaussignaalia) **tulee taas olla riittävän iso**, että keino kuormiin menevä virta voivat mennä sen läpi. Tarvittaessa puolijohdereleitä tai keino kuormasäätimiä voidaan kytkeä useampia, kukin omaan keino kuormaansa.

**Keino kuormasäädin voidaan helposti lisätä esim. olemassa olevaan järjestelmään, jolloin esim. mökin lämpimät käyttövedet voidaan tuottaa ilmaisella ylijäämäenergialle, jota sisääntuleva säädin muuten vain leikkaisi pois.**

# MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC

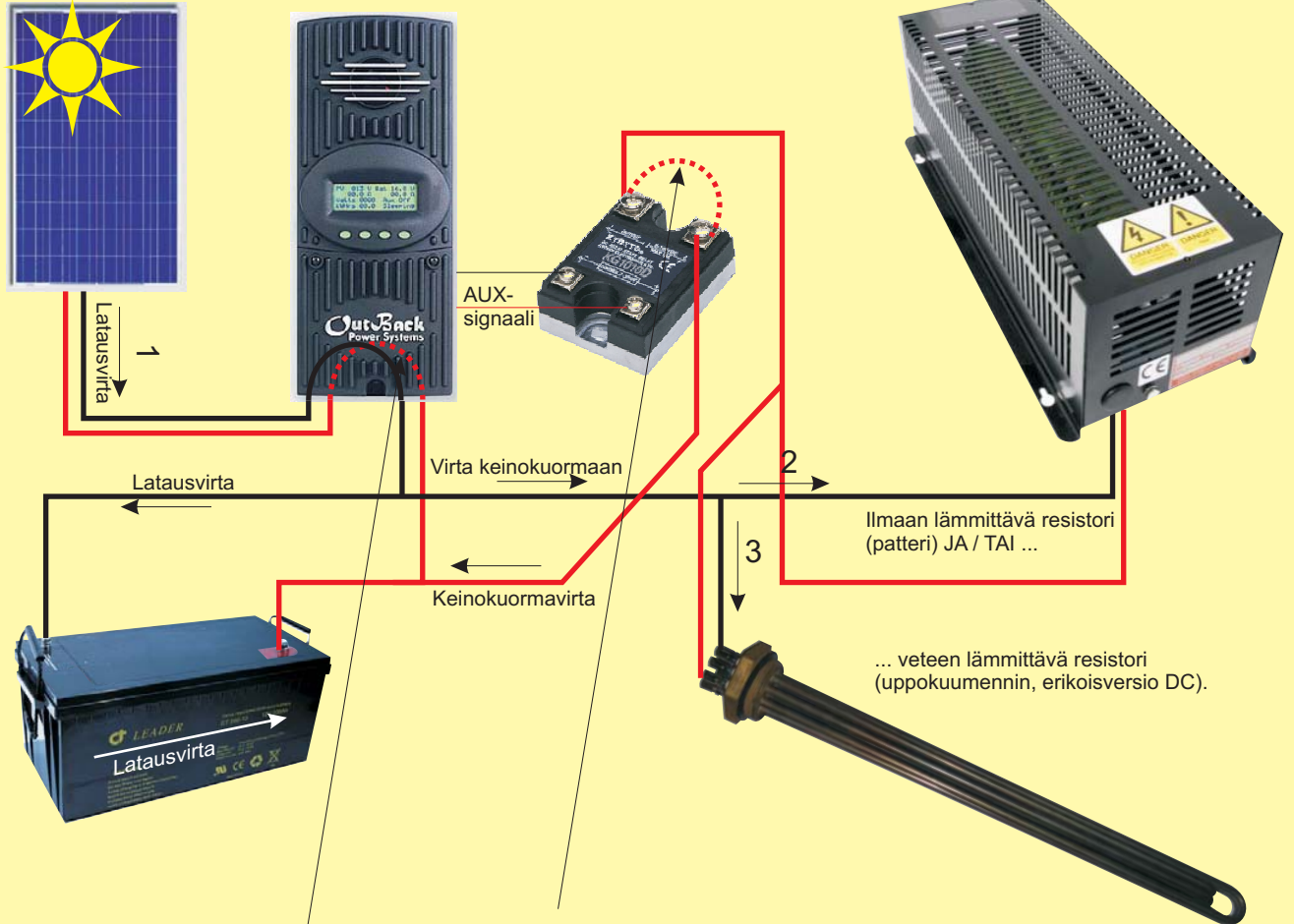
20.9.2013, s. 5

# REPS

Renewable Energy  
Production Solutions

Bockholm, FIN-21760 Houtskär  
www.reps.fi, +358-40-5883344

## 4) Esimerkki, yhdistetty sisääntulevan energian säädin ja keinokuormasäädin, esim. OutBack Flexmax.



Mikäli **ylijäämäenergia** halutaan käyttöön (esim. lämmöksi) **OutBack Flexmaxin** AUX-ulostuloa voidaan asettaa Diversion Solid State-tilaan. suhteellisella jänniteellä "Relative to" esim. -0,2 V.

Esimerkinomaisesti voidaan tällöin sisääntulevan säädintoiminnon rajaa asettaa 14,6 volttiin (akuilla yleensä 14,4-14,7 V tuotekortin antama haarukka), jolloin AUX-ulostulo antaa pulssimaisia (PWM) signaaleja, joiden ON-jakson pituus vaihtelee siten, että se pyrkii pitämään akun 14,6 - 0,2 = 14,4 voltissa.

AUX-ulostulolla ohjataan **DC-DC-puolijohderelettä**, jonka läpi poltetaan ylijäämä keinokuormaan, ihan kuten edellisessä esimerkissä.

Kun akkujännitettä pidetään yllä olevassa tapauksessa 14,4 voltissa, akkuun valuu koko ajan se tarvittava määrä energiaa lataukseen, johon se ylijäämä ensisijaisesti halutaan. Jos välillä käytetään sähköä siten, että jännite laskee, ei tietenkään myöskään lämmitykseen ohjautu virtaa (ellei käsin kytketä lämmitystä erikseen päälle, jolloin energia tulee akusta).

Jos keinokuorman piirissä (tai AUX-ohjausjohdoissa) on termostaatti, keinokuormaan / keinokuormiin ei enää mene yhtään virtaa jos esim. lämminvesivaraaja on kuuma. Tällöin kaikki ylijäämävirtaa ohjautuu heti akustoon, jonka jännite heti nousee arvoon 14,6, jolloin sisääntulevaa virtaa aletaan rajoittamaan PWM:llä aiemmin kuvatulla tavalla.

Esimerkissä oleva **OutBack Flexmax** toimii siis sekä "normaalina" säätimenä että sen lisäksi myös keinokuormasäätimenä (yhdedellä DC-DC-puolijohderelellä apunaan).

Sisääntulevalla puolella säädin toimii lisäksi **MPPT**-säätimenä, joka selitetään seuraavalla sivulla.

**Näin järjestelmä kerää koko ajan täydellä teholla niin paljon energiaa kuin paneelista vain irtoaa ja johtaa sitä prioriteeteissa:**

- 1) Virta kulutukseen (valoihin, työkaluihin, kodinkoneisiin yms)
- 2) Virtaa akustoon
- 3) Ylijäämäenergia lämmöksi tai muuksi hyödyksi

ennenkuin energiantuloa rajoitetaan akun yli latautumisen estämiseksi.

# MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC

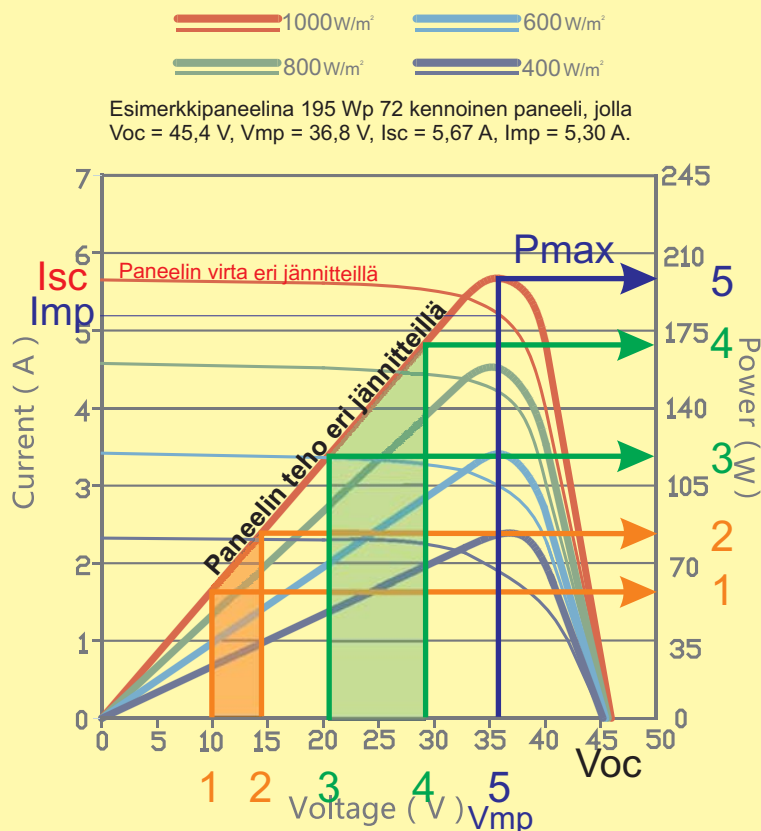
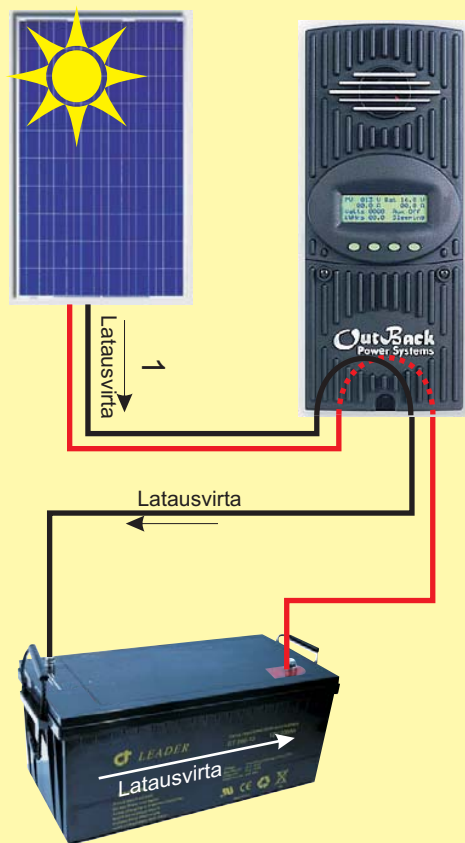
20.9.2013, s. 6

# REPS

Renewable Energy  
Production Solutions

Bockholm, FIN-21760 Houtskär  
www.reps.fi, +358-40-5883344

## Miten MPPT säädin poikkeaa normaalista PWM-säätimestä?



MPPT-säätimissä on edellä kuvatun pulssileveysmodulaation (PWM) lisäksi myös nk. MPPT-algoritmi, jossa kirjaimet MPPT tulevat sanoista **Maximum Power Point Tracking**, eli maksimitehopisteen haku.

Säädin käy nopeasti läpi eri sisääntulevat jännitteet ja laskee millä jännitteellä paneelin antama **Jännite [V] x Virta [A] = Teho [W]** on suurin ja lukitsee sisääntulevan jännitteen siihen arvoon.

Ne pyyhkivät sen jälkeen aika ajoin joko koko jännitealueen yli hakiessaan tuon maksimin tai kokeilee molemmin puolin valitsemaansa jännitearvoa, mikäli tuo  $V \times A$  kasvaa vai laskee ja hakee näin jatkuvasti sen maksimipisteen. Tuo piste, **Pmax**, jossa teho on suurin on nimeltään MPP (Maximum Power Point) ja se vaihtelee hieman aurinkosäteilyn, lämpötilan, mahdollisten varjostusten yms. mukaan. Oli olosuhteet mitkä vaan, säädin hakee tuon tehokkaimman kohdan ja tuo energian paneeleista sillä jännitteellä.

Kuten aiemmissa kytkentäesimerkeissä 1 ja 2 kuvattu, perinteisellä PWM-säätimellä sen sijaan paneelin jännite lukkiutuu akun jännitteeseen, joka joskus voi olla hyvinkin kaukana optimaalisesta.

**Esimerkin mukaisella 195 watin paneelilla ja täydellä 1000 W/m<sup>2</sup> aurinkosäteilyllä, +25°C lämpötilassa säädin päästää lävitsensä:**

- 1) vain noin 55 W 12-voltin PWM-säätimellä 12-V-akuston ollessa lähes tyhjä
- 2) vain noin 85 W 12-voltin PWM-säätimellä 12-V-akuston ollessa lähes täynnä
- 3) vain noin 115 W 24-voltin PWM-säätimellä 24-V-akuston ollessa lähes tyhjä
- 4) vain noin 170 W 24-voltin PWM-säätimellä 24-V-akuston ollessa lähes täynnä
- 5) ja **täydet 195 W jos käyttää MPPT-säädintä, akun jännitteestä riippumatta.**

Moisesta paneelista saat siis vain noin 28 % (55 W 195:sta) sen maksimitehosta jos käytät PWM-säädintä 12-voltin järjestelmässä ja noin 59 % (115 W 195:sta) 24-voltin järjestelmässä silloin kun akku on lähes tyhjä ja kaikista eniten tarvitsisit sitä energiaa.

MPPT-säädin hakee sen sijaan aina sen Pmax-pisteen paneelin V-A-tuottokäyrästä, jossa paneeli tuottaa eniten. Energia tulee siis korkeammalla jännitteellä sisään kuin mitä akun jännite on. Esimerkissä paneelista tuleva virta on 5,30 A (=Imp) ja sisääntuleva jännite on 36,8 V (=Vmp). Jos akuston jännite on 12 V, siihen menee  $195 \text{ W} / 12 \text{ V} = 16,25 \text{ A}$  jännitteellä 12 V.

MPPT-säädin mahdollistaa myös paneelien sarjakytkennän tai suurten paneelien käytön myös alhaisella akustojännitteellä, jolla paneelilta energia voidaan tuoda korkeammalla jännitteellä, ohuemmalla johdolla ja pidemmältä etäisyydeltä pienemmin häviöin.

Tyhjentävämpi esitys tunnin pituisesta Morningstarin MPPT-videosta (englanniksi):

[www.morningstarcorp.com/en/support/library/Morningstar%20TriStar%20MPPT%20Training.wmv](http://www.morningstarcorp.com/en/support/library/Morningstar%20TriStar%20MPPT%20Training.wmv)