

Solar Enerji Dönüşümünde, Maximum Güç Noktası İzleyicisinin Etkisi ve Kablosuz Enerji İletimine Uygulaması

Effect of Maximum Power Point Tracking in Solar Energy Conversion and Its Application of Wireless Power Transmission

Mehmet Ali Özçelik¹, Ahmet Serdar Yılmaz²

¹Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı Gaziantep Üniversitesi _{ozcelik@gantep.edu.tr}

²Mühendislik Fakültesi,Elektrik Elektronik Mühendisliği Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi a.s.yilmaz@ksu.edu.tr

Özet

Solar sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren silisyum yapılardır ve elektrik üretiminde önemli bir yer tutmaktadır. Cevreyi kirletmemesi, gürültü çıkarmaması, yakıt gereksinimi olmaması gibi faydaları olmasıyla beraber, yatırım maliyetlerinin yüksekliği, enerji dönüsümündeki verimliliklerinin istenilen düzeyde olmaması gibi dezavantajları da vardır. Bu nedenle solar enerji ile beslenen sistemlerin verimini iyileştirmeye vönelik çalışmalar önem kazanmış ve güncel olan güç çevrim sistemleri alanındaki araştırma ve geliştirmeler, solar sistemlerin son yıllarda büyük bir ivme kazanmasına yol açmıştır. Güneş enerjisi sistemlerini maksimum verimde kullanabilmek için, "maksimum güç izleyicileri (mppt)" kullanmak gereklidir. Bu çalışmada güneş pilinin eşdeğer devresi kullanılarak matlab / simulink ortamında güneş pili giriş parametreleri, paralel ve seri bağlanacak hücre sayıları gibi bilgileri girerek farklı özellikte ve güçlerde çıkış verebilecek solar üreteç ve genelde şarj sistemlerinde kullanılan yükselten yapıda da/da dönüştürücüsü modellenmiş ve bu pillerde değişik ortam koşullarına göre değişen maksimum gücü yakalayan mppt biriminin mevcut simulink ortamında ve deneysel olarak da kablosuz enerji iletiminde kullanılıp, kullanılmaması durumu kıyaslanmıştır.

Abstract

In spite of the benefits of solar modules such as noiseless operation, being fuel-free and non-polluting, the most important factors hindering their wide use are high investment costs and low energy conversion efficiencies. By reason of that, studies involving efficiency improvement of the systems fed by PV energy is deemed important. In recent years, studies about PVs have focused on minimize the costs and maximize the conversion efficiency. In order to maximize the efficiency of PV energy conversion systems, solar panels and arrays should be operated at maximum power points. At maximum power point, solar arrays generate the electric energy at maximum efficiency and minimum losses. Solar cells have variable current and voltage characteristics and maximum power point depends on solar irradiations and ambient temperature. So a maximum power tracking control should be made rapidly in different temperature and solar radiation conditions. In this study; solar cell was obtained by using equivalent circuit of solar cell with matlab / simulink and by using this structure, a PV generator was designed which is not only used with boost dc / dc convertor but also used with mppt (maximum power point tracking) unit . Finally, wireless energy transmission was applied in conventional and using mppt pv system on experimental setup for comparing.

1. Giriş

Güneş ışığının fotovoltaik hücrelere çarpması ile geniş bir yüzeyde, foto gerilim ve foto akım, bir ileri yönlü diyot olarak davranır. Hücreye düşen güneş ışığı sonucu oluşan akımın ifadesi (1) de verilmiştir.

$$I = I_{PH} - I_{S} \cdot \left\{ exp\left[\frac{q}{A.k.T} \cdot (V + I.R)\right] - 1 \right\} - \frac{V + I.R_{S}}{R_{SH}}$$
(1)

Burada, I_{PH} foton akımını, I_S saturasyon akımını, R devredeki yük direnci ile seri ve paralel dirençleri, V uç gerilimini, I yük akımını ifade etmektedir. Buna göre bir güneş hücresinin eşdeğer devre şeması Şekil 1'de görülmektedir.



Güneş hücrelerinin seri ve/veya paralel bağlanması ile oluşturulan PV paneller, elektriksel olarak bir akım kaynağı,

seri ve paralel dirençler ile paralel diyotlardan meydana gelmektedir[1]. Güneş pili hücrelerinin gerilimi ile yüke verdiği akım arasındaki ilişki, hücrenin I-V ile P-V karakteristiğini vermektedir. Bu iki karakteristik, panelden alınan gücün en yüksek değerine ulaşması için hangi koşullarda çalışması gerektiği hakkında önemli ipuçları vermektedir. Panellerden her zaman en yüksek verimde maksimum güç alabilmek önemli bir araştırma konusudur. Şekil 2'de tipik birer I-V ve P-V karakteristiği verilmektedir.



Solar sistemlerden her türlü güneşlenme koşullarında daima en yüksek gücü almak gerekmektedir [2,3]. Solar sistemlerin maksimum güç noktası atmosferik koşullara göre değişkenlik göstermektedir. Bu koşullar; ortam sıcaklığı ile güneşlenme miktarıdır. Genelde solar güneş panelleri en yüksek güç noktasına 25°C civarında ulaşabilmektedir. Güneşlenme miktarı ise güneşten yeryüzündeki birim alana düşen güneş ışığının gücü olarak tariflendirilmektedir [4,5]. Güneş panellerindeki I-V eğrisi iki parametre arasında değişmektedir. Bu parametreler kısa devre akımı ile açık devre gerilimidir, eşitliklerde V_{ref} ve I ref değerleri, I-V eğrisindeki referans olarak alınan değerlerdir. Güneş panelinin akım ve gerilim değerlerini hesaplamak için α ve β değerleri, akım ve gerilimin sıcaklık katsayılarını ifade eder, G ve G_{ref} ise W/m² olarak etkin ve referans ışınım şiddetini göstermektedir. Yeni akım ve gerilim değerleri ise (2,3,4) deki gibi elde edilir [6-8].

$$I_{new} = I_{ref} + \Delta I$$
(2)
$$\Delta I = \alpha \left(\frac{G}{G_{ref}}\right) \left(T_c - T_{ref}\right) + \left(\frac{G}{G_{ref}} - 1\right) I_{sc}$$
(3)

$$V_{new} = -\beta (T_c - T_{ref}) - R_s \Delta I + V_{ref}$$
(4)

Tek bir diyotdan 2 - 2.5 A değerinde akım ve 5 - 340 W arasında güce sahip modüller oluşturulabilir.

Güneş pilleri N_{pc} sayıda paralel kol, N_{sc} sayıda seri kol bağlanmasından oluşmuştur. Modül uçlarına uygulanan gerilim V^M ve modül akımı I^M olmak üzere;

$$V^M = N_{sc} V_{new} \tag{5}$$

$$I^{M} = N_{pc} I_{new} \tag{6}$$

İfadeleri ile bulunur.

2. Yükseltici DA/DA dönüştürücü

Yükseltici yapıdaki dönüştürücüler adından da anlaşılacağı gibi gerilimi yükselten yapılardır. Basitleştirilmiş devre şeması Şekil 3'de verilmiştir. Bu devreler fotovoltaik sistemlerle kullanıldığında Vs giriş gerilimi, solar panelin gerilimi olmakta ve bu giriş gerilimini V_0 çıkış gerilimine, yani sistemdeki akü veya yük gerilimine dönüştürme işlevini üstlenmektedirler. Bu tür devrelerde çıkış gerilimi giriş geriliminden yüksek olduğundan N dönüştürme oranı birden büyüktür[9].



Şekil 3. Yükseltici da/da dönüştürücü

Bağıl iletim süresi D, anahtarlama elemanı mosfet'in iletimde olduğu sürenin, iletim ve kesimde olduğu süreler toplamı olan sinyal periyoduna bölümüdür(7).

$$D = \frac{t_{on}}{(t_{on} + t_{off})} = \frac{t_{on}}{T}$$
(7)

Bu dönüştürücüde dönüşüm, anahtarlama elemanı (T) iletimde iken PV yapı, endüktansa (L) üzerinden akım geçirmek suretiyle endüktansa ilave enerji enjekte etmesi ve ardından da anahtarlama elemanının kesime geçmesiyle, endüktansta oluşan ters EMK'nın diyot üzerinden, devredeki kapasite elemanını şarj etmesi suretiyle gerçekleşir. Sabit kabul ettiğimiz çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$\frac{l_{out}}{l_{PV}} = 1 - D \tag{8}$$

Yükseltici yapılar daha çok kendi başına yeten sistemlerde, panel gerilim değeri akü geriliminden düşük olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

3. DA / AA dönüştürücü

DA / AA dönüştürücü, solar panelden MPPT birimine aktarılan DA (Doğru akım) güç çıkışını, AA (Alternatif akım) güç çıkışına dönüştürür. Transistör, mosfet, IGBT gibi anahtarlama elemanları kullanılarak yük üzerinde iki yönlü akım geçirilerek AA elde edilir. Frekans, güç, verimlilik, sıcaklık gibi parametreler anahtarlama elemanı seçiminde önemlidir. Şekil 4'te H köprü tasarımı DA / AA dönüştürücü görülmektedir.



Şekil 4. DA/AA dönüştürücü

4. Maksimum güç noktası takibi (MPPT)

Bir güneş pilinden elde edilen gücün, pilin akım ve gerilimiyle olan ilişkisi şekil 5'de görülmektedir. Her çalışma koşuluna denk gelen yalnızca bir tane maksimum güç noktası vardır. Güneş panellerinden maksimum verim elde edebilmek için panel, bu maksimum güç noktasında





Şekil 5. Güneş pili maksimum güç noktası

Akım - gerilim grafiğinde maksimum güç ifadesi şu şekilde hesaplanır :

$$P_{MPP} = I_{MPP} \cdot V_{MPP} \tag{9}$$

5. Hata gözlem MPPT algoritması

Bu algoritmada fotovoltaik panelin P-V eğrisinden faydalanılmaktadır. PV panelin çalışma geriliminde küçük bir artış gerçekleştirilerek, güçteki değişim miktarı (Δ P) ölçülür. Δ P değeri pozitif ise çalışma gerilimi tekrar artırılarak PV panel çalışma noktası maksimum güç noktasına yaklaştırılır, yani burada çıkış gücü sürekli olarak izlenir ve kontrol değişkeninin hareketi ile gücün hareketi arasında bir bağıntı kurularak referansın azaltılmasına ya da artırılmasına karar verilir(tablo 1)[8].

TT 11	1	D C	1
Tablo		Referans	degisim
1 aoro	т.	renerans	uccionin.

Referans değişimi	Güçteki değişim	Sonraki ref. Değişim			
Pozitif	Pozitif	Pozitif			
Pozitif	Negatif	Negatif			
Negatif	Pozitif	Negatif			
Negatif	Negatif	Pozitif			

6. MPPT matlab / simulink benzetimi

Benzetimlerde iki farklı durum için farklı başlangıç ışınım değerlerinde olmak özere toplamda iki durum incelenmiştir. İlk olarak maksimum güç noktası izlemesi yapılmaksızın sabit akım referansı ile örnek inceleme gerçekleştirilmiştir. Daha sonra aynı örnek incelemelerde maksimum güç noktası izlemesi yapıldığında çıkış güçleri ile verim değerleri karşılaştırılmıştır. Simulink ortamında oluşturulan solar panelin elektriksel parametreleri tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2: PV panelin elektriksel parametreleri						
Kısa Devre Akımı	5.45 A					
Açık Devre Gerilimi	22.2 V					
Maksimum Güçte Akım	4.95 A					
Maksimum Güçte Gerilim	17.2 V					

6 a. Sistemin MPPT'siz Çalışması

MPPT'li ve MPPT'siz duruma göre şekildeki anahtarlama elemanı on-off yapılarak aynı modeli kullanmak mümkündür. MPPT'siz ilk uygulamada başlangıçta 1000 W/m² lik ışınımla başlayan simülasyon, 50. saniyede 1050 W/m² çıkarılmıştır. Her iki benzetimde Şekil 6' da görülmekte olan simulink modeli kullanılmıştır.



Şekil 6 . Solar Sistem Matlab / Simulink

Şekil 7'de Mppt'siz çalışma durumunda çıkış akımı ve güç eğrileri gösterilmiştir.



Şekil.7 MPPT'siz durum için uygulama

6 b. Sistemin MPPT'li çalışması

Aynı örnek uygulamada MPPT ile değişen ışıma miktarına karşı akım referansı değiştirilerek çıkış güçleri ve akımları incelenmiştir. Bu bölümde Şekil 6' da görülmekte olan simülasyon kullanılmıştır. MPPT denetleyici olarak Şekil.8'de verilen bloklar kullanılmıştır. P&O algoritması, m uzantılı bir kod ile yazılmıştır.



Sekil 8. Kullanılan MPPT bloğu



Şekil 9. MPPT'li durum için uygulama

6 c. Matlab/simulink sonuçlarının karşılaştırılması

Bölüm 6.a ve 6.b'de sunulan iki durumda Şekil 6 ile 9 ve Şekil 7 ile 9 kendi içinde karşılaştırılmalıdır. Birinci uygulama yani ışımadaki artış durumunda çıkış güçlerindeki artış her iki durumda (MPPT'siz ve MPPT'li) görülmektedir. Çıkış güçlerini karşılaştırmak sonucu daha iyi olarak görmemizi sağlayacaktır. 1000 W/m² lik başlangıç ışıma durumunda MPPT kullanılmadığında yüke 292.5 W aktarılırken, MPPT kullanıldığında 325.3 W aktarılmaktadır. 50.saniyede ışımada 50W/m² lik artış olduğunda MPPT'siz durumda 295.5 W, MPPT'li durumda 338.2W aktarıldığı görülmektedir. Bu farkı daha iyi görebilmek için farklı ışıma durumları için her iki durumda çıkış güçleri analiz edilmiş ve Tablo.3'de sunulmuştur.

W/m ²	Pout mppt' siz	ΔPout mppt'siz	Pout mppt'li	ΔPout mppt'li	Δ
1000	292.5		325.3		32.8
		3		12.9	
1050	295.5		338.2		42.7

Tablo 3. Farklı ışıma değerleri için çıkış güçleri

Tablo.3'den görüldüğü gibi 50W/m² lik ışıma miktarı artışında Her iki durumdaki çıkış güçleri arasındaki farka baktığımızda düşük ışıma durumunda 32.8 W, yüksek durumda ise 42.7W lık bir fark bulunmaktadır. MPPT kullanıldığında ışıma miktarı arttıkça verim MPPT kullanılmayan duruma göre artmaktadır.

7. Deneysel fotovoltaik sistemde mppt biriminin kablosuz iletimde incelenmesi

Deneysel düzenekte şekilde görülen 2 adet paralel bağlı solara sm 260 s panel kullanılmıştır.



Şekil 10. Kurulan solar paneller

PV panelin teknik bilgileri tablo 4 de görülmektedir.

Tablo 4. Solar panel teknik bilgileri					
Kısa devre akımı	4.2 A				
Açık devre gerilimi	21.6 V				
Maksimum güçte akım	3.74 A				
Maksimum güçte gerilim	17.24 V				

Kablosuz iletimde konvansiyonel ve mppt'li solar sistem olmak üzere iki uygulama yapılmıştır. Her iki sistemde de kullanılan mppt'li ve mppt'siz da / da dönüştürücüler 12 V, 10 A özelliktedir. Kablosuz enerji iletimi yapan devre şekil 12'de görülmektedir. Alıcı ve verici devresinde kullanılan dairesel bobinler aynı özellikte olup daire çapları 250 mm ve tel çapları 0.70 mm 'dir. Verici devresi bobini ortak uçlu bobinde iki ters manyetik akı, iki adet mosfet transistor kullanılarak ac gerilim elde edilmiştir. T_1 ve T_2 mosfetleri sıra ile iletime ve kesime giderler. Herhangi bir anda biri iletimde diğeri kesimde olur, T_1 iletimde iken ortak bobinden I_1, T_2 iletimde iken ise I_2 akımı geçer. Bu akımlar zıt yönlüdür. Böylece ortak sargılı bobinden birbirine zıt yönlü değişen akımlar geçer. Bu akımlar verici devresi çıkışında değişken bir manyetik alan meydana getirir. Burada sarım sayısına bağlı AC gerilim meydana gelir.



Şekil 11. Kablosuz enerji iletim devresi

DC / AC dönüşümünde kullanılan mosfetler IRFP 250 N olup, 25 Khz anahtarlama frekansında (şekil.12) çalıştırılmışlardır.



Şekil 12. Mosfet anahtarlama sinyali ($ch_1=5 v, 10\mu s$)

PV panelden alınan DC gerilimin kablosuz enerji iletim devresine girişi Şekil 13'de görülmektedir.



Şekil 13. Kablosuz enerji iletim DC giriş gerilimi

Kablosuz enerji verici devresinden çıkan da / aa 'ya dönüşen gerilim şekil 14'de görülmektedir.



Şekil 14. Verici devresi, çıkış gerilimi $ch_1=5$ v, 10µs)

Kablosuz enerji iletimi alıcı devresine aktarılan giriş gerilimi şekil 15'de görülmektedir.



Şekil 15. Alıcı devresi, giriş gerilimi $(ch_1=5v, 10\mu s)$

Kablosuz enerji iletimi alıcı devresi çıkışı şekil 16'da görülmektedir.



Şekil 16. Alıcı devresi çıkış gerilimi(ch_1 =5v, 10µs)

7 a. Konvansiyonel solar kablosuz enerji iletimi

Solar panelden alınan enerjinin konvansiyonel (mppt'siz) İletimi blok yapısı şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 17. Alınan enerjinin konvansiyonel iletimi

Kablosuz enerji verici ve kablosuz enerji alıcı arası 1 cm'den 5cm'ye kadar mesafelerde elde edilen giriş-çıkış gerilim,akım, pwm anahtarlamasıyla buck boost da / da dönüştürücü kontrol edilmiştir. Güç ve verim değerleri tablo 5'te görülmekte olup, verim ifadesi denklem (10)'dan elde edilmiştir[13,14]. PV panelin ortam koşulları 33 °C sıcaklık ve 937 W / m² ışınım değerlerindedir.

$$\eta = \frac{P_0}{P_i} \times 100\% = \left(\frac{V_0^2}{R_0}\right) / \left(\frac{V_s - V_i}{R_s}\right) \times V_i \tag{10}$$

(η = Verim, V_s = Verici aktarılan gerilim, V_i = Giriş gerilimi, V_o = Çıkış Gerilimi, P_i = Giriş gücü, P₀ = Çıkış gücü, R_s = Sistem direnci, R_o = Yük direnci)

Tablo5. Konvansiyonel enerji iletimden alınan değerler

Mesafe	V _i	Ii	P _i	V_0	I ₀	P _o	η%
1 cm	10.5	1.28	13.5	18.2	0.34	6.19	45.8
2 cm	10.8	1.08	11.6	17.1	0.29	4.96	42.5
3 cm	11.2	0.90	10.1	15.7	0.23	3.61	35.7
4 cm	11.6	0.72	8.4	14.0	0.17	2.38	28.3
5 cm	12.1	0.58	7.01	12.2	0.10	1.22	17.4

7 b. Mppt'li Solar Kablosuz Enerji İletimi

Solar panelden alınan enerjinin mppt'li iletimi blok yapısı şekil 18'de görülmektedir.



Şekil 18. Solar Panelden Alınan Enerjinin Mppt'li İletimi

Mppt'li sistemde verici ve alıcı devresi arası 1 cm'den 5cm'ye kadar mesafelerde elde edilen giriş-çıkış gerilim, akım, güç ve verim değerleri tablo 6'da görülmektedir. Hata gözlem algoritmasından elde edilen pwm anahtarlamasıyla buck boost da / da dönüştürücü kontrol edilmiştir.

Tablo 6. Mppt'li kablosuz enerji iletimden alınan değerler

Mesafe	V_i	Ii	P _i	V_0	I ₀	P _o	η
1 cm	10.5	1.40	14.7	19.1	0.37	7.07	48
2 cm	11.0	1.17	12.9	17.8	0.32	5.7	44.1
3 cm	11.6	0.91	10.5	15.9	0.24	3.81	36.1
4 cm	11.9	0.74	8.84	14.2	0.17	2.41	27.2
5 cm	12.2	0.61	7.46	12.6	0.12	1.51	20.2

7 c. Deneysel PV kablosuz enerji iletimini sonuçlarının karşılaştırılması

İki adet 65 Wp paralel PV panelin 937 W/m² Işınım, 33°C sıcaklık ortam koşulunda yapılan deneyde kablosuz enerji

iletiminde verimliliğinin mesafenin artmasıyla azaldığı görülmektedir.

Konvansiyonel sistemle MPPT'li sistem kıyaslandığında MPPT kulanarak oluşturulan solar kablosuz enerji iletimin daha verimli olduğu sonuçlardan görülmektedir.

8. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı özellikte ve güçlerde çıkış verebilecek fotovoltaik üretecin bilgisayar ortamında benzetimi yapılmış, yine benzetimi yapılan Da / Da dönüştürücü, MPPT'li ve MPPT'siz olarak kontrol edilerek çıkış güçleri ölçülmüştür. Bu durumdan solar

elektrik enerjisi dönüşüm sistemlerine, maksimum güç noktası izleyicisinin (MPPT) dahil edilmesi, sistemin çıkış gücünü artırmış ve bu sayede güneş panellerinden en yüksek verimlilikte faydalanılıp daha az panel kullanımı sağlanmış ve güneş paneli yatırım maliyetinin düşürebileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

Elektrikli araçların ve portatif elektronik cihazların yaygınlaşmasıyla ortaya çıkan batarya şarj problemleri, kablosuz enerji iletiminin önemini daha da artırmaktadır. Bu çalışmada en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin kablosuz enerji iletimiyle entegrasyonu konvansiyonel ve mppt'li olarak uygulanmış, her iki sistemin kıyaslaması deneysel olarak yapıldığında, mppt'li sistemin daha verimli olduğu ölçüm sonuçları ve dalga şekilleriyle gösterilmiştir.

Gerçek bir sistemden alınan ışıma verileri ile bu salınımları görmek mümkün olacaktır. Ayrıca sıcaklık değişkeni sabit olarak öngörülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda sıcaklık ve ışınım miktarlarında birlikte ve ayrı ayrı olmak üzere gerçek hayata benzer değişimler uygulanarak yeni çalışmalar yapmak mümkün olacaktır.

Kaynaklar

- Panwar S. ve Saini R.P., Development and Simulation of SolarPhotovoltaic model using Matlab / simulink and its parameter extraction. (ICCCE 2012) International Conference on Computing and Control Engineering, pp 2-5, 12 - 13 April, 2012.
- [2] Hernanz J.A.R ve Campayo J.J, Two Photovoltaic Cell Simulation Models in Matlab/Simulink.(IJTPE Journal ISSN 2077-3528) International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering"pp;45-47, 2012.
- [3] Sree M. ve Ramaprabha R, Design and Modeling of Standalone Solar Photovoltaic Charging System, International Journal of Computer Applications(0975-88879 volume 18-no.2, 2011.
- [4] Pandiarajan N. ve Ramabadran R, Application of circuit model for Photovoltaic Energy Conversion System, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy Volume, pp:4-5 ID 410401, 2012.
- [5] Ozcelik M.A., Yılmaz A.S., Fotovoltaik sistemlerde farklı ışınım değerlerinde verimliliğin geliştirilmesi, Eleco, Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği, Ulusal Sempozyumu, Oturum P5, Bildiri no 201, sf:1-2, Kasım, Aralık 2012, Bursa.
- [5] Rustemli S. ve Dincer F, Modeling of Photovoltaic

Panel and Examining Effects of Temperature in Matlab/Simulink. Elektronika Ir Elektrotechnika (Journal of Electronics and *Electrical Engineering*), 3(109), pp. 35 – 40, March 2011.

- [6] S.Zahra M., Saad M., S.Mohsen M., MPPT with Inc.Cond Method using conventional interleaved boost converter., Energy Procedia 42 (2013) 24-32, 2013.
- [7] Azadeh S., Saad M., Simulation and hardware Implementation of Incremental Conductance MPPT with Direct Control Method Using CUK converter, IEEE transactions on Industrial Electronics, Vol.58, No.4, April 2001.
- [8] Kai C., Shulin T.,Yuhua C., An Improved MPPT Controller for Photovoltaic System Under Partial Shading Condition., IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol.5, No.3,978-985, July 2014.
- [9] Salas V. and et al. Evaluation of a new maximum power point tracker (MPPT) applied to the photovoltaic stand alone systems. Solar Energy Materials and Solar Cells; 2005; 87;807-815.
- [10] Esram T., Chapman PL., Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques., IEEE Trans on Energy Conversion; 2007; 22; No 2; 439-449.
- [11] Wanzeller MG., and et al. Current control loop for tracking of maximum power point supplied for photovoltaic array. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement; 2004; 53;1304-1310.
- [12] Like G., Wenshan H., Xiongwei X., Qijun D., Zhiding W., Hong Z., Yan J., Optimum Design of Coil for Wireless Energy Transmission System Based on Resonant Coupling. IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA); june 12-14, 2013; 190-195.
- [13] Peter S., Philip B., Wireless Energy Transmission System For Low-Power Devices. IEEE sensors 2008 Conference; 33-36.