

Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Eşdeğer Devresine Ait Büyük Sinyal Analizi

ONUR KIRICIOĞLU¹, ALI BEKİR YILDIZ²

^{1,2} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
Bölümü

¹ onurk.oglu@gmail.com , ² abyildiz@kocaeli.edu.tr

1. Giriş

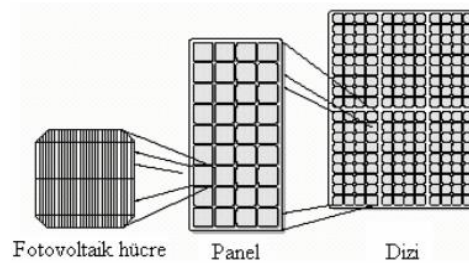
Dünya nüfusunun her geçen gün artması ve teknolojinin gelişmesiyle beraber elektrik enerjisi tüketimi sürekli artmaktadır. Bununla beraber elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması ve hızla tükenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş ve rüzgâr enerjisi gelmektedir.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi, temel olarak iki yöntemle yapılmaktadır:

1. Giriş

- Güneş ısısından faydalanılarak elektrik üretimi
- Fotovoltaik (FV) sistemler ile elektrik üretimi

FV hücreler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarıiletken elemanlardır. Gerekli güç ihtiyacına göre FV hücreler, seri-paralel bağlanarak FV panel oluşturulmaktadır. Aynı şekilde FV paneller de seri-paralel bağlanarak FV diziler oluşturulmaktadır.



1. Giriş

FV sistemlerin başlıca avantajları;

- yakıt maliyetinin olmaması,
- güvenilir olması,
- hareketli parça içermemesi, bakım maliyetlerinin çok düşük olması
- çevre kirliliğine yol açmaması gibi birçok avantaja sahiptir.

1. Giriş

Bu avantajlarına karşılık başlıca dezavantajları;

- ilk kurulum maliyetinin yüksek olması,
- verimlerinin düşük olması,
- elektrik enerjisinin depolanmasındaki zorluklar

Bu gibi dezavantajlardan dolayı FV sistemlerden maksimum gücü elde etmek önem kazanmaktadır.

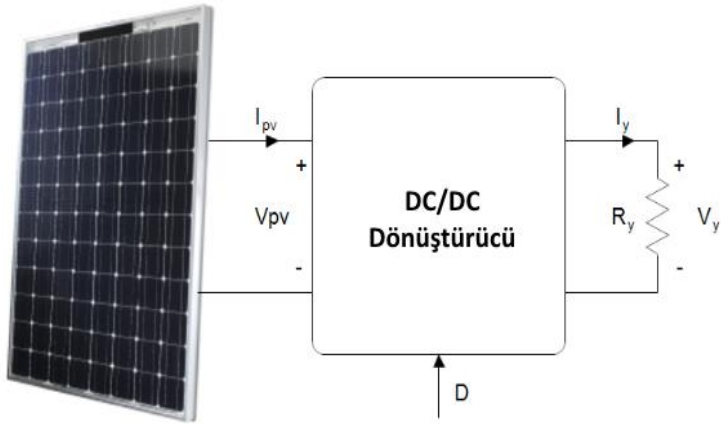
1. Giriş

FV hücreler yarıiletken malzemeden yapılırlar. Bu nedenle, karakteristiği doğrusal değildir. Sistem tasarımında ve analizinde, karakteristiğin iyi bilinmesi gerekir. Bu açıdan FV hücrenin modellenmesi üzerinde, literatürde birçok yaklaşım yapılmıştır.

Tek diyot modeli, çift diyot modeli vb. birçok eşdeğer devre geliştirilmiştir.

Bu modeller arasında, tek diyotlu model çift diyotlu modele göre hesap kolaylığına sahip olduğundan ve gerçeğe yakın sonuçlar verdiği için en yaygın kullanılan modeldir.

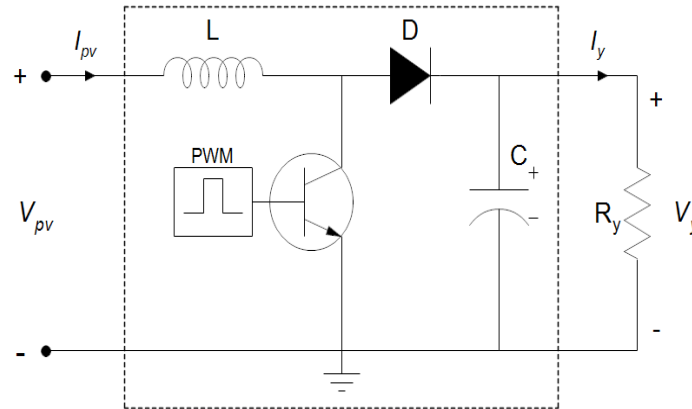
2. Güneş Paneli Dönüştürücü Sistemi



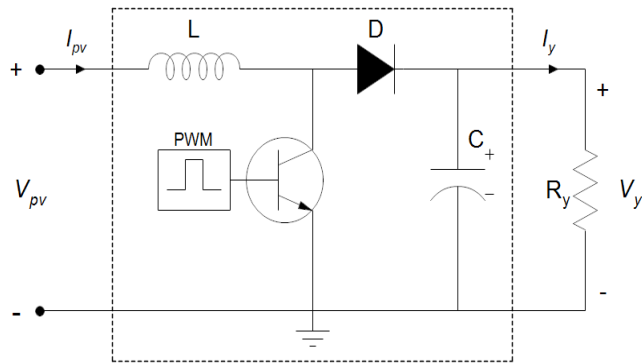
Sistemin üç elemanı söz konusudur: FV hücre/panel, DC/DC dönüştürücü ve yük elemanı. Çalışmada, öncelikle, DC/DC dönüştürücü ve yük birlikte ele alınarak, güneş paneli tarafına indirgenmiş eleman değeri belirlenmiştir. Daha sonra, FV hücre/paneli ile tüm sistemin birlikte düşünülmesi durumunda, lineerleştirilmiş model elde edilerek büyük sinyal analizi gerçekleştirilmiştir.

3. Güç Dönüştürücü Devresi

Çeşitli koşullar altında, güneş panelinin maksimum güç noktasında çalışması istenir. Bu amaçla, güneş paneli ile yük arasına DC/DC dönüştürücü devreleri eklenir. DC/DC dönüştürücü olarak, genellikle Boost devresi kullanılır.



3. Güç Dönüştürücü Devresi



Sistemde, dönüştürücünün çıkışına bağlanan yükün, panel tarafına yansıyan/indirgenmiş değerinin belirlenmesinde güç eşitliği kullanılır.

Tüm ideal dönüştürücülerde olduğu gibi, Boost dönüştürücüde de giriş gücü çıkış gücüne eşittir.

$$P_{giriş} = P_{çıkış}$$

$$V_{pv} I_{pv} = V_y I_y$$

$$V_{pv} \frac{V_{pv}}{R_g} = V_y \frac{V_y}{R_y}$$

3. Güç Dönüştürücü Devresi

Boost dönüştürücüye ait çıkış gerilimi;

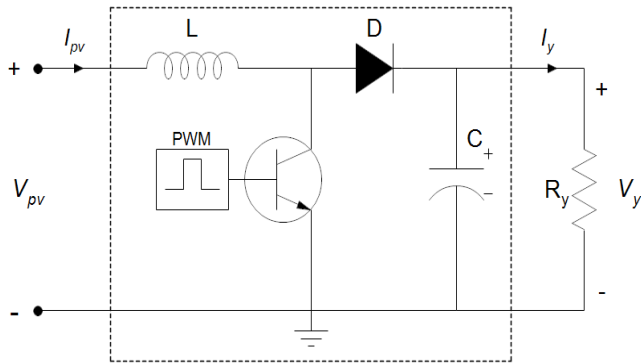
$$V_y = \frac{V_{pv}}{(1-D)}$$

şeklindedir. Bu ifade önceki denklemde yerine koyulursa;

$$\frac{V_{pv}^2}{R_g} = \frac{V_{pv}^2}{(1-D)^2 R_y}$$

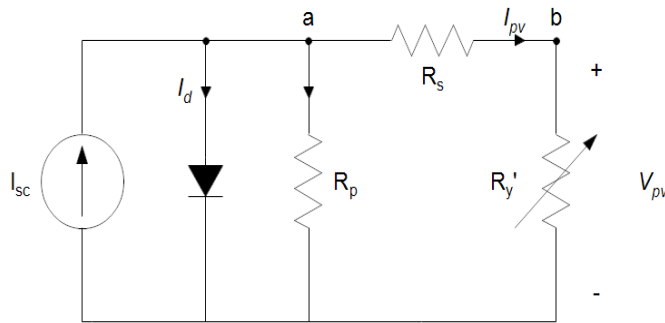
$$R_g = (1 - D)^2 R_y$$

elde edilen R_g değeri, sistemde, tek diyotlu FV hücre/panel tarafına indirgenmiş/yansıyan direnç eşdeğeri R'_y değeridir.



4. FV Hücresinin Büyük-Sinyal Eşdeğer Devresi

Bir FV hücresinin tek diyotlu eşdeğer devresi aşağıda görülmektedir.



Bu model, 5 parametrelili model olarak da bilinmektedir. Bu parametreler I_{sc} , I_s , R_s , G ve n 'dir. Burada, I_{sc} , FV hücre tarafından üretilen akımı, G ışınımı, R_s , hücredeki iç direnci ve bağlantı dirençlerini, R_p direnci de paralel kaçak akım direncini temsil etmektedir. I_s ve n , diyota ilişkin büyüklüklerdir.

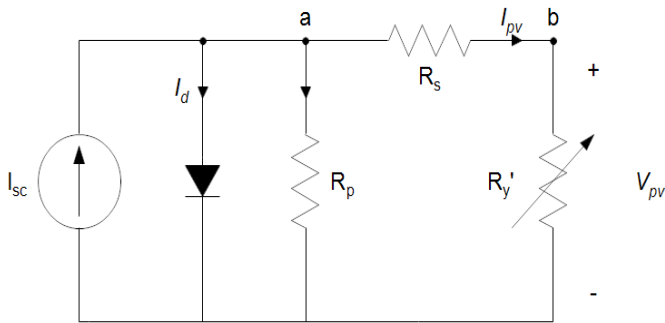
4. FV Hücrenin Büyük-Sinyal Eşdeğer Devresi

Diyota ilişkin uç denklem, aşağıda verilmiştir.

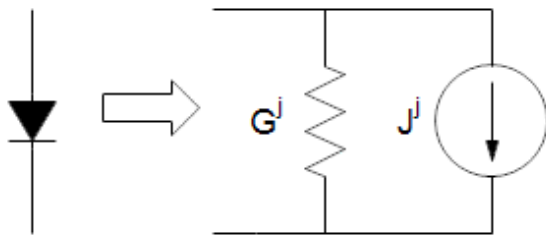
$$I_d = I_s \left(e^{\frac{qV_a}{nkT}} - 1 \right)$$

Bu denklemde, I_s , diyet ters satürasyon akımını, q , bir elektron yükünü, n , diyet ideallik faktörünü, k , boltzman sabitini, T ise Kelvin cinsinden çalışma sıcaklığını ifade etmektedir.

$$(q=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ , } k=1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \text{ , } n=1,2).$$



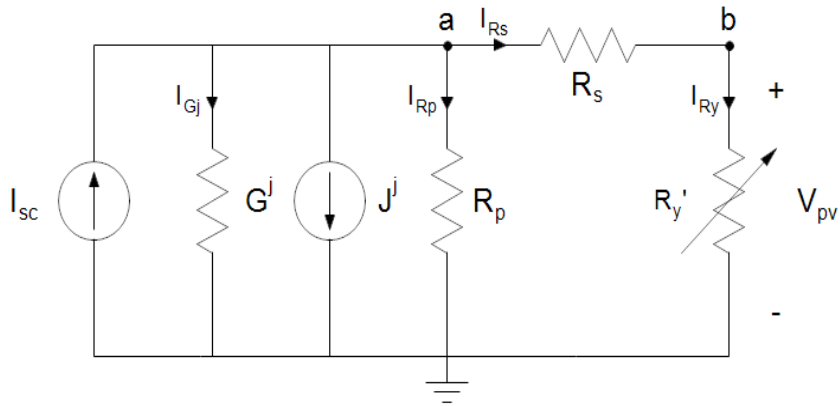
4. FV Hücrenin Büyük-Sinyal Eşdeğer Devresi



Diyot uç denklemine Newton-Raphson iterasyon formülü uygulanarak diyot lineerleştirilebilir. Bu model ayırık eşdeğer devre modeli olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde diyot, akım kaynağı ve buna paralel direnç ile ifade edilmektedir. Her iterasyonda bu parametreler tekrar hesaplanmaktadır.

$$G^j = \frac{dI_d}{dV_a}$$
$$J^j = I_d - G^j V_a$$

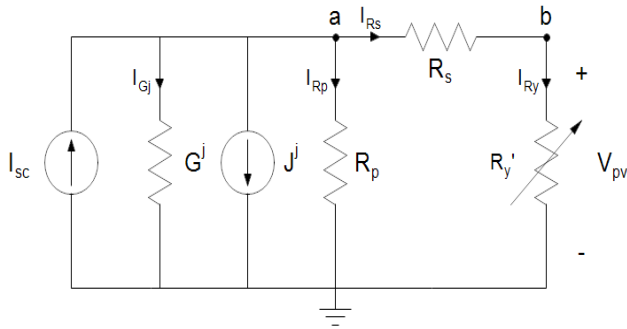
4. FV Hücresinin Büyük-Sinyal Eşdeğer Devresi



FV hücre modelindeki tek diyota ilişkin Newton-Raphson yöntemine karşı düşen ayırık eşdeğer devre elemanlarının (G^j , J^j) yerine konmasıyla, yanda görülen devre elde edilir. Bu devrede, lineer olan devre parametreleri (R_s , R_p , I_{sc}) değişmeden aynen kalmıştır.

4. FV Hücresinin Büyük-Sinyal Eşdeğer Devresi

Devreye ait düğüm denklemleri aşağıda verilmiştir. V_a ve $V_b=V_{pv}$ yöntemin bilinmeyenleri olarak görülmektedir.

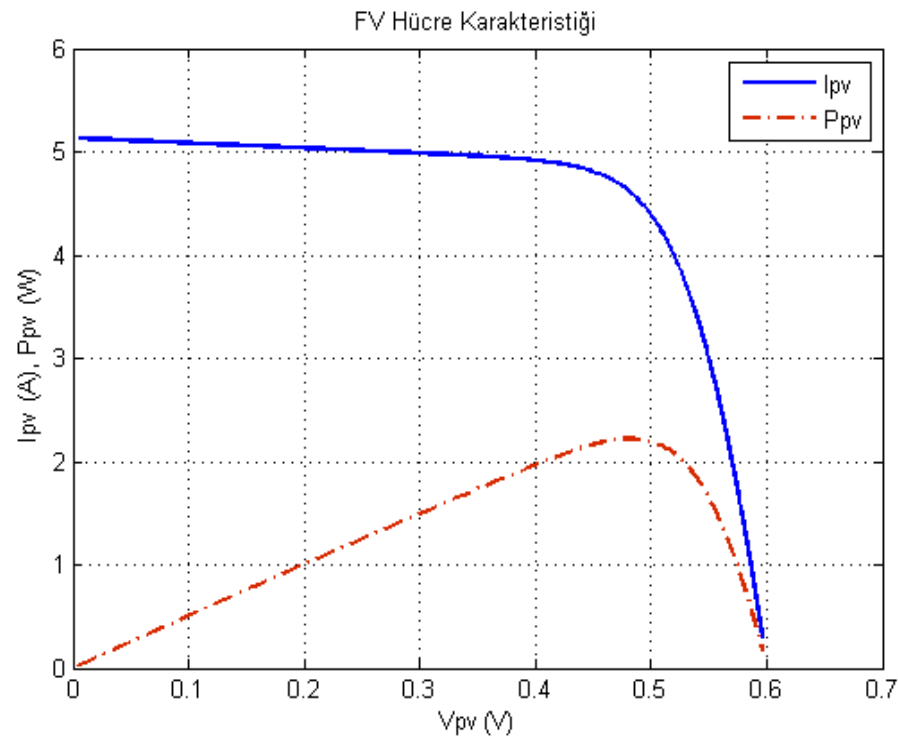


$$a \rightarrow V_a G_p + (V_a - V_{pv}) G_s + J^j + G^j V_a - I_{sc} = 0$$

$$b \rightarrow V_{pv} G'_y + V_{pv} G_s - V_a G_s = 0$$

$0 < R'_y < \infty$ aralığında iterasyon tekrarlanarak denklem sistemi çözülürse FV hücreye ait Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim karakteristikleri elde edilir.

4. FV Hücrenin Büyük-Sinyal Eşdeğer Devresi



FV hücrenin elde edilen I-V ve P-V karakteristiği

4. FV Hücrenin Büyük-Sinyal Eşdeğer Devresi

Lineer olmayan modelde sabit olarak görülen I_{sc} ve I_s akımları, güneş ışınımına ve sıcaklığa bağımlı olarak değişmektedir. Bu akımlara ilişkin ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$I_{sc} = \frac{((t-25)*K_i*I_{scr}+I_{scr}).G}{1000}$$

Burada, t çalışma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), K_i , sıcaklık katsayısı, G ise güneş ışınımıdır.

$$I_s = \left(\frac{T}{298}\right)^3 e^{\left(\frac{E_g q}{nk}\right)\left(\frac{1}{298}-\frac{1}{T}\right)}$$

Burada, E_g malzemenin bant aralığı enerjisidir ($E_g = 1,1\text{eV}$), T çalışma sıcaklığıdır ($^{\circ}\text{K}$).

4. FV Hücrenin Büyük-Sinyal Eşdeğer Devresi

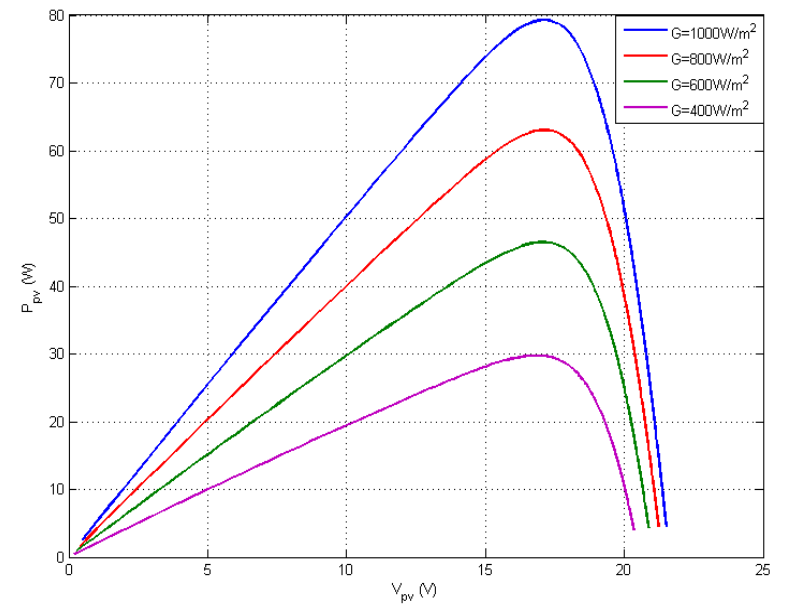
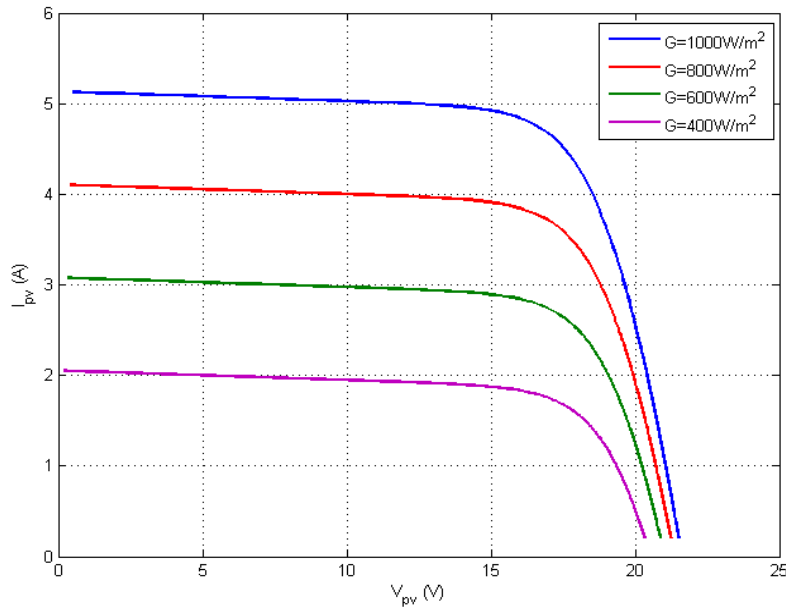
Hücreler seri veya paralel bağlanarak FV panel elde edilir. Seri bağlı hücre sayısı (N_s) ve paralel bağlı hücre sayısı (N_p) denklemlere katılarak, FV panelin karakteristiği elde edilebilir.

$$I_{sc} = N_p I_{sc}$$

$$I_d = N_p I_s \left(e^{\frac{qV_a}{nkTN_s}} - 1 \right)$$

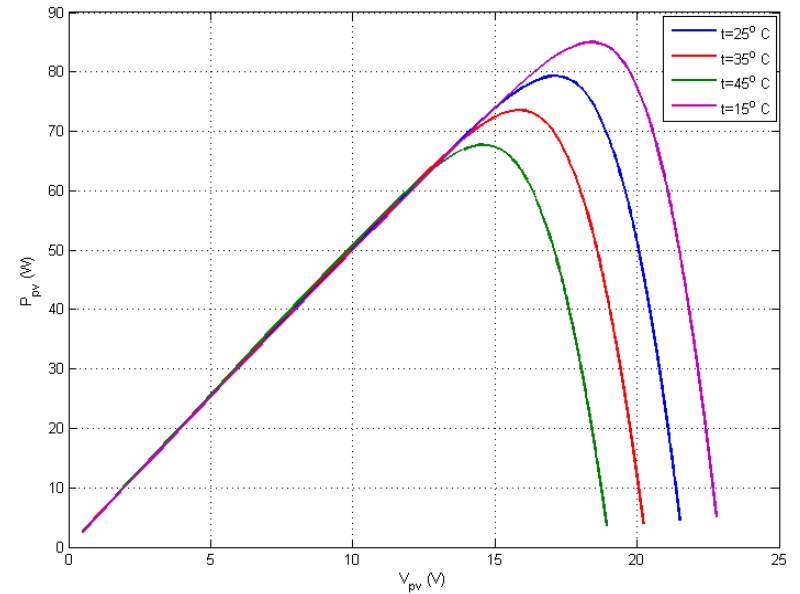
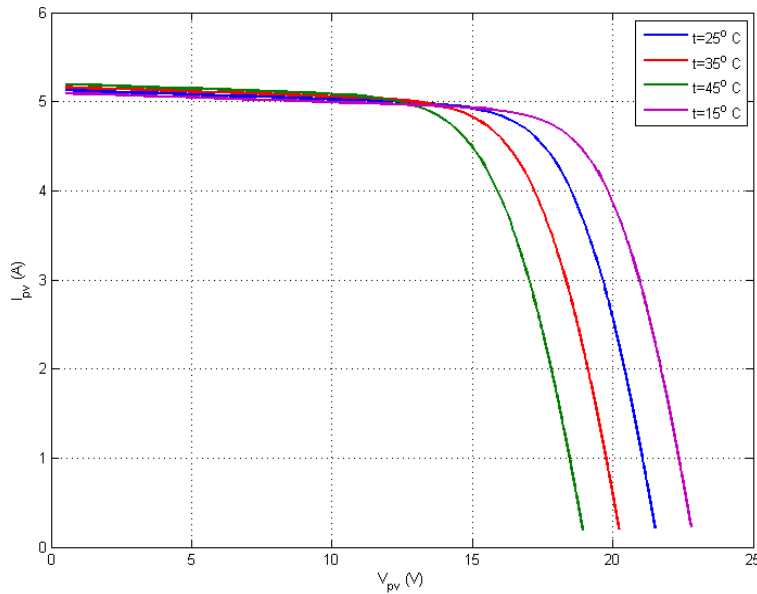
Bu değişikler yapıp iterasyon tekrarlandığında, çeşitli sıcaklık ve ışınlm değerlerinde elde edilen FV panel karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

4. FV Hücresinin Büyük-Sinyal Eşdeğer Devresi



Farklı ışınım değerlerinde FV panelin elde edilen I-V ve P-V karakteristikleri

4. FV Hücresinin Büyük-Sinyal Eşdeğer Devresi



Farklı sıcaklık değerlerinde FV panelin elde edilen I-V ve P-V karakteristikleri

5. İletim Oranına Göre Analiz

Güneş paneli sisteminde, belli bir yük değeri için iletme oranına bağlı olarak da analiz gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, panel tarafına indirgenmiş R'_y değerleri, ayırık eşdeğer devrede yerine konarak, iteratif olarak çalışma noktası değerleri belirlenmiştir.

Aşağıdaki tabloda belli bir yük direnci için, iletim oranına (D) bağlı olarak panelin çalışma noktası değerleri ve panelden elde edilen güç değerleri görülmektedir.

5. İletim Oranına Göre Analiz

$R_y = 10\Omega$ için;

D	$R'_y (\Omega)$	$I_{pv} (A)$	$V_{pv} (V)$	$P_{pv} (W)$
0	10	2.035	20.384	41.55
0.1	8.1	2.477	20.063	49.69
0.2	6.4	3.059	19.579	59.90
0.3	4.9	3.828	18.756	71.80
0.4	3.6	4.691	16.889	79.24
0.5	2.5	4.996	12.490	62.40

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, güneş panel sisteminin büyük-sinyal analizini elde etmek amacıyla, lineer olmayan diyot elemanı lineerleştirilerek, bir direnç ve akım kaynağı ile modellenmiştir. Lineerleştirilmiş modelin kullanılması ile elde edilen çözümlerin, gerçek FV hücre modeline çok yakın sonuçlar verdiğı görülmektedir. Bu nedenle, elde edilen bu ayırık devre modeli ile fotovoltatik enerji dönüşüm sistemlerinde maksimum güç noktası izleme gibi çeşitli uygulamalar gerçekleştirilebilir.

6. Sonuçlar

Güneş ışıını ve sıcaklık, devredeki bazı parametreleri etkilemekte ve panel karakteristiğini değiştirmektedir. Bu etkileri gözlemleyebilmek için aynı model kullanılarak farklı ışıını ve sıcaklıklarda panelin I-V ve P-V karakteristikleri elde edilmiştir.

İleriki çalışmalarda anahtarlmalı bir devre olan DC-DC dönüştürücü doğrudan sisteme katılarak analiz yapılması planlanmaktadır.

Dinlendiğiniz İçin Teşekkürler...

