

MOBİL PLATFORMLARDA KULLANILAN GÜNEŞ DİZİLERİNDE ARIZA TESPİTİ

Türev SARIKURT
turev@gyte.edu.tr
GYTE Elektronik
Mühendisliği Bölümü
41400, Gebze, Kocaeli

A. Güven PADO
guven.pado@daimler.com
Mercedes-Benz Türk A.Ş.
Mercedes Bulvarı No. 5, 34500 Esenyurt,
İstanbul

Özge Doğan
ozge.dogan@daimler.com
Mercedes-Benz Türk A.Ş.
Mercedes Bulvarı No. 5, 34500 Esenyurt,
İstanbul

M. Hakan HOCAOĞLU
hocaoglu@gyte.edu.tr
GYTE Elektronik
Mühendisliği Bölümü
41400, Gebze, Kocaeli

ÖZET

Fosil yakıtların doğadaki miktarının azalıyor olması ve karbondioksit salınımına getirilen kısıtlamalar, dikkatleri alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Güneş enerjisi çevrim sistemleri çevresel temizliği ve yenilenebilir olması nedeniyle elektrik üretiminde son zamanlarda yoğunlukla kullanılmaktadır. Bu sistemlerde arızalı modüllerin belirlenmesi üretimin sürdürülebilirliği ve çıkış enerjisinin kalitesi açısından önemlidir. Bu çalışmada hareketli bir platform üzerine yerleştirilmiş olan güneş enerjisi çevrim sistemi için güneş panellerinde oluşabilecek arızanın türünün ve dizi üzerindeki yerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar kapsamlı bir şekilde taranmış, Akım-Gerilim Ölçümü (IVM), Toprak Kapasitansı Ölçümü (ECM), Zaman Uzaı Yansıma Ölçümü (TDR) ve Frekans Cevap Analizi (FRA) metotları karşılaştırılmıştır. Ayrıca laboratuvarda mevcut bulunan güneş panellerinde Frekans Cevap Analizi metodu kullanılarak ölçümler yapılmıştır MATLAB yazılımı yardımıyla frekans spektrumları oluşturulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Güneş Panelleri, Frekans Cevap Analizi, Zaman Uzaı Yansıma Ölçümü, I-V Ölçümü.

1. GİRİŞ

Fotovoltaik sistemlerde sistemin kayıplarını azaltmak ve sistemin ömrü boyunca elde edilecek enerjiyi maksimuma çıkarabilmek için arızalı modüllerin belirlenebilmesi önemlidir.

Güneş enerjisi sistemlerinde arızalar ve bozulmalar hücre, modül veya dizilerde gerçekleşebilir. Hücrelerde meydana gelen performans düşüklüğü genel olarak fiziksel zedelenme, su teması neticesinde paslanma veya kızılotesi, ısı baskı sonucu çıkış enerjisinin azalması şeklindedir. Modüllerde ise çoğu zaman hücreler arasında açık-kısa devre oluşması gibi bağlantı sorunları ve koruma kaplamasının özelliğini kaybetmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Güneş panelleri ile oluşmuş dizilerde meydana gelen performans düşüklüğünün nedenleri ise daha çeşitlidir. Modüller arasında açık-kısa devreler ya da kurulum esnasında meydana gelen kablolama hataları gibi bağlantısal nedenler, modüller arasındaki parametre uyumsuzlukları ve kısmi gölgelenme bu nedenlerin en önemlileridir. [1,2]

Bu arızaları belirlemenin yöntemleri ise elektriksel, ısı ve görsel olarak üçe ayrılabilir. Görsel olarak arızalı hücreler veya modüller yıpranmaları ya da soluk görüntüleriyle belli olabilmektedir. Termal

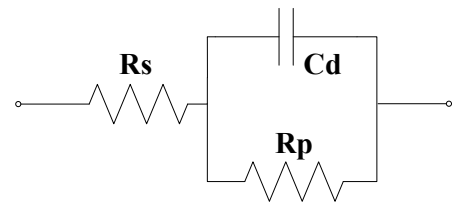
yöntemler ise aşırı ısınmanın ya da by-pass diyotunun parlaklığının ayırt edilmesidir. En etkili termal yöntem termal kameralardır. [1,2]

Elektriksel yöntemler ise Akım-Gerilim Ölçümü (*I-V Measurement*, IVM) [3,4], yüksek frekans ölçümü olarak da sınıflandırılan Zaman Uzaı Reflektometrisi (*Time Domain Reflectometry*, TDR) [1,2,5,6] ve Toprak Kapasitansı Ölçümü (*Earth Capacitance Measurement*, ECM) [5,7] olarak tanıtılmıştır.

Bu çalışmada mobil bir uygulamada bir arıza durumunda arızanın türünün (açık devre, kısa devre, gölgelenme) ve pozisyonunun belirlenmesini amaçlayan bir yöntem üzerinde çalışılmıştır. Güneş pilleri, modülleri ve dizilerinin elektriksel modelleri aktarılmış, ardında adı geçen IVM, TDR ve ECM metotları tanıtılmış, metotlar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Daha sonra güç transformatörlerinde arıza belirlemek için kullanılan Frekans Cevap Analizi (*Frequency Response Analysis*, FRA) metodu bu probleme uyarlanmaya çalışılmış, bu metot ile ilgili laboratuvar ortamında deneyler yapılmıştır.

2. GÜNEŞ PANELLERİ

Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan en küçük birim fotovoltaik hücrelerdir. [1]'de frekans analizi yoluyla fotovoltaik hücrenin empedansına dayalı elektriksel bir model elde edilmiş. Seri direnç, R_s , paralel direnç R_p ve paralel kapasitör, C_d 'den oluşan bu model Şekil 1'de görülmektedir. C_d ışık altında p-n jonksiyonunun düşük seviyesi nedeniyle kısa devre olarak kabul edilir.



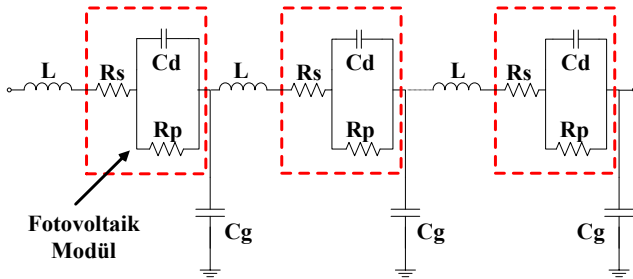
Şekil 1. Fotovoltaik hücrenin elektriksel modeli

Bir hücrenin empedansı, Z ise (1) eşitliği ile bulunabilir:

$$Z = R_s + \frac{R_p}{j\omega C_d R_p + 1} \quad (1)$$

Fotovoltaik modül çok sayıda fotovoltaik hücrenin birleşimiyle oluşturulur. Elektriksel modeli Şekil 1’de görülen hücrenin elektriksel modeliyle aynıdır ve empedansı da (1) eşitliğinden bulunabilir.

Fotovoltaik dizi ise çok sayıda modülün birleşimiyle oluşturulur. Fotovoltaik modüllerin birleştirilmesinde uzun hatlar kullanıldığı için hat endüktansı, L ihmal edilemez [1]. Fotovoltaik diziler yerleşik uygulamalarda topraklanmaktadır. Bu nedenle dizilerin elektriksel modellerine toprak kapasitansı, C_g de eklenmiştir [7, 8]. Bir fotovoltaik dizinin elektriksel modeli Şekil 2’de görülmektedir.

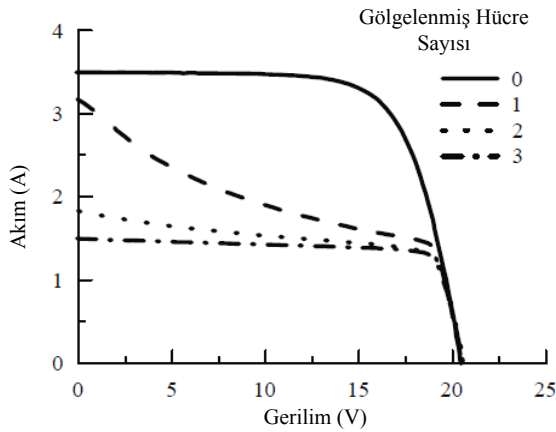


Şekil 2. Fotovoltaik dizinin elektriksel modeli

3. FOTOVOLTAİK DİZİLERDE HATA BELİRLEME YÖNTEMLERİ

3.1. Akım-Gerilim Ölçümü

I-V ölçümü 1960’lardan beri yaygın olarak kullanılan bir metottur [4]. Bu metotta güneş panellerinden oluşan bir dizinin akım ve gerilim değerleri ölçülür. Dizideki panellerin bazıları gölgelendirilirse I-V eğrisinin yüksekliği azalır. Bunun nedeni aynı gerilim seviyesi için sistemin daha az akım çıkışı verebilmesidir. [3] Bu durum Şekil 3.’te görülmektedir.



Şekil 3. Panellerin gölgelenme durumunda I-V eğrisi.

Bu yöntemde her modül eksilmesi durumu için testler yapıp sonuçlar kaydedilir. Son durumdaki I-V eğrisi varolan eğrilerle kıyaslanılarak gölgelenmenin

oranı tespit edilebilir. Ayrıca gölgelenme ile kalıcı arızalar da ayırt edilebilir. Bu yöntemin eksik yanı arızanın yerinin belirlenememesidir.

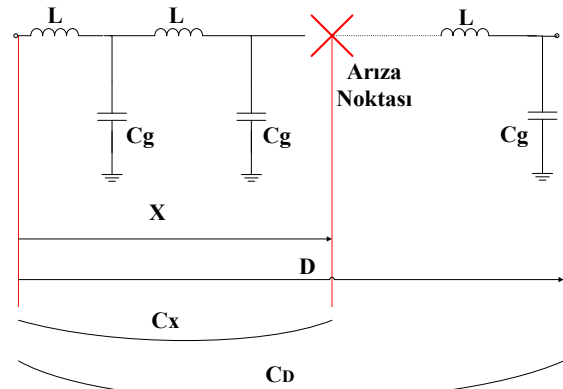
3.2. Toprak Kapasitansı Ölçümü

Bir iletim hattı endüktanslar ve kapasitanslar kullanılarak Şekil 4.’teki gibi modellenilebilir. Şekilden hattın toprak kapasitansının hat uzunluğuyla doğru orantılı olduğu görülebilmektedir.

Bir arıza durumunda arızanın olduğu yerin, hattın başlangıç noktasına uzaklığı, X (2)’deki eşitlikle bulunabilir.

$$X = \frac{C_x}{C_D} D \quad (2)$$

Burada C_x hattın başlangıcından hatalı yere kadar ölçülmüş toprak kapasitansı, C_D tüm hattın toprak kapasitansı, D ise hat uzunluğudur.



Şekil 4. Bir iletim hattının elektriksel modeli

Bir PV dizisinin elektriksel modeli ise hat endüktansı L , toprak kapasitansı C_g olmak üzere Şekil 2.’de görülmektedir. Şekilde PV modüllerinde C_d p-n bağlantı kapasitansı, R_s seri, R_p ise shunt dirençtir.

Dizide n . Modüle arıza olması durumunda o noktadaki toprak kapasitansı

$$C_{g,Arıza} = n \cdot C_g \quad (3)$$

Olarak hesaplanabilir.

Dizide M tane modül olduğunu kabul edersek dizinin toplam toprak kapasitansı

$$C_{g,Toplam} = M \cdot C_g \quad (4)$$

Şeklinde hesaplanabilir.

Yukarıdaki formüllerden yola çıkarak arızanın kaçınıcı modüle olduğu ise (5)’teki eşitlikle bulunur.

$$n = \frac{C_{g,Arıza}}{C_{g,Toplam}} M \quad (5)$$

Toprak kapasitansı ölçümü yönteminin kullanılabilmesi için fotovoltaiik dizinin toprak bağlantısının olması gerekir.

3.3. Zaman Uzayı Yansıma Ölçümü

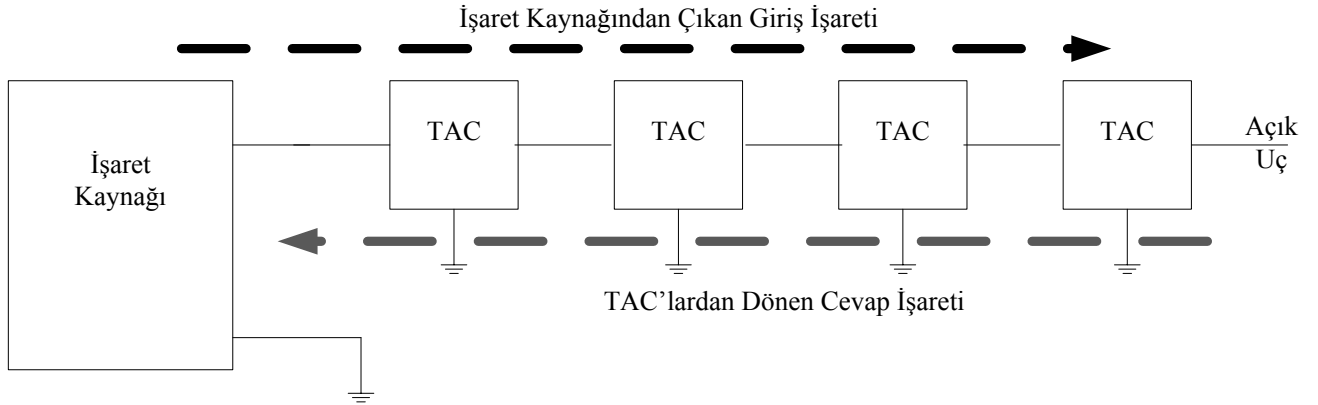
TDR bir iletim hattının karakteristiğini ve arıza durumunda bu arızanın türünü ve arızanın oluştuğu yeri belirlemede kullanılan elektriksel bir metottur [8]. Bu yöntemde sistemin bir noktasına uygulanan giriş sinyali ve empedans uyumsuzluğu nedeniyle değişerek geri dönen sinyal karşılaştırılır. Çıkış sinyalinde görülen giriş sinyaline göre oluşan ötelenme hattaki arıza pozisyonunu, dalga şeklindeki değişiklik ise uyumsuzluk tipini (açık devre, kısa devre, gölgelenme, direnç artması) ve hatanın büyüklüğünü (empedans değişim miktarı) belirlemede kullanılabilir.

Bir Fotovoltaiik (PV) sisteminde TDR yöntemini kullanmak için uygun test düzeneği Şekil 5’de gösterilmiştir. Test altındaki cihazlar şekilde TAC kısaltmasıyla görülmektedir.

TDR yönteminde giriş işareti olarak basamak ve dürtü fonksiyonları kullanılabilir. Literatürde yapılmış çalışmalar ile hata durumlarında sistemin bu fonksiyonlara vereceği cevap işaretleri belirlenmiştir [1,2]. Cevap işaretinin zaman gecikmesindeki veya genliğindeki değişim incelenerek hatanın yeri de belirlenmektedir.

Tablo 1’de TDR yönteminde çeşitli hata durumlarında oluşan çıkış işaretleri görülmektedir.

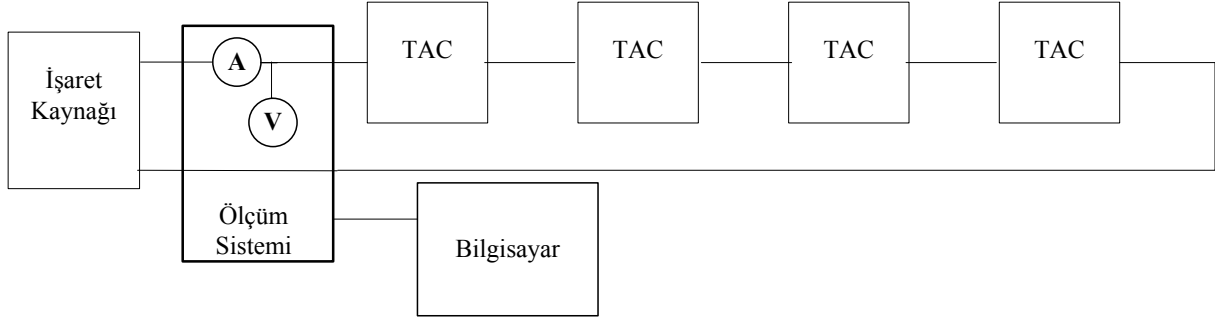
TDR metodunu uygulayabilmek için az gürültüyle, temiz sinyal verebilen bir işaret kaynağının veya fonksiyon jeneratörünün kullanılması gerekmektedir. Laboratuvar ortamında sahip olunan imkanlar gerçekleştirilen testler verimsiz olmuş, bu nedenle farklı yöntemler aranmıştır.



Şekil 5. TDR metodu için test düzeneği. (TAC: Test Altındaki Cihaz)

Tablo 1. TDR testinde hata durumlarında oluşan basamak ve dürtü cevapları

Uyumsuzluk Türü	Basamak Cevabı	Dürtü Cevabı
Açık devre		
Kısa Devre		
Empedans denge empedansından büyükse ($R > Z$)		
Empedans denge empedansından küçükse ($R < Z$)		
İndüktör		
Kapasitör		



Şekil 6. FRA metodu için test düzeneği

3.4. Frekans Cevap Analizi

Yüksek gerilim transformatörleri güç sistemlerinde kullanılan en maliyetli elemanlardır ve arızalanmaları da aynı oranda mali sıkıntılara yol açar [9]. Transformatörlerdeki yıpranmayla ilgili değişiklikler öncelikle sarımların dahili endüktans ve kapasitanslarında görülür. FRA bu değişikliklerin gözlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir [9-11].

FRA transformatörlerdeki geleneksel ölçüm metotlarıyla belirlenmesi zor olan mekanik arızaları tespit etmek için kullanılan bir metottur. Transformatör sarımları, güneş dizileri gibi kapasitanslar, endüktanslar ve dirençler olarak modellenilebilir. Transformatör yapısında bir arıza oluştuğunda bu parametrelerin değerleri değişecektir. Benzer bir değişim sisteme uygulanan periyodik bir işaretin cevabında da görülecektir [11].

FRA metodunun uygulanması için gereken test düzeneği Şekil 6.'da görülmektedir.

FRA da TDR gibi deneysel verilerin onları karşılayan referans verilerle kıyaslanıldığı karşılaştırmalı bir metottur. Bu metotta sonuçlar, kendilerine karşılık gelen referans verilerle kıyaslanılır. İki farklı uygulanma metodu vardır. Birincisinde sarımlara birim dürtü işareti uygulanırken ikincisinde sinüsoidal bir işaretle frekans taraması yapılmaktadır [12]. Pratik ölçme teknikleriyle tekrar edilebilir bir frekans cevabı yakalamak ve sistemde meydana gelen değişimlerle frekans cevabındaki değişim arasında ilinti kurabilmek bu metodun uygulamasında göz önüne alınması gereken iki etkidir. Sonuç olarak FRA metodunda henüz TDR metodunda olduğu gibi sistematik bir arıza tespit prosedürüne henüz ulaşamamıştır. Dolayısıyla bu metotta sonuç olarak gelen grafiksel analizleri yorumlayabilmek için uzmanlar gerekir.

Transformatörlerin elektriksel modelleri güneş dizileri ile benzerlik gösterdiğinden model dizilerde de kullanılabilir.

4. ÖLÇÜMLER VE SONUÇLARI

Laboratuvar ortamında FRA kurulumu önce transformatörler daha sonra güneş pilleriyle denenmiştir. Şekil 6.'daki test düzeneğinde görülen test altındaki cihazlar yerine paneller yerleştirilmiş, işaret kaynağı olarak fonksiyon jeneratörü kullanılmıştır.

Deneyde 3 güneş paneli kullanılmış, ölçümler karanlık ortamda gerçekleştirilmiştir. Arıza durumunu modellemek için paneller kısa devre yapılmıştır.

50 kHz-1.5 MHz arasında 30 farklı frekansta sinüsoidal işaret uygulanıp cevabı ölçülmüş, ardından aynı prosedür farklı sayıda paneller kısa devre yapılarak tekrarlanmıştır. Ölçümler karanlık ortamda, panellerin enerji üretmediği durumda gerçekleştirilmiş Ölçüm sonuçları Şekil 7.'de görülmektedir.

Şekilden de görülebileceği üzere empedansların sıfır noktaları arasında ayırt edilebilir bir fark vardır.

RFA metodu bu empedans farkı kullanılarak arıza durumlarının tespiti ve gölgelenme halinden ayırt edilebilmesi için sistematik bir yapı geliştirilerek kullanılabilir.

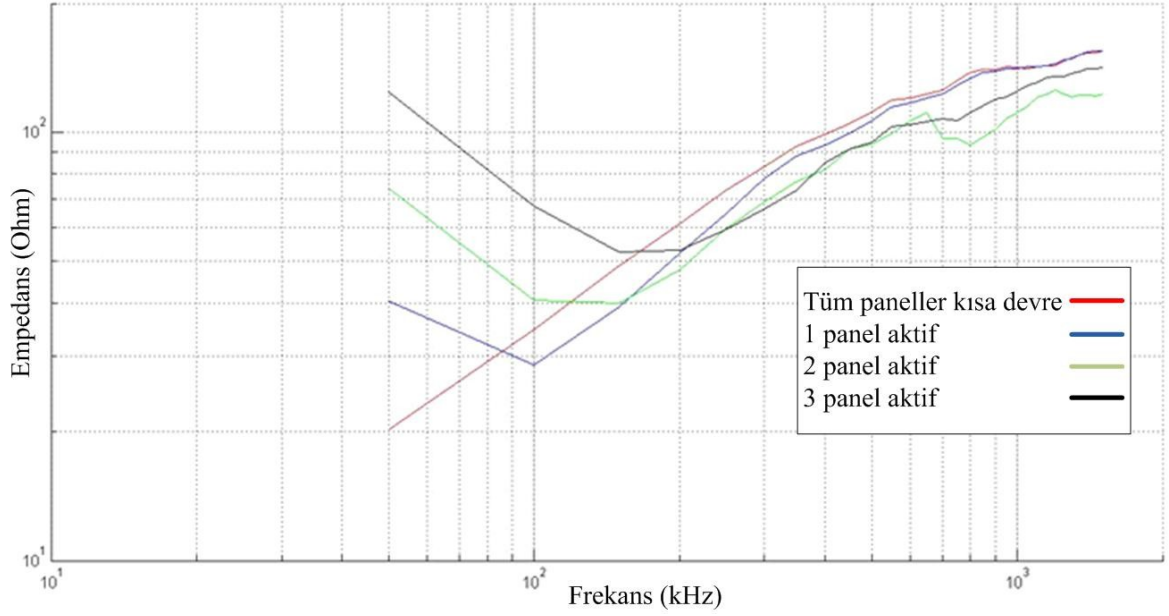
5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonucunda RFA metodunun transformatörlerin yanı sıra güneş panellerinde de arıza tespiti için uygulanabilirliği görülmüştür.

Ölçümlerin karanlık ortamda yapıldığı göz önünde bulduğunda yöntemin güneş enerjisi çevrim sistemleri için gölgelenme ve arıza durumları arasındaki farkları ortaya koymak içinde kullanılabilir.

İlerleyen çalışmalarda aydınlık ortamda, Mercedes Benz Türk A.Ş. tarafından kurumumuza temin edilmiş torso üzerinde de denemeler yapılacaktır.

Son aşamada sistemin mobil uygulamalarda doğrudan kullanılabilirliği olacak şekilde kompakt hale getirilmesi planlanmaktadır.



Şekil 7. RFA metodu kullanılarak elde edilmiş ölçüm sonuçları.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya verdikleri destek sebebiyle Mercedes-Benz Türk A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] T. Takashima, K. Otani, K. Sakuta, T. Yamada, T. Igarashi, K. Hasegawa, H. Wakabayashi, T. Yamaguchi, "Electrical Detection and Specification of Failed Modules in PV Array", 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Japan, May 11-18, 2003.
- [2] T. Takashima, J. Yamaguchi, K. Otani, K. Kato, M. Ishida, "Experimental Studies of Failure Detection Methods in PV Module Strings" IEEE Conference on Photovoltaic Energy Conversion, May 7-12, 2006
- [3] H. Kawamura, K. Naka, N. Yonekura, S. Yamanaka, H. Kawamura, H. Ohno, K. Naito, "Simulation of I-V Characteristics of a PV Module with Shaded PV Cells", Solar Energy Materials and Solar Cells, 2003
- [4] D. L. King, B. R. Hansen, J. A. Kratochvil, A. Quintana, "Dark Current-Voltage Measurements on Photovoltaic Modules as a Diagnostic or Manufacturing Tool", Photovoltaic Specialists Conference, September 29-October 3, 1997.
- [5] T. Takashima, J. Yamaguchi, K. Otani, T. Oozeki, K. Kato, M. Ishida, "Experimental Studies of Fault Location in PV Module Strings", Solar Energy Materials and Solar Cells, 2009.
- [6] L. Schirone, F. P. Califano, U. Moschella, U. Rocca, "Fault Finding in a 1 MW Photovoltaic Plant by Reflectometry", IEEE Conference on Photovoltaic Energy Conversion, December 5-9, 1994.
- [7] T. Takashima, J. Yamaguchi, M. Ishida, "Disconnection Detection Using Earth Capacitance Measurement in Photovoltaic Module String", Progress in Photovoltaics: Research and Applications, p 669-677, 2008
- [8] T. Takashima, J. Yamaguchi, M. Ishida, "Fault Detection by Signal Response in PV Module Strings", PVSC '08, USA, May 11-16, 2008
- [9] P. M. Nirgude, B. Gunasekaran, Channakeshava, A. D. Rajkumar, B. P. Singh, "Frequency Response Analysis Approach for Condition Monitoring of Transformer", IEEE Conference on Electric Insulation and Dielectric Phenomena, Annual Report, 2004.
- [10] J. W. Kim, B. K. Park, S. C. Jeong, S. W. Kim, P. G. Park, "Fault Diagnosis of a Power Transformer Using an Improved Frequency-Response Analysis", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, January 2005.
- [11] H. Firoozi, M. Kharezi, N. Mahmoodi, M. I. Ghiyasi, "Frequency Response Analysis - Low Frequency Characteristics and Fault Diagnosis on Power Transformers", International Conference on Solid Dielectrics, Germany, July 4-9, 2010
- [12] S. A. Ryder, "Diagnosing Transformer Faults Using Frequency Response Analysis", IEEE Electrical Insulation Magazine, p. 16-22, 2003.