

Fotovoltaik Güneş Panellerinden Beslenen Yükler Üzerindeki Gerilim Genliğinin Denetimi

Onur Ö. Mengi¹ ve İsmail H. Altaş²

¹Giresun Üniversitesi Giresun Meslek Yüksekokulu
Müdürlüğü Depboy 28200 Giresun
onurmengi@yahoo.com

²Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü 61080 Trabzon
ihaltas@ktu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Fotovoltaik (FV) Güneş Panellerinden (FGP) elde edilen enerji ile beslenen yüklerin modellenmesi ve simülasyonu anlatılmaktadır. Güneş panelleri doğru gerilim üretmektedir. Üretilen bu gerilim ortam sıcaklığı ve güneş radyasyon düzeyine bağlı olarak değişmektedir. Tasarlanan güneş panel modeli bu etkileri de içerecek şekilde düzenlenmiştir. Bu gerilimin üç fazlı yükleri besleyebilmesi için alternatif gerilime çevrilmesi, genlik ve frekans ayarının yapılması gerekmektedir. Yapılan simülasyonda Faz kilitlemeli Çevrim (FKÇ) tekniği ile frekans 50Hz'de sabitlenirken, tek faz gerilim 220V, üç faz gerilim 380V değerine PI türü denetleyici kullanılarak ayarlanmaktadır. Değişen yükleri modellemek için farklı zaman dilimlerinde sisteme yükler ilave edilmiş ve bu durumda sistemin ayrıntılı cevabı incelenmiştir. Sistem tüm alt bileşenleri ile birlikte Matlab/Simulink/Simpower ortamında modellenmekte ve simülasyonu yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Güneş Panelleri, Yenilenebilir Enerji, PI Kontrolör.

Abstract

In this work, the modeling and the simulation of various loads supplied from photovoltaic solar arrays has been studied. The photovoltaic arrays (PVA) produce DC power, which should be converted to AC for AC load types. The DC power generated by PVA is affected by the solar irradiation level and the ambient temperature. Besides, the load power is another factor affecting the PVA output power. The designed PVA is arranged in a way that includes both the environmental and the load changes. In order to supply the three phase loads the DC voltage of the PVA is converted to three phase 50 Hz voltages. The magnitude and the frequency of the AC voltages are controlled and kept at constant at predefined values, which are 380 V

phase to phase and 50 Hz. All of the system components are modeled in Matlab/Simulink/Simpower environment using the operational blocks available in Simulink.

Keywords: Photovoltaic Solar Panels, Renewable Energy, PI Controller

1. Giriş

Dünyadaki hızla artan enerji sıkıntısı ve fiyatlardaki yükselme, mevcut enerji kaynaklarına alternatif kaynaklar araştırmayı ve geliştirmeyi bir zorunluluk haline getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları sürekliliği olan ve hiç bitmeyecekleri varsayılan kaynaklardır. Özellikle çevre kirliliği ile ilgili problemler arttıkça yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmış ve bunlarla ilgili projeler de destek görmeye başlamıştır.

Dünyadaki petrol rezervleri 40 yıl, doğalgaz rezervlerinin 67 yıl ve kömür rezervlerinin 227 yıl sonra tükeneceği tahmin edilmektedir. Dünya elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık olarak % 64.5'i fosil yakıtları (% 38.7 kömür, % 18.3 doğal gaz, % 7.5 petrol), % 7'si nükleer enerji, % 16.5'i hidrolik enerji ve % 13'ü diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından gerçekleşmektedir. Bu rakamlar yenilenebilir enerji kaynaklarının bundan sonra çok daha önemli olacağını ve bu alana yapılacak yatırımların hızla artacağını göstermektedir [1].

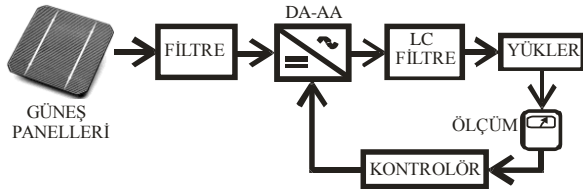
Literatürde pek çok güneş panel modeli bulunmaktadır. Aslında FV piller bir akım kaynağı, bir diyot ve seri-paralel dirençlerden oluşan basit bir elektrik devresi ve üstel bir fonksiyonla temsil edilebilmektedirler. Asıl problem FV güneş pillerini üretebildikleri maksimum güç değerinde çalışacak şekilde temsil eden modeller elde etmektir. Geliştirilen ilk modeller genellikle belirli bir uygulama ortamında kullanılan ve bu ortamda yapılan ölçümlere dayalı olarak elde edilen modellerdir [2-3].

2. Kurulan Sistemin Yapısı

Şekil 1’de simülasyonu yapılan sistemin yapısı görülmektedir. Burada güneş panellerinden elde edilen doğru gerilim önce bir filtreden geçirilmekte daha sonra kontrollü bir evirici vasıtasıyla alternatif gerilime dönüştürülmektedir. Bu işlem sırasında gerilimin genliği ve frekansı ayarlanmaktadır. Burada elde edilen 3 fazlı gerilim d-q eksen takımına dönüştürüldükten sonra elde edilen V_d ve V_q değerleri ayrı ayrı kontrol edilmektedir. Kontrolör olarak PI denetleyici kullanılmaktadır. Daha sonra kontrolör çıkışında tekrar dönüşüm yapılarak elde edilen gerilim ile darbe genişlik modülasyonu için referans işaret üretilmektedir. Darbe genişlik modülasyonunda üretilen darbeler ile evirici istenen gerilim düzeyinde çıkış verecek şekilde ayarlanmakta ve yük üzerindeki gerilim 380V değerinde tutulmaya çalışılmaktadır. Ayrıca bu bölümde faz kilitlemeli çevrim yardımıyla frekans değeri 50Hz’de sabit tutulmaktadır.

Sistemde yük üzerindeki gerilimin dalga şeklini düzeltmek için yüklere paralel bağlı bir filtre bulunmaktadır. Bu sayede yük geriliminin dalga şeklinde düzeltilmeye çalışılmıştır. Bu esnada Toplam Harmonik Bozulması da (THB) ölçülmüştür.

Simülasyonda yük değişimleri de dikkate alınmış ve sürekli yük ekleyerek sistem test edilmiştir.



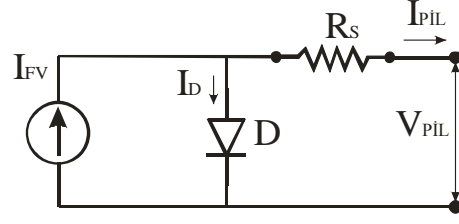
Şekil 1: Sistemin ana yapısı.

Güneş panellerinin ortam koşullarından etkilendiği göz önüne alındığında sıcaklık değişimleri ve güneş radyasyon seviyesindeki değişimlerinde simülasyona dahil edilmesi gerekir. Kurulan sistemin bu değişimlerden etkilenmeden yük üzerindeki gerilimi 380V, frekansı da 50Hz’de tutacak şekilde kontrol edilmesi gerekir.

3. Fotovoltaik Güneş Panelleri

3.1. Eşdeğer Devre Modeli

Fotovoltaik Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Şekil 2’de bir güneş pilinin basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli görülmektedir. Güneş pillerinden elde edilen gerilim (1) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.



Şekil 2. FV güneş pilinin eşdeğer devresi.

$$V_{pil} = \frac{A \times k \times T_{pil}}{e} \ln \left(\frac{I_{FV} + I_0 - I_{pil}}{I_0} \right) - R_S \times I_{pil} \quad (1)$$

Burada;

I_{pil} : FV pilin çıkış akımı (A), I_{FV} : Işık seviyesi ve P-N birleşim noktası sıcaklığının fonksiyonu, Fotoakım (A), I_0 : D diyodunun ters doyma akımı (A), V_{pil} : FV pilin çıkış gerilimi (V), R_S : Eşdeğer devrenin seri direnci (Ohm), e : Elektron yükü ($1.6021917 \times 10^{-19}$ C), k : Boltzmann sabiti (1.380622×10^{-23} J/°K), T_{pil} : Referans çalışma sıcaklığı (°K), A : Eğri uydurma faktörüdür.

Boltzman sabiti k ve referans çalışma sıcaklığı T_{pil} aynı sıcaklık birimine sahip olmalıdır. Yani her ikisi de ya Santigrat derece yada Kelvin derece olarak hesaba katılmalıdır. Boltzman sabiti k genelde Kelvin derece olarak verildiği için, T_{pil} sıcaklığını Kelvin dereceye dönüştürerek kullanmak daha uygundur. Denklem (1)’de verilen A katsayısı bir eğri uydurma faktörü olup bu denklemden elde edilecek olan I-V karakteristiğinin deneysel olarak elde edilen gerçek I-V karakteristiğine uyumunu sağlamak için kullanılmaktadır.

Güneş panelinin bulunduğu ortamın sıcaklığı ve güneş radyasyonu seviyesi değişince, paneldeki FV pillerin çalışma sıcaklığı T_{pil} de değişerek yeni bir fotoakımı ve yeni bir çıkış gerilimi oluşturur. FV pillerin çalışma sıcaklığı, güneş radyasyonu seviyesi ve ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişir. Değişken ortam sıcaklığı T_x pilin çıkış gerilimi ve fotoakımını etkiler. Bu etkiler pil modelinde sırasıyla sıcaklık gerilim ve akım katsayıları denklem (2) ve (3)’de C_{TV} ve C_{TI} ile gösterilmektedir.

$$C_{TV} = 1 + \beta_T (T_a - T_x) \quad (2)$$

$$C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_{pil}} (T_x - T_a) \quad (3)$$

Burada T_a test sırasında bilinen referans ortam sıcaklığını temsil etmektedir ve 20°C olduğu varsayılmıştır. T_x farklı zamanlardaki farklı ortam sıcaklıklarını temsil eder. β_T ve γ_T katsayıları ise sırasıyla sıcaklık nedeniyle pil gerilimi ve akımında meydana gelen değişimlerin eğimlerini temsil etmektedirler. Bu β_T ve γ_T katsayıları FV pil tipine bağlı olarak değişir ve deneysel olarak belirlenirler. Normalde β_T 0.004 ile 0.006 arasında, γ_T ise 0.02 ile 0.1 arasında değerler alır.

Gün boyunca ortam sıcaklığı önemli ölçüde değişirse de, güneş radyasyonu seviyesi, günışığı miktarı ve havanın bulutluluk durumuna bağlı olarak etkin biçimde değişerek FV pilin fotoakımını ve çalışma sıcaklığını, dolayısıyla da çıkış gerilimini etkiler. Bu etkiler çıkış gerilimi için C_{SV} fotoakım için ise C_{SI} ile verilmekte ve sırasıyla denklem (4) ve (5) ile tanımlanmaktadır.

$$C_{SV} = 1 + \beta_T \times \alpha_s (S_x - S_{pil}) \quad (4)$$

$$C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_{pil}} (S_x - S_{pil}) \quad (5)$$

Burada, S_{pil} referans güneş radyasyon seviyesi olarak kullanılan günışığı şiddetidir. S_x ise farklı zamanlardaki farklı güneş radyasyon seviyelerini temsil etmektedir. α_s , güneş radyasyon seviyesindeki değişimin pil çalışma sıcaklığında meydana getireceği değişime ait bir katsayı olup denklem (6) ile tanımlanır.

$$\alpha_s = \frac{\Delta T_{pil}}{S_x - S_{pil}} = \frac{T_{pil} - T_a}{S_x - S_{pil}} \quad (6)$$

α_s nin değeri, aynı özelliklere sahip olmayan FV piller için farklıdır ve deneysel olarak belirlenir. Ancak bu değer genellikle 0.3 ile 0.4 °C cm²/mW arasındadır.

Yukarıda verilen düzeltme katsayıları C_{TV} , C_{TI} , C_{SV} ve C_{SI} kullanılarak FV pilin yeni çıkış gerilimi V_{Xpil} ve yeni fotoakımı I_{XFV} , yeni çalışma sıcaklığı T_X ve yeni güneş radyasyonu seviyesi S_X için denklem (7) ve (8)'de görüldüğü gibi hesaplanır;

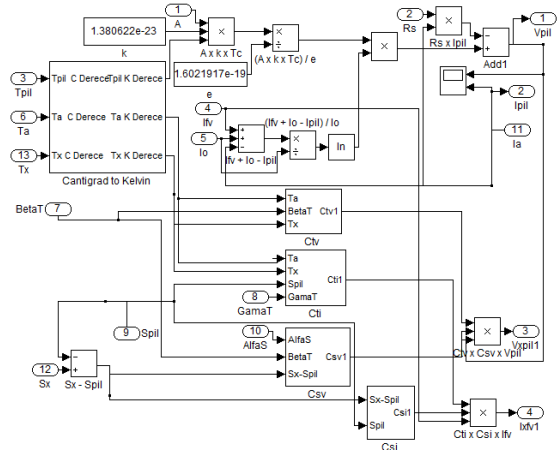
$$V_{Xpil} = C_{TV} \times C_{SV} \times V_{pil} \quad (7)$$

$$I_{XFV} = C_{TI} \times C_{SI} \times I_{FV} \quad (8)$$

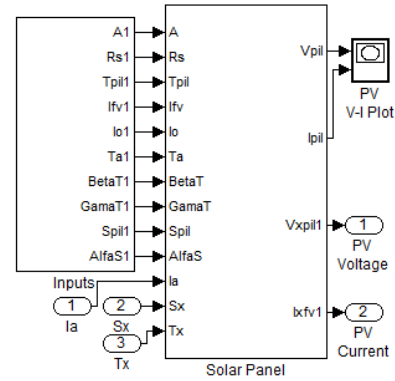
Burada, C_{TV} ve C_{TI} denklem (2) ve (3) de verildiği gibi ortam sıcaklığındaki değişimin sırasıyla pil gerilimi ve akımı üzerindeki etkilerini, C_{SV} ve C_{SI} ise Denklem (4) ve (5) de verildiği gibi, güneş radyasyonu seviyesindeki değişimin sırasıyla pil gerilimi ve akımı üzerindeki etkilerini temsil ederler. Bu ifadelerdeki V_{pil} ve I_{FV} ise referans alınan pil çalışma sıcaklığı ve günışığı (güneş radyasyonu) seviyelerindeki pil çıkış gerilimi ve fotoakımının değerleridir. Kısa devre sırasında diyotun I_0 ters doyma akımı, I_{FV} fotoakımına kıyasla çok küçüktür ve ihmal edilebilir. Dolayısıyla I_{FV} fotoakımı, I_{kl} kısa devre akımına eşit alınabilir [4].

3.2. Simulink Modeli

Güneş pilin Simulink modeli denklem (1) referans alınarak oluşturulmaktadır. Bu şekil 3'de görülmektedir. Katsayıları C_{TV} , C_{TI} , C_{SV} , C_{SI} ve α_s değerleri alt sistemlerde hesaplanmaktadır. Giriş ve çıkış değerleri ile panelin tam modeli şekil 4'de görülmektedir [5].



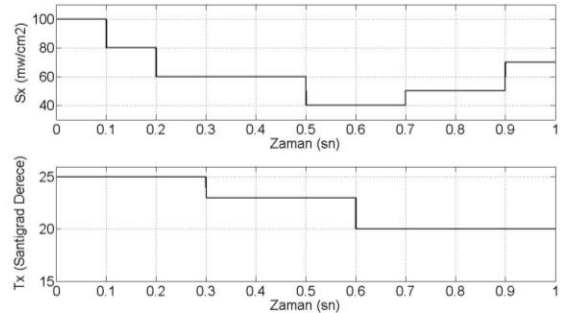
Şekil 3. Bir güneş pilin Simulink modeli.



Şekil 4. Giriş ve çıkış değerleri ile güneş pili.

4. Benzetim

Yapılan simülasyonda güneş panellerinin ürettikleri güç sıcaklık ve güneş radyasyon seviyesine göre değiştiği için şekil 5'de gösterildiği gibi bu değerler değiştirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir.



Şekil 5. S_x ve T_x değişimleri.

Simülasyonu yapılan sistem Şekil 6'da görülmektedir. Burada sistem: toplam gücü 100kW'lık güneş panelleri (125W'lık 40 seri, 20 paralel toplam 800 güneş paneli) evirici, çıkış filtresi, değişken üç fazlı yükler ve PI kontrolörden oluşmaktadır. Sistemde ilk anda 10kW'lık omik yük bulunmaktadır. 0.35sn anında sisteme 15kW'lık bir omik yük ve 0.7sn anında 25kW'lık bir omik yük daha eklenmekte ve bu yük değişimlerinde sistemin davranışı incelenmektedir. Şekil 7-10'da elde edilen sonuçlar görülmektedir.

5. Sonuçlar

Şekil 7’de 3 faz ve tek faz % THB değişimleri görülmektedir. Sürekli rejimde hem tek faz hem de 3 faz THB değerlerinin yaklaşık % 2,5’dir. Şekil 8’de doğrultucu çıkış gerilimi, a-b fazları arası evirici çıkış gerilimi, a-b fazları arası yük gerilimi ve son olarak modülasyon indeksinin deęiŐimini görülmektedir. Yük zerindeki gerilimin dalga Őekli sinüse çok yakındır. Şekil 9’da yükler üzerindeki fazlar arası ve faz-nötr geriliminin değişimleri ayrıntılı olarak görülmektedir. Fazlar arası gerilim 380V, faz-nötr gerilimi ise yaklaşık olarak 220V değerindedir. Şekil 10’da ise güneş panellerinin gerilim, akım ve g değişimleri verilmektedir.

6. Değerlendirmeler

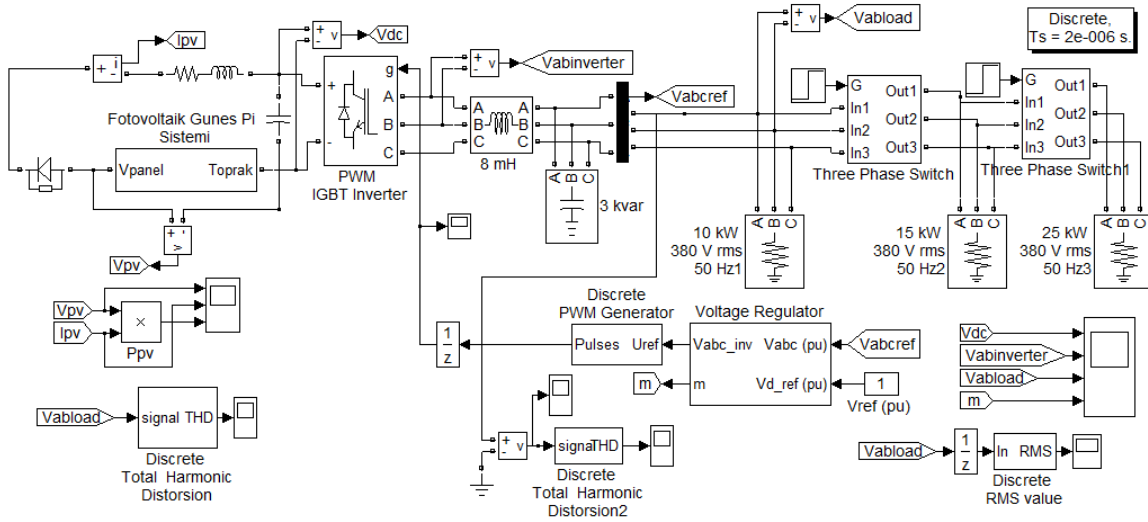
Yük zerindeki gerilimin dalga Őeklinin sinüse çok yakın olduğu görülmektedir. Sistem sıcaklık ve güneş radyasyon seviyesindeki değişimlerden etkilenmeden yk üzerindeki gerilimi 380V değerinde sabit tutmaktadır. PI denetleyicinin iyi çalıŐtıęı ve sistemi gereken 220V faz-nötr ve 380V fazlar arası gerilim değerine oldukça çabuk getirdiği ve bu esnada maksimum aŐma değerinin de çok yüksek olmadığı görülmektedir. THB değerleri standartlara uygundur ve yaklaşık % 2,5 değerine sahiptir.

Sistem sadece güneş panellerinden beslenmektedir. Bu sisteme ak gruplarının ilave edilerek çalıŐtırılması güneŐin olmadığı durumda

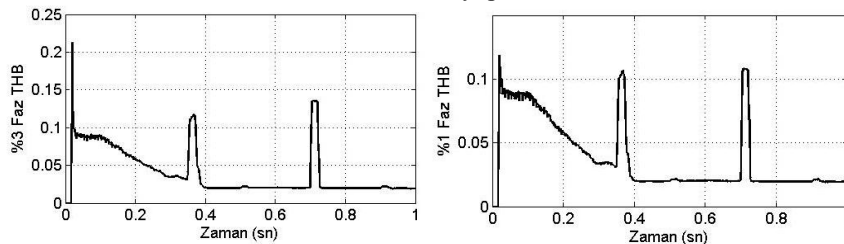
yüklerin enerjisiz kalmasını engelleyecektir. Sistemi daha etkin ve verimli çalıŐtırabilmek için maksimum güç noktasını izleyen sistemlerin eklenmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

7. Kaynaklar

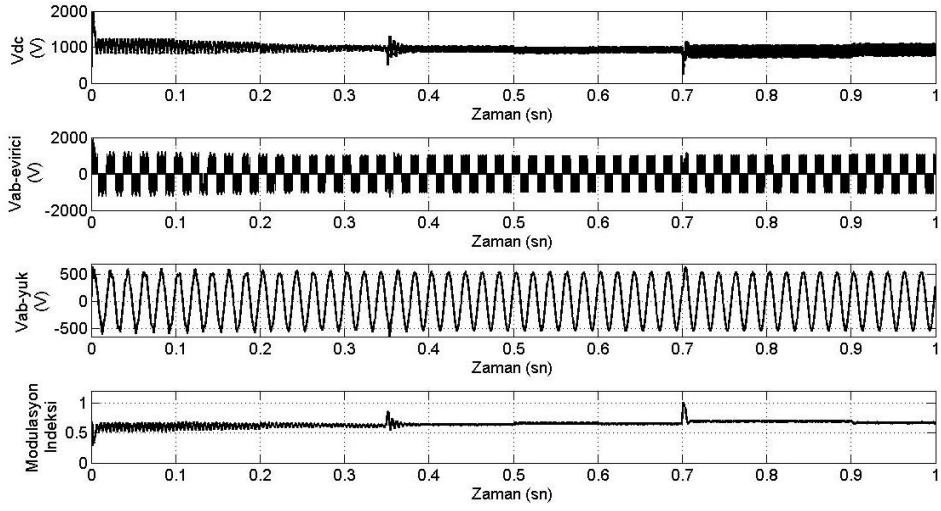
- [1] A. EniŐ, “Enerji Politikaları; Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları,” *TMMOB V. Enerji Sempozyumu*, Ankara, s: 185-199, 2005.
- [2] N. Hamrouni, M. Jraidi, A. Cherif and A. Dhouib, “Measurements and Simulation of a PV Pumping Systems Parameters Using MPPT and PWM Control Strategies”, *IEEE Melecon 2006*, Spain, pp:885-888.
- [3] A. M. Bazzi and H. Karaki, “Simulation of a New Maximum Power Point Tracking Technique for multiple Photovoltaic Arrays”, *IEEE Electro-Information Technology (EIT) 2008*, pp:175-178.
- [4] İ. H. AltaŐ and A.M. Sharaf, “A Fuzzy Logic Power Tracking Controller for a Photovoltaic Energy Conversion Scheme”, *Electric Power Systems Research Journal*, Vol.25, No.3, pp:227-238, 1992.
- [5] O. Ő. Mengi ve İ. H. AltaŐ, "Fotovoltaik GneŐ Pilleri için Genel Amalı Bir Matlab/Simulink GUI Modeli", Gen AraŐtırmacılar Ulusal Mühendislik ve Eğitim Sempozyumu (UMES 2007), Kocaeli Üniversitesi, 20-22 Haziran 2007, s:216-219.



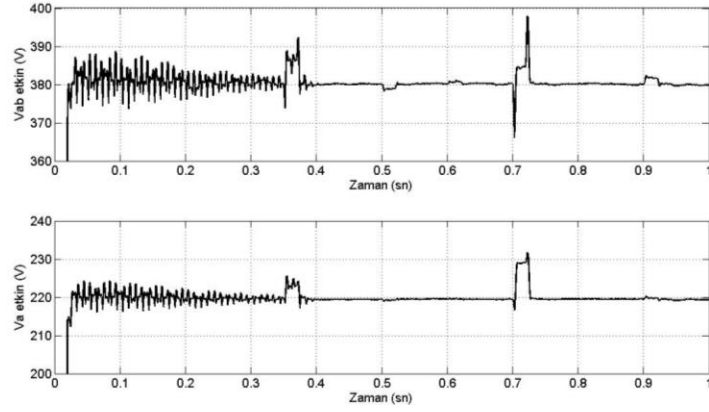
Şekil 6. Simülasyonu yapılan sistem.



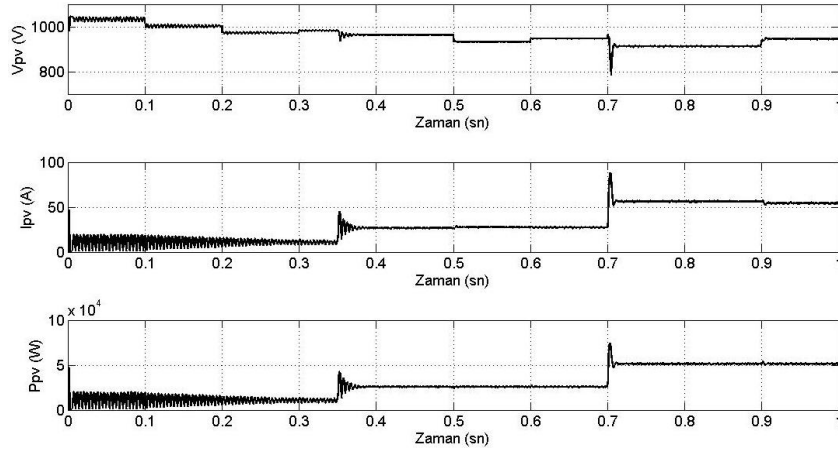
Şekil 7. 3 faz ve tek faz THB değişimleri.



Şekil 8. Panellerde elde edilen doğru gerilim, a-b fazları arası evirici gerilimi, a-b fazları arası yük gerilimi ve modülasyon indeksinin değişimi.



Şekil 9. Yükler üzerindeki fazlar arası ve faz nötr gerilimlerinin değişimi.



Şekil 10. Güneş panellerinin gerilim, akım ve güç değişimleri.