



DC-DC Dönüştürücünün Xilinx Zedboard Zynq-7000 FPGA Tabanlı Değiştir&Gözle Algoritması ile Co-Simülasyonu

Co-Simulation of DC-DC Converter with Xilinx Zedboard Zynq-7000 FPGA Based Perturb&Observe Algorithm

Ebru Doğan¹ , Göksu Görel^{1*} 

¹Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Çankırı Karatekin Üniversitesi, 18100 Çankırı, Türkiye

Başvuru/Received: 17/12/2021

Kabul / Accepted: 29/07/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/07/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/07/2022

Öz

Bu makalede bir fotovoltaik enerji sisteminde yer alan DA-DA yükseltilen dönüştürücünün değiştir & gözle algoritması ile çalışmasının eş benzetimi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak fotovoltaik bir güç sistemi Simulink ortamında modellenmiştir. Daha sonra farklı iklim koşullarında yük tarafına maksimum güç transferini sağlayacak olan DA-DA yükseltilen dönüştürücü modellenerek kontrolü sağlanmıştır. Tüm sistem Matlab/Simulink ortamında oluşturulmuştur. Enerji sistemin fotovoltaik sistem kısmı ile yükseltilen dönüştürücü, evirici ve yük kısımları Simulink bloklarıyla, değiştir & gözle algoritması ise Xilinx firmasının Matlab için özel olarak oluşturduğu bloklar ile oluşturulmuştur. Bu özel tasarım bloklar sayesinde Field-Programmable Gate Array (FPGA) kart üzerinde eş benzetimi gerçekleştirilmiştir eş benzetim aşamasında değiştir & gözle algoritması FPGA kart içerisinde, diğer kısımlar ise Simulink ortamında çalıştırılmıştır. Kullanılan eş benzetimi özelliği, FPGA kartın klasik yöntemlere göre daha kolay ve hızlı programlanabilmesini ve bir test süreci elde edebilmeyi sağlamıştır. Simülasyon ve eş benzetimi çıkış değerleri karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin aynı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

“Değiştir&gözle algoritması, Yükseltilen çevirici, FPGA, Eş benzetim”

Abstract

In this article, a co-simulation of the DC-DC boost converter in a photovoltaic energy system with the perturb & observe algorithm is performed. First, a photovoltaic power system is modeled in the Simulink environment. Then, DC-DC boost converter, which will provide maximum power transfer to the load side in different climatic conditions, is modeled and controlled. The whole system was created in Matlab/Simulink environment. The photovoltaic system part of the energy system and the boost converter, inverter and load parts were created with Simulink blocks, and the perturb & observe algorithm was created with blocks specially created by Xilinx company for Matlab. Thanks to these specially designed blocks, co-simulation was performed on the FPGA card. In the co-simulation phase, the perturb & observe algorithm was run in the FPGA card, while the other parts were run in the Simulink environment. The co-simulation feature used made it possible to program the FPGA card more easily and faster than the classical methods and to obtain a test process. When the simulation and co-simulation output values were compared, it was seen that the obtained values were the same.

Key Words

“Perturb&observe algorithm, Boost converter, FPGA, Co-simulation”

1. Giriş

Dünya üzerindeki enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Artan ihtiyacı karşılayabilmek için güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Ayrıca üretim sistemlerinde güç elektroniği elemanları kullanılarak elde edilen enerjiden en verimli şekilde yararlanabilmek amaçlanmaktadır. Maksimum güç noktası izleyici (MPPT), çeşitli kontrol teknikleri ile kullanılarak enerji üretim sisteminden elde edilen en yüksek gücün yüke aktarılmasını sağlamaktadır.

Atık ısının elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlayan termoelektrik jeneratörlerin daha verimli enerji üretimi sağlayabilmesi için iç dirençleri ile yük dirençlerinin aynı olması gerekmektedir. Mamur vd. (2019) tarafından yapılan simülasyon çalışmasında dirençlerin arasındaki değer farkını azaltmak için alçaltan-yükselten dönüştürücü ile kullanılan MPPT üzerinde değişir ve gözle (P&O) algoritması oluşturulmuştur. Sonuçta termoelektrik jeneratör sisteminin %98,72 doğruluk oranıyla maksimum güç noktasını takip edebildiği görülmüştür.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan fotovoltaik (PV) sistemlerde de MPPT kullanılmaktadır. Matlab/Simulink ortamında tasarlanan bir PV sisteminde, alçaltan-yükselten dönüştürücü kullanılarak değişir ve gözle algoritması ve bulanık mantık denetleyici algoritması ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar karşılaştırıldığında bulanık mantık denetleyici algoritmasından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Blange vd., 2015).

Güneş enerjisinden, elektrikli araçlar için kullanılan fotovoltaik şarj istasyonları, araçlar üzerinde yerleşik olarak bulunan şarj cihazlarında da yararlanılmaktadır. Cheddadi vd. (2018) çalışmalarında yükselten bir dönüştürücü üzerinde, değiştirilmiş P&O algoritmasını gerçekleştirerek, simülasyonlar ve 32 bitlik ARM mikro denetleyici aracılığıyla test etmişlerdir. Değiştirilmiş P&O algoritmasının oluşturulan sistem için uygun olduğu görülmüştür. Bir fotovoltaik sistemde bulunan yükselten dönüştürücü ile P&O ve değiştirilmiş P&O algoritmaları uygulanmıştır. Algoritmalar, VHDL (Çok Yüksek Hızlı Entegre Devre Donanımı Tanımlama Dili) kullanılarak FPGA (Alanda programlanabilir kapı dizileri) kart üzerine aktarılmıştır. Tasarlanan sistemler Matlab/Simulink ve Psim ortak simülasyonu ile gerçekleştirilerek sonuçları karşılaştırıldığında değiştirilmiş P&O algoritması sistem için daha verimli olmuştur (Baby vd., 2014).

Bir yükselten dönüştürücü üzerinde kayan mod kontrolcüsünün tasarımı Matlab/Simulink ve Xilinx System Generator (XSG) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yükselten dönüştürücü sistemi Simulink blokları ile kayan mod kontrolcü ve PI kontrolcü ise Xilinx System Generator blokları ile oluşturulmuştur. XSG ile oluşturulan sistemin kontrolcü kısmı FPGA kart üzerine aktarılmıştır. Böylece Simulink ile FPGA'nın, sistemin birlikte simülasyonunu gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Sonuçta sistemden alınan çıkış değerleri ile beklenen referans değerlerin uygun olduğu gözlenmiştir (Khan vd., 2016). Şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemde kullanılan yükselten dönüştürücü üzerinde çekirge optimizasyon algoritması (GAO) ile bir MPPT oluşturulmuştur. Fotovoltaik sistemin, Simulink ve XSG kullanılarak birlikte simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar daha önce XSG kullanılarak gerçekleştirilmiş olan bazı algoritmalar ile karşılaştırılmış ve uygun değerler elde edilmiştir (Ram vd., 2020). Ay vd. (2019) yükselten dönüştürücü kullanılan bir fotovoltaik sistemde tasarladıkları artan iletkenlik algoritmasının FPGA üzerinde simülasyonlarını sağlamışlardır. Kurulu olarak bulunan bir fotovoltaik santralin değerleri ile Simulink ve XSG kullanarak oluşturdukları tasarımı çalıştırmışlardır. Sistem tasarımından elde edilen DA güç değerleri ile kurulu santralin DA güç değerlerinin aynı olduğu bulunmuştur.

Mohammed vd. (2020) tarafından bir DA mikro şebeke sisteminin kontrolünde P&O algoritmasının kullanıldığı bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Kontrol algoritması FPGA üzerinde, DA mikro şebeke sistemi Simulink'de çalıştırılarak birlikte simülasyon gerçekleştirilmiştir. Farklı ışınlama değerleri altında mikro şebeke sisteminden elde edilen sonuçlar FPGA üzerindeki algoritmanın doğru şekilde kontrol sağladığını göstermektedir. Fotovoltaik sistem üzerinde Rajesh vd. (2014) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise yükseltici dönüştürücü, P&O algoritması ile kontrol edilmektedir. P&O algoritması Xilinx Spartan 3E FPGA kartında çalıştırılmıştır. Simulink ve XSG kullanılarak gerçekleştirilen birlikte simülasyon sonucunda sistemden elde edilen değerler, güneş panelleri kullanılarak yapılan fiziksel deneylerden elde edilen değerler ile karşılaştırılarak uygun olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada bir yükseltici dönüştürücü devresinin MPPT ile kontrolü sağlanmıştır. Kontrol algoritması olarak P&O algoritması kullanılmıştır. Matlab/Simulink ortamında oluşturulan sistem tasarımında, P&O algoritması XSG blokları ile oluşturulmuştur. Bu sayede algoritma Xilinx Zedboard Zynq-7000 FPGA kart üzerinde çalıştırılarak eş benzetimi gerçekleştirilmiştir. Böylece kontrol algoritması fiziksel bir sistem üzerinde kullanılmadan önce test edilebilmiş, gerekli durumlarda üzerinde kolayca değişiklik yapılabilmüş, çalışma zamanlamasının ayarlanması sağlamıştır.

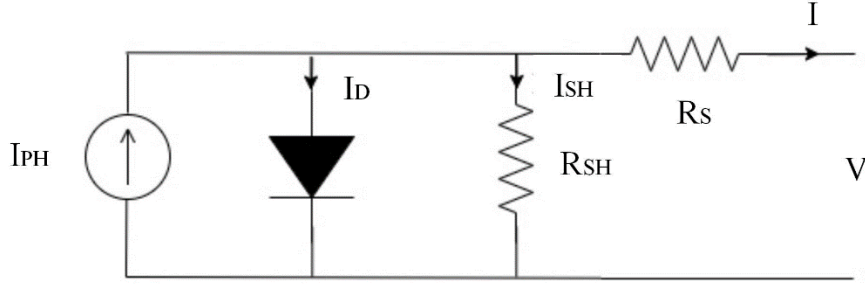
2. Materyal ve Metot

2.1. Fotovoltaik Hücre Modeli

Fotovoltaik hücreler yarı iletken malzemelerden üretilmektedir. N ve p tipi yarı iletkenlerden oluşan fotovoltaik hücreler bir araya geldiklerinde bir bağlantı noktası oluştururlar. Yarı iletkenin n tipi olması üzerinde elektronların çok olduğunu, p tipi olması ise üzerinde boşlukların çok olduğunu göstermektedir. Yarı iletkenler üzerine güneş ışığı geldiğinde, yarı iletkenler arasında oluşan

birleşme bölgesinde bulunan elektronlar hareket etmeye başlamaktadır. Bunun sonucunda her iki yarı iletken için de yük dengesi sağlanana kadar elektronlar ile boşluklar yer değiştirerek elektriksel akım ve gerilim oluşturmaktadır (Adak vd., 2019, Mühendis 2020).

Fotovoltaik hücrelerden elde edilen akım ve gerilim değerlerinin incelenebilmesi için elektriksel eşdeğer devresi kullanılmaktadır. Fotovoltaik hücreler güneş ışığı etkisi altında bulunmadığında diyot gibi davranış göstermektedir (Karanfil vd., 2016, İşen vd., 2019). Bir fotovoltaik hücreye ait eşdeğer devre Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi

Eşdeğer devreye ait akım ve gerilim değerlerinin matematiksel modeli aşağıda bulunan eşitlikler ile gösterilmektedir. Fotovoltaik hücrenin iç kayıplarını temsil etmek için eşdeğer devrede R_S seri direnci ve R_{SH} paralel direnci kullanılmaktadır. Eşitliklerde bulunan I_{PH} güneş ışığı etkisiyle oluşan foton akımını, I_D diyot akımını, I çıkış akımını ve I_{SH} paralel direnç üzerindeki akımı göstermektedir. V hücrenin çıkış gerilim değerini, V_D ise diyot gerilim değerini vermektedir. I_S diyotun doyma akımını, n ise diyotun kalite faktörünü temsil etmektedir. T değeri fotovoltaik hücrenin sıcaklığını, V_T sıcaklık ile oluşan gerilimi, k Boltzmann sabitini ($1,38065 \cdot 10^{-23}$ J/K), q ise elektron yükü ($-1,602 \cdot 10^{-19}$ C) değerini göstermektedir (Yasko, 2018).

$$I_{PH} - I_D - (I + I_{SH}) = 0 \quad (1)$$

$$I_{SH} = \frac{V + R_S I}{R_{SH}} \quad (2)$$

$$I_D = I_S \left[e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right] \quad (3)$$

$$V_T = \frac{kT}{q} \quad (4)$$

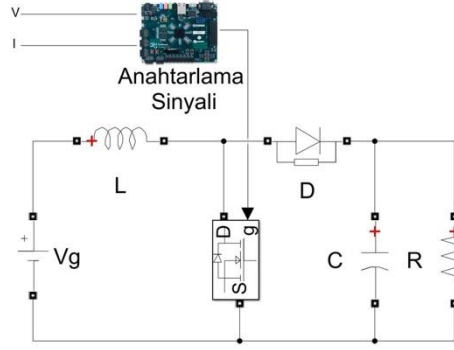
$$V_D = V + R_S I \quad (5)$$

$$I = I_{PH} - I_S \left[e^{\frac{q(V+R_S I)}{nkT}} - 1 \right] - \frac{V + R_S I}{R_{SH}} \quad (6)$$

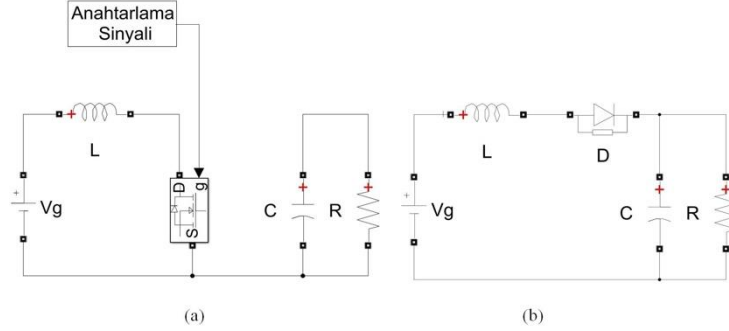
2.2. Yükselten DA-DA Dönüştürücü

Yükseltici dönüştürücüler girişe uygulanan gerilim değerini çıkışta yükselten devrelerdir. Yükselten dönüştürücü genel devre şeması Şekil 2’de görülmektedir.

Devre, üzerinde bulunan anahtarın iletme veya kesime geçme durumuna göre farklı şekillerde çalışmaktadır. Şekil 3 (a)’da bulunan durumda yükseltici devresinde anahtarlama elemanı iletimde diyot ise kesimdedir. Bu durumda endüktans V_g kaynağı tarafından, yük ise kondansatör tarafından beslenmektedir. Şekil 3 (b)’de anahtarlama elemanının kesimde olduğu durumda ise diyot iletimdedir. V_g kaynağı ve ilk durumda endüktansta biriken enerji tarafından yük beslenmektedir. Bu durumda çıkış geriliminin değeri giriş geriliminden daha yüksek olmaktadır.



Şekil 2. Yükselten dönüştürücü devre şeması



Şekil 3. Anahtarlama elemanı durumları: (a) diyot kesimde (b) diyot iletimde

Dönüştürücü kararlı durumda iken V_c çıkış gerilimi, I_g giriş akımı ve I_L endüktans akımı eşitlikleri aşağıda verilmektedir. Burada D görev oranını, V_g giriş gerilimini, I_c çıkış akımını göstermektedir (Bodur, 2012).

$$V_c = \frac{1}{1-D} V_g \quad (7)$$

$$I_g = \frac{1}{1-D} I_c \quad (8)$$

$$I_L = I_g \quad (9)$$

I_L endüktans akımındaki dalgalanma ise aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir. Eşitlikteki f_p çalışma frekansını L ise endüktans değerini vermektedir (Bodur, 2012).

$$\Delta I_L = D(1-D) \frac{V_c}{f_p L} \quad (10)$$

2.3. FPGA (Field-Programmable Gate Array)

Alanda programlanabilir kapı dizileri (FPGA) kısaca istenilen amaca göre bağlantı yapısı değiştirilebilen entegrelerdir. Günümüzde tıp elektronığı, savunma sanayi, test ve ölçüm cihazları, bilgisayarlar, otomobiller, akıllı telefonlar, kablolu ve kablosuz iletişim cihazları gibi çok çeşitli uygulamalarda FPGA'lar kullanım alanı bulmaktadır (Saritaş vd., 2015).

FPGA'nın kullanıldığı fiziksel sistem üzerinde istenildiği zaman yeniden programlanabilmesi alanda programlanabilir olma özelliğini göstermektedir. Bu özelliğinin yanında hızlı ve paralel işlem yapabilmesi, oluşturulan programın kart üzerine aktarılmadan önce test edilebilmesine olanak sağlaması ve gerekli durumlarda FPGA içerisine işlemci gömülebilmesi gibi özellikleri bu cihazın endüstride ve akademiye kullanımının oldukça fazla olmasını sağlamıştır (Saritaş vd., 2015, Yıldırım vd., 2012).

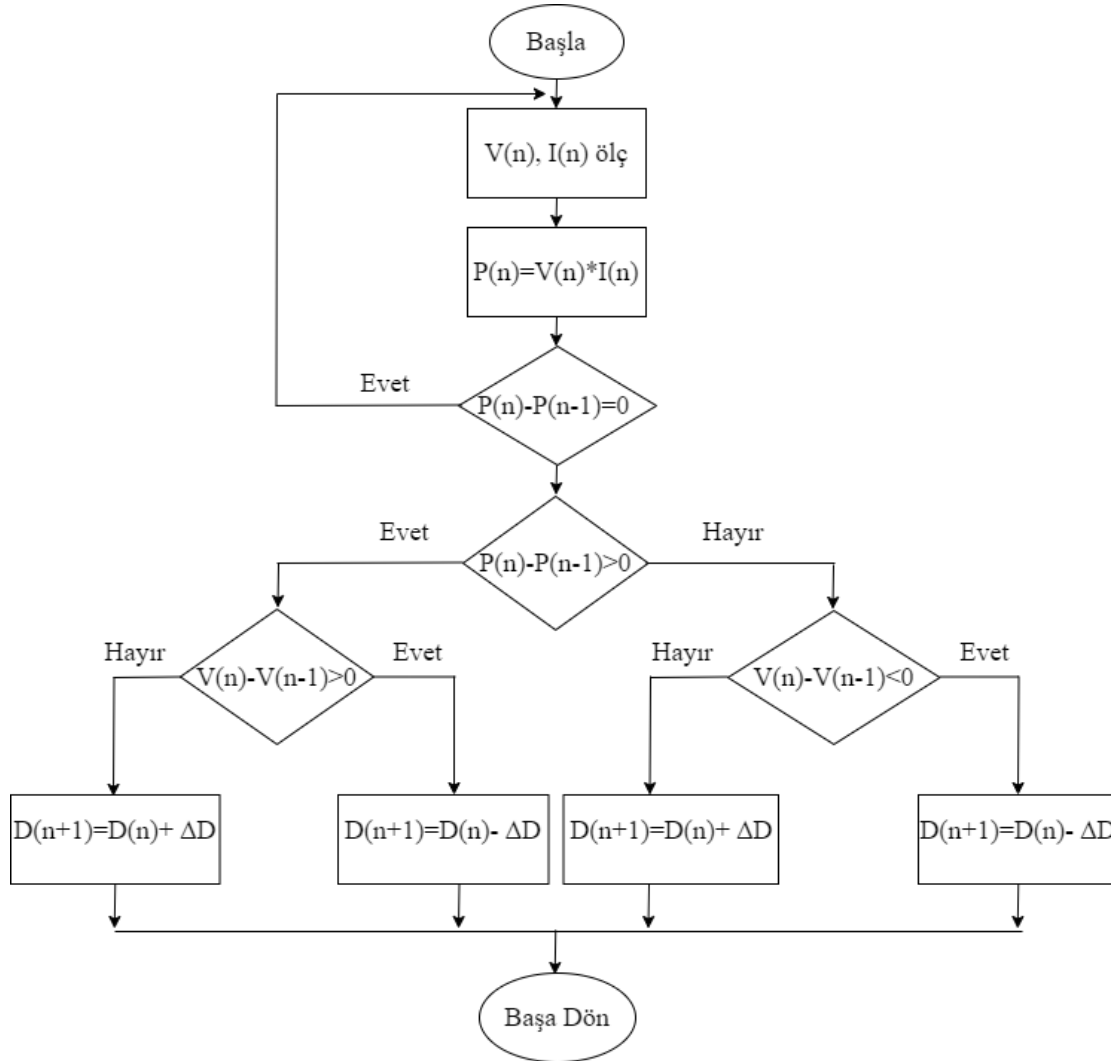
FPGA genel olarak giriş-çıkış blokları, mantık blokları (lojik bloklar) ve bu bloklar arasında bulunan ara bağlantılardan oluşmaktadır. Giriş-çıkış blokları FPGA'nın dış ortam ile bağlantısını sağlamaktadır (Saritaş vd., 2015). Mantık blokları uygulanmak istenen işleme göre programlanabilmektedir ve yine programlanabilen ara bağlantılar sayesinde birbirleri ile bağlanarak FPGA'yı kullanım için hazır duruma getirmektedir (Yıldırım vd., 2012).

FPGA'nın programlanabilmesi için bir donanım tanımlama dili olan VHDL (Çok Yüksek Hızlı Entegre Devre Donanımı Tanımlama Dili) kullanılmaktadır. VHDL, fiziksel olarak tasarımı gerçekleştirilecek olan bir sistemin davranışını tanımlamak için kullanılmaktadır (Yıldırım vd., 2012). VHDL 1987 yılında IEEE tarafından standart olarak kabul edilen bir dildir (Sarıtış vd., 2015). Günümüzde VHDL'nin yanında Verilog da yaygın olarak kullanılan bir donanım tanımlama dilidir.

2.4. Değiştir & Gözle (P&O) Algoritması

Enerji üretim sistemlerinden üretilen güç en az kayıp ile kullanılmak istenmektedir. Bu nedenle güç elektroniği elemanlarından olan MPPT enerji üretim sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. MPPT sistemden elde edilebilecek en yüksek miktardaki gücü sağlamak için çeşitli kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bu kontrol sistemlerinin en önemlilerinden biri ise değiştir & gözle algoritmasıdır. P&O algoritması az değişken içermesi ve kolay uygulanabilir olması ile en çok tercih edilen kontrol yöntemlerinden biridir.

Fotovoltaik sistemlerde ortam sıcaklığı ve ışınım miktarı hava şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Değişken hava şartları karşısında PV sistemden elde edilen akım ve gerilim değerleri de değişmektedir. Böyle bir durumda P&O algoritması kullanılarak PV sistemin kontrolü sağlanabilmektedir. P&O algoritmasının akış şeması Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Değiştir&gözle algoritması

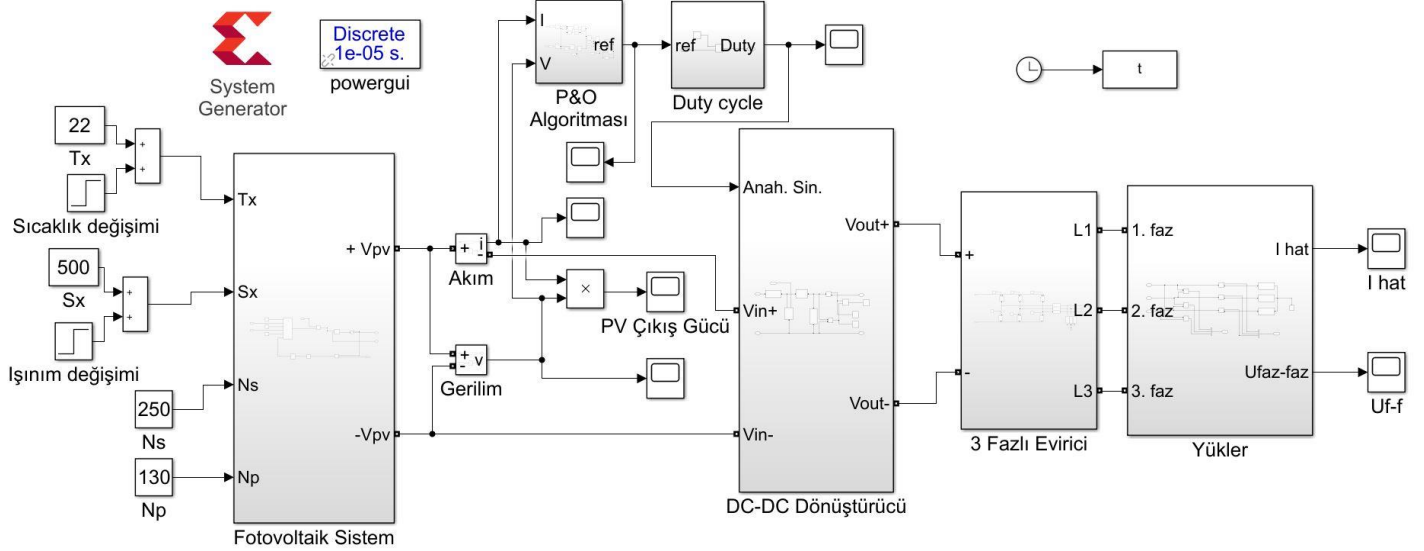
P&O algoritmasında ilk olarak panelden elde edilen akım ve gerilim değerleri ölçülmektedir ve ardından ölçülen bu değerler ile panel gücü ($P_{(n)}$) değeri hesaplanmaktadır. $P_{(n)}$ değeri $P_{(n-1)}$ değerine eşit ise döngü çalışmadan başa döner. Eğer $P_{(n)}$ değeri $P_{(n-1)}$ değerinden büyük ise ve $V_{(n)}$ değeri $V_{(n-1)}$ değerinden büyük ise doluluk oranı (D) azaltılır ancak $V_{(n)}$ değeri $V_{(n-1)}$ değerinden küçük ise doluluk oranı artırılır. Eğer $P_{(n)}$ değeri $P_{(n-1)}$ değerinden küçük ise ve $V_{(n)}$ değeri $V_{(n-1)}$ değerinden küçük ise doluluk oranı azaltılır ancak $V_{(n)}$ değeri $V_{(n-1)}$ değerinden büyük ise doluluk oranı artırılır (Altıntaş vd.,2021).

2.5. Eş Benzetim

Xilinx System Generator (XGS), Xilinx firması tarafından Matlab/Simulink için oluşturulmuş özel bloklar sağlamaktadır. Bu bloklar sayesinde VHDL kodlama yapmadan sadece Simulink ortamında bulunan XSG blokları ile FPGA’da kullanılacak olan program oluşturulabilmektedir. Simülasyon tasarlanırken kullanılan Simulink bloklarına XSG’ye ait olan bloklar da eklenebilmektedir. XSG blokların eklenmesi ile karta yüklenecek olan program görsel olarak tasarlanabilmektedir.

Simülasyonda XSG blokları ile tasarlanmış olan algoritma FPGA içerisine yüklenebilmektedir. Tasarlanan algoritmanın, simülasyon gerçekleştirildiği sırada kart içinde çalışmasına eş benzetimi denilmektedir. Böylece simülasyon hızı artmaktadır ve algoritmanın kart içerisinde çalışması test edilebilmektedir (Ay vd., 2019).

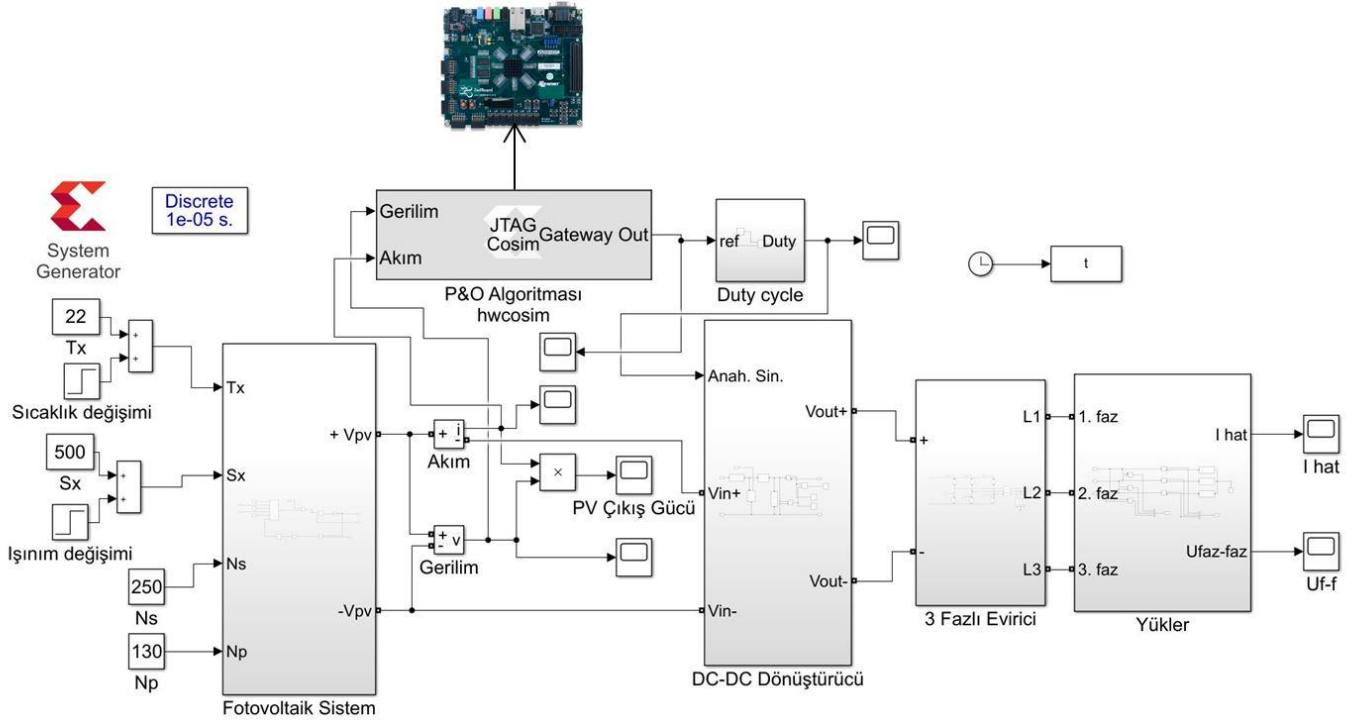
Bu çalışmada tasarlanmış olduğumuz sistemin genel devre şeması aşağıda Şekil 6’da verilmektedir.



Şekil 6. Tasarlanan devre simülasyonu

Simülasyon devresi ilk olarak Matlab/Simulink ortamında tasarlanmıştır. Fotovoltaik sistem, duty cycle, DA-DA dönüştürücü, 3 fazlı evirici ve yükler alt sistemlerinin oluşturulmasında Simulink blokları, P&O algoritmasının olduğu alt sistemin oluşturulmasında ise Xilinx System Generator blokları kullanılmıştır. System Generator blokları içerisinde bulunan IN ve OUT isimli bloklar ile Simulink bloklarına bağlanabilmektedir. Böylece devrenin Simulink ortamında tasarımı gerçekleştirilip çalıştırılabilmektedir. Fotovoltaik sisteme sabit olarak girilen N_s seri hücre sayısı ve N_p paralel hücre sayısı değerleri ile değişken olarak girilen T_x sıcaklık ve S_x ışınım değerleri sonucunda fotovoltaik sistem akım ve gerilim değerleri üretmektedir. Fotovoltaik sistemden elde edilen akım ve gerilim değerleri P&O algoritmasının giriş değerlerini oluşturmaktadır. P&O algoritması fotovoltaik sistemden yükselten dönüştürücüye aktarılacak en yüksek güç değerinin elde edilmesini sağlayacak kontrolcü görevi görmektedir. P&O algoritması uygulandıktan sonra elde edilen değer duty cycle alt sistemine aktarılarak anahtarlama sinyali oluşturulmaktadır. Anahtarlama sinyali DA-DA yükselten dönüştürücünün çalışması için gerekli olan tetikleme sinyalidir. Yükselten dönüştürücüde bulunan anahtarlama elemanının gate girişine uygulanan tetikleme sinyali sonucu çevirici girişinden alınan gerilim değeri artırılarak dönüştürücü çıkışına aktarılmaktadır. 3 fazlı evirici alt sisteminin amacı dönüştürücüden elde edilmiş olan DA sinyali AA sinyale çevirmektir. Böylece devre çıkışında bulunan AC yük beslenerek simülasyonun çalışması tamamlanmaktadır.

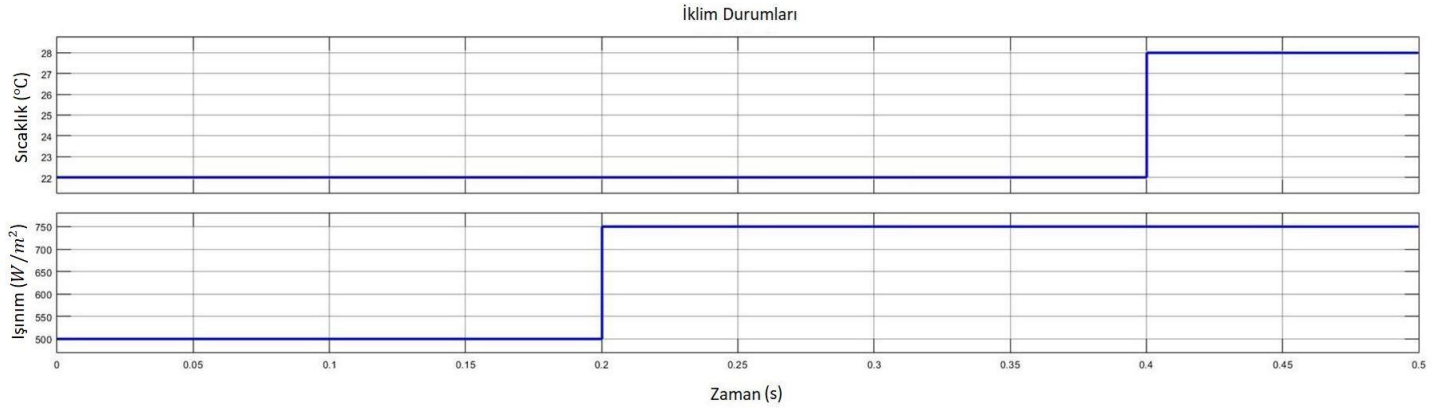
Eş benzetimi aşamasında ise devrenin kontrolünü sağlayan P&O algoritması FPGA kart içerisine aktarılmaktadır. Bunun için simülasyon dosyasına eklenen kırmızı renkli System Generator bloğu kullanılarak P&O algoritmasının bulunduğu sistem, FPGA kart içerisinde çalıştırılabilecek olan özel bir bloğa dönüştürülür ve simülasyondaki diğer bloklar ile bağlantısı sağlanır. Ardından FPGA bilgisayara bağlanıp simülasyon dosyası çalıştırıldığında oluşturulmuş olan yeni bloktaki bilgiler kart içinde çalışacak olan kod bilgilerine dönüştürülerek kart üzerine aktarılmaktadır. Eş benzetimi gerçekleştirilirken fotovoltaik sistem çıkışında elde edilen değerler FPGA karta gönderilmektedir. Kart içerisinde P&O algoritmasına göre hesaplanan yeni değerler tekrar Simulink ortamına aktarılarak duty cycle alt sistemi için giriş değerini oluşturmaktadır. Sonuçta P&O algoritması FPGA içinde çalışırken aynı zamanda diğer bloklar Simulink ortamında çalışmaktadır ve böylece eş benzetimi gerçekleştirilmektedir. Eş benzetimi çalışmasına ait devre tasarımı Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7. Eş benzetimi devresi

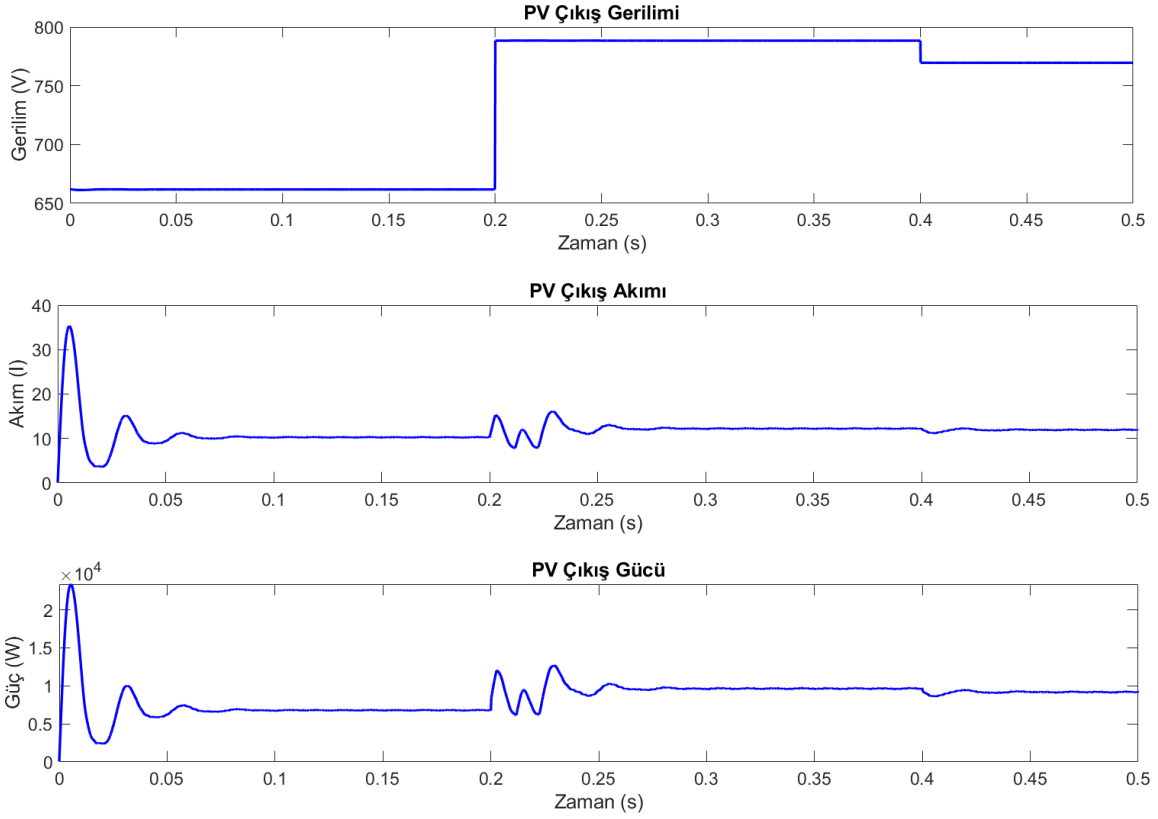
3. Bulgular

Bu çalışmada simülasyon ve eş benzetimi işlemleri $t = 0.5$ s süresinde gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan fotovoltaik enerji sisteminin farklı iklim koşulları altında çalışmasını inceleyebilmek için giriş olarak değişken sıcaklık ve ışınım değerleri uygulanmıştır. Sıcaklık değeri 22°C 'den başlamış $t = 0.4$ s'de 28°C 'ye yükseltilmiştir. Işınım değeri ise 500 W/m^2 değerinden başlayıp $t = 0.2$ s'de 750 W/m^2 değerine yükseltilmiştir. Uygulanan sıcaklık ve ışınım değerlerindeki değişimler Şekil 8'de gösterilmektedir.

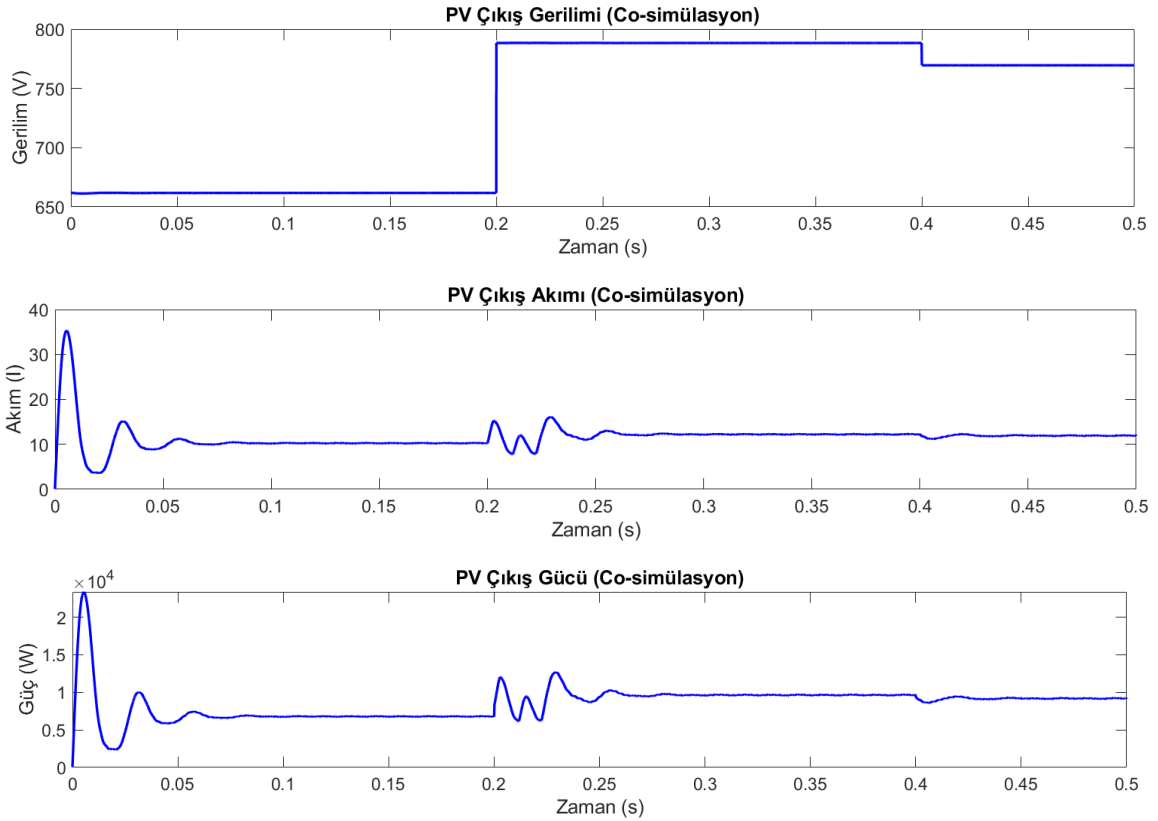


Şekil 8. Fotovoltaik sistem girişine uygulanan sıcaklık ve ışınım değerleri

Fotovoltaik sistem girişine uygulanan farklı sıcaklık ve ışınım değerleri sonucunda sistem çıkışında elde edilen gerilim, akım ve güç değerlerinin değişimi Şekil 9'da verilmektedir. Buna göre $t = 0.2$ s'de ışınım değeri yükseldiğinde fotovoltaik sistemin çıkış geriliminin yükseldiği, $t = 0.4$ s'de sıcaklık değeri yükseldiğinde fotovoltaik sistemin çıkış gerilim değerinin azaldığı görülmektedir. Simülasyonda fotovoltaik sistemin ortalama çıkış gerilim değeri 734 V olarak ölçülmektedir. Sıcaklık ve ışınım değişimleri sonucunda fotovoltaik sistemin çıkış akım ve güç değerlerinde de dalgalanmalar görülmektedir. Fotovoltaik sistemin ortalama çıkış akımı 11.59 A, ortalama çıkış güç değeri ise 8539 W olarak ölçülmüştür. Şekil 9'dan eş benzetimi sonuçlarında da fotovoltaik sistemin çıkış gerilim, akım ve güç değerlerinin simülasyon sonuçları ile aynı olduğu görülmektedir.



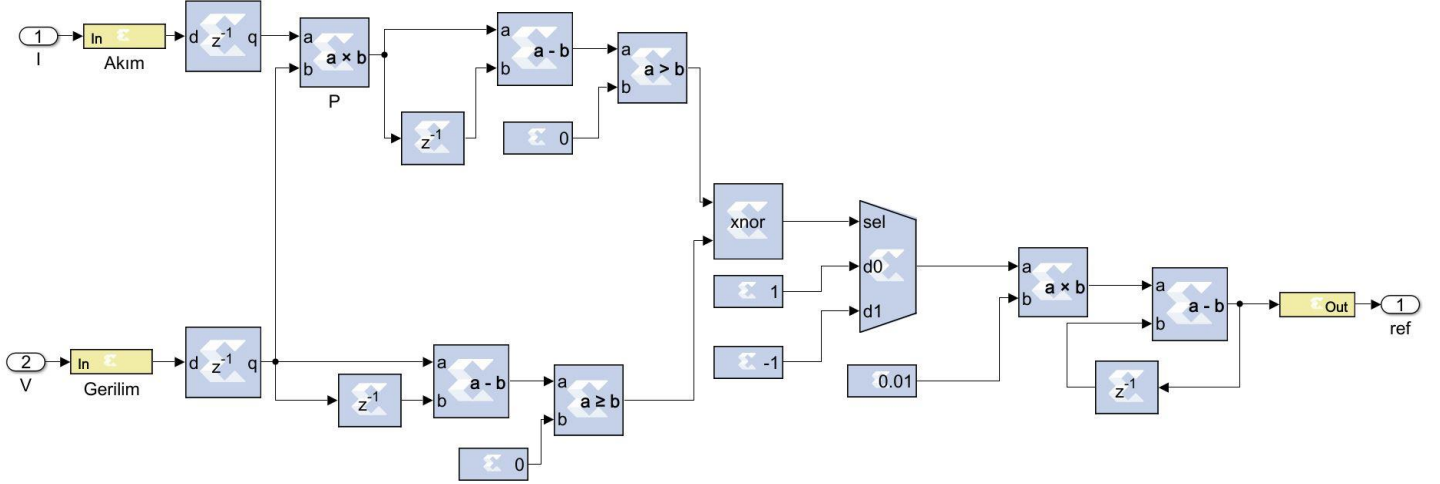
(a)



(b)

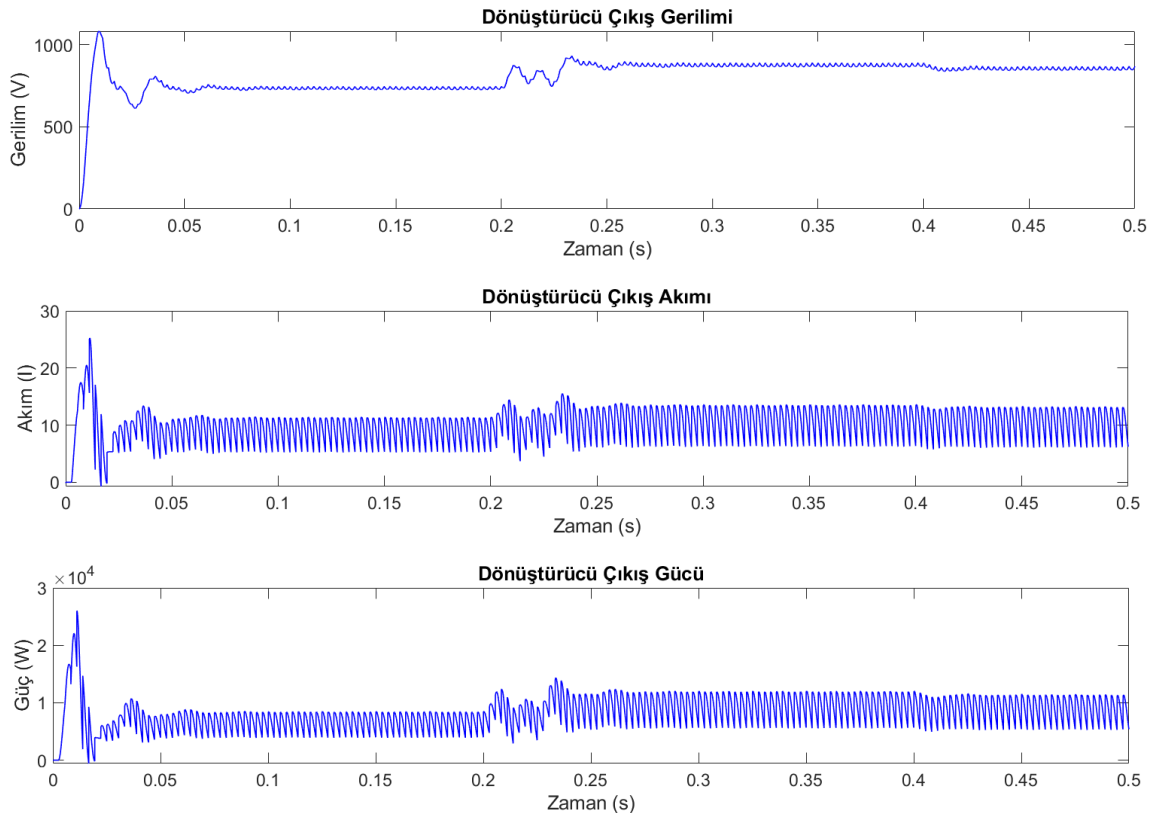
Şekil 9. Fotovoltaik Sistem alt sisteminin çıkış gerilim, akım ve güç değerleri (a) Simülasyon (b) Eş benzetimi

Fotovoltaik sistem çıkışında elde edilen akım ve gerilim değerleri DA-DA yükselten dönüştürücü girişine aktarılırken aynı zamanda P&O algoritması için de giriş değerlerini oluşturmaktadır. P&O algoritması ilk olarak Simulink ortamında Xilinx System Generator blokları ile hazırlanan tasarımda çalıştırılmış ve yükselten dönüştürücünün kontrolü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yükselten dönüştürücünün çıkış akım ve gerilim değerlerinde meydana gelen değişime bakıldığında, fotovoltaik sistemin çıkış akım ve gerilim değerlerindeki değişimi takip ettiği görülmektedir. Bu durum P&O algoritmasının kontrol görevini başarılı şekilde yerine getirdiğini göstermektedir. Xilinx System Generator blokları ile tasarlanan P&O algoritması Şekil 10'da görülmektedir.

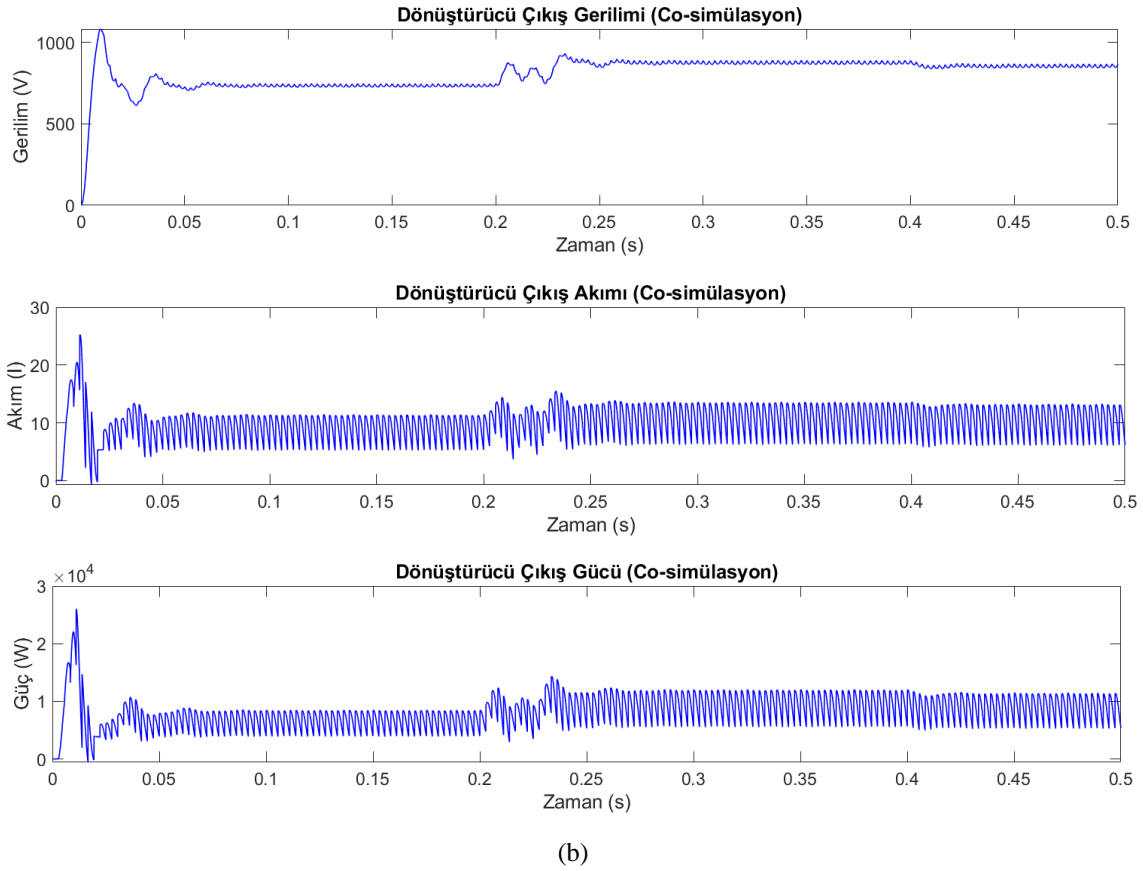


Şekil 10. Xilinx System Generator blokları ile tasarlanan P&O algoritması

Simulink ortamındaki tasarımın doğrulanmasının ardından, P&O algoritması, eş benzetimi aşamasında FPGA kart üzerinde çalıştırılmak için System Generator bloğu kullanılarak yeni bir blok şekline dönüştürülmüştür. Yeni oluşturulan blok Simulink ortamında diğer bloklarla beraber simülasyon aşamasında çalışmamaktadır. Sadece FPGA ile eş benzetimi yapılacağı zaman, kart ile bilgisayar bağlantısı yapıldığında kullanılabilir.



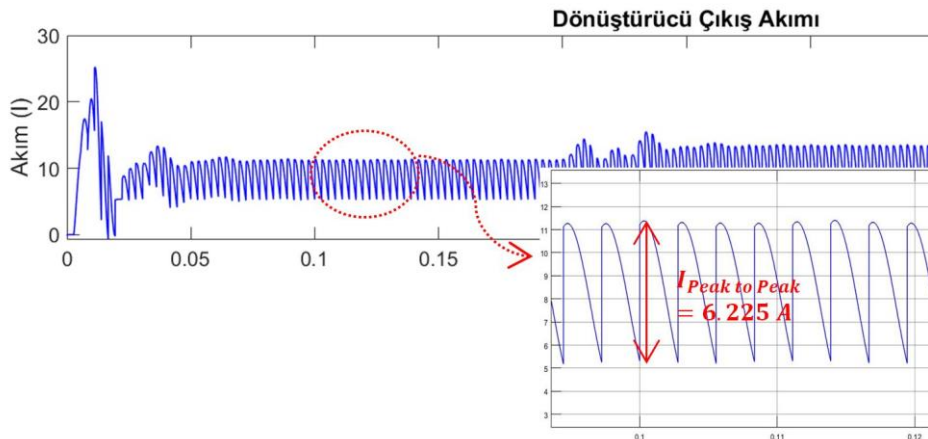
(a)



Şekil 11. DA-DA yükselten dönüştürücü çıkış gerilim, akım, güç değerleri (a) Simülasyon, (b) Eş benzetimi

Oluşturulan yeni bloğun Simulink ortamındaki diğer bloklarla bağlantısının yapılmasının ardından FPGA kart bilgisayara bağlanmıştır. Tasarım çalıştırılarak oluşturulan bloktaki kodların FPGA karta aktarılması sağlanmıştır. Böylece tasarımda bulunan Simulink blokları Matlab ortamında çalıştırılırken, P&O algoritması FPGA kart üzerinde çalıştırılarak eş benzetimi gerçekleştirilmektedir. eş benzetimi sonucunda yükselten dönüştürücü çıkışında elde edilen akım, gerilim ve güç değerleri ile Xilinx System Generator blokları kullanılarak, Simulink ortamında gerçekleştirilen simülasyon sonucunda elde edilen değerlerin aynı olduğu görülmüştür. Şekil 11’de bu değerler görülmektedir.

DA-DA yükselten dönüştürücünün ortalama çıkış gerilim değeri 809.9 V , ortalama çıkış akım değeri 10.09 A ve ortalama çıkış güç değeri 8304 W olarak ölçülmüştür. Fotovoltaik sistemin çıkış akım ve güç değerlerinin, yükselten dönüştürücünün çıkış akım ve güç değerlerinden büyük olması dönüştürücüde kullanılan devre elemanları üzerinde harcanan güçten kaynaklanmaktadır. Ancak çıkış gerilim değerlerine bakıldığında dönüştürücünün çıkış değeri fotovoltaik sistemden daha büyüktür. Bu da yükselten dönüştürücünün doğru çalıştığını göstermektedir.



Şekil 12. Yükselten dönüştürücü çıkış akımı Peak to Peak değeri

DA-DA dönüştürücü devrelerinde, ilgili girişe gelen anahtarlama sinyali sonucunda aktif olan anahtarlama elemanları bulunduğu için çıkışlarında ölçülen değerler salınım göstermektedir. Şekil 12 yükselten dönüştürücü çıkış akımının $0.1\text{ s} - 0.11\text{ s}$ aralığındaki Peak to Peak (Tepeden tepeye) değerini göstermektedir. Belirtilen zamandaki $I_{Peak\ to\ Peak}$ akım değeri 6.225 A 'dır.

Simülasyon ve eş benzetimi sonucunda elde edilen fotovoltaiik sistem ve yükselten dönüştürücü çıkış değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Simülasyon ve eş benzetimi sonucunda elde edilen değerlerin aynı olduğu gözükmektedir.

Tablo 1. Simülasyon ve eş benzetimi sonucu elde edilen çıkış değerleri

	RMS değeri	Mean değeri
PV çıkış akımı	11.95 A	11.59 A
PV çıkış gücü	8824 W	8539 W
PV çıkış gerilimi	736.4 V	734 V
Dönüştürücü çıkış akımı	10.47 A	10.09 A
Dönüştürücü çıkış gücü	8749 W	8304 W
Dönüştürücü çıkış gerilimi	815.1 V	809.9 V

4. Sonuç

Bu makalede bir DA-DA yükselten çeviricinin P&O algoritması ile kontrolünün simülasyonu ve eş benzetimi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bir fotovoltaiik sistem tasarlanmıştır. Ardından yükselten dönüştürücü tasarlanarak, fotovoltaiik sistemden en yüksek güç verimini sağlayabilmek için bir MPPT kontrol algoritması ile birlikte kullanılmıştır. Kontrol için kullanılan P&O algoritması önce Xilinx System Generator blokları ile tasarlanmıştır. Matlab/Simulink ortamında tasarlanmış olan fotovoltaiik enerji sisteminin diğer birimleri ile bağlantısı sağlanarak simülasyon gerçekleştirilmiştir. Ardından kırmızı renkli System Generator bloğu kullanılarak, çeşitli Xilinx System Generator blokları ile oluşturulmuş olan P&O algoritması dönüştürülmüştür. Dönüştürme işlemi sonucunda FPGA içerisinde kullanılabilecek yeni bir blok oluşturulmuştur. Bu bloğun Simulink blokları ile bağlantısının sağlanmasının ardından FPGA ile bilgisayar arasında bağlantı kurulmuştur. FPGA kartı bilgisayara bağlandıktan sonra simülasyon dosyasının çalıştırılması sonucunda P&O algoritması blokları kod yapısına dönüştürülerek FPGA üzerine aktarılmıştır. P&O algoritması FPGA üzerinde çalışırken diğer bloklar Simulink programında çalışarak eş benzetimi gerçekleştirmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığından simülasyon ile eş benzetimi sonuçlarının aynı olduğu görülerek eş benzetimin doğruluğu sağlanmıştır. Eş benzetimi karmaşık kodlar ile uğraşmadan bloklar ile FPGA'nın kolayca programlanabilmesini sağladığı, oluşturulan tasarımların fiziksel bir sistem üzerinde kullanılmadan önce test edilebilmesine ve düzeltilebilmesine olanak verdiği için ve hem programlama hem test aşamasında zaman tasarrufu sağladığı için sistem tasarımında oldukça fayda sağlamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi BAPK tarafından desteklenmiştir (Proje no: MF210621L10).

Referanslar

- Adak, S., Cangi, H., & Yılmaz, A. S. (2019). Fotovoltaiik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 316-327.
- Altıntaş, N., Yılmaz, A., Demirci, A., & Tercan, S. M. (2021). Bataryalı PV Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 369-377.
- Ay, S., & Arserim, M. A. (2019). Maksimum Güç Noktası İzleyicisinde Kullanılan Artan İletkenlik Algoritmasının FPGA Tabanlı Gerçeklenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 113-120.
- Baby, J., & Varghese, J. M. (2014). Implementation of Variable Step Size MPPT Controller for Photovoltaic System on FPGA Circuit. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, 3(6), 320-326.
- Blange, R., Mahanta, C., & Gogoi, A. K. (2015). MPPT of Solar Photovoltaic Cell Using Perturb & Observe and Fuzzy Logic controller Algorithm for Buck-Boost DC-DC Converter. 2015 International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE). Shillong, India: IEEE.
- Bodur, H. (2012). *Güç Elektroniği*. İstanbul: Birsan Yayınevi.
- Cheddadi, Y., Errahimi, F., & Najia, E. (2018). Design and verification of photovoltaic MPPT algorithm as an automotivebased embedded software. *Solar Energy*, 171, 414-425.

- İŖen, E., & Koçhan, . (2019). Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Modellenmesi. Mühendislik Bilimleri ve AraŖtırma Dergisi, 2(1), 1-10.
- Karafil, A., zbay, H., & Kesler, M. (2016). Sıcaklık ve GneŖ IŖınım DeđiŖimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü zerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu.
- Khan, H. S., & Memon, A. Y. (2016). FIL simulation of sliding mode controller for DC/DC boost converter. 2016 13th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST). Islamabad, Pakistan: IEEE.
- Mamur, H., & Çoban, Y. (2020). Termoelektrik jeneratörler iin alçaltan-yükselten eviricili maksimum g noktası takibi benzetimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(5), 916-926.
- Mohammed, S. S., & Syji, B. M. (2020). Energy Management of a Standalone Low Voltage DC Microgrid Using FPGA Based Controller. Journal of Green Engineering (JGE), 10(5), 1984-2005.
- Mhendis, A. (2020, Temmuz). Maksimum G Noktası İleyicili Fotovoltaik Sistemin Labview Tabanlı Kontrol ve İlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Konya: Konya Teknik Üniversitesi Lisansst Eđitim Enstits.
- Rajesh, P., Rajasekar, S., Rajesh, G., & Samuel, P. (2014). Solar Array System Simulation using FPGA with Hardware Co-Simulation. 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) (s. 2291-2296). Istanbul, Turkey: IEEE.
- Ram, B. V., & Chidambararaj, N. (2021). Grasshopper optimization algorithm utilized Xilinx controller for maximum power generation in photovoltaic system. Evolving Systems, 12, 885-898.
- SarıtaŖ, E., & KarataŖ, S. (2015). Her Yönüyle FPGA ve VHDL. Ankara: Palme Yayınevi.
- Yasko, M. A. (2018). Fotovoltaik Sistemlerde DŖrc Tip DA-DA DnŖtrcl Maksimum G Noktası İleyicisinin Analizi, Tasarımı ve GerekleŖtirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldırım, ., EriŖti, B., EriŖti, H., & Demir, Y. (2012). Gerek Zamanlı Akım ve Gerilim Sinyallerinin İlenmesi iin FPGA Tabanlı Bir Sistem Tasarımı. ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, (s. 654-658). Bursa.