



Rüzgâr ve Deniz Akıntı Enerjisinin Tahrik Ettiği Güç Üretim Sisteminin İncelenmesi

Ahmet AKTAŞ^{1,*}, Yağmur KIRÇIÇEK², Arif Şenol ŞENER³

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 43500, Simav/KÜTAHYA

²Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 78050, Merkez/KARABÜK

³Nişantaşı Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 00000, 34398 Sarıyer/İSTANBUL

Öz

Rüzgâr ve deniz yüksek enerji potansiyeline sahip yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Deniz/okyanuslar rüzgâr, dalga, gelgit, akış gibi birden fazla enerji türüne sahiptir. Bu çalışmanın amacı birden çok enerji kaynağını elektrığe dönüştürecek bir sistem tasarlamaktır. Rüzgâr ve deniz akıntı enerjisinden yararlanan, yüksek potansiyelli hibrit güç üretim sistemi modeline sahip bir platform oluşturulmuştur. Fakat bu yenilenebilir enerji kaynaklarının çıkış karakteristiği doğa koşullarına bağlı olduğundan kesintili ve kararsız enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu kaynakların kararsız çıkış gücünü düzenlemek için hibrit enerji depolama birimi eklenmiştir. Hibrit güç üretim sistemine, batarya ve ultrakapasitörden oluşan hibrit bir enerji depolama ünitesi eklenerek yük tarafına kaliteli ve sürekli enerji ihtiyacı sağlanmaktadır. Ayrıca hibrit enerji depolama biriminde bulunan ultrakapasitör grubunun ani yük durumlarında sistemde bulunan bataryaya destek olarak derin deşarj olmasını ve gerilim çökmesini engellediği simülasyon çalışmalarıyla gösterilmektedir. Bu çalışmada hibrit enerji üretim sistemi ve hibrit enerji depolama sistemi MATLAB/Simulink programı kullanılarak tüm birimleri simüle edilmektedir. Sisteme özgün yazılan akıllı enerji yönetim algoritması, DA/DA dönüştürücünün ve evirici devrelerinin kontrolünü sağlayarak, tüm güç parametrelerini sürekli hesaplamaktadır. Bu makalede, talep edilen yükün hibrit güç üretim sistemi tarafından üretilen enerjiden yüksek olduğu çalışma durumu incelenerek akım, gerilim ve güç grafik sonuçları detaylı olarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda ultrakapasitörün ani yük durumunda bataryanın derin deşarj olmasını önleyecek sürede devreye girdiği tespit edilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 08/08/2018

Düzeltilme: 03/12/2018

Kabul: 13/01/2019

Anahtar Kelimeler

Batarya

Deniz akıntı enerjisi

Hibrit enerji depolama

Rüzgâr enerjisi

Ultrakapasitör

Keywords

Battery

Sea flow energy

Hybrid energy storage

Wind energy

Ultracapacitor

Investigation of Power Generation System Driven by Wind and Sea Flow Energy

Abstract

Wind and sea are renewable sources of energy with high energy potential. The sea/oceans have more than one type of energy such as wind, wave, tide, flow. The purpose of this work is to design a system that will convert multiple sources of energy into electricity. A platform with a high-potential hybrid power generation system model that utilizes wind and sea flow energy has been established. However, since the output characteristic of renewable energy sources depends on the natural conditions, it produces intermittent and unstable energy production. Hybrid energy storage units have been added to regulate the unstable output of these sources. A hybrid energy storage unit consisting of a battery and an ultracapacitor is added to the hybrid power generation system to provide a high quality and continuous energy requirement on the load. In addition, the ultracapacitor group in the hybrid energy storage unit is indicated by simulation studies that prevent the deep discharge and the voltage collapse by supporting the battery in the system under sudden load situations. In this study, all units are simulated using hybrid energy production system and hybrid energy storage system MATLAB/Simulink program. The smart energy management algorithm, which is originally written to the system, continuously calculates all the power parameters by controlling the DC/DC converter and inverter circuits. In this paper, the case where the demand load energy is higher than the energy produced by the hybrid power generation system is examined and current, voltage and power graphical results are given in detail. As a result of this investigation, it has been found that the ultracapacitor is switched on in the event of a sudden load, preventing the battery from being deep discharged.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada çeşitli ülkeler büyük güçlü yenilenebilir enerji ve enerji depolama sistemleri üzerine birçok çalışmalar ve hedefler gerçekleştirmektedir. Güneş, rüzgâr ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulum ve yatırım maliyetinin yanında bir diğer dezavantajı da ürettikleri enerjinin kesintili, değişken ve kararsız olmasıdır. Burada kesintili olma aralığı saniyeler dakikalar bazında olmakla birlikte mevsimsel değişimlere bağlı olarak da daha uzun süreli olabilmektedir. Bu kararsız davranışlar şebeke bazında gerilim dalgalanması, gerilim çökmesi, frekans değişikliği gibi bazı önemli sorunları ortaya çıkarabilmektedir. Bu etkiyi ortadan kaldırmak adına coğrafi olarak farklı bölgelere yenilenebilir enerji kaynak sistem kurulumları gerçekleştirilmiştir [1,2]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) bu kararsız ve kesintili çıkış karakteristiğini düzeltmenin en uygun yolu enerji depolama sistemlerinin kullanılmasıdır. Geliştirilen değişik algoritmalar ile güç akışını kontrol ederek sistemler arasında enerjinin aktarılması sağlanabilmektedir. Depolama birimleri YEK'lerin bu olumsuz etkilerini ortadan kaldırarak etkin kullanımını sağlamıştır. YEK'te ki bu talepler günümüz teknolojisinde enerji depolama birimlerinin verim ve performanslarını arttırarak, literatür ve uygulama alanlarında ilgi çekici bir konu haline getirmiştir [2].

Yüzen platform uygulamaları için değişik eksenli rüzgâr türbinleri vardır ve bunlardan dikey eksenli olanları kanat tasarım çalışmaları son zamanlarda gerçekleştirilmiştir. Cranfield Üniversitesi ve Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'nde geliştirilen Darrieus tipi rüzgâr türbini ile 5MW nominal kapasiteli bir konsept oluşturulmuştur. Tasarlanan türbininin dinamik davranışları incelenerek performans ve iyileştirme çalışmaları yapılmıştır [3]. Ayrıca deniz/okyanus ortamında bulunan dikey eksenli rüzgâr türbinlerin ağır çalışma şartları (dalgalanma, sallanma, yalpalama) için özel tasarım kriterlerinin geliştirilmesi ihtiyacı duyulmaktadır [4,5]. Çeşitli çevresel koşullar simüle edilerek aerodinamik ve hidrodinamik yüklerin platformun hareketi üzerindeki etkileşimini gösteren yuvarlak ve yarı dalgıç hareket tepkilerine genel bir bakış sunulmaktadır [5]. Bu yapılan çalışmalar sonucunda, yüzen destek yapıları dikey eksenli rüzgâr türbinlerini yeterince destekleyebiliyor olsa da, bağlama sistemlerinin, özellikle dalgalı hava koşullarında dikey eksenli rüzgâr türbinleri aşırı çekme gerilimi ve sallanmaya maruz kaldığından bunları engellemek için bu yapıların yeniden tasarlanması gerektiğini göstermektedir [6, 7].

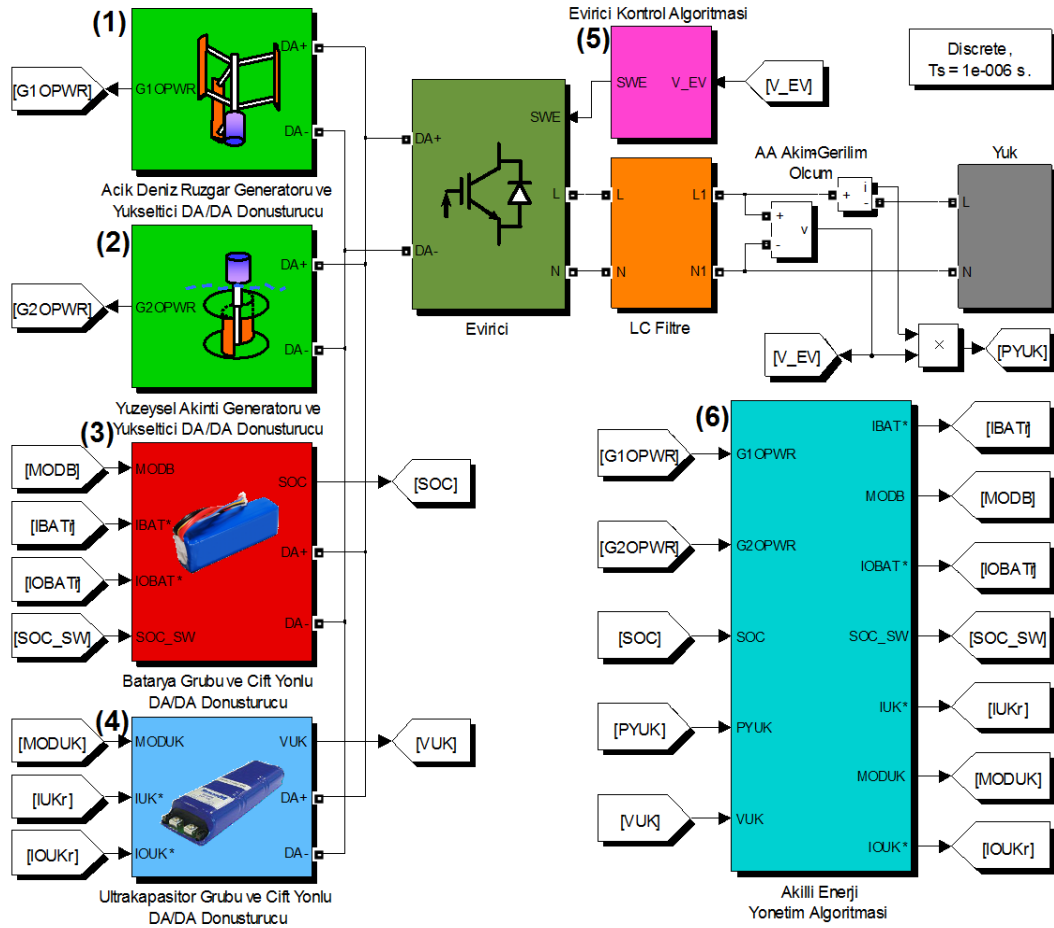
YEK'ni birlikte kullanarak hibrit güç üretim sistemleri (HGÜS) oluşturulmaktadır. Böylece farklı zaman dilimlerinde güç üretimi sağlanarak üretimin sürekliliği sağlanmaktadır. Hibrit enerji depolama sisteminin (HEDS) amacı, farklı karakteristiklere sahip enerji depolama sistem teknolojilerinin güç ve enerji yoğunluğu, çevrim ömrü, tepki süresi gibi özellikleri bir araya getirerek tamamlayıcı niteliklere sahip bir sistem oluşturmaktır [8-10]. Başka bir deyişle, yüksek güçlü enerji depolama birimleri hızlı tepki oranına sahiptir, aksine yüksek enerjili enerji depolama birimleri yavaş tepki oranına sahiptir. Bu nedenle, farklı enerji depolama sistem teknolojilerinin işlevsel avantajlarını bir araya getirerek sinerjik şekilde hibritize etmek yararlı olmuştur. Bu yeni teknoloji, özellikle yenilenebilir enerji ve elektrikli nakliye sektörü alanlarında birçok araştırmacı tarafından araştırmalar devam etmektedir. Elektrikli taşıma sektöründe, bataryalı araçların ultrakapasitörle hibrit enerji depolama birimi oluşturularak hibritleştirildikleri gösterilmiştir [11-13]. Yenilenebilir enerji uygulamalarında şebeke entegrasyonu alanında, batarya ve ultrakapasitör güneş enerjisi sistemleri ile kullanılan en yaygın hibrit enerji depolama sistemidir [14,15]. Hibrit enerji depolama sistemi kullanılması, gelecekte çeşitli uygulamalarda elverişli bir çözüm olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, fizibilitelelerini göstermek ve işlevselliklerini geliştirmek için daha fazla araştırma ve geliştirme yapılmaktadır [16,17].

Batarya enerji depolama sistemi, rüzgâr veya güneş enerjisi üretiminde güç dalgalanmaların azaltılması için günümüz teknolojik altyapısında mevcut olarak kullanılan en uygun çözüm aracıdır [18,19]. Ayrıca enerji depolama biriminin kontrol algoritmasının belirlediği zaman aralıklarında devreye girerek fotovoltaiik panel veya rüzgâr enerjisinin çıkışındaki güç dalgalanması oranı düşürülmektedir [20, 21].

Bu çalışmanın amacı; açık deniz rüzgâr ve akıntı enerjilerinden hibrit güç üretim sistemi modeli oluşturmak ve batarya ve ultrakapasitörden oluşan hibrit enerji depolama sistemini entegre ederek akıllı enerji yönetim algoritmasıyla talep tarafındaki ihtiyacı sürekli olarak karşılamak ve kaliteli elektrik üretmektir. Böylelikle sistem modeli gerçek üretim aşamasına geçilmeden önce sistem dinamik davranışlarının incelenmesinde yardımcı olacaktır.

2. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI (SIMULATION STUDIES)

Şekil 1’de HGÜS ile HEDS entegre edilerek akıllı enerji yönetim algoritmasıyla kontrol edilen yapının MATLAB/Simulink blok diyagramı verilmektedir. Bu çalışmada, açık deniz rüzgâr jeneratörü, yüzeysel akıntı jeneratörü ve bu güç üretim sistemlerine bağlı bulunan redüktör ve DA/DA yükseltici dönüştürücüleri, batarya ve ultrakapasitör gurubu, çift yönlü DA/DA dönüştürücüleri simüle edilerek gerilim tabanlı evirici kontrol algoritması ve akıllı enerji yönetim algoritması ile sistemin benzetimi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. HGÜS, HEDS ve akıllı enerji yönetim algoritmasının MATLAB/Simulink blok diyagramı

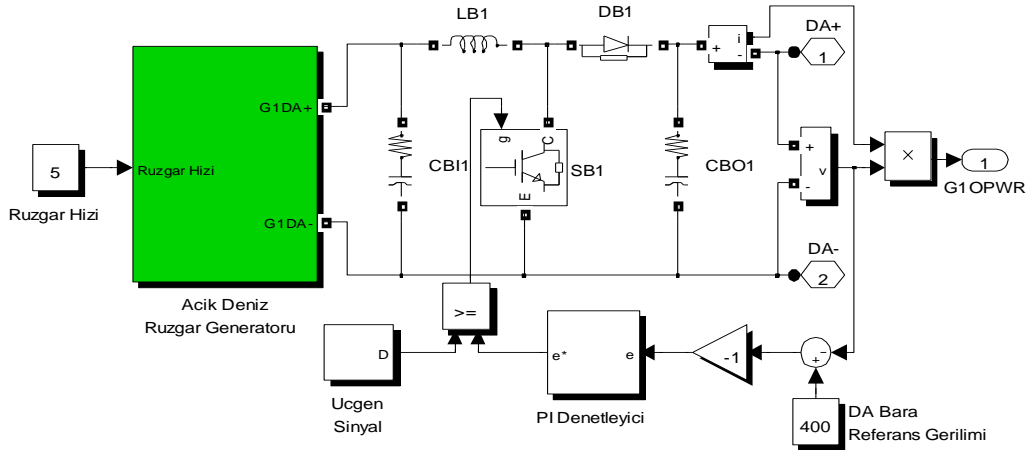
Rüzgâr ve deniz akıntı enerjisinden elde edilen mekanik enerjinin, elektrik enerjisine dönüştürülmesi işleminde, Futureenergy marka 48V 1kW Permanent Magnet Generator (Sabit Mıknatıslı Jeneratör)’ün katalog güç değerleri kullanılarak benzetimi yapılmıştır. Aynı şekilde sistemde kullanılacak olan genel lityum batarya ve Maxwell marka ultrakapasitör gurubu simüle edilerek sistem analizleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda kullanılan sistem parametreleri ayrıntılı olarak Tablo 1’de verilmektedir.

2.1. Rüzgâr ve Deniz Akıntı Jeneratörü, DA/DA Yükseltici Devre ve Kontrol Algoritması (Wind and Sea Flow Generator, DC/DC Boost Circuit and Control Algorithm)

Şekil 1’de, (1) numaralı blokta rüzgâr jeneratörü, DA/DA yükseltici dönüştürücü ve PI DA bara gerilim kontrol algoritması bulunmaktadır. Rüzgâr jeneratörü, DA/DA yükseltici dönüştürücü ve PI DA bara gerilim kontrol algoritmasının MATLAB/Simulink blok diyagramı Şekil 2’de verilmektedir. PI DA bara gerilim kontrol algoritması DA/DA yükseltici sayesinde 48V olan çıkış gerilimini 400V olacak şekilde denetler. Rüzgâr jeneratörünün üretmiş olduğu gerilim değeri rüzgâr hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. DA/DA yükseltici devre sayesinde giriş gerilimindeki değişimlere karşı çıkış gerilimi sürekli olarak 400V’ta sabit tutulmaktadır.

Tablo 1. Simülasyonda kullanılan sistem parametreleri

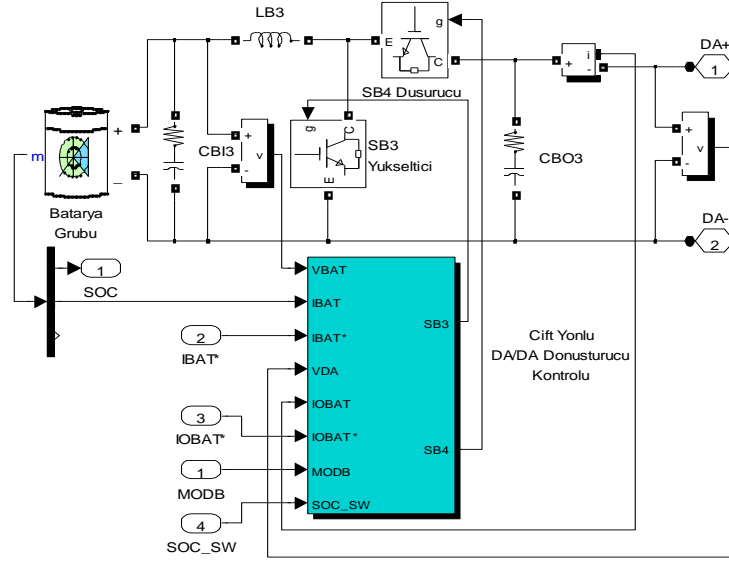
Parametreler	Değeri	
Rüzgâr ve deniz akıntı jeneratörü	Nominal anma gücü (P_G)	1kW
	Nominal devir sayısı	800RPM
	Fazlar arası açık devre gerilimi (V_{OC})	68.3V
	Maksimum akım (I_{GM})	20A
	Verim	%92
Batarya Gurubu (Lityum)	Batarya gerilimi (V_{BAT})	48V
	Batarya akım kapasitesi (C_{BAT})	20Ah
	Batarya güç kapasitesi	960Wh
Ultrakapasitör Gurubu	Ultrakapasitör gerilimi (V_{UK})	48V
	Ultrakapasitör kapasitesi (C_{UK})	38.6F
	Ultrakapasitör güç kapasitesi	12.6Wh
Yük Gurubu	Omik yük	6-10-20Ω, Tek faz

**Şekil 2.** Rüzgâr ve deniz akıntı jeneratörü ve DA/DA yükseltici devre ve kontrol algoritması blok diyagramı

Rüzgâr jeneratörü ve DA/DA yükseltici dönüştürücüsünden sağlanan akım DA baraya aktarılarak akıllı enerji yönetim algoritmasının kontrolüne bağlı olarak evirici aracılığıyla sistemin birincil önceliği olan yük talebini karşılayarak, batarya ve ultrakapasitör gurubunun şarj olmasını sağlamaktadır. Deniz akıntı jeneratörü, DA/DA yükseltici devre ve kontrol algoritması rüzgâr jeneratör devre ve kontrol algoritmasıyla aynı şekildedir.

2.2. Batarya Gurubu ve Çift Yönlü DA/DA Dönüştürücü (Battery Group and Bidirectional DC/DC Converter)

HEDS birimi olan batarya gurubu DA baraya bir çift yönlü DA/DA dönüştürücü aracılığıyla bağlanmıştır. Batarya depolama biriminde 4 adet 6 hücreli 22,2V, 10Ah lityum batarya kullanılmaktadır. Batarya gurubunda 48V elde etmek için bataryalar 2 adet seri ve 2 adet paralel gurup olarak bağlanmıştır. Böylece batarya gurubundan elde edilen toplam enerji kapasitesi 960Wh'tır. Şekil 3'te batarya gurubu, çift yönlü DA/DA dönüştürücü ve çift yönlü DA/DA dönüştürücü kontrol birimi MATLAB/Simulink benzetim modeli verilmektedir.

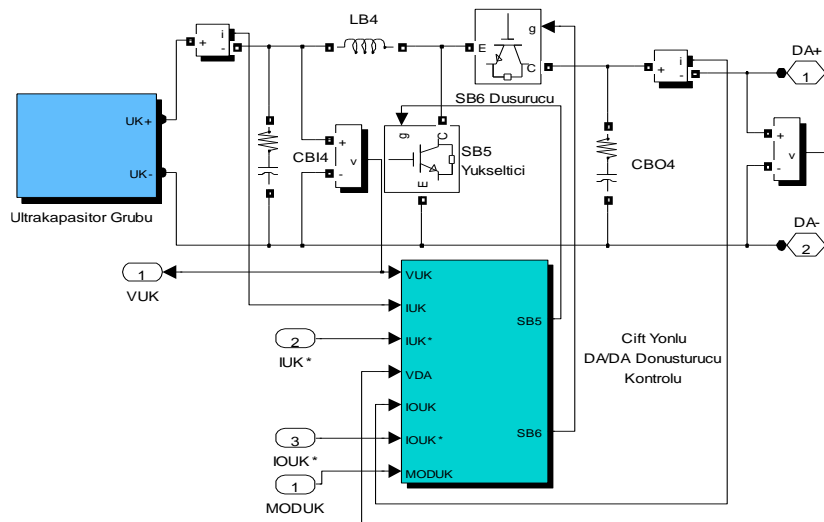


Şekil 3. Batarya grubu, çift yönlü DA/DA dönüştürücü ve kontrol birimi blok diyagramı

2.3. Ultrakapasitör Gurubu ve Çift Yönlü DA/DA Dönüştürücü (Ultracapacitor Group and Bidirectional DC/DC Converter)

Şekil 4'te ultrakapasitör gurubu, çift yönlü DA/DA dönüştürücü kontrol birimi MATLAB/Simulink benzetim modeli verilmektedir. Batarya gurubunda olduğu gibi ultrakapasitör gurubunun şarj/deşarj olmasını sağlamak için DA/DA çift yönlü dönüştürücü yapısı kullanılmaktadır. Maxwell marka 16V 58F ultrakapasitör modüllerinden 6 adet kullanılarak, 48V gerilimi elde edilmiştir. Ultrakapasitör gurubundan elde edilen toplam enerji kapasitesi 12.6Wh'tir. HEDS birimi olan ultrakapasitör gurubu DA baraya bir çift yönlü DA/DA dönüştürücü aracılığıyla bağlanmıştır.

Batarya gurubu ile karşılaştırıldığında ultrakapasitör gurubunun enerji yoğunluğu oldukça düşüktür. Ultrakapasitör gurubu batarya gurubuna göre çok daha büyük güç yoğunluğuna sahip olduğundan daha kısa zaman periyodunda çok daha büyük güç desteği sağlayabilir. Buna karşın batarya gurubu daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu nedenle ultrakapasitör gurubu ile karşılaştırıldığında daha yüksek enerji depolayabilir ve daha uzun süre enerji sağlayabilir. Birbirini tamamlayıcı özelliklerinden dolayı ultrakapasitör enerji depolama ünitesiyle anlık, batarya enerji depolama ünitesiyle sürekli güç ihtiyacı karşılanmaktadır. Böylelikle batarya gurubu ve ultrakapasitör gurubu ile hibrit enerji depolama sistemi oluşturulmaktadır.



Şekil 4. Ultrakapasitör gurubu, çift yönlü DA/DA dönüştürücü ve çift yönlü DA/DA dönüştürücü kontrol blok diyagramı

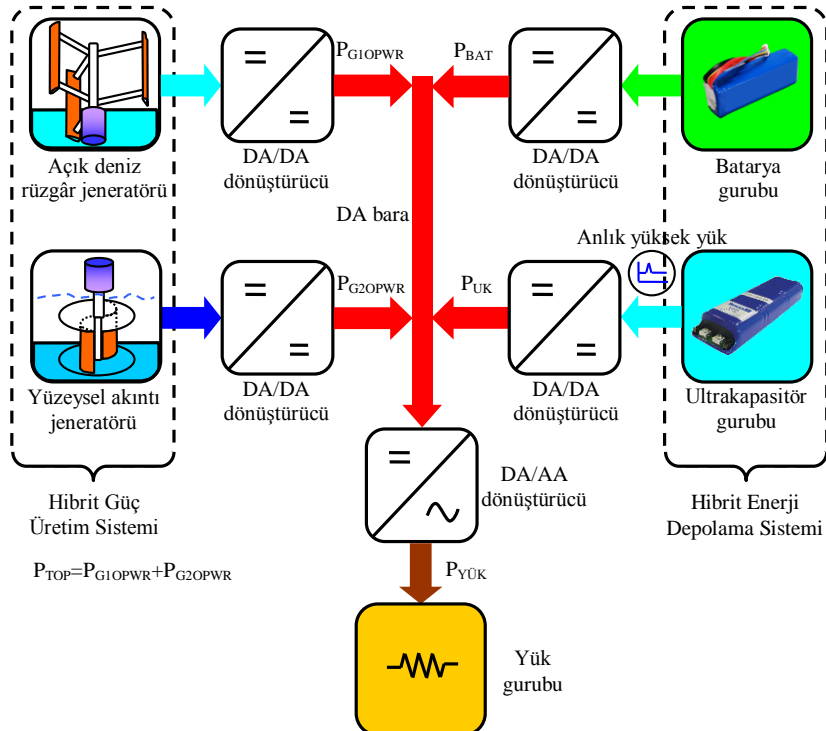
3. SİMÜLASYON ÇALIŞMA SONUÇLARI (SIMULATION STUDIES RESULTS)

HGÜS ve HEDS olası çalışma durumları ile rüzgâr ve deniz akıntı hız değerleri Tablo 2’de ayrıntılı olarak verilmektedir. Durum 6’da $P_{TOP} < P_{YÜK}$ olduğunda; P_{BAT} ve P_{UK} doluluk durumlarının yüksek olduğu olası çalışma koşulu incelenmiştir ve bu durumun güç akış diyagramı Şekil 5’te verilmektedir. Bu durumda ani yük talep ihtiyacı durumunda ultrakapasitör gurubunun batarya gurubuna destek olarak DA bara dalgalanmasının önüne geçildiği incelenmiştir. Akıllı enerji yönetim algoritmasının sistemin hızla değişen dinamik davranışına verdiği tepkisi sırasıyla Şekil 9-11’de görülmektedir.

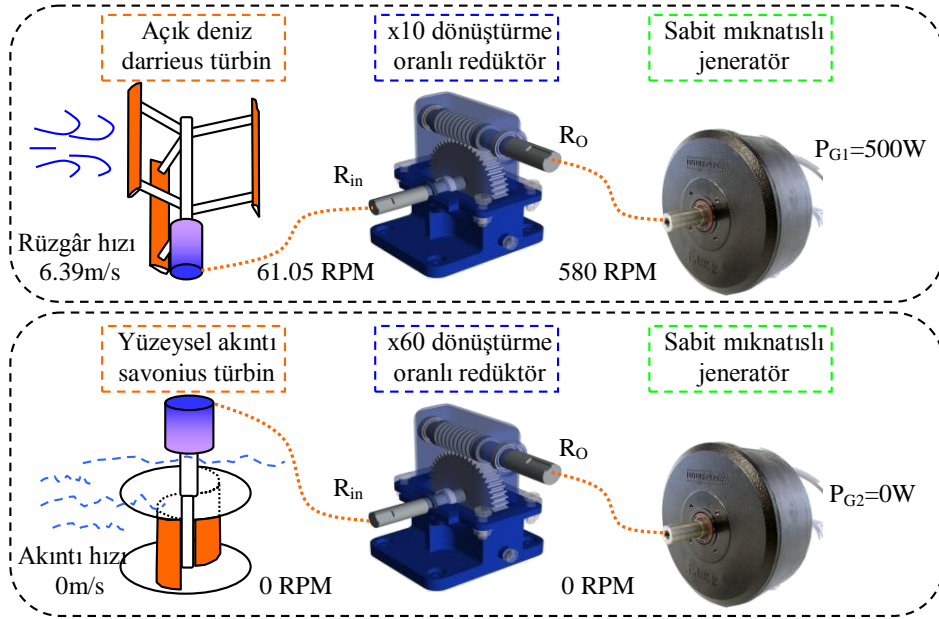
Tablo 2. HGÜS ve HEDS olası çalışma durumları

Durumlar	$P_{TOP} = P_{G1OPOWER} + P_{G2OPOWER}$	Batarya Doluluk Durumu (SOC)	Ultrakapasitör Doluluk Durumu (V_{UC})	Rüzgâr Türbin Hızı (m/s)	Deniz Akıntı Hızı (m/s)
	$P_{TOP}/P_{YÜK}$ Karşılaştırma				
1	$P_{TOP} \approx P_{YÜK}$	Düşük	Düşük	7.71	1.28
2	$P_{TOP} \approx P_{YÜK}$	Yüksek	Yüksek	8.81	1.06
3	$P_{TOP} > P_{YÜK}$	Düşük	Düşük	7.71	1.28
4	$P_{TOP} > P_{YÜK}$	Yüksek	Yüksek	6.39	0.80
5	$P_{TOP} < P_{YÜK}$	Düşük	Düşük	6.39	0
6	$P_{TOP} < P_{YÜK}$	Yüksek	Yüksek	6.39	0
7	$P_{TOP} = 0$	Düşük	Düşük	0	0
8	$P_{TOP} = 0$	Yüksek	Yüksek	0	0
9	$P_{YÜK} = 0$	Düşük	Düşük	4.85	0.99

Şekil 6’da Durum 6 için HGÜS simülasyon parametre değerleri verilmektedir. Bu durumda Darrieus tipi rüzgâr türbini 6.39 m/s rüzgâr hızıyla dönmektedir. Rüzgâr türbinine bağlı olan redüktör ile dönüştürme oranı yükseltilecek (x10) jeneratöre 580 RPM hızı ile aktarılacak jeneratör tarafından 500W güç üretilmektedir. Durum 6’da deniz akıntı Savonius türbini durağan halde olup sisteme bir enerji akışı sağlamamaktadır.

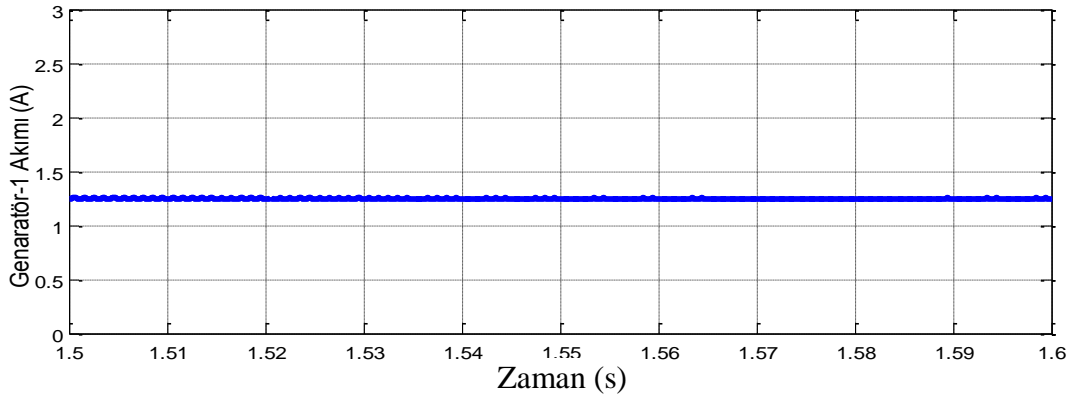


Şekil 5. Sistemin Durum 6 için güç akış diyagramı



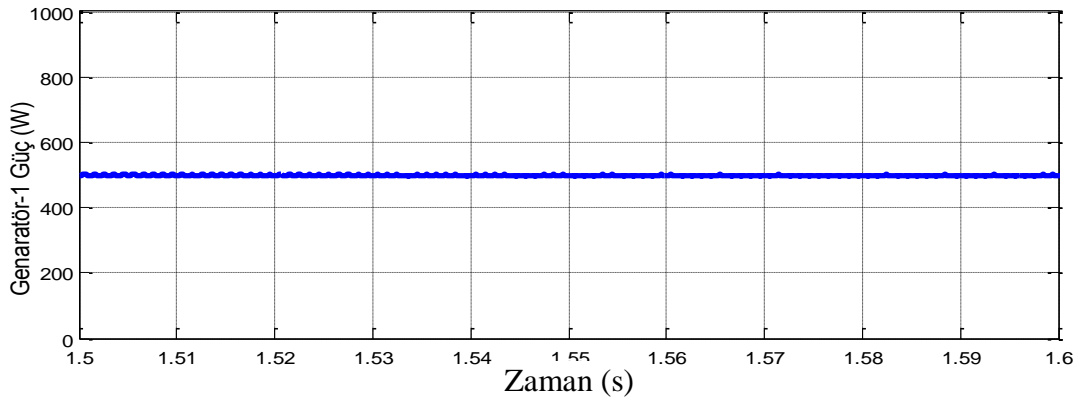
Şekil 6. $P_{TOP} < P_{YÜK}$ olduğunda; HGÜS simülasyon parametre değerleri

Şekil 7'de rüzgâr jeneratörüne bağlı DA/DA yükseltici devre çıkış akım grafiği verilmektedir. Açık deniz rüzgâr jeneratörü 6.39m/s hızla esen rüzgârda 500W gücünde elektrik enerjisi üretmektedir. Jeneratör çıkışında yaklaşık olarak 1.3A akım üretilmektedir.



Şekil 7. Durum 6 için açık deniz rüzgâr jeneratör devresi çıkış akımı

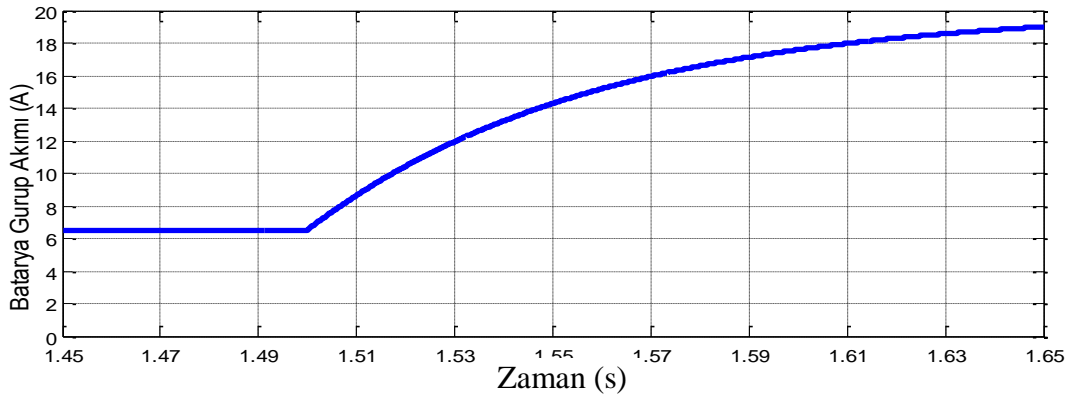
Jeneratörden üretilen güç 500W olmakla birlikte Şekil 8'de ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Jeneratör tarafından üretilen güç DA/DA yükseltici devresiyle sisteme aktarılmaktadır. Deniz akıntı jeneratöründen bir güç üretilmediği için burada bulunan DA/DA yükseltici devresi pasif haldedir.



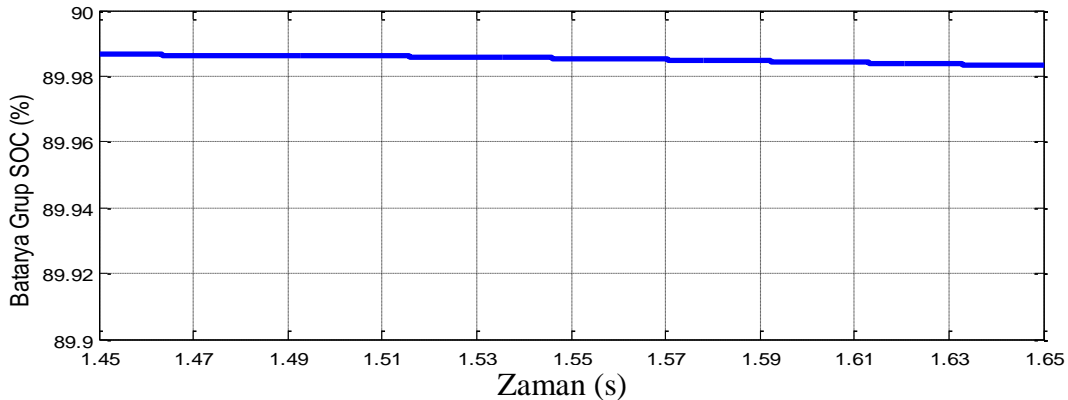
Şekil 8. Durum 6 için açık deniz rüzgâr jeneratör devresi çıkış gücü

Durum 6'da rüzgâr jeneratöründen 500W üretilmekte ve yük gurubunun talep ettiği güç miktarı 800W'tır. P_{FARK} güç değeri -300W olarak akıllı enerji yönetim algoritması tarafından hesaplanmaktadır. Fark gücün negatif çıkması sistemde bulunan HEDS'deki batarya gurubunu devreye alması anlamına gelmektedir. Bu fark gücü kadar batarya gurubunun deşarj olması gereken referans akım değeri hesaplanarak sisteme DA bara üzerinden güç akışı sağlanır. Şekil 13'te sistemin çalışması sırasında 1.5s'de aniden 1000W'lık bir yük talebi devreye alınmaktadır. Akıllı enerji yönetim algoritması bu ani yük talebini algılayarak ultrakapasitör gurubunu devreye almaktadır. Ultrakapasitör gurubunun deşarj olması gereken referans akım değeri hesaplanarak çift yönlü DA/DA dönüştürücü devresine gönderilir. Daha sonra ultrakapasitör gurubu, yükün uzun süreli olarak batarya gurubundan karşılanması için devreden çıkararak bütün güç batarya gurubu tarafından sağlanır. Burada akıllı enerji yönetim algoritması ve ultrakapasitör sayesinde batarya gurubunun ani deşarj (deep discharge) olmasının önüne geçilerek batarya gurubunun çevrim ömrünün uzatılması sağlanmaktadır.

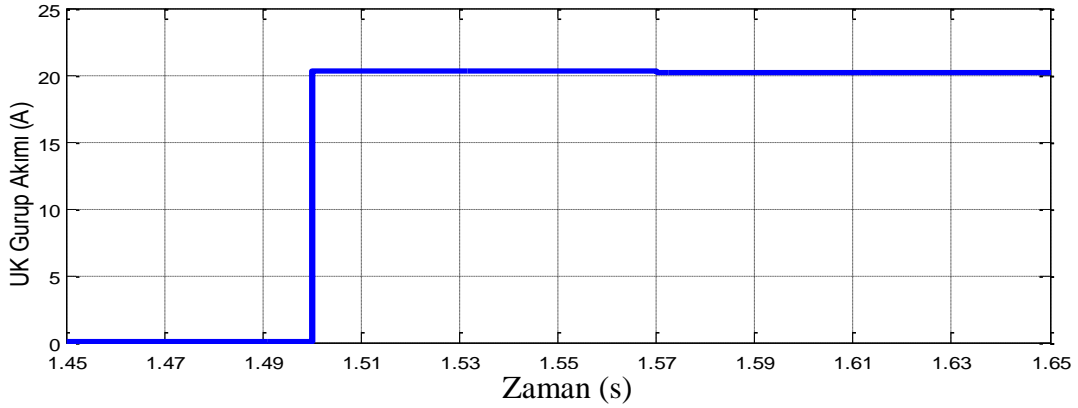
Şekil 9'da Durum 6 için ani yük değişim çalışma koşulundaki batarya gurubunun akım grafiği ayrıntılı olarak verilmektedir. Batarya gurubu 1.5s'de akıllı enerji yönetim algoritmasının hesapladığı akım değerine göre deşarj olmaktadır. Şekil 10'da batarya gurubunun doluluk seviyesi SOC ayrıntılı olarak verilmekte ve %90 seviyesinden başlayarak azaldığı görülmektedir. Şekil 11'de ultrakapasitör gurubunun akım grafiği verilmektedir. Ultrakapasitör gurubu ani yükün devreye girdiği anda DA/DA yükseltici devresi aracılığıyla devreye alınarak sistemdeki gerilim ve güç dalgalanmalarının önüne geçilmektedir.



Şekil 9. Durum 6 için batarya gurubu giriş akımı

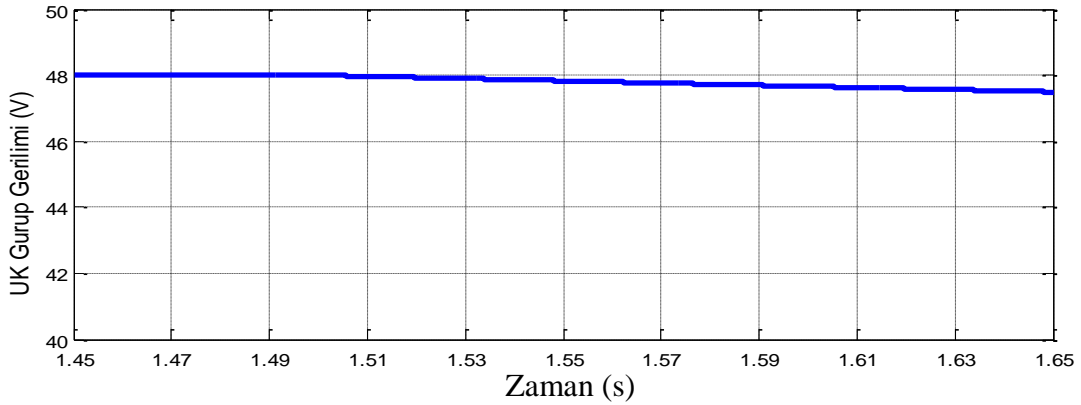


Şekil 10. Durum 6 için batarya gurubu SOC doluluk durumu



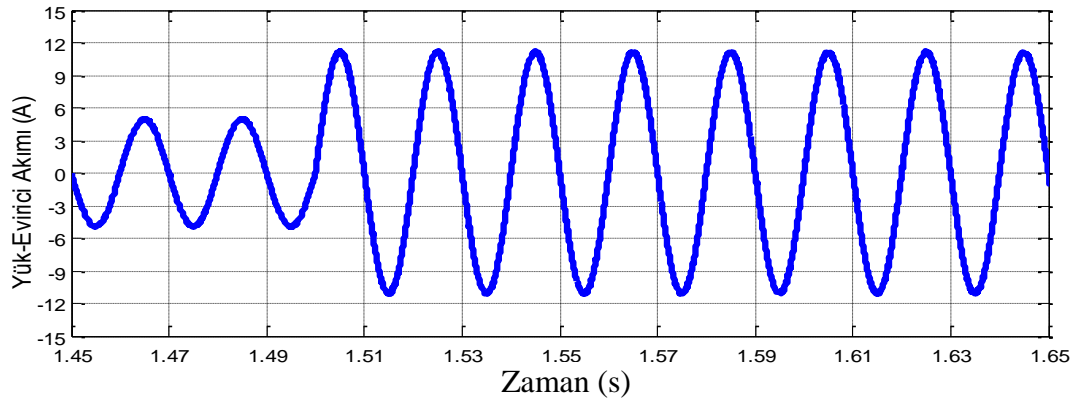
Şekil 11. Durum 6 için ultrakapasitör gurubu giriş akımı

Ultrakapasitör gurubu, sisteme ani yük talebi girdiğinde bu güç ihtiyacı, akıllı enerji yönetim algoritması tarafından algılanarak devreye alınmaktadır ve hesaplanan 20A akım değerinde deşarj edilmektedir. Şekil 12'de ani yük talebi sırasında deşarj olan ultrakapasitör gurubunun terminal uçlarındaki gerilim grafiği verilmektedir. Ultrakapasitör gurubunun yapısal özelliği olan düşük güç enerji yoğunluğuna sahip olmasından terminal uçlarındaki gerilim değeri çok hızlı bir şekilde düşmektedir.

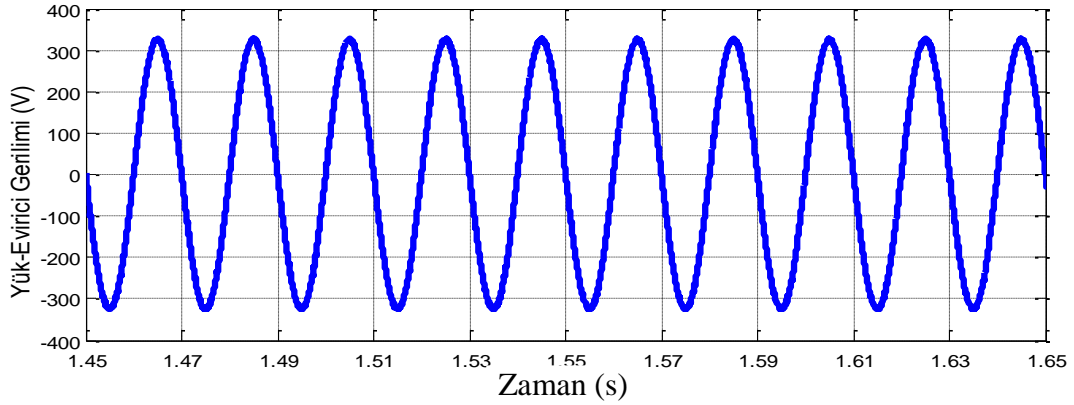


Şekil 12. Durum 6 için ultrakapasitör gurup terminal gerilimi

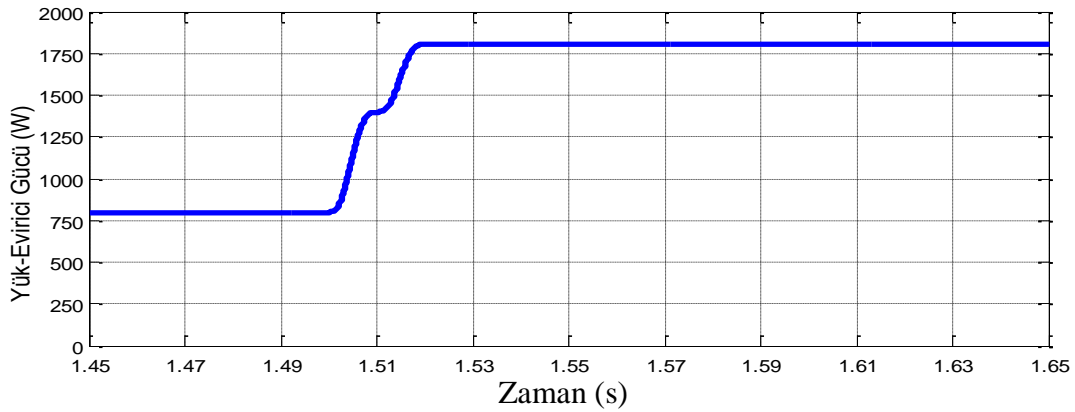
Şekil 13'te Durum 6 için sistemde bulunan yük gurubunun akım değişim grafiği verilmektedir. Yük gurubu ilk olarak 800W güç talep etmekte, 1.5s'de 1000W ilave güç devreye alınarak toplamda 1800W güç talep edilmektedir. Evirici ve yük gurubunun gerilim grafiği Şekil 14'te ayrıntılı olarak verilmektedir. Evirici çıkışı 220V RMS gerilim değerinde ve 50Hz frekans ile yük gurubunu beslemektedir. Yük gurubunun talep ettiği güç değişim grafiği Şekil 15'te verilmektedir. Yük gurubu eviriciden ani yük talep etmesine rağmen evirici geriliminde olası bir gerilim dalgalanması olmamaktadır.



Şekil 13. Durum 6 için yük ve evirici akımı



Şekil 14. Durum 6 için yük ve evirici gerilimi



Şekil 15. Durum 6 için yük ve evirici gücü

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, rüzgâr ve deniz akıntı enerjisi ile enerji depolama sisteminin her bir biriminin simülasyonu MATLAB/Simulink arayüzü ile yapılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynağı, rüzgâr ve deniz akıntı enerji ve enerji depolama birimi birincil olarak yükün talep etmiş olduğu gücü sağlamaktadır. Böylece kaliteli ve sürekli bir enerji transferi gerçekleştirilmektedir.

Sistemdeki tüm birimlerin akıllı enerji yönetim algoritması ile kontrol edilerek sistemin ani yük değişikliklerine hızlı tepki vererek gerilim ve güç dalgalanmasının önüne geçildiği tespit edilmiştir.

Birbirini tamamlayıcı özelliklerinden dolayı ultrakapasitör enerji depolama ünitesiyle anlık, batarya enerji depolama ünitesiyle sürekli, güç ihtiyacı karşılanmıştır.

Bunun yanı sıra simülasyon çalışmalarında alınan sonuçlarla, ultrakapasitörün de hem DA bara da hem de yük tarafında gerilim çökmesini engellediği görülmüştür. Batarya ve ultrakapasitör hibrit enerji depolama sistemi ile enerjinin sürekliliğinden yararlanılarak, YEK'in daha etkin bir şekilde kullanılması sağlanmıştır. Batarya ve ultrakapasitörden oluşan HEDS ile bataryaların ömrünü ve depolama kapasitesini maksimum şekilde kullanmayı ve şarj/deşarj çevrimini de minimum seviyeye getirebileceği öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, 117E767 numaralı TÜBİTAK 1001 projesiyle desteklenmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hemmati, R., Saboori, H., 2016. "Emergence of Hybrid Energy Storage Systems in Renewable Energy and Transport Applications - A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65(1), 11-23.
- [2] Khalid, M., Savkin, A., Agelidis, V., 2016. "A Method for Minimizing Energy Cost in a Microgrid With Hybrid Renewable Power Generation Using Controlled Battery Energy Storage", *Proceedings of the 35th Chinese Control Conference*, 8596-8600.
- [3] Borg, M., Wang, K., Collu, M., Moan, T., 2014. "A Comparison of Two Coupled Model of Dynamics for Offshore Floating Vertical Axis Wind Turbines (VAWT)", *33rd International Conference on Ocean Proceedings of the ASME*, 1-10.
- [4] Borga, M., Collua, M., 2014. "A Comparison on The Dynamics of a Floating Vertical Axis Wind Turbine on Three Different Floating Support Structures", *Energy Procedia*, 53 (1), 268-279.
- [5] Bertram, V., 2015. "Advanced CFD Analyses for Offshore Wind Power Installations", *OCEANS*, 1-5.
- [6] Hand, B., Cashman, A., Kelly, G., 2015. "An Aerodynamic Modelling Methodology for an Offshore Floating Vertical Axis Wind Turbine", *International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 273-277.
- [7] Jin, X., Zhao, G., Gao, K., Ju, W., 2015. "Darrieus Vertical Axis Wind Turbine: Basic Research Methods", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42 (1), 212-225.
- [8] Shahariar, G. M., Hasan, M. R., 2014. "Design & Construction of a Vertical Axis Wind Turbine", *9th International Forum on Strategic Technology (IFOST)*, 326-329.
- [9] Triviino, P. G., Ramirez, L. M., Mena, A. J., Iborra, F., Vazquez, C. A., Jurado, F., 2016. "Optimized Operation Combining Costs, Efficiency and Lifetime of a Hybrid Renewable Energy System with Energy Storage by Battery and Hydrogen in Grid-Connected Applications", *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 (1), 23132-23144.
- [10] Amrouche, S. O., Rekioua, D., Rekioua, T., Bacha, S., 2016. "Overview of Energy Storage in Renewable Energy Systems", *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 (1), 20914-20927.
- [11] Amy, T., Kong, H., Auger, D., Offer, G., Longo, S., 2016. "Regularized MPC for Power Management of Hybrid Energy Storage Systems with Applications in Electric Vehicles", *ScienceDirect IFAC Papers OnLine*, 49 (11), 265-270.
- [12] Song, Z., Hou, J., Hofmann, H., Li, J., Ouyang, M., 2017. "Sliding-Mode and Lyapunov Function-Based Control for Battery/Supercapacitor Hybrid Energy Storage System Used in Electric Vehicles", *Energy*, 122 (1), 601-612.
- [13] Lee, S., Kim, J., 2017. "Implementation Methodology of Powertrain for Series-Hybrid Military Vehicles Applications Equipped with Hybrid Energy Storage", *Energy*, 120 (1), 229-240.
- [14] Chong, L. W., Wong, Y. W., Rajkumar, R. K., Isa, D., 2016. "An optimal control strategy for standalone PV system with Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage System", *Journal of Power Sources*, 331 (1), 553-565.
- [15] Chong, L. W., Wong, Y. W., Rajkumar, R. K., Isa, D., 2017. "Modelling and Simulation of Standalone PV Systems with Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage System for a Rural Household", *Energy Procedia*, 107 (1) 232-236.

- [16] Chong, L. W., Wong, Y. W., Rajkumar, R. K., Isa, D., 2016. “An optimal control strategy for standalone PV system with Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage System”, *Journal of Power Sources*, 331 (1), 553-565.
- [17] Chong, L. W., Wong, Y. W., Rajkumar, R. K., Isa, D., 2017. “Modelling and Simulation of Standalone PV Systems with Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage System for a Rural Household”, *Energy Procedia*, 107 (1) 232-236.
- [18] Li, X., Hui, D., Lai, X., 2013. “Battery Energy Storage Station (BESS)-Based Smoothing Control of Photovoltaic (PV) and Wind Power Generation Fluctuations”, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 4 (2), 464-473.
- [19] Shen, D., Izadian, A., Liao, P., 2014. “A Hybrid Wind-Solar-Storage Energy Generation System Configuration and Control”, *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 436-442.
- [20] Atia, R., Yamada, N., 2016. “Sizing and Analysis of Renewable Energy and Battery Systems in Residential Microgrids”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7 (3), 1204-1213.
- [21] Bocklisch, T., Lindner, J., 2016. “Technical and Economic Investigation and Comparison of Photovoltaic-Wind Energy-Hybrid Systems with Battery and Heat Storage Path”, *Energy Procedia*, 99 (1), 350-359.