

# ŞARJ EDİLEBİLEN ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAĞI OLARAK KULLANILMASINA YÖNELİK BİR BENZETİM ÇALIŞMASI

## THE SIMULATION STUDY FOR USE PLUG-IN ELECTRIC VEHICLES AS AN UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

Görkem Şen, Ali Rifat Boynueğri, Mehmet Uzunoglu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi

gorkemsen10@gmail.com, alirifat@yildiz.edu.tr, uzunoglu@yildiz.edu.tr

### Özet

Nüfus artışı ve gelişen teknolojiye bağlı olarak enerji talebi de giderek artmaktadır. Günümüzde enerji talebinin büyük bir kısmının karşılanmasında fosil yakıtlar (FY) kaynak olarak kullanılmaktadır. Büyük oranda FY tüketen sistemlerden biri de ulaşım sistemleridir. Ancak içten yanmalı motorlu (İYM) araçlara bağlı olarak FY tüketimindeki hızlı artış, hem çevresel problemlere neden olmakta hem de FY rezervlerini azaltmaktadır. Bu sorunlara yakın dönemde uygulanabilir bir çözüm olarak elektrikli araçlar (EA) özellikle de şarj edilebilen EA'lar (ŞEEA) önerilmektedir. Sıfır emisyonlu olarak adlandırılan ŞEEA'ların üzerine birçok çalışma yapılmaktadır ve yakın gelecekte sayılarının giderek artacağı belirtilmektedir. Günümüzde ŞEEA'ların şebekeyle olan etkileşimi tek yönlüdür, bu da şarj işlemidir. Ancak ŞEEA'ların sahip oldukları güç ünitesinin tasarımında değişiklikler yapılarak ŞEEA'nın çift yönlü çalışması sağlanabilir. Böylece ŞEEA kesintisiz güç kaynağı (KGK) olarak çalıştırılabilir ve bir tüketim merkezinin enerji ihtiyacını karşılayabilir. Bu çalışmada, ŞEEA'ların belirli durumlarda KGK olarak kullanılabilmesine yönelik benzetim çalışması yapılmıştır.

### Abstract

Due to the population growth and technology development, the world's energy demand is increasing. Today, a big portion of this energy demand is supplied by utilization of fossil fuels (FF). One of the main FF consumers is transportation systems. However, the increase of FF consumption due to the internal combustion engine based vehicular systems causes both environmental problems and depletion of FF reserves. Electric vehicles (EV), especially plug-in EVs (PEV) are considered as a short term applicable solution to these problems. A great number of studies are realized on PEVs that are considered to provide zero emission. In these studies, it is declared that PEV will gradually become widespread in a near future. Nowadays, the interaction of PEV with the grid is one way. This interaction is the charging process. However, PEV can be

operated bi-directional by modifying the design of vehicle's power unit. In such an operation condition, PEV can be run as an uninterruptible power supply (UPS) and supply the energy demand of the consumption center. In this study, the simulation studies have been conducted for use of PEVs as an UPS in the time of need.

### 1. Giriş

Günümüz teknolojisi, günlük hayatın sürdürülebilmesi için gerekli olan ısıtma, üretim ve taşımacılık gibi aktivitelerde temel enerji kaynağı olarak FY'lere büyük oranda bağımlıdır. FY'lerin yüksek miktarda tüketiminin uzun dönemde insanlık için iki açıdan tehdit oluşturacağı öngörülmektedir. İlk tehdit, sınırlı rezervlere sahip olan petrol ve doğal gaz gibi yakıtların azalmasına bağlı olarak artan maliyetler ve bu durumun, sosyal ve ekonomik etkileridir. İkinci tehdit ise FY'lerin yakılması sonucu ortaya çıkan zararlı gazlarının çevre üzerine etkileridir [1], [2], [3]. Bu nedenlerle, hem FY tüketimini azaltmayı hedefleyen çalışmaların sayısı giderek artmakta, hem de alternatif enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar hızlandırılmaktadır. Özellikle de büyük oranda FY tüketen ulaşım sektörü üzerine ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Son yıllarda EA konusunda ilerlemeler sağlanmıştır. Bu ilerlemeler sayesinde yüksek verimli ve çevre dostu olan EA'lar, bahsedilen tehditleri yakın dönemde azaltacak, uzun vadede ise tamamen ortadan kaldıracak çözüm olarak ön plana çıkmaktadır [1], [4], [5]. EA'lar özellikle de sıfır emisyonlu olarak adlandırılan ŞEEA'lar üzerine çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Yapılan araştırmalarda bu araçların yakın gelecekte giderek yaygınlaşacağı belirtilmektedir [4], [6], [7], [8], [9], [10].

Günümüzde ŞEEA'nın şarj edilmesi için yapılan bağlantı ile şebekeden araca doğru, tek yönlü bir enerji akışı gerçekleştirilmektedir. Ancak, ŞEEA'ların yapısında bulunan güç ünitesinin çift yönlü çalıştırılabilmesi ile şebekeyle çift yönlü bir bağlantı gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilecek çift yönlü bağlantı ile ŞEEA'lar ulaşım sektörü dışında da kullanılabilir. Bu çalışma durumlarından biride araçtan

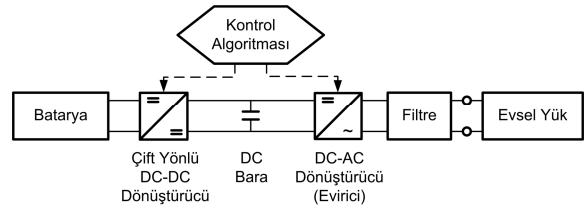
eve çalışma durumudur (V2H) [11], [12] V2H çalışma durumunda, ŞEEA'nın şebekeyle bir etkileşimi bulunmamaktadır ve ŞEEA şebekeden bağımsız olarak bir binanın, evin veya bir tüketim merkezinin enerji ihtiyacını bir KGK gibi karşılamaktadır [13]. Ayrıca, önümüzdeki yıllar içinde ülkemizin klasik şebekeden akıllı şebekelere geçmesiyle ve enerji borsasının da oluşturulmasıyla beraber ŞEEA sahipleri için yeni fırsatlar ortaya çıkacaktır. Başlıca fırsatlardan biri, gün içinde elektriğin birim fiyatının düşük olduğu bir zaman aralığında ŞEEA sahibi aracını düşük elektrik maliyeti ile şarj edebilecektir. Daha sonra elektriğin birim fiyatı yüksek olduğu zaman aralıklarındaysa, evini ya da başka bir yerleşim birimini şebekeden ayırarak V2H çalışma durumundan faydalanarak besleyebilecektir.

Gerçekleştirilen bu çalışma, ŞEEA'lerden ulaşım amacı dışında da faydalanılmasını sağlayacaktır. Yapılan benzetim çalışmayla ŞEEA'ların ihtiyaç duyulan zamanlarda bir KGK gibi kullanılabilmesi gösterilmiştir. Böylece, ŞEEA sahiplerinin belirli kritik yüklerin enerji ihtiyacını şebekeden bağımsız olarak sürekli sağlayabileceklerdir. Buna ek olarak, "Plug-in" teknolojisine sahip diğer bütün EA çeşitleri bu çalışma durumunu kullanarak aynı zamanda mobil bir enerji kaynağı gibi çalışabileceklerdir.

## 2. Sistem Tanımlanması ve Metodoloji

ŞEEA'ların ihtiyaç duyulan zamanlarda KGK olarak kullanılabilmesini denemek amacı ile benzetim ortamında bir test sistemi oluşturulmuştur. Bu çalışmada hazırlanan sisteminin modellenmesi ve analizi MATLAB & Simulink, SimPowerSystems ile yapılmıştır. Gerçekleştirilen benzetim çalışmasında öncelikle, sistemi meydana getiren bütün alt sistemler teker teker hazırlanmıştır. Hazırlanan alt sistemler sırasıyla, DC-DC dönüştürücü, DC-AC dönüştürücü ve yük modelidir. İlk olarak, talep edilen aktif ve reaktif gücü tüketen şekilde modellenmiş değişken yük modeli oluşturulmuştur. Ardından, bu yükün elektrikli araç bataryası ile beslenebilmesi için gerekli olan güç dönüştürücüleri ile filtre üniteleri hazırlanarak, yükün enerji ihtiyacı EA

tarafından sağlanmıştır. Bu amaçla, Şekil 1'de blok diyagramı ve Şekil 2'de de benzetim modeli verilen sistem oluşturulmuştur. Bu benzetim çalışmasına ŞEEA'nın şarj işlemi dahil edilmemiştir. Bu durumun temel sebebi ise benzetimin çok ayrıntılı çalışması ve buna bağlı olarak da benzetimin çok yavaş çalışmasıdır. Bu durumdan dolayı da evi şebekeden ayırarak bir adalama sistemi modellenmemiş ve benzetim çalışmasında kullanılmamıştır. Normal şartlar altında adalama işlemi, sistem güvenliği için çok önemlidir. Çünkü adalama işlemiyle tüketim merkezi ile şebeke ayrılmaktadır. Böylece ŞEEA'nın ürettiği elektrik enerjisi sadece tüketim merkezine enjekte edilmektedir. Bu sayede hem şebekeye elektrik tekrar geri geldiğinde ŞEEA etkilenmemektedir hem de şebekedeki arızayı gidermeyi çalışan görevliler bu çalışma durumu sebebiyle tehlike altında olmadan arızayı giderebilmektedirler.



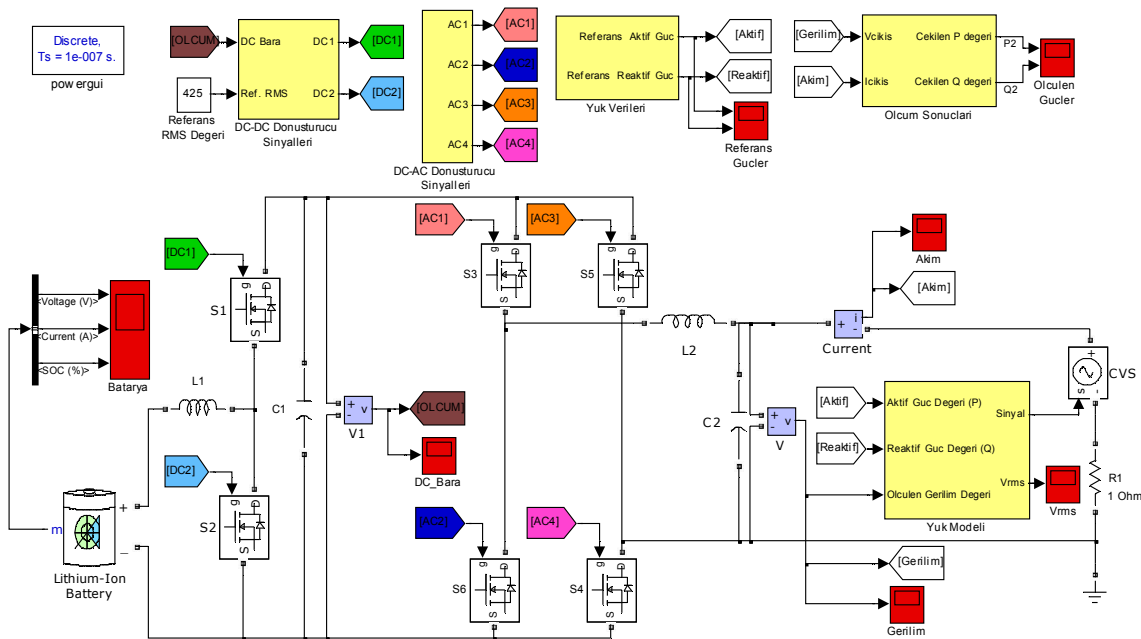
Şekil 1: Benzetim çalışmasına ait blok diyagramı

### 2.1. Benzetim Çalışmasının Oluşturulması ve Kontrolü

Hazırlanan benzetim çalışması 4 üniteden oluşmaktadır. Benzetim çalışmasında sürekli kontrol edilmesi gereken üç ünite bulunmaktadır.

İlk ünite, sürekli olarak kontrole ihtiyaç duymayan batarya ünitesidir. Bu çalışmada, Simulink kütüphanesi içerisinde yer alan bir batarya seçilmiştir. Bu bataryanın cinsi lityum-iyon olmakla beraber değerleri 240V, 10Ah (24kwh) ve bataryanın şarjlılık durumu (State of Charge - SoC) %100 olarak seçilmiştir.

İkinci ünite, benzetim çalışmasında tüketim merkezini modellememizi sağlayan yük ünitesidir. Bu yük ünitesi, bir



Şekil 2: Oluşturulan benzetim sistemi

kontrollü gerilim kaynağı, bir direnç ve kontrollü gerilim kaynağına sinyal gönderen bir kontrol bloğundan oluşmaktadır. Bu sistemin temel çalışma prensibi, yük ünitesinin kontrol bloğundan gelen sinyali kontrollü gerilim kaynağı referans almakta ve 1 ohm'luk direnç sayesinde güç talep etmektedir. Bu yük ünitesinin kontrol girişleri, aktif güç değeri (P), reaktif güç değeri (Q) ve yük uçlarındaki gerilimin ani değeridir (V). Bahsi geçen P ve Q değerleri benzetim çalışmasına dışarıdan girilmektedir. Bu güç değerleri, İstanbul'da bulunan üç katlı bir ofis binasından elde edilmiştir. Yük ünitesinin kontrol çıkışları ise, kontrollü gerilim kaynağı için üretilen sinyal ile yük uçlarındaki gerilimin rms ( $V_{rms}$ ) değeridir. Şekil 3'de kontrollü gerilim kaynağı için sinyalin nasıl üretildiği gösterilmiştir.

Şekil 3'de işlem sırasında ilk olarak, dışarıdan hazır alınan kW ve kVAr birimlerindeki güç değerleri W ve VAr birimlerine dönüştürülmektedir. Ardından önce tanφ ardından da φ açısı radyan biriminde hesaplanmaktadır. Bu φ açısıyla ilk olarak, güç faktörü olarak adlandırılan  $\cos\phi$  değeri hesaplanmaktadır. İkinci olarak, ileride oluşturulacak akım sinyali ile mevcut ölçülen gerilim sinyali arasında faz farkı oluşturmak için kullanılmaktadır. Ancak bahsi geçen faz farkını oluşturmak için φ açısı radyan biriminden saniye birimine dönüştürülmektedir. Daha sonra,  $P=V.I.\cos\phi$  formülü kullanılarak akımın rms değeri hesaplanmaktadır ardından da akımın tepe değeri hesaplanmaktadır. Bütün bu işlemlerin sonrasında, ölçülen gerilim sinyali baz alınarak tepe değeri 1 olan bir sinyal oluşturulmaktadır. Bu sinyal, hesaplanan akımın tepe değeri ile çarpılarak akım sinyali üretilmektedir. Üretilen akım sinyali ile mevcut gerilim sinyali arasında faz farkı bulunmamaktadır. Faz farkını oluşturmak için daha önce de bahsedilen φ açısının saniye cinsinden değeri kullanılmakta ve akım sinyali ötelenmektedir. Son olarak da, ölçülen gerilim sinyalinden ötelenmiş olan akım sinyali çıkarılmaktadır. Böylece, yük ünitesinin istenilen güçleri çekmesi için gerekli olan kontrol sinyali üretilmektedir.

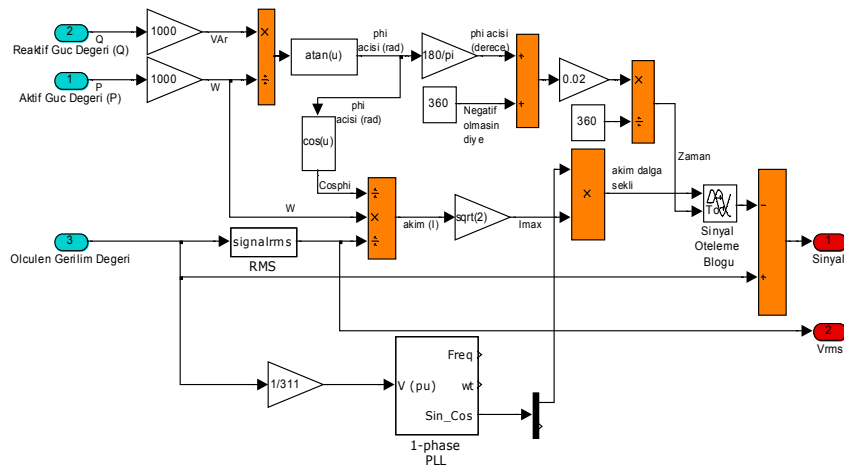
Üçüncü ünite, mevcut batarya gerilimini inverter girişi için uygun bir DC gerilim haline getiren DC-DC dönüştürücüdür. Bu DC-DC dönüştürücü hem bataryanın şarj işlemini hem de bataryanın deşarj işlemini gerçekleştireceğinden dolayı iki yönlü çalışması gerekmektedir. Bu çift yönlü DC-DC

dönüştürücü bu çalışmada bataryayı sadece deşarj edecek şekilde çalışmaktadır. Yani DC-DC dönüştürücü kontrolü, sadece yükseltici çalışma durumu için yapılmıştır. Bu durumun temel sebebi ise benzetimin çok ayrıntılı çalışması ve buna bağlı olarak da benzetimin çok yavaş çalışmasıdır.

DC-DC dönüştürücünün yükseltici şekilde çalışabilmesi için dönüştürücünün kontrol ünitesinde kullanılması gereken bilgiler ise, DC baradan ölçülen gerilim değeri ve DC bara referans gerilim değeridir. Bu dönüştürücüye ait kontrol ünitesi öncelikle DC-DC dönüştürücü çıkışındaki DC baranın geriliminin bilgisini alır. Ardından gerilim bilgisi ile referans gerilim bilgisini PI kontrolörde işler. DC bara referans gerilim değeri, yük ucundaki gerilimin şebeke gerilimine benzemesi için 425 V DC olarak seçilmiştir. Bu işlemden sonra, PI kontrolör çıkışından alınan sinyal bir testeri dışı sinyal ile karşılaştırılarak bir darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyali elde edilir. Daha sonra, S2 anahtarına elde edilen bu PWM sinyali gönderilirken S1 anahtarına 0 sinyali verilir. Ayrıca, bu dönüştürücü çift yönlü çalışabildiğinden, dönüştürücü durumunda çalıştırılarak şarj işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada DC-DC dönüştürücü gerilim kontrollü olarak yükseltici durumunda çalıştırılmıştır.

Dördüncü ve son ünite de, DC-DC dönüştürücü çıkışında bulunan DC bara gerilimini evsel yük için gerekli olan AC gerilime çeviren inverter ünitesidir. Bu ünite ayrıca inverter çıkında yer alan LC filtresini de kapsamaktadır.

Bahsi geçen inverterde sinüsoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) kontrolü uygulanmıştır. SPWM yöntemi sayesinde anahtarlama elemanları (IGBT, MOSFET) her periyot boyunca belirli bir oranlarda ilettime ve kesime geçirilmektedir. Sonuçta değişken genlikli sinüs işareti elde edilebilmektedir. SPWM ile anahtarlama elemanı üzerinde yalnızca anahtarlama anında kayıplar meydana gelmektedir. Aksi taktirde anahtarlama elemanının aktif bölgelerinde çalışarak çalışma anında yüksek kayıplar oluşmaktadır. İnverterde istenen frekansta SPWM sinüsoidal dalga elde etmek için, sinüsoidal bir kontrol işareti daha yüksek frekanslı bir üçgen dalga ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda, inverterin çapraz kolları için ihtiyaç duyulan PWM sinyalleri elde edilmektedir.



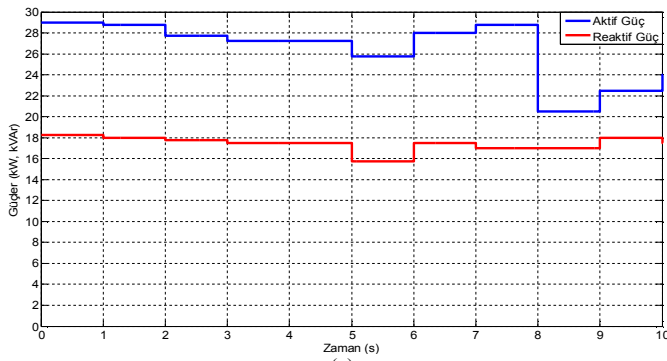
Şekil 3: Yük modeline ait kontrol bloğu

İnverterin çıkışındaki harmoniklerin filtrenmesi için LC pasif filtre yerleştirilmiştir. Bu L ve C değerleri benzetim ortamında denemeler sonucunda bulunmuş olup, sistem harmoniklerini minimum yapan değerlerdir. Bahsi geçen filtrede endüktansın değeri 0.03 mH ve kondansatörün değeri 100  $\mu$ F olarak seçilmiştir.

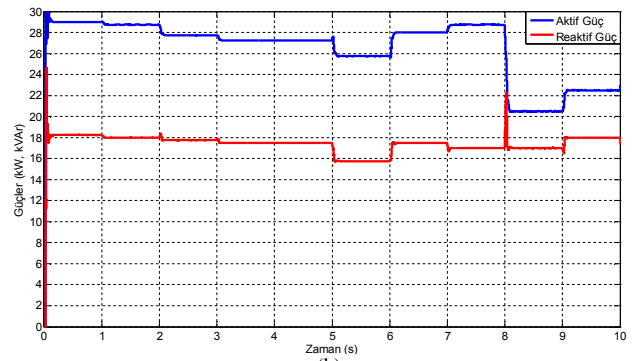
Benzetim çalışmasındaki sistemi oluşturan bütün alt sistemler teker teker hazırlandıktan sonra, bu alt sistemlerin birbiriyle bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, alt sistemlerin birbirleriyle uyum içinde çalışması sağlanıp sonuçlar elde edilmiştir.

### 3. Test Sonuçlarının Alınması ve Değerlendirilmesi

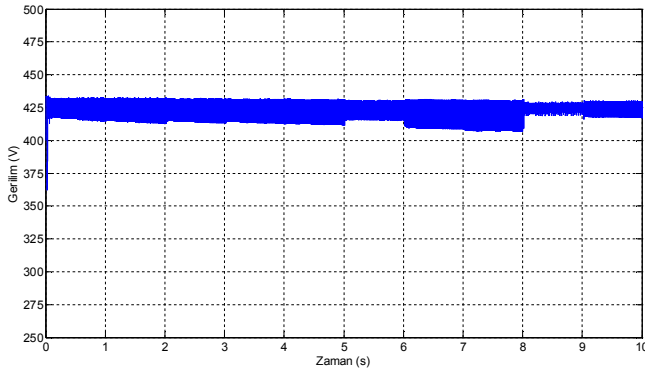
Benzetim çalışmasında kullanılan yük talebi İstanbul'da



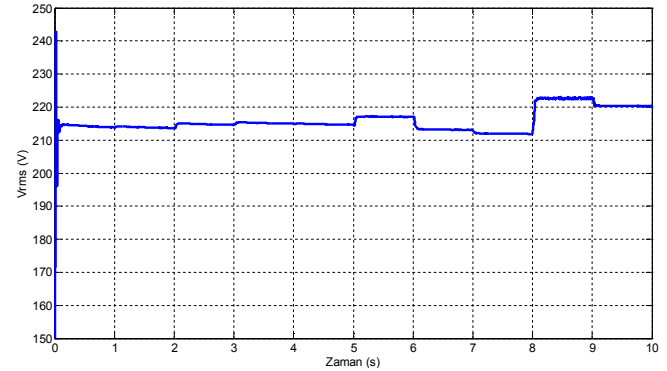
(a)



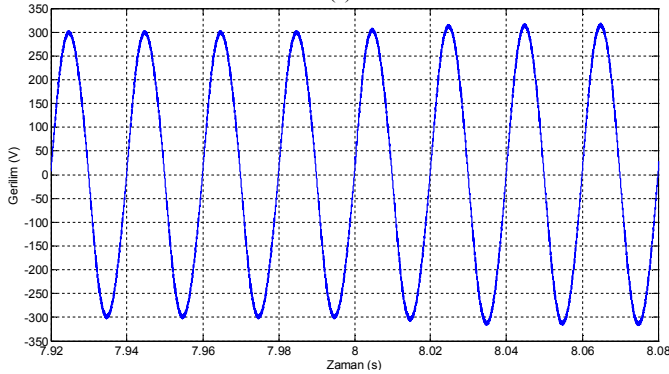
(b)



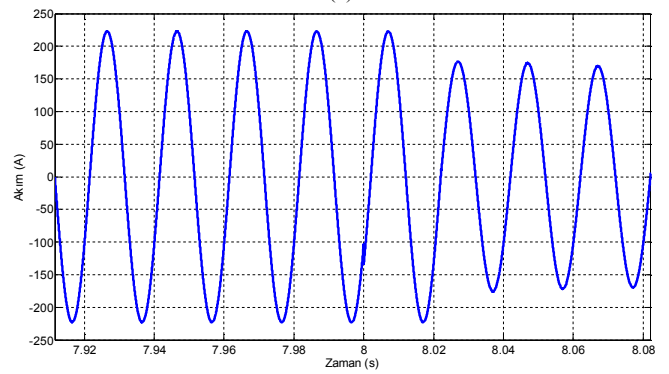
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4: (a) EA'dan talep edilen referans güç değerleri, (b) EA'dan çekilen güç değerleri, (c) DC bara geriliminin değişimi, (d) Yük ucu geriliminin rms değerinin değişimi, (e) Yük ucu ani gerilim değişimi, (f) Yük akımının değişimi

şeklinde olabilmesi için DC bara geriliminin referans olarak verilen değerde tutması önemlidir. DC bara geriliminin zamana göre değişimi Şekil 4 (c)'de verilmiştir. Görüldüğü üzere yükün talep ettiği güç değerleri maksimum olduğu zaman aralıklarında DC baradaki salınımlar fazladır. Yükün talep ettiği güç değerleri nispeten az olduğu zaman aralıklarında DC baradaki salınımlar da azalma göstermiştir. Hatta yükün talep ettiği gücün minimum olduğu 8 ile 9 saniye aralığında salınımlar çok azalmıştır.

Yük ucundaki gerilimin rms değerinin değişimi Şekil 4 (d)'de de verilmiştir. Güç dönüştürücüleri aracılığıyla bataryadan çekilen yüksek güç değerlerine rağmen, yük ucundaki gerilimin rms değeri 220 Vrms'e yakın değerlerde tutulmuştur. Yük ucundaki gerilimin rms değerinin 220 Vrms civarında tutulması ile gerilim regülasyonu sağlanmış ve bu regülasyonun DC-DC dönüştürücü ile yapılması sayesinde sistem harmoniklerinin az olması sağlanmıştır.

Son olarak, yük ucundaki gerilimin değişimi ile yükün çektiği akımın değişiminin düzgün olması, bütün sistemin başarılı bir şekilde çalıştığına gösterge olacaktır. Aktif yük değişiminin en fazla olduğu sekizinci saniye civarındaki aralıkta yük ucu gerilimin değişimi Şekil 4 (e)'de gösterilmiştir. Şekil 4 (f)'de de gerilim için seçilen zaman aralığında yükün çektiği akımın değişimi gösterilmiştir. Sekizinci saniyede yük değerlerinde değişim olduğunda sistem buna başarılı bir şekilde adapte olup çalışmasına devam etmektedir. Hem Şekil 4 (e)'de hem de Şekil 4 (f)'de sekizinci saniyede yük değerlerinde değişim olduğunda sistem buna başarılı bir şekilde adapte olup çalışmasına devam etmektedir.

Sonuçta, bütün grafiklerden elde edilen veriler ışığında, benzetim sistemini oluşturan bütün üniteler istenildiği gibi başarılı bir şekilde çalışmaktadır. Bu sonuçlar göstermiştir ki, ŞEEA'lar başarılı bir şekilde KGK olarak kullanılabilirlerdir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, benzetim ortamında bir test sistemi oluşturulmuş daha sonra da benzetim sonuçları elde edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar, bu çalışma durumunun pratik olarak da gerçekleştirilebilirliğini göstermiştir. Böylece, hem kesintisiz bir elektrik enerjisi için bir alternatif daha ortaya çıkmıştır hem de elektrik enerjisinin ücretlendirmesinin gün içinde farklı olması halinde de tüketici için bir avantaj daha ortaya çıkabilecektir. Böyle bir durumda, öncelikle tüketici aracını elektrik enerjisinin birim fiyatının düşük olduğu zamanlarda şarj edecektir. Daha sonra da, elektrik enerjisinin birim fiyatının yüksek olduğu zaman diliminde de evsel yükünü şebekeden ayırarak aracın evsel yükü beslemesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca, acil durum afet gibi durumlarda da bu çalışma durumu kullanılabilir olacaktır.

Sonuçta, EA'lar günümüzde Ar&Ge çalışmaları yapılan güncel konu başlıkları içermektedir. Bu konular üzerinde ülkemizde de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu güncel konular üzerinde dünya ile aynı anda araştırmalar yapılması çok önemlidir. Çünkü bu konular üzerinde zamanında ve yeterince ilgi gösterilmezse, ülkemizin bu konularda da dışa bağımlı hale gelmesi söz konusu olacaktır. Bu yüzden

ülkemizde yapılan bu çalışmaları yeterli görmemeli, bu konular üzerindeki çalışmalara hız verilmelidir.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Boulanger, A.G., Chu, A.C., Maxx, S., Waltz, D.L., "Vehicle Electrification: Status and Issues", Proceedings of the IEEE, 99(6):1116 -1138, (2011).
- [2] Hajian, M., Zareipour, H., Rosehart, W.D., "Environmental benefits of plug-in hybrid electric vehicles: The case of Alberta", Power & Energy Society General Meeting, 26-30 July 2009, Calgary, AB, (2009).
- [3] Foley, A.M., Leahy, P.G., McKeogh, E.J., Gallachóir, B.P.O., "Electric vehicles and displaced gaseous emissions", Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 1-3 Eylül 2010.
- [4] Skerlos, S. J., Winebrake, J. J., "Targeting plug-in hybrid electric vehicle policies to increase social benefits", Energy Policy, 38:705-708, (2010).
- [5] Ertaç, Y., "Elektrikli Taşıtların Tasarımı ve Simülasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2008).
- [6] Thomas, C. E. S., "Transportation options in a carbon-constrained world: Hybrids, plug-in hybrids, biofuels, fuel cell electric vehicles, and battery electric vehicles", International Journal of Hydrogen Energy, 34:9279-9296, (2009).
- [7] Smith, W. J., "Plug-in hybrid electric vehicles - A low-carbon solution for Ireland ?", Energy Policy, 38:1485-1499, (2010).
- [8] Galus, M. D., Zima, M., Andersson, G., "On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures", Energy Policy, 38:6736-6745, (2010).
- [9] Liu, R., Dow, L., Liu, E., "A Survey of PEV Impacts on Electric Utilities", Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), (2011).
- [10] Sioshansi, R., Fagiani, R., Marano, V., "Cost and emissions impacts of plug-in hybrid vehicles on the Ohio power system", Energy Policy, 38:6703-6712, (2010).
- [11] Pieltain Fernández, L., Gómez San Román, T., Cossent, R., Domingo, C.M., Frías, P., "Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks, Power Systems", IEEE Transactions on , 26(1):206 - 213, (2011).
- [12] Yiyun, T., Can, L., Lin, C., Lin, L., "Research on Vehicle-to-Grid Technology", Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM), 2011.
- [13] Rocky Mountain Institute, Smart Garage, [http://move.rmi.org/files/smartgarage/PreRead\\_v2\\_Core-1.pdf](http://move.rmi.org/files/smartgarage/PreRead_v2_Core-1.pdf), 6 Temmuz 2011.