

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BATARYA ŞARJINDA KULLANILAN GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTMELİ KLASİK VE INTERLEAVED YÜKSELTİCİ TÜRÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Naim Süleyman TING¹, İsmail AKSOY¹, Yakup ŞAHİN¹

¹Elektrik Elektronik Fakültesi – Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
nsting@yildiz.edu.tr, iaksoy@yildiz.edu.tr, ysahin@yildiz.edu.tr

Özet

Fosil kaynaklı yakıtların gittikçe tükeniyor olması enerji tüketiminin yanı sıra araç yakıtı konusunda da bir tedirginlik oluşturmaktadır. Bu sebeple yakın geleceğin en önemli teknolojik gelişmelerinden biri olan elektrikli araçlar mutlak bir çözüm unsurudur. Özellikle içten yanmalı motorlu (İYM) taşıtlara göre çevresel kirliliğin de azaltılmasına katkıda bulunan bu araçların batarya şarjı konusunda önemli çalışmalar yapılmaktadır. Elektrikli araç batarya şarjında, şebekeden çekilen akım ve gerilimin harmonik içeriğinin azaltılması ve yüksek güç kalitesi elde etmek amacıyla güç faktörü düzeltmeli yükseltici dönüştürücüler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada batarya şarjında yaygın olarak kullanılan iki tip dönüştürücü olan klasik yükseltici ve interleaved yükseltici dönüştürücülerin güç faktörü düzeltme (PFC) simülasyonu PSIM 9.1.1 programında yapılmış ve bu iki dönüştürücü giriş akım dalgalanması, çıkış gerilim dalgalanması, güç faktörü (PF), toplam harmonik distorsiyonu (THD), maliyet ve verim açısından simülasyon sonuçları ile kıyaslanmıştır. Simülasyon çalışması 4 kW ve 40 kHz prototip için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre interleaved yükseltici türü PFC'li dönüştürücü klasik yükselticiye göre oldukça verimli ve uygun sonuçlar vermektedir.

Anahtar Kelimeler – Elektrikli araçlar, Güç faktörü düzeltme, Batarya şarjı, Yükseltici türü dönüştürücü

1. Giriş

Günümüzde yaygın olan içten yanmalı motorlu araçlara göre daha eski bir tarihsel geçmişi olan elektrikli araçlar, uzun şarj süreleri ve düşük performanları nedeniyle o tarihlerde gelişme gösterememiş ve üzerinde yoğun çalışmalar yapılmamıştır[1]. Ancak alternatif enerji kaynaklarının popüler olduğu bu dönemlerde fosil kaynaklı yakıtların giderek tükenmesi, içten yanmalı motorların atmosfere yaydığı zararlı gazlar ve çevre kirliliğinin azaltılmasına yönelik yapılan yasal düzenlemeler elektrikli araçlara tekrardan bir ilgi uyandırmıştır.

Elektrikli araç (EA) teknolojisi tümü-EA'lar, hibrid-EA'lar ve yakıt pilli-EA'lar olmak üzere üç farklı şekilde gelişmektedir. Bu üç teknolojik gelişmenin ortak noktası araç sisteminde kullanılan ve elektrik enerjisinin kimyasal olarak depolanmasını sağlayan bataryalardır. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların yüksek güç yoğunluğuna, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasının yanı sıra hızlı şarj edilebilmesi ve uzun ömre sahip olması istenir[2].

Batarya sistemi elektrikli araçlarda önemli bir etkidir. Elektrikli araçların menzilleri batarya kapasiteleri ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla daha yüksek enerji kapasiteli bataryalara olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu gelişmeler, gerekli altyapıya uygun şarj cihazlarının gelişimini de beraberinde getirmektedir. Günümüzde elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan şarj cihazları

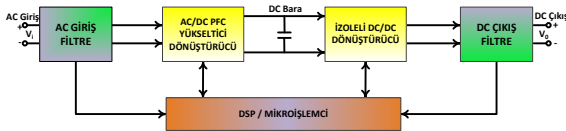
ferrorezonanslı şarj cihazları, Tristör (SCR) şarj cihazları ve anahtarlama şarj cihazlarıdır [3].

Uygun şarj cihazı teknolojisi seçimi, batarya gereksinimlerine ve uygulama ihtiyaçlarına bağlıdır. Ferrorezonans ve SCR tip şarj cihazları sağlam ve güvenilir olup yıllardır varlıklarını sürdürmektedirler. Ancak anahtarlama tip şarj cihazları yüksek verimli, hafif, düşük hacimli, sessiz, değişimlere hızlı tepki verebilme gibi özelliklerinden dolayı ferrorezonanslı ve SCR tip şarj cihazlarına göre daha iyidir [3].

2. Anahtarlama Şarj Cihazları

Anahtarlama batarya şarj cihazı veya bir başka isimle akü şarj modülü, tam kontrollü yarı iletken güç anahtarlarıyla gerçekleştirilen bir AC-DC / DC-DC dönüştürücüdür. Oldukça yüksek frekanslarda çalıştırılabilen bu dönüştürücülerde MOSFET ve IGBT'lerin iletim ve kesime girmeleri kontrol edilebildiğinden bu şarj cihazlarının cevap süreleri çok kısadır [3].

Şekil 1'de tipik bir anahtarlama şarj cihazı yapısı verilmiştir. Cihaz girişinde bir AC filtre bulunmaktadır. AC filtre çıkışı köprü diyotlar ile doğrultularak doğrultucu çıkışında yükseltici bir DC-DC dönüştürücü ile DC bara gerilimi elde edilir. Şekilde bu işlemi yapan kısım AC/DC PFC yükseltici dönüştürücü bloğu olarak gösterilmiştir. DC bara gerilimi de izoleli bir DC-DC dönüştürücü ile regüle edilerek çıkışa aktarılır. Çıkışta elde edilen DC gerilim ayarlanıp filtre edilerek batarya şarj edilir.



Şekil 1. Tipik bir anahtarlama şarj cihazı iç yapısı

Anahtarlama şarj cihazlarında şebekeden alınan AC gerilim doğrultup DC-DC yükseltici dönüştürücüyle PFC işlemi yapan dönüştürücünün içerisinde farklı dönüştürücü tipleri

kullanılmaktadır. Bunlar klasik DC-DC yükseltici dönüştürücü, interleaved DC-DC yükseltici dönüştürücü ve köprüsüz yükseltici DC-DC dönüştürücü olmak üzere üçe ayrılır. Bu çalışmada bu dönüştürücülerden klasik ve interleaved yapıda olan DC-DC dönüştürücülerin PFC işlemi yapılarak çalıştırılması incelenmiş, avantaj ve dezavantajları simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

3. Güç Faktörü Düzeltme (PFC)

EA'ların piyasaya çıkmasıyla mali ve çevresel problemler azalmaya başlayacaktır. Ancak EA'ların ulaşım piyasasında büyük bir yüzdeye sahip olmasıyla beraber, EA'ların şebeke üzerine bazı olumsuz etkiler yapması muhtemeldir. Elektrikli araç bataryalarının şarj işlemi öncelikle bir diyot köprüsü ile AC gerilimin DC gerilime dönüştürülmesi sağlanır. Daha sonra elde edilen DC gerilim bir DC - DC yükseltici dönüştürücü ile aracın bataryalarını şarj etmekte kullanılır. Bu işlemlerin her aşamasında harmonik bileşenler üretilmektedir.

İnverter ve batarya şarj cihazları gibi lineer olmayan üniteler içeren yüklerin yayılması elektrik dağıtım sistemleri üzerinde gerilim bozulmalarına ve akım harmonik distorsiyonunda önemli bir artışa neden olmaktadır. Bu harmonikler, aşırı nötr akımlarına ve transformatörlerin aşırı ısınması dahil olmak üzere güç sistemi üzerinde birçok probleme neden olabilir [2]. Şebekeyi olumsuz etkileyen bu harmonikleri azaltmak ve güç faktörü katsayısını artırmak için batarya şarjında güç faktörü düzeltmeli ACDC dönüştürücüler kullanılmaktadır.

Güç faktörünün düzeltilmesi veya iyileştirilmesi için, yük ve uygulama türüne bağlı olarak, pasif ve aktif yöntemler kullanılmaktadır. Her iki yöntemin de avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Pasif yöntemlerde, prensip olarak giriş akımını düzeltmek için doğrultucu giriş veya çıkışına bobin ve kondansatörler bağlanır. Basit bir yapıya sahip

bu sistemde şebeke frekanslı bobin ve kondansatörlerin kullanılması nedeniyle oldukça hantaldır. Ayrıca, bu sistemde güç faktörü oldukça düşüktür ve kontrolü olmayan çıkış geriliminde büyük dalgalanmalar olmaktadır [4].

Son yıllarda üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı aktif yöntem de ise genellikle bir doğrultucu çıkışına bir yükseltici tür DC-DC dönüştürücü bağlanarak, akım sinüs formuna yaklaştırılmaya ve çıkış gerilimi regüle edilmeye çalışılır. Çıkış geriliminin regülasyonu için ayrı bir devre de kullanılabilir [5].

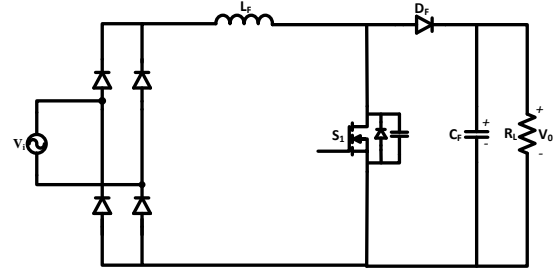
Enerji şekillendirme veya güç işleme açısından PFC devreleri tek ve iki aşamalı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu çalışmada tek aşamalı bir PFC devresi üzerinden batarya şarj edilerek şebekeden çekilen akımın harmoniklerinin azaltılması ve güç faktörünün iyileştirilmesi sağlanmıştır. Bu işlemler hem klasik yükseltici hem de interleaved yükseltici DC-DC dönüştürücülerle yapılarak iki dönüştürücünün birbirine göre avantaj ve dezavantajları simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

4. Klasik ve Interleaved PFC Yükseltici Türü Dönüştürücüler

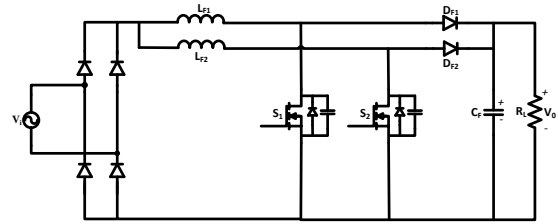
Şekil 2’de gösterilen klasik yükseltici AC-DC dönüştürücü devresinde temel olarak giriş uygulanan gerilim diyot köprüsü ile doğrultulur ve doğrultulmuş gerilim yükseltilecek çıkışa aktarılır. Özellikle PFC uygulamalarında yaygın olarak bu dönüştürücüler genellikle sürekli iletim modunda çalıştırılır.

Şekil 3’te gösterilen dönüştürücü ise interleaved yükseltici AC-DC dönüştürücü devresidir. Özellikle yüksek güçlü uygulamalarda, devre elemanları üzerindeki yüksek akım stresini azaltmak ve daha küçük boyutlu devre elemanları kullanabilmek için, tek bir yükseltici dönüştürücü yerine aynı güç için daha düşük güçte yükseltici dönüştürücülerin

paralel çalıştırılması (Interleaved yapısı) önerilmiştir[6].



Şekil 2. Klasik Yükseltici Türü AC-DC Dönüştürücü



Şekil 3. Interleaved Yükseltici Türü AC-DC Dönüştürücü

Interleaved yükseltici dönüştürücülerin klasik yükseltici dönüştürücülere göre avantaj ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

Avantajları:

- Daha düşük giriş akım ve çıkış gerilim dalgalanması,
- Daha küçük boyutlarda filtreleme elemanları
- Verilen bir giriş ya da yük akımı için daha düşük iletim kayıpları dolayısıyla daha yüksek verim
- Küçük filtre elemanlarının sonucu olarak daha iyi geçici tepki
- Tepe akımlarının azalmasına bağlı olarak daha düşük seviyede EMI yayılımı
- Klasik tek kademeli yükseltici dönüştürücülerden farklı olarak ihtiyaca göre farklı güç kademelerinde çalışabilirlik

Dezavantajları:

- Daha karmaşık kontrol yapısı
- Daha fazla sayıda eleman kullanılması
- Daha fazla sayıda anahtarlama ve sürme devresi gerekliliği [7]

5. Simülasyon Çalışması

Bu çalışmada elektrikli araçların batarya şarjında kullanılan klasik ve interleaved yükseltici türü DC-DC dönüştürücülerin PFC simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları ile klasik ve interleaved yükseltici türü dönüştürücüler güç faktörü (PF), toplam harmonik distorsiyonu (THD), çıkış gerilim dalgalanması, giriş akım dalgalanması ve maliyet açısından kıyaslanmıştır. Simülasyon çalışması PSIM 9.1.1 programında yapılmıştır. 4 kW güç ve 50 kHz frekansında çalıştırılan dönüştürücülerde kullanılan eleman değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Simülasyon Parametreleri

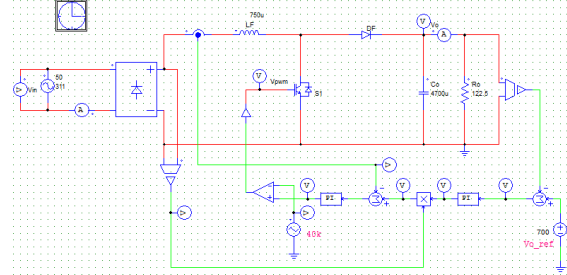
Dönüştürücü Tipi	Klasik Yükseltici Dönüştürücü	Interleaved Yükseltici Dönüştürücü
Güç (P_0)	4 kW	4 kW
Giriş Gerilimi (V_i)	220 Vac	220 Vac
Çıkış Gerilimi (V_0)	700 Vdc	700 Vdc
Frekans (f_p)	40 kHz	40 kHz
Kondansatör (C_0)	4700 μ F	4700 μ F
Endüktans (L_F)	750 μ H	750 μ H

Elektrikli araç şarj istasyonu tipleri üç seviyeye ayrılır. Bunlarla ilgili detaylı bilgi [3]'de verilmiştir. Bu çalışmadan yola çıkılarak yukarıdaki tablodaki gerilim ve güç değerleri belirlenmiştir. Ayrıca bu tür devrelerde kondansatör değeri watt başına 1-2 nF seçilebilir [8]. Yine bu çalışmadaki ana endüktans hesabı da [8]'deki çalışmada verilen denklemlerden hesaplanmıştır.

Burada anahtarlama sinyallerinin elde edilmesinde kontrol yöntemi olarak giriş akımının kolay filtrelenebilmesi ve düşük harmonikli sinüzoidal bir akım çekilebilmesi için sabit anahtarlama frekanslı PWM tercih edilmiştir. Ayrıca PFC işlemi tek aşamalı olarak ve ortalama akım modlu kontrol yöntemi mantığıyla gerçekleştirilmiştir.

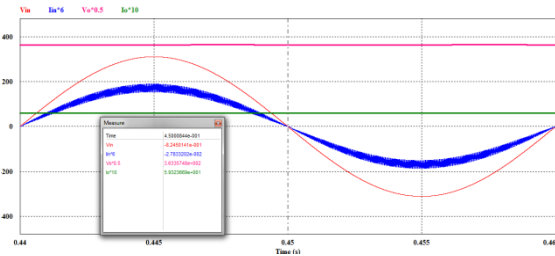
Şekil 4'te klasik yükseltici türü dönüştürücü ile gerçekleştirilen ortalama akım modlu kontrollü ve

tek aşamalı PFC devresinin simülasyon şematığı verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi girişteki AC gerilim doğrultulduktan sonra giriş akım ve gerilimi ile çıkış gerilimi arasında oluşturulan bir kontrol algoritması ile PFC'li yükseltici dönüştürücü çalışma sağlanmıştır.



Şekil 4. Klasik Yükseltici Dönüştürücü PFC Simülasyonu

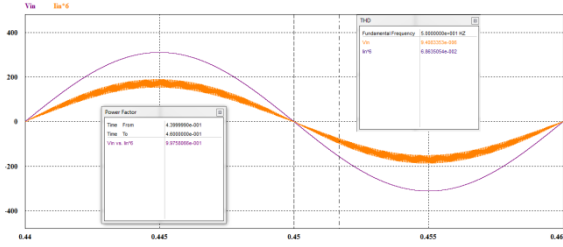
Şekil 4'teki devrenin çalıştırılmasıyla elde edilen giriş ve çıkışın akım - gerilimlerine ait simülasyon sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Şekilde sonuçların daha rahat görülebilmesi için giriş akımı 6 kat, çıkış akımı ise 10 kat büyük ölçeklenmiştir. Ayrıca çıkış gerilimi 0.5 kat küçük ölçeklendirilmiştir. Sol alttaki küçük pencerede ise giriş ve çıkış akım - gerilimlerinin efektif değerleri görülmektedir. Buna göre yaklaşık, giriş gerilimi 220 V, çıkış gerilimi 726.7 V, giriş akımı 20.1 A, çıkış akımı 5.9 A olarak ölçülmüştür. Elde edilen simülasyon sonucundan giriş akım dalgalanması 5.912 A, çıkış gerilim dalgalanması ise 4.58 V olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. Klasik Yükseltici PFC Dönüştürücünün Giriş ve Çıkış Akım-Gerilim Dalga Şekilleri

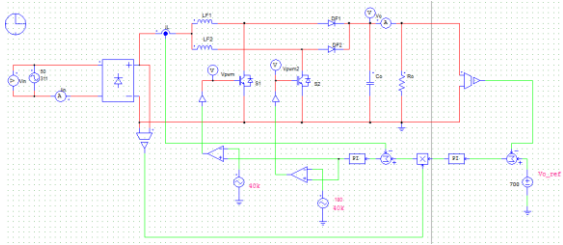
Ayrıca bu dönüştürücü için giriş akım ve giriş gerilimine ait bir periyot simülasyon sonucuna bakılarak PSIM programında güç faktörü ve THD ölçümü mümkün olmaktadır. Şekil 6'da bir

periyotta girişten okunan akım ve gerilime bağlı güç faktörü $PF = \% 99.7$ olarak elde edilmiştir. Tek fazlı şebekeden çekilen giriş akımının akımın değişiminden elde edilen THD değeri ise $\% 6.86$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. Klasik Yükseltici PFC Dönüştürücünün Giriş ve Çıkış Akım-Gerilim Dalga Şekilleri ile PF ve THD Değerleri

Şekil 7’de interleaved yükseltici türü dönüştürücü ile gerçekleştirilen PFC devresinin simülasyon şematığı verilmiştir. Bu devre klasik yükseltici PFC devresinden farklı olarak bir anahtar, bir endüktans, bir diyot ile anahtar için ilave PWM sinyali gerektirir. Burada da yine ortalama akım modlu tek aşamalı bir PFC kontrolü yapılmıştır.

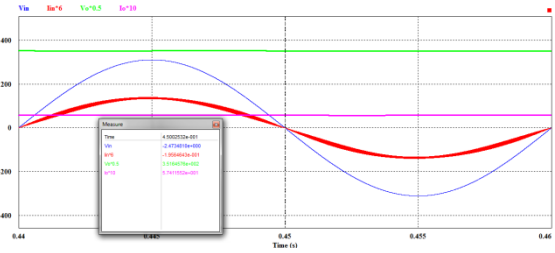


Şekil 7. Interleaved Yükseltici Dönüştürücü PFC Simülasyonu

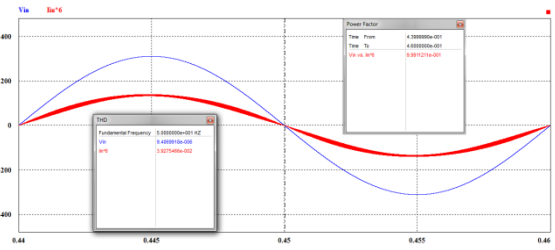
Şekil 8’deki devrenin çalıştırılmasıyla elde edilen giriş ve çıkış akım - gerilimlerine ait simülasyon sonuçları Şekil 8’de verilmiştir. Şekilde sonuçların daha rahat görülebilmesi için giriş akımı 6 kat, çıkış akımı ise 10 kat büyük ölçeklenmiştir. Ayrıca çıkış gerilimi 0.5 kat küçük ölçeklendirilmiştir. Sol alttaki küçük pencerede ise giriş ve çıkış akım – gerilimlerinin efektif değerleri görülmektedir. Buna göre yaklaşık, giriş gerilimi 220 V, çıkış gerilimi 703.4 V, giriş akımı 16.1 A, çıkış akımı 5.7 A olarak ölçülmüştür. Elde edilen simülasyon sonucundan giriş akım dalgalanması

3.165 A, çıkış gerilim dalgalanması ise 4.21 V olarak ölçülmüştür.

Şekil 9’da ise bir periyotta girişten okunan akım ve gerilime bağlı güç faktörü $PF=\% 99.9$ olarak elde edilmiştir. Tek fazlı şebekeden çekilen giriş akımının akımın değişiminden elde edilen THD değeri ise $\% 3.92$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 8. Interleaved Yükseltici PFC Dönüştürücünün Giriş ve Çıkış Akım-Gerilim Dalga Şekilleri



Şekil 9. Interleaved Yükseltici PFC Dönüştürücünün Giriş ve Çıkış Akım-Gerilim Dalga Şekilleri ile PF ve THD Değerleri

Simülasyon sonuçlarından elde edilen değerler Tablo.2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere Interleaved dönüştürücüler klasik yükseltici dönüştürücülere göre güç faktörü, THD, giriş akım dalgalanması, çıkış gerilim dalgalanması bakımından daha üstün davranışlar sergilemekte ve böylece daha yüksek verimde çalışmaktadır. Interleaved yapının tek dezavantajı ise eleman sayısı fazlalığından dolayı oluşan maliyettir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada elektrikli araçlarda batarya şarjında kullanılan anahtarlamalı şarj cihazları için klasik yükseltici ve interleaved yükseltici DC-DC dönüştürücülerin güç faktörü düzeltmeli devresi simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonuçları ile

klasik ve interleaved PFC'li dönüştürücüler güç faktörü, toplam harmonik distorsiyonu, giriş akım dalgalanması ve çıkış gerilim dalgalanması ile maliyet açısından kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonuçları simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

Klasik ve interleaved yükseltici devreleri, 4 kW çıkış gücünde ve 40 kHz anahtarlama frekansında çalıştırılmıştır. Klasik yükseltici ve interleaved yükseltici dönüştürücülerin PFC simülasyonu ile elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. *Klasik ve Interleaved PFC'li Yükselticilerin Karşılaştırılması*

Dönüştürücü Tipi	Klasik Yükseltici Dönüştürücü	Interleaved Yükseltici Dönüştürücü
Güç Faktörü (PF)	% 99.75	% 99.91
THD	% 6.86	% 3.92
Çıkış Gerilim Dalgalanması	4.58 V (Daha Fazla)	4.21 V (Daha Az)
Giriş Akım Dalgalanması	5.912 A (Daha Fazla)	3.165 A (Daha Az)
Verim	Daha Az	Daha Fazla
Eleman Sayısı(Maliyet)	Daha Az	Daha Fazla

Simülasyon sonuçlarına göre, interleaved yükseltici dönüştürücü daha yüksek bir güç faktörüne sahip olup daha verimli sonuçlar vermektedir.

Elektrikli araçların şarjında şebekeden alınan akım ve gerilim harmonik içeriğinin mümkün mertebe az olması ve şebeke bozulmalarının önüne geçilmesi istenmektedir. Bu sebeple yükseltici topolojileri arasında batarya şarjına yönelik verimli bir sistem olarak interleaved yükseltici daha iyi performans sergilemiştir. Ayrıca girişten çekilen güç kalitesi açısından da interleaved yükseltici dönüştürücü yapısı oldukça avantaj sağlamaktadır. Bu bakımdan günümüzde gelişmekte olan elektrikli araç batarya şarj cihazlarında klasik yükseltici yapı yerine interleaved yükseltici türü dönüştürücünün

kullanılması hem şebeke tarafı hem de batarya tarafında elde edilen güç kalitesi ve verim bakımından son derece önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Nor, J.K., "Art of Charging Electric Vehicle Batteries", *WESCON/93. Conf. Rec.*, San Francisco, CA, pp. 521-525, 1993
- [2] Satılmış, O., Mese, E., "Elektrikli ve Hibrid Elektrikli Araçlar İçin Batarya Şarj Cihazı", *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, pp. 137-142, 2011
- [3] Sen, G., Boynuegri, A.R., Uzunoglu, M., "Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Araçların Şebekeyle Bağlantısında Karşılaşılan Problemlere Yönelik Çözüm Önerileri", *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, pp. 357-362, 2011
- [4] C. Qiao, K.M. Smedley, "A Topology Survey of Single-Stage Power Factor Corrector with A Boost Type Input-Current-Shaper", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol.16, no.3, pp.360-368, 2001.
- [5] O.Garcia, J.A. Cobos, R. Prieto, P.Alou, J.Uceda, "Power Factor Correction: A survey", *Power Electronics Specialists Conference (PESC)*, Canada, vol.1, pp.8-13, 2001.
- [6] Çoruh, N. 2013. "Yumuşak Anahtarlama Sarmışık Tip DA-DA Dönüştürücü Tasarım ve Uygulaması", *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*.
- [7] Battal, F. 2011. "dsPIC Tabanlı Interleaved Dönüştürücü", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- [8] Akın, B., "Elektrikli Arabalarda Kullanılan Li-ion Akülerin Tek Fazdan Hızlı ve Verimli Şarjı İçin Güç Faktörü Düzeltmeli Yükselticilerin karşılaştırması", *Emo Bilimsel Dergi*, 2(4), pp.- 87-93