

ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN GÜÇ YÖNETİMİ VE ŞEBEKE BAĞLANTISI

IV

İstanbul Sanayi Odası - Yıldız Teknik Üniversitesi
Doktora / Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi



"52. Grup Kara Taşıtları ve Yan Sanayii Meslek Komitesi"
adına desteklenmiştir.



İSTANBUL
SANAYİ ODASI

ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN GÜÇ YÖNETİMİ VE ŞEBEKE BAĞLANTISI

IV

İstanbul Sanayi Odası - Yıldız Teknik Üniversitesi
Doktora / Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi

Elektrik Tesisleri Programında Hazırlanan Doktora Tezi

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU
FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Hazırlayan
Ali Rifat BOYNUEĞRİ
FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

ISBN: 978-605-137-289-1 (BASILI)
ISBN: 978-605-137-290-7 (ELEKTRONİK)
İSO Yayın No: 2013/7
Sertifika No:19176

Elektrikli Taşıtların Güç Yönetimi ve Şebeke Bağlantısı
Kısaltılmış Doktora Tezi,
İstanbul Sanayi Odası, İstanbul

Grafik Tasarım ve Uygulama:
Mürettebat Reklamcılık ve İletişim Hizmetleri Ltd. Şti.
Badem11, Villa16, Bahçeşehir 34538 İstanbul
Tel: (0212) 608 06 08
www.murettebat.com.tr

Basım:
Ada Ofset Matbaacılık Tek. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.
Litrosyolu 2. Matbacılar Sitesi
E Blok No: (ZE2) 1. Kat Topkapı - İstanbul
Tel: (0212) 567 12 42

Tüm Hakları Saklıdır. Bu yayındaki bilgiler ancak kaynak gösterilmek suretiyle kullanılabilir.

Bu alışma; İstanbul Sanayi Odası ile Yıldız Teknik Üniversitesi arasında, sanayi-üniversite işbirliğinin geliştirilmesi ve akademik çalışmaların ekonomik kalkınmaya katkısının artırılması amacıyla başlatılan "ISO-YTÜ Doktora / Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği" projesi kapsamında yayınlanmıştır.

Üniversitede doktora ve yüksek lisans tezlerini yürüten araştırmacıların desteklendiği proje ile üniversite ve sanayinin gündemini buluşturarak, ticari ürüne dönüştürülen bilimsel araştırma ve patent sayısının artmasına, küresel rekabet gücümüzün gelişmesine katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

Proje kapsamında, üniversitede hali hazırda yürütölen doktora/yüksek lisans tez/tezleri arasından uygun bulunanlar ile Meslek Komitelerimizin sektörel ihtiyaçları doğrultusunda belirlediği konulardaki akademik çalışmalara destek verilmektedir.

İstanbul Sanayi Odası 52. Grup Kara Taşıtları Ve Yan Sanayii Meslek Komitesi adına desteklenen bu çalışmanın sanayinin ihtiyaçlarına yanıt verecek şekilde hayata geçirilmesine yönelik katkılarından dolayı Tez Değerlendirme Komitesi üyelerimiz olan;

Ömer İltan Bilgin (Pimsa Otomotiv)

Haydar Yenigün (Ford Otomotiv)

Celal Kaya (Kale Oto Radyatör)

Selçuk Öncer (TOFAŞ)

Hasan Cenk Doğru'ya (Delphi Automotive) teşekkür ediyoruz.

Başta araştırmacı olmak üzere, araştırmacıya danışmanlık yapan öğretim üyesi ve Değerlendirme Komitesi'nin katkılarıyla oluşturulan ve sanayi-üniversite işbirliğinin işlevsel ve somut bir çıktısı olan bu çalışmanın sektöre fayda sağlamasını ümit ediyoruz.

Saygılarımızla,

İstanbul Sanayi Odası

ÖNSÖZ	7
KISALTMA LİSTESİ	8
ŞEKİL LİSTESİ	9
ÇİZELGE LİSTESİ	13
ÖZET	15
ABSTRACT	17
BÖLÜM 1	19
GİRİŞ	19
1.1. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Şarj Yöntemleri	20
1.2. Araçların Dağıtım Sistemlerine Etkileri	22
1.2.1. Faz Dengesizliği	23
1.2.2. Güç Kalitesi Sorunları	23
1.2.3. Transformatörler Üzerindeki Etkileri	23
1.3. Dünya Üzerinde Elektrikli Araçlar ve Şarj İstasyonları	25
BÖLÜM 2	27
SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	27
2.1. Batarya Akımının ve DC Bara Geriliminin Kontrolü	27
2.1.1. Bataryanın doğrudan DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu durum	27
2.1.2. Bataryanın gerilim kontrollü bir DC/DC dönüştürücü üzerinden DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu durum	32
2.1.3. Bataryanın akım-gerilim kontrollü bir DC/DC dönüştürücü üzerinden DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu durum	38
2.2. Şebeke ile Bağlantı Simülasyonları	44
2.2.1. Bataryanın doğrultucu ile şarjı	44
2.2.2. Bataryanın önerilen sistem ile şarjı	48
2.3. Üç Fazlı Modelleme	52

BÖLÜM 3	55
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	55
3.1. Şebeke Bağlantı Testleri	56
3.1.1. Batarya Şarj Durumu	58
3.1.2. Endüktif çalışma durumu	59
3.1.3. Batarya deşarj durumu	62
3.1.4. Kapasitif çalışma durumu	64
3.2. KGK Çalışma Modu	66
3.2.1. Test Platformunda Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	66
3.2.1.1. Batarya Grubu	66
3.2.1.2. İnverter Ünitesi	67
3.2.1.3. Akım ve Gerilim Ölçüm Ünitesi	68
3.2.1.4. Yük Ünitesi	68
3.2.1.5. Adalama Ünitesi	68
3.2.1.6. dSPACE Kontrol Ünitesi	69
3.2.1.7. Ölü Zaman Oluşturma Ünitesi	70
3.2.2. Test Platformunun Kurulması ve Testlerinin Yapılması	71
3.2.3. Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları	73
3.3. Reaktif Güç Kompanzasyonu Çalışma Modu	78
3.3.1. Kontrol Algoritması	79
3.3.2. Testler ve Sonuçları	81
3.3.2.1. Yüksüz durum	81
3.3.2.2. I.Yük Grubu ile	83
3.3.2.3. II.Yük Grubu ile	86
3.3.2.4. III.Yük Grubu ile	88
SONUÇLAR	93
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	101

Uzun yıllar boyunca bana akademik hayatımda yön gösteren, yol ayrımlarında doğru tercihleri yapmamda destek sağlayan, bilimsel konularda beni yönlendiren aynı zamanda da manevi desteğini de benden esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU'na

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen ve beni bugünlere getiren aileme;

Tez konusunda sanayicinin görüşünü, faydalı yorumlarını ve manevi desteklerini benden esirgemeyen İSO 52. Grup Kara Taşıtları ve Yan Sanayii Meslek Komitesi üyelerine;

Tezime destek sağlayan İstanbul Sanayi Odası'na teşekkürü bir borç bilirim.

Nisan 2013

Ali Rifat BOYNUEĞRİ

KISALTMA LİSTESİ

EA	Elektrikli Araç
EM	Elektrik Motoru
TEA	Tümü Elektrikli Araç
ŞEEA	Şarj Edilebilen Elektrikli Araç
İYM	İçten Yanmalı Motor
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
THD	Toplam Harmonik Distorsiyonu
RMS	Efektif Değer
KGK	Kesintisiz Güç Kaynağı
V0G	Geleneksel Şarj
V1G	Tek Yönlü Akıllı Şarj
V2G	Çift Yönlü Akıllı Şarj
V2H	Araçtan Eve Bağlantı
V2G NGU	Dinamik Fiyatlandırma ile Akıllı Şarj
SoC	Doluluk Oranı

Şekil 1.1	ABD için yıllara göre elektrikli araç sayısı	25
Şekil 1.2	ABD için yıllara göre elektrikli araç şarj istasyonu sayısı	26
Şekil 2.1	Batarya'nın doğrudan DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu durum	27
Şekil 2.2	Batarya(DC Bara) gerilimi	28
Şekil 2.3	Batarya'nın şarj akımı	28
Şekil 2.4	a) Şebekeden çekilen aktif güç b) Şebekeden çekilen reaktif güç c)Şebeke geriliminin dalga şekli d) Şebekeden çekilen akımın dalga şekli	29
Şekil 2.5	Hızlı şarj için batarya (DC Bara) gerilimi	30
Şekil 2.6	Hızlı şarj durumunda batarya akımı	30
Şekil 2.7	a) Şebekeden çekilen aktif güç b) Şebekeden çekilen reaktif güç c)Şebeke geriliminin dalga şekli d) Şebekeden çekilen akımın dalga şekli	31
Şekil 2.8	Batarya'nın bir DC/DC dönüştürücü üzerinden DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu durum	32
Şekil 2.9	Batarya gerilimi	32
Şekil 2.10	Batarya akımı	33
Şekil 2.11	DC Bara gerilimi	33
Şekil 2.12	a) Şebekeden çekilen aktif güç b) Şebekeden çekilen reaktif güç c)Şebeke geriliminin dalga şekli d) Şebekeden çekilen akımın dalga şekli	34
Şekil 2.13	Hızlı şarj için batarya gerilimi	35
Şekil 2.14	Hızlı şarj için batarya akımı	35
Şekil 2.15	Hızlı şarj için DC bara gerilimi	36
Şekil 2.16	a)Şebekeden çekilen aktif güç b)Şebekeden çekilen reaktif güç c)Şebeke geriliminin dalga şekli d)Şebekeden çekilen akımın dalga şekli	37
Şekil 2.17	Batarya gerilimi	38
Şekil 2.18	Batarya akımı	39
Şekil 2.19	DC Bara Gerilimi	39
Şekil 2.20	a) Şebekeden çekilen aktif güç b) Şebekeden çekilen reaktif güç c)Şebeke geriliminin dalga şekli d)Şebekeden çekilen akımın dalga şekli	40
Şekil 2.21	Hızlı şarj durumunda batarya gerilimi	41
Şekil 2.22	Hızlı şarj durumunda batarya akımı	41
Şekil 2.23	Hızlı şarj durumunda DC bara gerilimi	42
Şekil 2.24	a) Şebekeden çekilen aktif güç b) Şebekeden çekilen reaktif güç c)Şebeke geriliminin dalga şekli d) Şebekeden çekilen akımın dalga şekli	43
Şekil 2.25	Doğrultucu üzerinden şarj blog diyagramı	44
Şekil 2.26	Batarya gerilimi	45
Şekil 2.27	Batarya akımı	45

Şekil 2.28	a) Şarj için çekilen aktif güç b)Şarj için çekilen reaktif güç	46
Şekil 2.29	Şebekeden çekilen şarj akımı	46
Şekil 2.30	Şarj noktasına bağlı diğer yüklerin akımı	47
Şekil 2.31	Şarj noktasına bağlı yüklerin çektiği aktif ve reaktif güç değerleri	47
Şekil 2.32	Şebekeden çekilen toplam akımın dalga şekli	48
Şekil 2.33	Önerilen sistem ile bataryanın şarjı için blok diyagramı	48
Şekil 2.34	Batarya gerilimi	49
Şekil 2.35	Batarya akımı	49
Şekil 2.36	DC bara gerilimi	50
Şekil 2.37	a) Şarj için çekilen aktif güç b) Şarj için çekilen reaktif güç	50
Şekil 2.38	Şebekeden çekilen şarj akımının dalga şekli	51
Şekil 2.39	Şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri	51
Şekil 2.40	Şebekeden çekilen toplam akımının dalga şekli	52
Şekil 2.41	Simülasyon Çalışması Blok Diyagramı	52
Şekil 2.42	Yük akımı	53
Şekil 2.43	Evirici akımı	53
Şekil 2.44	Şebekeden çekilen akımlar	54
Şekil 3.1	Test sistemi	55
Şekil 3.2	a)Akım gerilim ölçüm devresi b)IGBT modülü sürme devresi c)Sensör sinyalleri için filtre d)DC/ACdönüştürücü güç devresi	55
Şekil 3.3	a)DC/AC dönüştürücü çıkış akımı b)DC/AC dönüştürücü çıkış gerilimi	56
Şekil 3.4	Kurulumuna başlanan test sistemi	56
Şekil 3.5	Test platformu blok şeması	57
Şekil 3.6	Çalışma bölgeleri	57
Şekil 3.7	Batarya şarj durumu için referans akımın ve şebekeden çekilen akımın efektif (RMS) değeri	58
Şekil 3.8	Batarya şarj durumu için şebekeden çekilen akım, referans akım ve şebeke geriliminin dalga şekli	58
Şekil 3.9	Batarya şarj durumu için şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri	59
Şekil 3.10	Endüktif çalışma için referans akımın ve şebekeden çekilen akımın efektif (RMS) değeri	60
Şekil 3.11	Endüktif çalışma için şebekeden çekilen akım, referans akım ve şebeke geriliminin dalga şekli	61
Şekil 3.12	Endüktif çalışma için şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri	61
Şekil 3.13	Batarya deşarj durumu için referans akımın ve şebekeden çekilen akımın efektif (RMS) değeri	62
Şekil 3.14	Batarya deşarj durumu için şebekeden çekilen akım, referans akım ve şebeke geriliminin dalga şekli	63
Şekil 3.15	Batarya deşarj durumu için şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri	63

Şekil 3.16	Kapasitif çalışma için referans akımın ve şebekeden çekilen akımın efektif (RMS) değeri	64
Şekil 3.17	Kapasitif çalışma için şebekeden çekilen akım, referans akım ve şebeke geriliminin dalga şekli	65
Şekil 3.18	Kapasitif çalışma için şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri	65
Şekil 3.19	Test platformunda kullanılan batarya grubu	66
Şekil 3.20	a) İnverter ünitesi b) IGBT modülü c) IGBT modülü sürme kartı d) bastırma devresi	67
Şekil 3.21	Test platformunda kullanılan a) gerilim sensörü b) akım sensörü	68
Şekil 3.22	Test platformunda yük ünitesini şebekeden ayıran adalama ünitesi	69
Şekil 3.23	dSPACE micro autobox kontrol ünitesi	69
Şekil 3.24	dSPACE içine gömülü olan kontrol algoritması	70
Şekil 3.25	Ölü zaman oluşturma ünitesi	71
Şekil 3.26	Oluşturulan test platformunun genel şeması	72
Şekil 3.27	Hazırlanan test platformu	72
Şekil 3.28	Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda şebeke gerilimine ait değişimler ile adalama sinyalinin değişimi	73
Şekil 3.29	Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda şebeke akımına ait değişimler ile adalama sinyalinin değişimi	74
Şekil 3.30	Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda inverterin çıkış gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	74
Şekil 3.31	Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda inverterden çekilen akıma ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	75
Şekil 3.32	Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda batarya geriliminin değişimi ile adalama sinyalinin değişimi	75
Şekil 3.33	Elektrik şebekesine enerji geldiği anda şebeke gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	76
Şekil 3.34	Elektrik şebekesine enerji geldiği anda şebeke akımına ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	76
Şekil 3.35	Elektrik şebekesine enerji geldiği anda inverterin çıkış gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	77
Şekil 3.36	Elektrik şebekesine enerji geldiği anda inverterden çekilen akıma ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi	77
Şekil 3.37	Elektrik şebekesine enerji geldiği anda batarya geriliminin değişimi ile adalama sinyalinin değişimi	78
Şekil 3.38	Deney düzeneği blok diyagramı	79
Şekil 3.39	Deney düzeneği	79
Şekil 3.40	Kontrol algoritmasının geri beslemeleri ve ürettiği sinyaller	80
Şekil 3.41	Kontrol Algoritması	80
Şekil 3.42	Yüksüz durumda önerilen algoritma ile evirici akım ve gerilim dalga şekilleri	81

Şekil 3.43	Yüksüz durumda önerilen algoritma ile şebeke akım ve gerilim dalga şekilleri	82
Şekil 3.44	Yüksüz durumda sadece şarj algoritması ile evirici akım ve gerilim dalga şekilleri	82
Şekil 3.45	Yüksüz durumda sadece şarj algoritması ile şebeke akım ve gerilim dalga şekilleri	83
Şekil 3.46	Endüktans (250 VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için evirici dalga şekilleri (Önerilen algoritma)	84
Şekil 3.47	Endüktans (250VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için şebeke dalga şekilleri (Önerilen algoritma)	84
Şekil 3.48	Endüktans (250VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için evirici dalga şekilleri (Sadece şarj)	85
Şekil 3.49	Endüktans (250VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için şebeke dalga şekilleri (Sadece şarj)	85
Şekil 3.50	Endüktans (500VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için evirici dalga şekilleri (Önerilen algoritma)	86
Şekil 3.51	Endüktans (500VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için şebeke dalga şekilleri (Önerilen algoritma)	87
Şekil 3.52	Endüktans (500VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için evirici dalga şekilleri (Sadece Şarj)	87
Şekil 3.53	Endüktans (500VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için şebeke dalga şekilleri (Sadece Şarj)	88
Şekil 3.54	Endüktans (750VAr) ve kondansatörlerin (780 VAr) devrede olduğu durum için evirici dalga şekilleri (Önerilen algoritma)	89
Şekil 3.55	Endüktans (750VAr) ve kondansatörlerin (780 VAr) devrede olduğu durum şebeke dalga şekilleri (Önerilen algoritma)	89
Şekil 3.56	Endüktans (750VAr) ve kondansatörler'in (780 VAr) devrede olduğu durum evirici dalga şekilleri (Sadece şarj)	90
Şekil 3.57	Endüktans (750VAr) ve kondansatörler'in (780 VAr) devrede olduğu durum şebeke dalga şekilleri (Sadece şarj)	90

Çizelge 1.1	Şarj istasyonlarının tipleri ve özellikleri	20
Çizelge 1.2	Tiplerine göre şarj istasyonlarının kuruldukları yerler	22
Çizelge 1.3	EA'ların şebekeyle etkileşimli çalışma durumları	24
Çizelge 3.1	Yüksüz durumda önerilen algoritma ile sadece şarj algoritmasının karşılaştırılması	83
Çizelge 3.2	Endüktans (250VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durumda önerilen algoritma ile sadece şarj algoritmasının karşılaştırılması	86
Çizelge 3.3	Endüktans (500VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durumda önerilen algoritma ile sadece şarj algoritmasının karşılaştırılması	88
Çizelge 3.4	Endüktans (500VAr) ve kondansatörlerin (780 VAr) devrede olduğu durumda önerilen algoritma ile sadece şarj algoritmasının karşılaştırılması	91

ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN GÜÇ YÖNETİMİ VE ŞEBEKE BAĞLANTISI**Ali Rifat BOYNUEĞRİ**

FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Tesisleri Programında Hazırlanan Doktora Tezi

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Fosil yakıtların olumsuz çevresel etkilere neden olması ve tükenme tehlikesi yüzünden, araç teknolojilerinde alternatif sistemler için bir arayış başlamıştır. Bu duruma bağlı olarak fosil yakıt tüketen geleneksel içten yanmalı motorlara (İYM) sahip araçlar yerine elektrik motoru (EM) kullanılan elektrikli araçlar (EA) üzerine yapılan çalışmalar daha da önem kazanmıştır. EA teknolojisi ilk olarak İYM'lerin ve EM'lerin beraber kullanıldığı hibrit araçlar ile hız kazanmıştır. Günümüzde ise elektrik şebekesi üzerinden şarj edilebilir elektrikli araçlar (ŞEEA) ön plana çıkmaktadır. Birçok ülkede gerçekleştirilen çalışmaların raporlarında gelecek yıllarda EA'ların dünya üzerinde büyük oranda yaygınlaşacağını göstermektedir. Buna rağmen halen EA'ların şebeke bağlantısı ve güç yönetimi çözülmesi gereken bir çok sorunu içinde barındırmaktadır. Bu çalışmada, EA'ların şarjı sırasında batarya ve şebeke üzerinde oluşan olumsuz etkilere çözüm önerileri sunulmuştur. Ayrıca şarj işlemi sırasında tam bir enerji yönetimini sağlamak için akıllı şebekelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple akıllı şebekelere uygun şekilde çalışabilecek güç dönüştürücüleri kullanılmıştır. EA'nın kontrollü bir şekilde şarj edilebilmesine imkân sağlayan bir güç biçimlendirme ünitesi tasarlanmıştır. Önerilen güç biçimlendirme ünitesi sayesinde, EA'nın şebeke bağlantı noktasında karşılaşılabilecek muhtemel enerji kalitesi sorunlarına çözüm üretilecek, gerilim kalitesi artırılabilir, toplam harmonik distorsiyonu (THD) azaltılabilir, hatta reaktif güç kompanzasyonu bile sağlanabilecektir. Önerilen sistemin simülasyon sonuçları ve deneysel doğrulamaları analiz edilerek incelenmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, Akıllı Şebekeler, Elektrikli araç şarjı, Şebeke bağlantısı, Aktif harmonik filtresi, Güç kalitesi, Reaktif güç kompanzasyonu.

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

POWER MANAGEMENT AND GRID CONNECTION OF ELECTRICAL VEHICLES**Ali Rifat BOYNUEĞRİ**

Ph.D. Thesis

INSTITUTE OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Department of Electrical Engineering

Program of Electric Installation

Adviser

Assoc.Prof.Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Lately, the depletion as well as negative environmental impacts of fossil fuels have directed the vehicle technology towards new alternative systems. Accordingly, the studies on electric vehicles (EVs) utilizing electric motor (EM) instead of conventional vehicles using fossil fuel consumer internal combustion engines (ICEs) have gained increasing importance. The EV technology were firstly developed with the hybrid vehicles using both ICE and EM. Today, plug-in hybrid vehicles that can be charged via grid have a leading position. Studies realized in many countries in all over the world manifest the result of future widespread EV utilization. However, the power management and grid connection of EVs still include many unsolved problems. In this study, a power management is realized for reducing the battery stress of EVs and solving the possible problems that can be faced while providing grid connection. In order to realize power management in charging process, smart grid is strongly necessary. For this reason, smart grid compatible power converters are employed. A power conditioning unit is designed for the grid connection of EV enabling a controlled charge of the EV. With the utilization of the proposed power conditioning unit within the EV, the possibility of solving the energy quality problems at the charge point, increasing the voltage quality, decreasing total harmonic distortion (THD) and even providing reactive power compensation by EV is obtained. The relevant results are discussed within simulation studies followed by the proposed method with experimental real-time test bench based applications.

Keywords: Electric vehicle, Smart Grids, On-board charger, Grid connection, Active harmonic filter, Power quality, Reactive Power Compensation.

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE & TECHNOLOGY

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Araç teknolojileri, her geçen gün artan çevresel kaygılar ve fosil yakıtların hızla tükenmesine bağlı olarak gelişmektedir. Araç emisyonlarını düşürmek amacı ile yapılan çalışmalarda genellikle EA'lar üzerine yoğunlaşmaktadır. EA'lar arasında "sıfır emisyonlu" olarak bilinen ŞEEA'lar ise günümüzde ön plana çıkmaktadır [1,2]. Bu araçlar elektrik enerjisini depolamakta ve depolanan elektrik enerjisini seyir sırasında EM aracılığı ile kullanmaktadır. Buradan da anlaşılmaktadır ki araçlar enerji ihtiyacını ya doğrudan şebekeden ya da alternatif bir enerji kaynağından karşılayacaklardır. Yaygın olarak karşılaşılabilecek durum ise araçların şebekeden enerji ihtiyaçlarını karşılamaları durumudur [3,4]. Elektrik şebekesine enerji sağlayan santrallerin çoğunun fosil yakıtlardan oluştuğu düşünülürse akla gelebilecek sorunlardan biri EA'ların gerçekten çevre dostu olup olmadığıdır. Ancak yapılan çalışmalarda görülmüştür ki araçların enerji ihtiyacını fosil yakıtlar yerine elektrik şebekesinden karşılaması emisyonları düşürecektir [5-8]. Ayrıca şebekeye enerji sağlayan santraller arasında alternatif ve yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaşması emisyonların daha da düşmesini sağlayacaktır.

Araçların şebeke ile bağlantısında incelenilmesi gereken durumlardan biri de şebekenin taşıtların şarj yükünü karşılayıp karşılayamayacağına sorgulanmasıdır. Bunun için bölgesel olarak gelecekte o bölge için hangi saatlerde ne kadar şarj enerjisi ihtiyacı olacağına tahmin edilip incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca gelecekte o bölgeye enerji ihtiyacı sağlayacak olan santrallerin belirlenmesi ve üretim kapasitelerinin gelecek için tahmin edilmesi önemlidir. Araçların şarj talep gücünün tespit edilebilmesi için araç sayılarının ve güçlerinin de tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu konu birçok araştırma da ayrıntılı olarak çeşitli bölgeler için incelenmiştir. Avrupa da bu konuyla alakalı birçok proje desteklenmekte ve çalışmaların çıktıları literatüre henüz aktarılmaktadır [4-7]. Ayrıca Amerikan Enerji Bakanlığı destekli yapılan araştırmalar birçok ulusal laboratuvarında (Oak Ridge National Laboratory, National Renewable Energy Laboratory, Pacific Northwest National Laboratory) yürütülmektedir [9-12].

Araçların şarj taleplerinin mümkün olduğunca yeni yatırımlar yapılmadan karşılanması önemlidir. EA'nın ŞEEA veya Tümü elektrikli araç (TEA) olmasına göre aracın şarj gücü değişken olacaktır. Ancak en düşük güce sahip bir EA'nın gücü bile evsel yük taleplerinin çok üzerindedir. Ayrıca yapılan araştırmalarda EA'ların büyük ölçüde yaygınlaşacağı, bu duruma bağlı olarak da şebekeden talep edilecek şarj gücünün büyük seviyelere ulaşacağı da vurgulanmaktadır [9,12]. Bu durumda ise şebeke sisteminin bahsi geçen yük talebini karşılayabilmesi için EA'ların şarj işlemi sırasında bir enerji yönetimi algoritmasının uygulanması mecburi hale gelmektedir. Aksi takdirde şebekenin bu enerji ihtiyacını karşılaması için çok büyük yatırımlar yapılması gerekecektir. İhtiyaç olan şarj enerjisinin enerji talebinin çok olduğu pik saatler yerine talebin daha az olduğu gece saatlerinde karşılanması daha ekonomik olacaktır [5-13]. Ancak araç sahiplerinin de şarj ihtiyacının karşılanması önemlidir. Bu yüzden bölgesel şarj noktalarından çekilebilecek maksimum güç miktarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Tez kapsamında gerçekleştirilecek olan araç modelinde şarj talebi dışarıdan girilen bilgiye göre belirlenmektedir. Bu şekilde hem tasarlanan araçların şebeke üzerinde aşırı bir yük talebi oluşturmalarının önüne geçilmiş olacak, hem de araçların yük talebi mümkün olan en üst seviyede karşılanacaktır.

Literatürde önemle vurgulanan bir diğer konuda EA'nın şarj ihtiyacının enerji kalitesi açısından incelenmesidir. Araçların şebeke ile enerji alışverişinde bulunmasını sağlayan DC/AC dönüştürücüler, genellikle enerji kalitesi problemlerine çözüm üretecek ve şebekeyi destekleyecek şekilde tasarlanmaktadır [14-16]. DC/AC dönüştürücülerin bahsi geçen şekilde esnek tasarlanması, şebeke ile yapılacak olan enerji alışverişini daha kaliteli hale getirmektedir. Böylelikle şebeke ile olan bağlantılarda araçlar, enerji kalitesi problemi oluşturan yükler yerine enerji kalitesine çözüm üreten sistemler haline gelecektir. Tez kapsamında geliştirilen DC/AC dönüştürücü bu özelliklere dikkat edilerek tasarlanmıştır.

EA'lar hakkında literatürde ve uygulamalarda genellikle karşılaşılan sorunlardan biri ise bataryaların şarj-deşarj kontrolüdür. Bataryaların ömrünü ve kapasitesini etkileyen faktörlerden biri de şarj vedeşarj akımlarıdır. Bataryaların şarj-deşarj kontrolüne bağlı olarak şarjdeşarj akımları, batarya ömrünü ve kapasitesini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bataryadan ani olarak çekilen akımlar bataryaların ısınmasına sebep olmakta ve bataryalara zarar vermektedir. Araçların ani kalkış ve ani frenleme durumlarında EM'nin çekeceği ve vereceği akım değerleri yüksek değerler almakta, bu durumda bataryalar ısınmakta, zarar görmekte ve yükün enerji ihtiyacını yeterince karşılayamamaktadır [17,18].

EA'ların yaygınlaşması önündeki önemli problemlerden biri de kamuoyunun EA'larla alakalı endişeleridir. EA'ların kamuoyunu endişelendiren kısımlarının başında bataryalar, şarj istasyonları ve şarj işlemleri gelmektedir.

1.1. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Şarj Yöntemleri

Günümüzde batarya şarj yöntemleri üç gruba ayrılmaktadır. Bu şarj yöntemleri Seviye 1 (Level 1), Seviye 2 (Level 2) ve Seviye 3 (Level 3) olarak adlandırılmaktadır. Çizelge 1.1'de Seviye 1, 2 ve 3 şarj tiplerinin temel olarak bir karşılaştırılması yapılmıştır [19, 20]. Ayrıca Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC)/Avrupa, Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE)/ABD, Japon Elektrikli Araç Birliği Standartları (JEVS) ve CHADEMO gibi kuruluşlar öncülüğünde EA'ların şarj modları ve elektrik bağlantıları konusunda uluslararası standartlar oluşturulmuştur. Türkiye'nin de dâhil olduğu IEC komisyonunun 61851 ve 62196 standartları, SAE'nin J1772 numaralı standardı ve CHADEMO'nun ise DC hızlı şarj standartları bulunmaktadır [21].

Günlük yaşantıda evlerimizde ve iş yerlerimizde bulunma sürelerimiz genellikle uzundur. Yapılan incelemeler bu sürenin 6 saatin üzerinde olduğunu göstermektedir. Doğal olarak araç sahipleri de bu sürelerde araçlarını park halinde bırakmaktadırlar. Uzun süreli park durumlarında elektrik şebekesine çok fazla yük getirmeyen yavaş şarj istasyonları kullanılmaktadır. Seviye 1 şarj, yavaş şarj olarak da bilinmektedir. Ayrıca seviye 1 şarj istasyonlarında tek fazlı sistemler enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu şarj tipinde şarj elemanları araca monte halde bulunmaktadır. Seviye 1 şarj istasyonları, şarj etme işleminde herhangi bir güç dönüştürücüsüne sahip değildir. Sadece, araç ile şebeke arasındaki haberleşmeyi sağlamaktadır ve ücretlendirme işlemini yerine getirmektedir [22, 23]. Bu istasyonların tek faz akım değeri standartlarda maksimum 16 A'dir. Bu sistemlerde ortalama güç değeri 1,4-3,5 kW arasında değişmektedir [24].

Çizelge 1.1. Şarj istasyonlarının tipleri ve özellikleri.

	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 3 (DC)
Gerili Değeri	120 ~ 220 VAC	240 ~ 380 VAC	240 ~ 380 VAC	600 VDC
Güç Seviyesi	1,2 ~ 3,8 kW	3,8 ~ 15 kW	> 15 ~ 96 kW*	> 50 ~ 240 kW
Akım Seviyesi	15 ~ 20 A	20 ~ 80 A	> 85 A	
Şarj Süresi	120 ~ 220 VAC	240 ~ 380 VAC	> 30 Dk	

*15kW değeri hibrit araçlar göz önüne alınarak kullanılmıştır.

Seviye 2 şarj, orta hızlı bir şarj tipidir. Araç park etme sürelerinin 3 ile 6 saat arasında olduğu yerlerde normal şarj istasyonları kullanılmaktadır. Bu park yerleri otoparklar, alışveriş merkezleri, sinemalar, piknik alanları vb. olarak düşünülebilir. Bu istasyonlar ise tek faz için maksimum 32 A ve 250 V veya 3 faz için aynı akımda 380 V çıkışlarına sahiptir. SAE'ye göre ise (2009 yılında mod-2) bu değer 3 faz için maksimum 80 A'e kadar çıkmasına izin verilmiştir. EA'lar için enerji ihtiyacı standart tek fazlı veya 3 fazlı soket çıkışları kullanılarak sağlanır. Bireylerin herhangi bir elektrik çarpmasına karşı koruması, toprak koruma iletkeni ile yapılır. Bu iletken EA ile şarj ünitesi arasındadır. Pilot kontrol ünitesi ile toprak arasında 1000 ohm'luk direnç kullanılır. IEC 61851-1 standardına göre normal şarj (mod-2) bağlantı elemanlarında kontrol pininin EA'larda bulunması gereklidir. İstasyonlarda bulunmamasının sebebi daha sade ve her yerde kullanılabilir olmasının istenmesidir. Bu tip şarj istasyonlarının anma güç değerleri 6-20 kW değerleri arasında değişmektedir [25].

Bu şarj tipinde de Seviye 1 şarjda olduğu gibi tek fazlı sistemler enerji kaynağı olarak kullanılmakta, şarj elemanları araca monte halde bulunmaktadır. Seviye 1 şarj istasyonlarında olduğu gibi Seviye 2 şarj istasyonlarında sadece, araç ile şebeke arasındaki haberleşmeyi sağlamaktadır ve ücretlendirme işlemini yerine getirmektedir [22, 23].

Seviye 3 şarj, hızlı şarj olarak da bilinmektedir. Mod-3 olarak da adlandırılan hızlı şarj sistemleri enerji ihtiyacının acil gerektiği yerlerde, dinlenme tesislerinde ve yoğun trafiğin olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Genel olarak, park sürelerinin yarım saatten az olduğu yerler de denilebilir. Özel olarak koruma elemanları ile imal edilmesi gerektiğinden hızlı şarj istasyonları yüksek güvenlidir. Bağlantı kablolarının her iki tarafında da sinyal ve kontrol pinleri bulunmaktadır. Bu istasyonlarda 250 A maksimum akım seviyesine çıkılabilmektedir. Ayrıca IEC 61851-1 standardına göre mod-4 olarak adlandırılan DC hızlı şarj durumunda ise maksimum 600 V, 400 A seviyesine kadar çıkılmasına izin verilmektedir. Fakat DC hızlı şarj istasyonlarının maliyetleri ise diğer şarj modlarına göre çok daha yüksektir. Hızlı şarj istasyonlarının ortalama güç değerleri ise 50-240 kW arasında değişmektedir [25]. Tüm bunların yanında hızlı şarj istasyonlarının batarya ömürlerini olumsuz etkilediği de bir gerçektir, ancak EA batarya üreticileri bu problemi aşmak için çalışmalar yapmaktadır. Bu sayede 35 kWh'lik bir bataryanın %90'ı hızlı şarj ile 10 dakikanın altında doldurulmuştur ve aynı zamanda yüksek verimlilikte çalışmasına devam etmiştir. [26].

Bahsi geçen şarj tipinin Çizelge 1.1'de gösterildiği gibi hem DC hem de AC tipi mevcuttur. Bu şarj tipinin AC olanında üç fazlı sistemler besleme için kullanılırken, DC olanında ise AC şebekeden doğrultularak elde edilen bir DC kaynak besleme için kullanılmaktadır. Seviye 3 şarj tipinde şarj elemanları, AC tipinde araca monte halde bulunurken, DC tipinde araca monte halde bulunmamaktadır. Bundan dolayı Seviye 3 şarj istasyonlarında, AC veya DC tipli olmasına bağlı olarak haberleşme ve ücretlendirme işlemlerinin yanı sıra şarj işlemi için gereken elemanlar da istasyonda ya da araç üzerinde olabilmektedir [22, 23].

Çizelge 1.2. Tiplerine göre şarj istasyonlarının kuruldukları yerler

Yerleşim Birimleri		Şarj İstasyonu Tipi		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Konutlar	Müstakil Evler	√	√	-
Ticari / İş Merkeleri	Apartmanlar	√	√	-
	Özel Mülkler (Ofisler, iş yerleri)	√	√	-
	Perakende / Ticari (filo ve dağıtım hizmetleri)	√	√	-
	Kamu Alanları (Havaalanları, Oteller, Marketler, Hastaneler, Alışveriş Merkezleri, vb.)	√	√	√
	Hükümet, Üniversite ve Belediye Tesisleri	√	√	-
	Bağlantı Geçiş Noktaları	-	√	√
	Benzin İstasyonları	-	√	√
Topluma Açık Alanlar	Park Alanları	√	√	√
	Cadde	-	√	√
	Şehirler Arası Yollar ve Otobanlar	-	-	√

Bu üç şarj yöntemi aynı zamanda şarj istasyonlarının da tiplerini oluşturmaktadır. Her şarj istasyonu ihtiyaç duydukları sistem gereksinimleri dolayısıyla her yerleşim birimine kurulamamaktadır. Çizelge 1.2'de hangi seviyedeki şarj istasyonunun hangi yerleşim birimlerine kurulabileceği gösterilmiştir [27].

Üzerinde çalışılan önemli konulardan bir diğeri ise şarjı biten bataryaların tam dolu bataryalarla hızlı bir şekilde değiştirilmesidir. Bazı firmalar batarya değiştirme istasyonları kurarak EA ile daha uzun mesafelerin alınmasını amaçlamaktadır. Bunun yanında EA'lardaki bataryaların şarj-deşarj ömürlerinin ve kapasitelerinin azalmasından dolayı EA üreticilerinin bir kısmı bataryaların kiralanması ve şarj etme yerine bataryanın değiştirilmesi ile müşteri memnuniyetini arttırmayı planlamaktadır.

EA'lar daha az fosil yakıt tükettikleri için çevreci bir yapıdadırlar ancak; elektrik şebekesinden elde edilen enerjinin büyük kısmı hala geleneksel enerji santrallerinden üretilmektedir. Bu yüzden güneş, rüzgâr veya hidrojen kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin kullanıldığı ve yeşil şarj istasyonu olarak adlandırılan bu şarj istasyonları ile EA'lar daha da çevreci olarak kullanılmış olacaktır. Dünyada yeşil şarj istasyonu çalışmaları daha yeni olsa da birçok çalışma ile karşılaşmak mümkündür. Örneğin; 'yenilenebilir enerjili elektrikli araçlar birliği' yeşil şarj istasyonları üzerine birçok çalışma sürdürmektedir. Bunun yanında Almanya'da bulunan 'elektrikli araçların güneş enerjili şarjı derneği' güneş enerjisiyle çalışan şarj istasyonları üzerine çalışmalar yapmaktadır.

1.2. Araçların Dağıtım Sistemlerine Etkileri

EA'ların piyasaya çıkmasıyla bahsi geçen mali ve çevresel problemler zamanla azalmaktadır. Ancak EA'ların ulaşım piyasasında büyük bir yüzdeye sahip olmasıyla beraber, EA'ların şebeke üzerine bazı etkiler yapması muhtemeldir. Bu bölümde öncelikle şarj edilebilen EA'lar şarj edilirken enerji dağıtım sistemine yapabilecekleri etkilerden bahsedilecektir.

1.2.1. Faz Dengesizliği

Üç fazlı kaynaklar daha fazla güç sağlar ve hızlı şarja olanak tanır. Ancak üç fazlı besleme noktalarının durumu şu anda sınırlıdır. Tek fazlı sisteme ait arabirim elemanları daha pratik olması ve her yerde mevcut olması dolayısıyla şarj işleminde ön plana çıkmaktadır. Ancak aynı anda farklı fazlarda, farklı miktarlarda araçların şarj işlemleri sonucunda faz akımlarında dengesizlikler oluşacak, buna bağlı olarak dengesiz gerilim düşümleri ve dolayısıyla da gerilimlerde de dengesizlikler meydana gelebilecektir [28].

1.2.2. Güç Kalitesi Sorunları

Elektriğin iletiminde ve dağıtımında genel olarak AC gerilim kullanılmaktadır. EA'larda enerji depolama kaynağı olarak batarya kullanıldığından dolayı DC gerilime ihtiyaç duyarlar. TEA'larda şarj işleminde öncelikle bir güç dönüştürücüsü ile AC gerilimin DC gerilime dönüştürülmesi sağlanır. Ardından bahsi geçen DC gerilim bir DC/DC dönüştürücü aracılığı ile aracın bataryalarını şarj etmekte kullanılır. Bu işlemlerin her aşamasında da harmonik bileşenler üretilmektedir [29].

Evirici ve batarya şarj cihazları gibi lineer olmayan üniteler içeren yüklerin yayılması, elektrik dağıtım sistemleri üzerinde gerilim bozulmalarına ve akım THD değerinde önemli bir artışa neden olmaktadır. Bu harmonikler, aşırı nötr akımlarına ve transformatörlerin aşırı ısınması dahil olmak üzere güç sistemi üzerinde birçok probleme neden olabilir [19].

1.2.3. Transformatörler Üzerindeki Etkileri

Transformatör üreticileri, transformatörlerin kendi belirttikleri koşullarda kullanılması halinde transformatörlerin ömürlerinin 40 ile 50 yıl arasında olacağını belirtmektedir. Ancak gerçek koşullar altında bir transformatörün ömrü ortalama olarak 17 yıldır. TEA'ların ve ŞEEA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte şebekeden talep edecekleri enerji sebebiyle transformatörlerin ömürleri üzerinde olumsuz etkiler yapması beklenmektedir. İlk olarak, şarj taleplerindeki artışlar sebebiyle transformatörlerin yüklenmesi ve buna bağlı olarak transformatörlerin ısısı artacaktır. Bu ısı artışı da transformatörün ömrünü kısaltacaktır. Bu durumun aksine pik zamanları dışında şarj işleminin yapılmasından dolayı oluşan daha düzgün bir yük profili, transformatörün sıcaklığına bağlı olarak oluşan günlük genleşme ve büzüşmelerini azaltabilir. Bu da transformatörünün mekanik aşınma ve yıpranma miktarını azaltır [30].

TEA ve ŞEEA'lardaki şarj ünitelerinden dolayı oluşan harmonikler, dağıtım sistemlerinin altyapılarına da olumsuz etkiler yapabilir. Harmonikler sebebiyle transformatörün nüvesi üzerindeki girdap (eddy) akımlarında bir artış olur ve transformatör sargılarının deri etkisine bağlı olarak akım geçiren iletken derinliğinde azalma olabilir. Bu yüzden transformatörün ortalama sıcaklığı artar. Bu sıcaklık artışından dolayı da güç kayıpları oluşur [31]. Sıcaklık ve THD değerlerindeki artış dışında şarj karakteristikleri ile transformatör başına düşen araç sayısının artışı da transformatörün kullanım ömrünü azaltmaktadır [32].

Ayrıca, TEA ve ŞEEA'ların pazar payları belirli bir oranın üzerine çıktığında farklı şarj etme zamanlamalarına bağlı olarak farklı tepe (pik) noktaları oluşabilecek ve dağıtım transformatörlerinde kapasite zorlanmalarına sebep olacaktır.

EA'ların büyük oranda ulaşım sektöründe ağırlık kazanmasıyla beraber yukarıda belirtilen problemlerin ortaya çıkma ihtimali çok yüksek olacaktır. Bu problemlerin çözümüne yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Bu problemleri engellemek için ilk akla gelen yöntem, var olan dağıtım transformatörlerinin ve

iletkenlerin kapasitelerinin artırılmasıdır. Ancak bu çözüm oldukça pahalıdır. Bu nedenle, var olan elektrik sistemini daha etkin kullanabilmek için, elektrik tüketim talebinin kontrol altında tutulması daha uygundur. EA'ların elektrik talebinin kontrol altında tutulması için çeşitli çalışma durumları vardır. Bunlar, akıllı şarj (V1G), araçtan şebekeye çalışma durumu (V2G) ve ileri nesil araçtan şebekeye çalışma durumu (V2G NGU)'dur. Bütün çalışma durumları Çizelge 1.3'de gösterilmiştir.

V1G çalışma durumunda, EA şebeke ile gerçek zamanlı olarak iletişim içindedir ve şebekenin uygun olduğu anda şarj işlemi gerçekleştirilir [33].

V2G çalışma durumunda da EA şebeke ile gerçek zamanlı olarak iletişim içindedir. Şebekeden talep edilen enerji çok yüksek değerlere ulaştığında EA'ya ait dolu bataryalar şebekeye yedek güç sağlamaktadır ve EA bir dağıtım generatörü gibi davranmaktadır [19, 34].

V2G NGU çalışma durumu, V2G çalışma durumunun geliştirilmiş halidir. Bu çalışma durumu gelecekte akıllı şebekelerin yaygınlaşmasıyla birlikte ortaya çıkacaktır [33].

Çizelge 1.3'de verilen diğer çalışma durumlarından V0G'de, araç prize takıldığı anda şarj olmaya başlar. Bu çalışma durumunda herhangi bir kontrol mekanizması olmadığı için özellikle pik anlarda şebeke için risk teşkil etmektedir [34].

Zamanlı şarj çalışma durumunda araç, ayarlanan zamandan önce şarj olmamaktadır. Bu zaman, şebekenin pik değerlerine göre ayarlanmaktadır. Bu çalışma durumu V0G'ye göre şebeke açısından daha güvenilirdir [34].

V2H çalışma durumunda, EA'nın şebekeyle bir etkileşimi bulunmamaktadır ve EA şebekeden bağımsız olarak bir binanın veya evin enerji ihtiyacını bir generatör gibi karşılamaktadır [33].

Çizelge 1.3. EA'ların şebekeyle etkileşimli çalışma durumları

	Bilinen Diğer Adları	Gerçek Zamanlı İletişim	Kullanıcılar İçin Yakıt Ucuzluğu	Zaman Ayarlı Şarj	Yedek Güç Olarak Kullanılması	İki Yönlü Çalışma	Pik Saatler Dışında Şarj Olabilme	İhtiyaç Fazlası Yenilenebilir Enerjilerin Depolanması
V0G	Kolay Şarj	X	√	X	X	X	√	X
Zaman Ayarlı Şarj	-	X	√+	√	X	X	√	X
V1G	Akıllı Şarj	√	√	√	X	X	√	X
V2H	V2B	X	√+	√	√	X	√	√
V2G	-	√	√+	√	√	√	√	√
V2G NGU	-	√	√+	√	√	√+	√	√

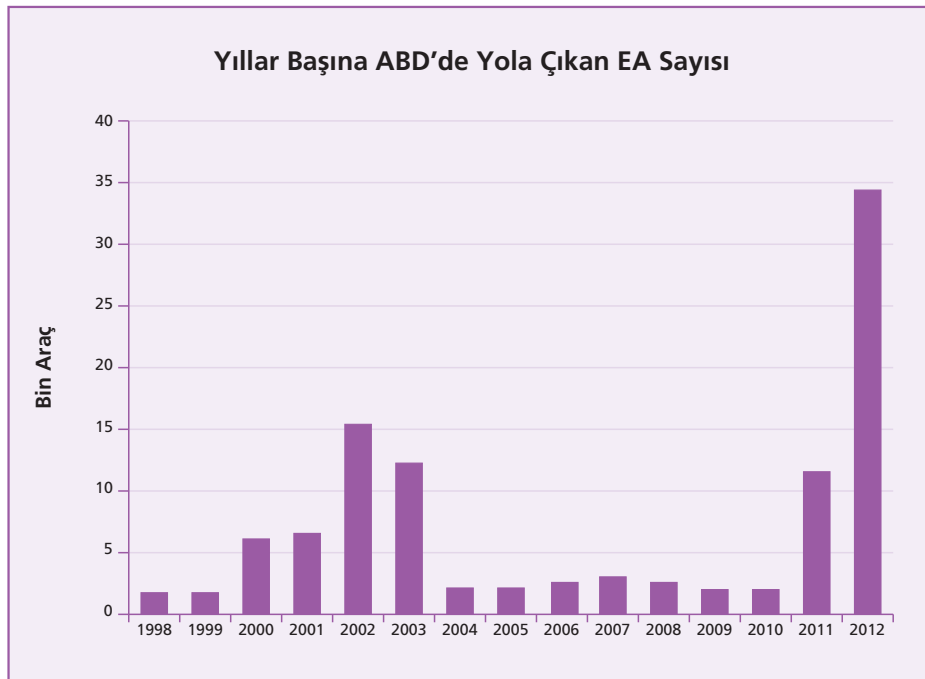
X: yok, √:var, √+: var (daha gelişmiş)

EA'ların bu çalışma durumlarını gerçekleştirmesi için sahip oldukları güç elektroniği devrelerinin ona göre tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca tasarlanan devrelerin kontrolü için uygun donanımlar ve yazılımlar hazırlanması önem arz etmektedir.

1.3. Dünya Üzerinde Elektrikli Araçlar ve Şarj İstasyonları

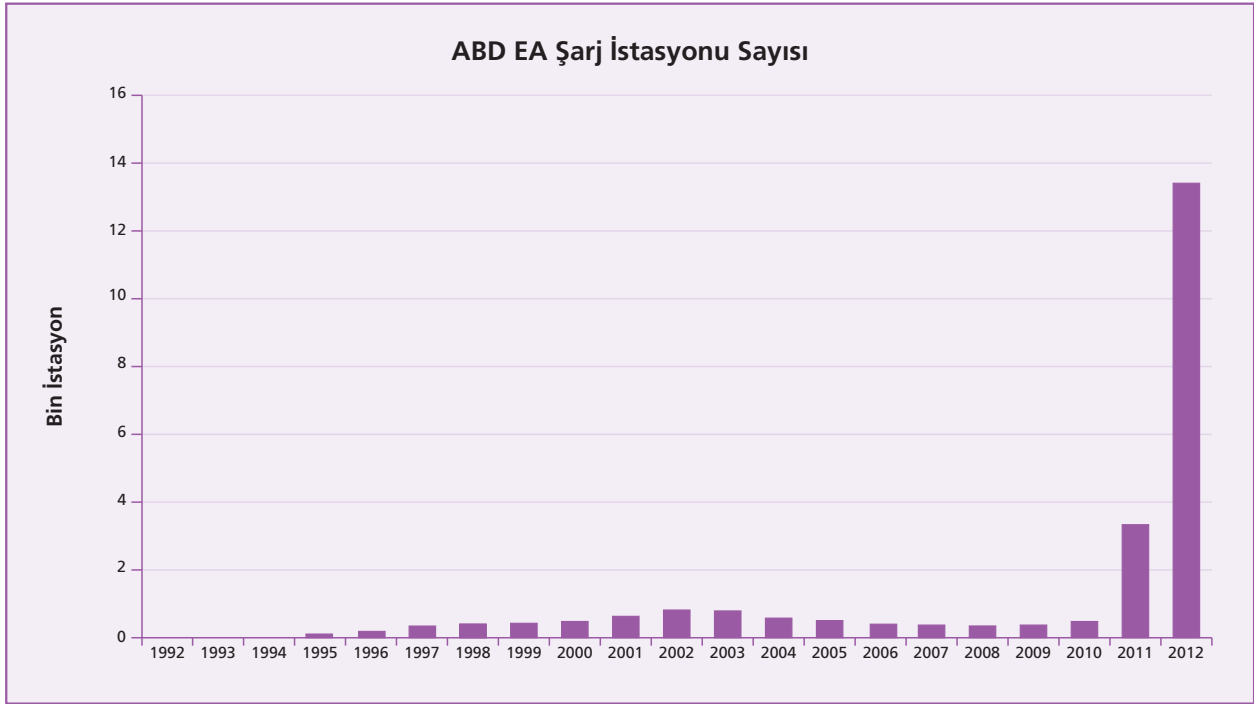
EA'larda 2013 yılına girilmesi ile yeni araçlar piyasa sürülmekte ve bu araçların ihtiyaçlarını karşılamak için alt yapı servisleri de arttırılmaktadır. ABD'de hafif araç kategorisinde 2011 yılında 1 adet ŞEEA (Chevrolet Volt) piyasaya sürülmüşken 2012 yılında bu sayı Toyota'nın Prius'u sürmesi ile 2'ye çıkmıştı. 2013 yılında Ford firmasının da piyasaya C-max ve Fusion modellerinin ŞEEA versiyonlarını sürmesiyle 4 adet ŞEEA hafif araç piyasada mevcut bulunmaktadır. Hibrit araçlarda bu rakam 37'ye ulaşmaktadır. TEA'larda ise 10 adet model hafif araç kategorisinde piyasaya sürülmüştür. Ayrıntılı bilgi "<http://www.afdc.energy.gov/vehicles/search/light/>" linkinden elde edilebilir.

Ağır araçlar kategorisinde ABD'de özellikle otobüs sınıfında rakamlarda büyük bir artış vardır. Farklı hibrit yapılar içeren veya tamamen elektrikli olan 61 adet model piyasada bulunmaktadır. Bunlar CNG/elektrik (1), dizel/elektrik (31), tamamen elektrikli (16), yakıt hücresi (hidrojen)/elektrik (3), benzin/elektrik (10) olacak şekilde dağılmışlardır. Ayrıntılı bilgiye yine "<http://www.afdc.energy.gov/vehicles/search/heavy/>" linkinden ulaşılabilir. Ayrıca konvansiyonel fosil yakıt tüketen araçları EA'lara dönüştüren 5'in üzerinde firma da ABD'de hizmet vermektedir. Yıllara göre ABD'de yola çıkan EA sayısı Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. ABD için yıllara göre elektrikli araç sayısı

EA sayılarındaki artışı daha önden takip eden bir artış ise alt yapı hizmetleridir. ABD üzerinde kurulan EA şarj istasyonlarının sayısı Şekil 1.2'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere son 1 yılda şarj istasyonu sayısında %300'ün üzerinde bir artış olmuştur.



Şekil 1.2. ABD için yıllara göre elektrikli araç şarj istasyonu sayısı

Avrupa'da da birçok otomobil üreticisi elektrikli modellerini duyurmuş bir kısmı satışa sunmuş, bir kısmı da yakın gelecekte sunacağını açıklamıştır. Ancak ABD'de kullanıcıların daha uzun yol yapması ve ABD'nin petrol açısından daha zengin olması EA'lar açısından dezavantaj olarak gözükse de yatırımların devlet tarafından daha büyük oranda desteklendiği ve buna bağlı olarak dönüşümün daha hızlı ve bilinçli gerçekleştiği görülmektedir.

Literatür'de yapılan çalışmalar incelendiğinde 2012-2013 yılında yapılan çalışmalarda; araçların modellenmesi ve oluşturulması [35,39], EA'ların yaygınlaşması ile şebeke üzerinde oluşacak problemlere çözüm getirilmesi[36], EA'ların yıldırım, kaza ve kaçaklara karşı güvenilirliği [37,38], şarj istasyonu yerleşimleri ve ekosistemi [40], EA ve şarj istasyonunun akıllı şebeke ekosistemi ile incelenmesi [41], insanların şarj taleplerinin tahmin edilip buna göre önlemler alınması [42] konularında yoğunlaşmıştır. Ayrıca tez konumuz olan EA içinde bulunan şarj için gerekli güç dönüştürücüleri üzerine yapılan çalışmalarda yeni AC/DC güç elektroniği topolojileri [43] üzerine de çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Dünya üzerinde EA'lar hakkında yapılan çalışmalar göz önünde tutularak gerçekleştirilen bu tez çalışmasında literatür taraması, simülasyon çalışmaları ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen veriler analiz edilerek bazı sonuçlara ulaşılmıştır. Simülasyon çalışmaları MATLAB & Simulink ortamında yapılmış ve 2 ayrı başlık altında incelenmiştir. İlk yapılan çalışmalarda batarya akımı kontrolü üzerine çalışılmış, ikinci aşamada ise şebeke ile bağlantı sorunları incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda ise yapılan simülasyon çalışmalarını doğrulamak için test platformu oluşturulmuştur. Test platformunda EA'nın şebekeden şarj olma durumu, kesintisiz güç kaynağı gibi çalışma durumu ve son olarak da enerji kalitesi sorunlarına çözüm getiren çalışma durumu incelenmiştir.

BÖLÜM 2

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Gerçekleştirilmesi planlanan çalışmalar öncelikle simülasyon ortamında oluşturulmuştur. Bu bağlamda oluşturulan sistemlerin testleri yapılmış ve alınan sonuçlara bağlı olarak kontrol stratejileri belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda çalışmalara yön verilmiştir.

Yapılan çalışmalar 2 ayrı başlık altında incelenmiştir. İlk aşamada batarya akımı kontrolü ve DC bara geriliminin regülasyonu hedeflenmiştir. İkinci aşamada ise şebeke ile bağlantı durumu incelenmiştir.

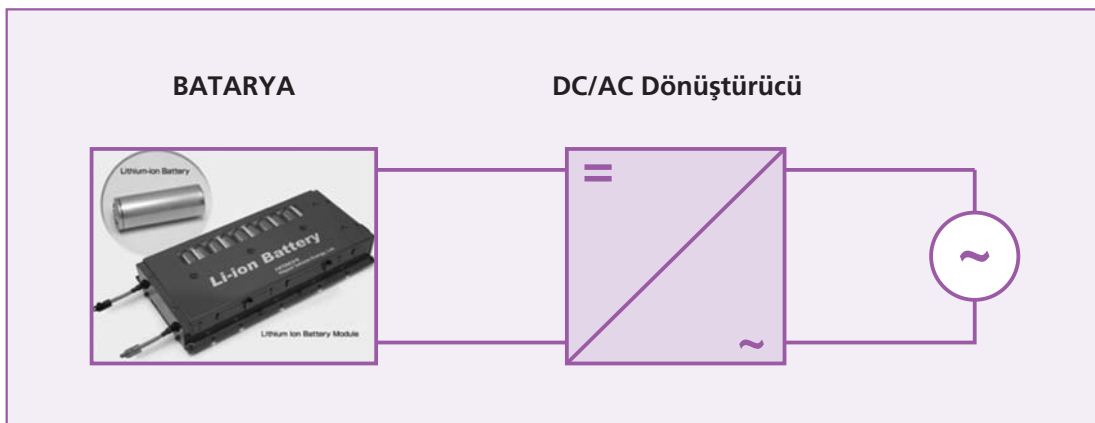
2.1. Batarya Akımının ve DC Bara Geriliminin Kontrolü

Araç ister seyir halinde olsun isterse şarj için şebekeye bağlı bulunsun araç enerji kaynağı olan batarya, bir DC/AC dönüştürücü üzerinden enerji alışverişi yapacaktır. Bu alışveriş sırasında karşılaşılan problemlerden biri DC bara geriliminin dalgalanmasıdır. Batarya doğrudan DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu zaman bu problem çok büyük sorunlara sebep olmamakla beraber yüksek batarya gerilimlerinde büyük güçlerde yapılacak enerji akışları batarya geriliminde küçük olmayan genlikte dalgalanmalara yol açmaktadır. Batarya bir güç elektroniği dönüştürücüsü üzerinden sisteme bağlı ise DC barada oluşacak gerilim dalgalanmaları tamamen kullanılan dönüştürücünün performansına bağlıdır.

Karşılaşılan problemlerden bir diğeri de batarya akımının dalga şeklindedir. DC/AC dönüştürücüye doğrudan bağlantı yapıldığında AC çıkış akımının dalga şekline bağlı olarak bataryadan dalgalı akımlar çekilmektedir. Gerilim kontrollü bir DC/DC dönüştürücü üzerinden batarya DC/AC dönüştürücüye bağlanırsa gerilim regülasyonu yapmak için batarya akımı daha da dalgalanan bir hal almaktadır. Bu sorunlara çözüm getirmek amacıyla aşağıdaki simülasyonlar yapılmıştır.

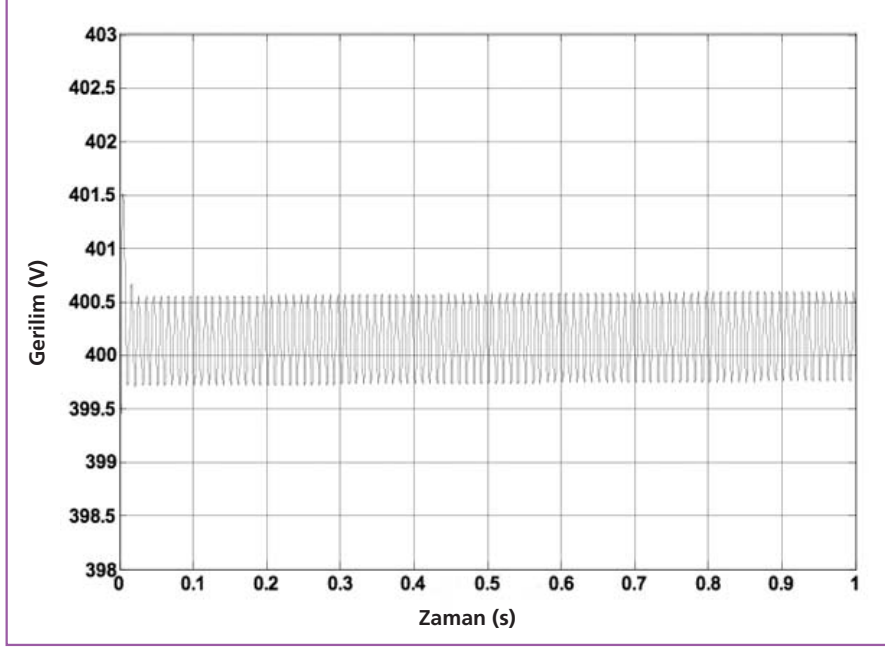
2.1.1. Bataryanın doğrudan DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu durum

Günümüzde kullanılan sistemlerde fazladan kullanılacak bir DC/DC dönüştürücü hem maliyeti yükselttiğinden hem kontrolü zorlaştırdığından hem de verimi düşürdüğünden tercih edilmemektedir. Bu yüzden ilk olarak DC/AC dönüştürücüye doğrudan bağlı bir batarya sisteminin şarj durumu incelenmiştir. Şekil 2.1'de bağlantı şeması gösterilmiştir.



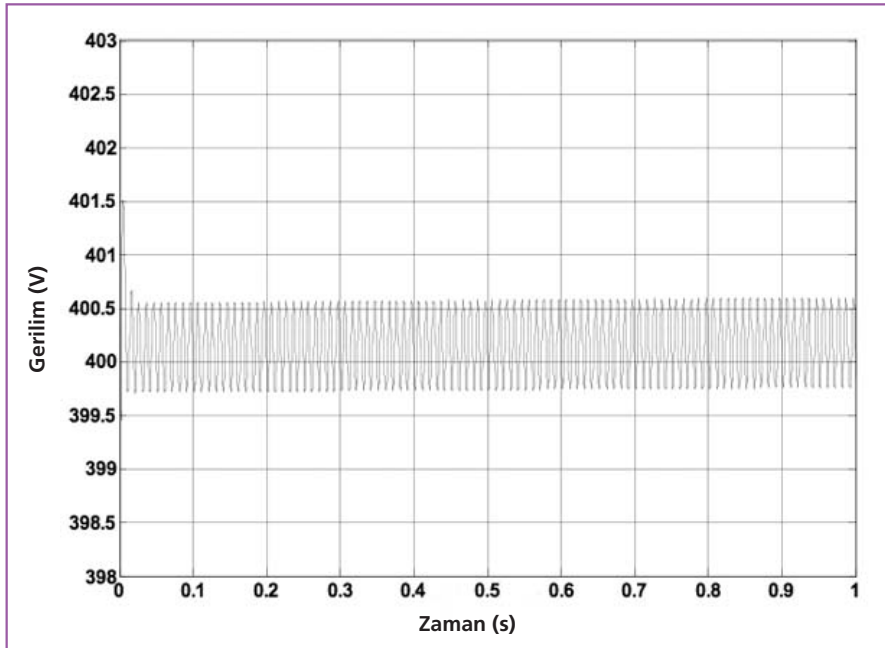
Şekil 2.1. Batarya'nın doğrudan DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu durum

Batarya 370 V, 66,67 Ah ve doluluk oranı (SoC) %65 seçilmiştir. İlk olarak batarya 3kW şarj gücü ve 1kVAr kapasitif reaktif referans güçleri altında 1 sn boyunca şarjı incelenmiştir. Batarya %65 SoC değerine sahip olduğu için ve şarj akımında etkisi ile gerilim değeri 400V seviyesine yükselmiştir. Simülasyon sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.2. Batarya (DC Bara) gerilimi

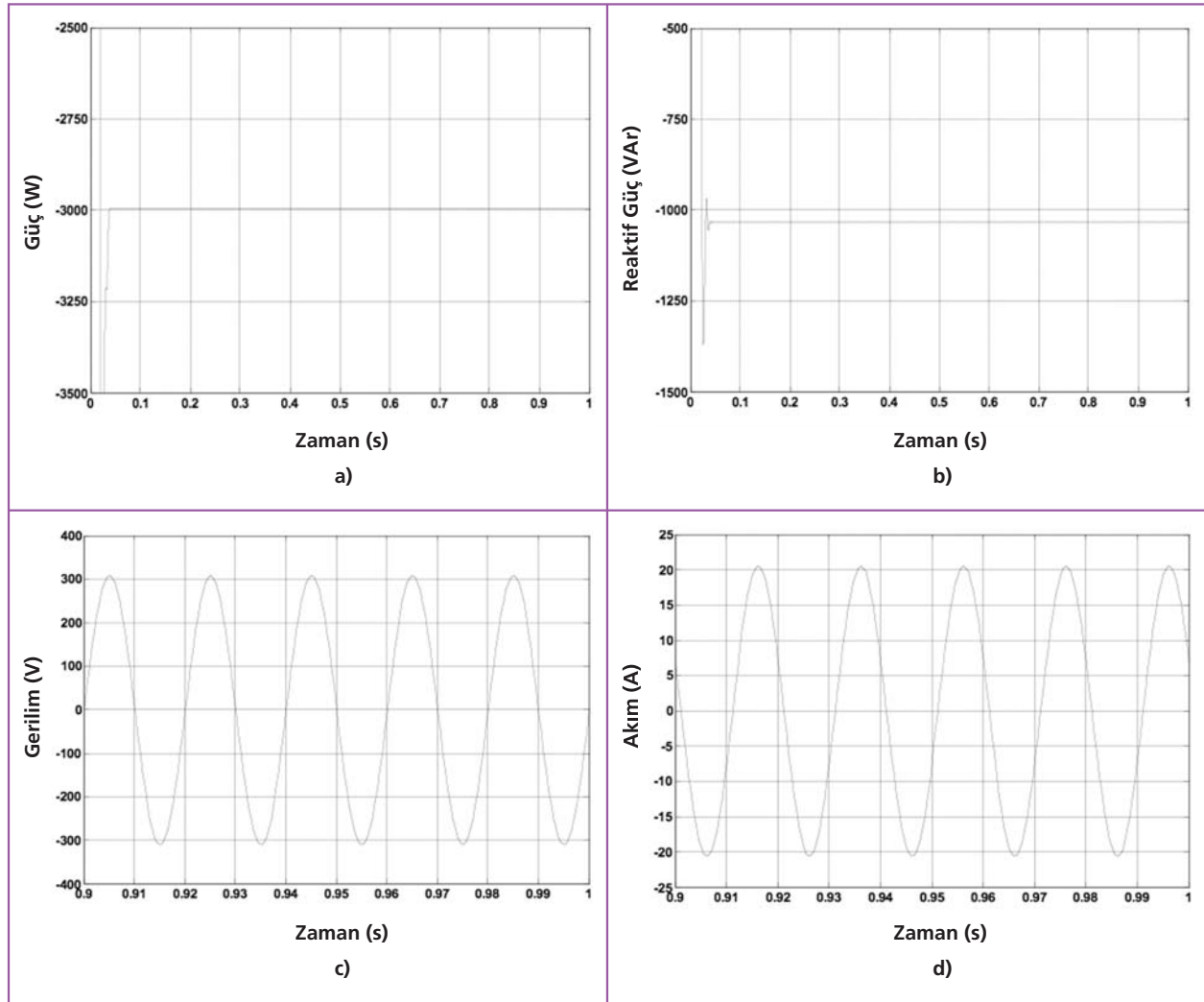
Batarya doğrudan DC/AC dönüştürücü üzerinden şebekeye bağlandığında batarya geriliminde Şekil 2.2'de görüldüğü gibi 1 V genlikli bir dalgalanma olmuştur. Bu dalgalanma önemsiz görülmekle beraber 3 kW şarj gücü, uzun süreli bir şarj gerektirmekte ve bataryanın düşük akımlarda şarj olmasına sebep olmaktadır. Hızlı bir şarj sırasında güç çok yüksek değerler alacağından batarya geriliminde dalgalanmalar daha fazla olacaktır.



Şekil 2.3. Bataryanın şarj akımı

Şekil 2.3'de de görüldüğü gibi batarya akımında küçümsenmeyecek dalgalanmalar oluşmuştur. Yaklaşık olarak 15 A genlikli bir dalgalanma gözükmemektedir ki bu da batarya için pek de istenen bir durum değildir. Aynı zamanda daha yüksek şarj akımlarında daha büyük problemler gözükebileceğinin habercisidir.

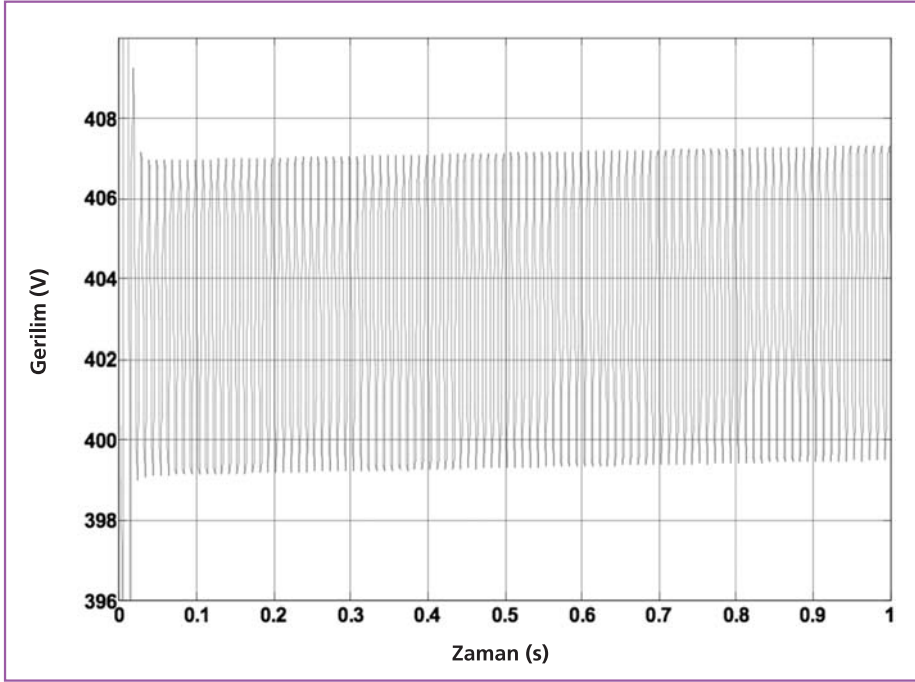
Şebekeden çekilen aktif ve reaktif güçler, AC akım ve gerilimin dalga şekilleri Şekil 2.4'te verilmiştir. Görüldüğü gibi verilen referans güç değerlerine uygun aktif ve reaktif güç çekilmiştir. Ayrıca şebeke akım ve geriliminin dalga şekilleri de son derece düzgün ve harmoniklerden arındırılmıştır.



Şekil 2.4. a) Şebekeden çekilen aktif güç b) Şebekeden çekilen reaktif güç c) Şebeke geriliminin dalga şekli d) Şebekeden çekilen akımın dalga şekli

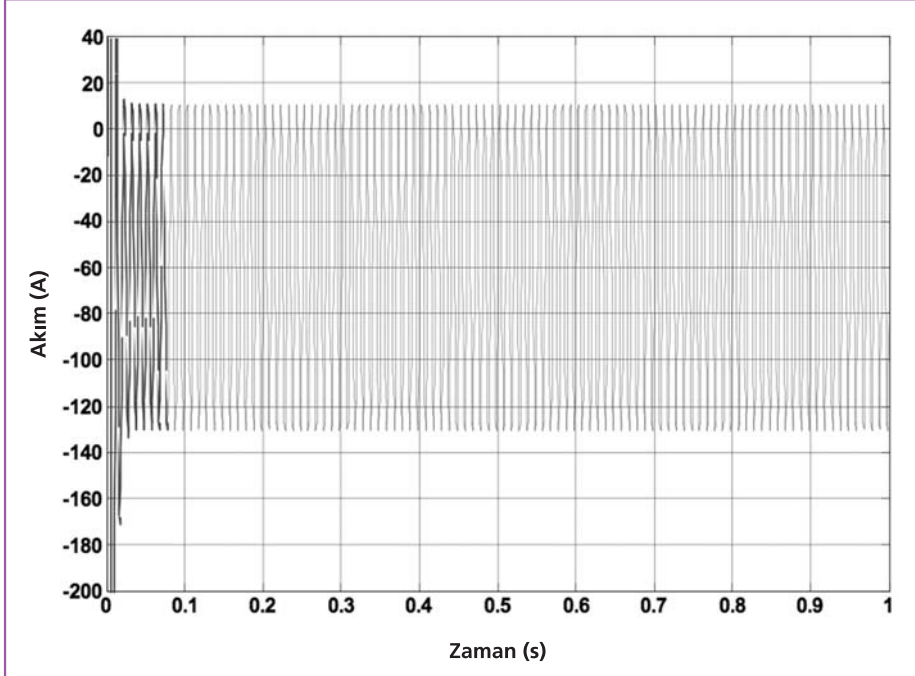
Aynı sistem hızlı şarj durumları için de incelenmiştir. Bu sebeple 25 kW aktif güç ve 5 kVAr kapasitif reaktif referans güçleri altında 370 V nominal gerilim ve 66,67 Ah bir bataryanın %65 SoC'da 1 sn boyunca şarjı incelenmiştir.

Şekil 2.5'de hızlı şarj altında batarya gerilimi gösterilmiştir. Batarya geriliminde aşırı akımlara bağlı olarak büyük bir yükselme ve 7 V civarında bir dalgalanma görülmektedir ki bunlar bataryaya yüksek S değerlerinde zarar vermesi muhtemel sonuçlardır.



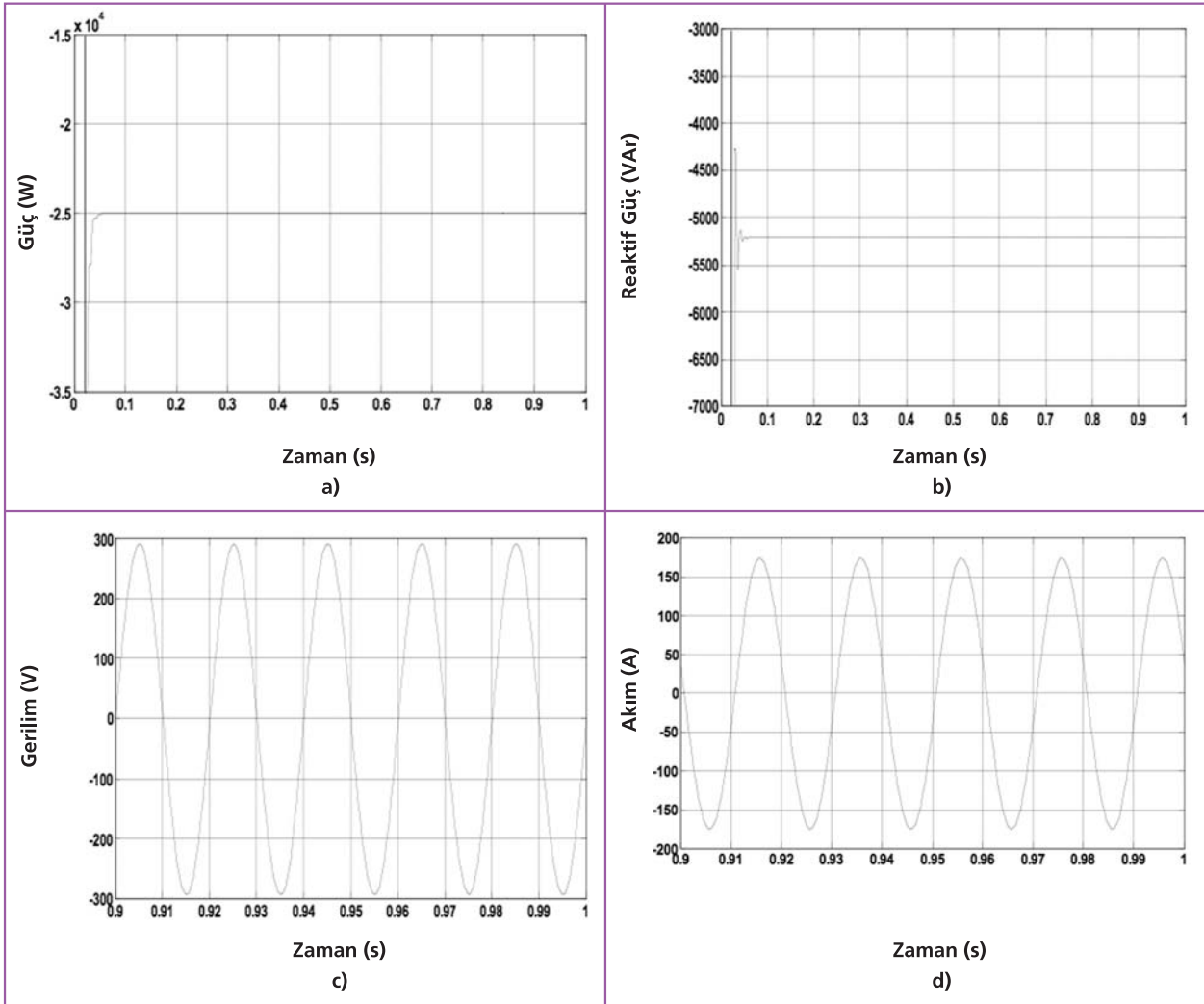
Şekil 2.5. Hızlı şarj için batarya (DC Bara) gerilimi

Batarya akımı Şekil 2.6'da verilmiştir. Batarya akımında hızlı şarj durumunda büyük dalgalanmalar olmaktadır. Yaklaşık olarak 140 A genlikli bir salınım batarya akımında görülmektedir ki, bu da batarya üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir.



Şekil 2.6. Hızlı şarj durumunda batarya akımı

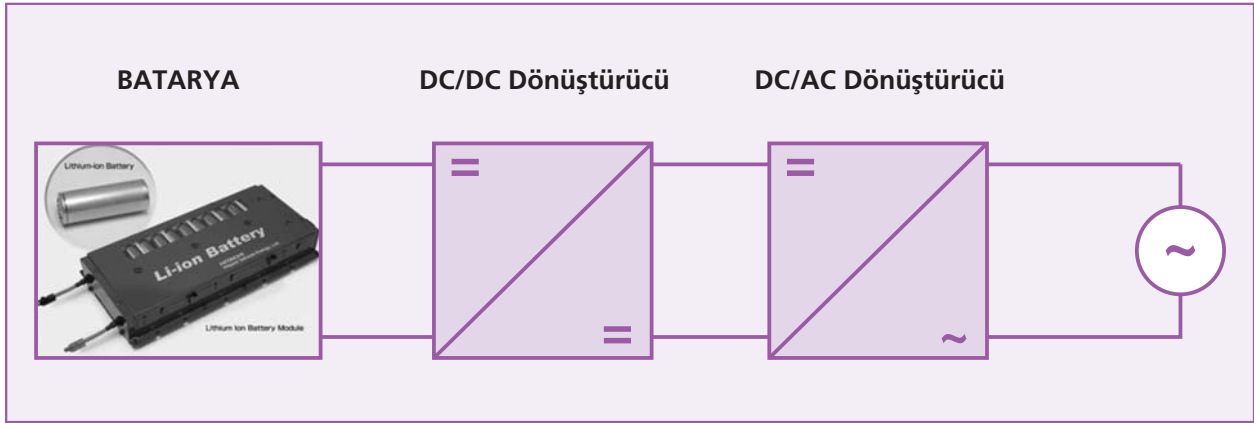
Hızlı şarj durumunda da şebekeden çekilen aktif ve reaktif güçler, AC akım ve gerilimin dalga şekilleri Şekil 2.7'de verilmiştir. Burada da verilen referans güç değerlerine uygun aktif ve reaktif güç değerlerinin çekildiği şebeke akım ve geriliminin dalga şekillerinin de düzgün ve harmoniklerden arındırılmış olduğu görülmüştür.



Şekil 2.7. a) Şebekeden çekilen aktif güç b) Şebekeden çekilen reaktif güç c) Şebeke geriliminin dalga şekli d) Şebekeden çekilen akımın dalga şekli

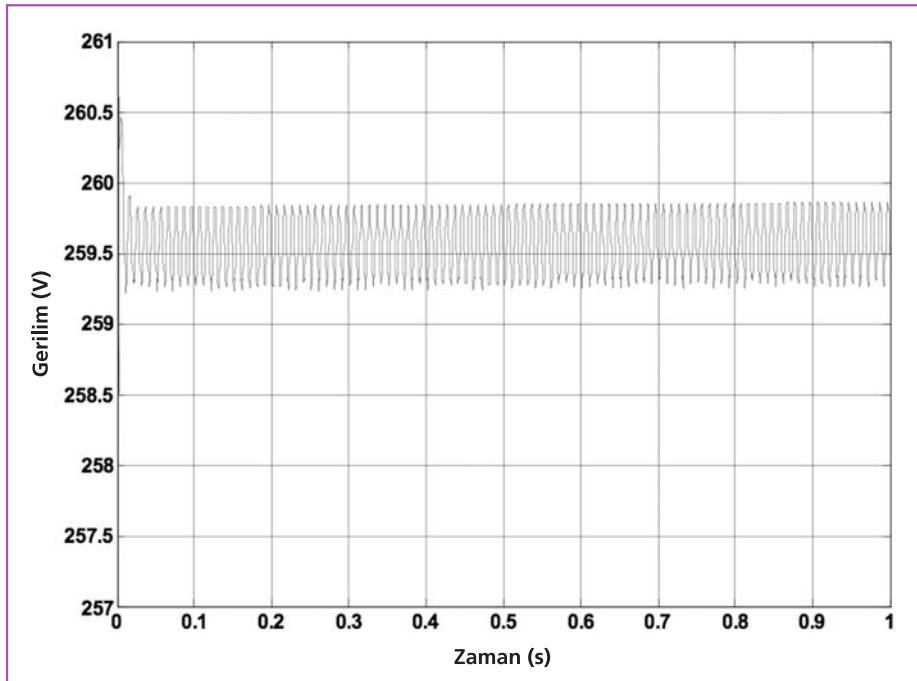
2.1.2. Bataryanın gerilim kontrollü bir DC/DC dönüştürücü üzerinden DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu durum

Bataryanın gerilim kontrollü bir dönüştürücü üzerinden DC/AC dönüştürücüye bağlı olması, şarj durumundan çok EM sürme gibi durumlarda faydalı olması muhtemel bir yöntemdir. Bazı yapılarda düşük gerilimli batarya seçilmesi sayesinde daha az batarya hücresi seri bağlanmakta ve dengeleme işlemi daha da kolaylaşmaktadır. Ancak bu durumda da sistemin şebekeye enerji aktarabilmesi için DC gerilimin yükseltilmesi gerekmektedir. Bu durumlarda kullanılacak dönüştürücünün gerilim kontrollü olmasının etkilerini görebilmek için Şekil 2.8'de gösterilen sistemin bir simülasyonu yapılmış ve sonuçları verilmiştir.



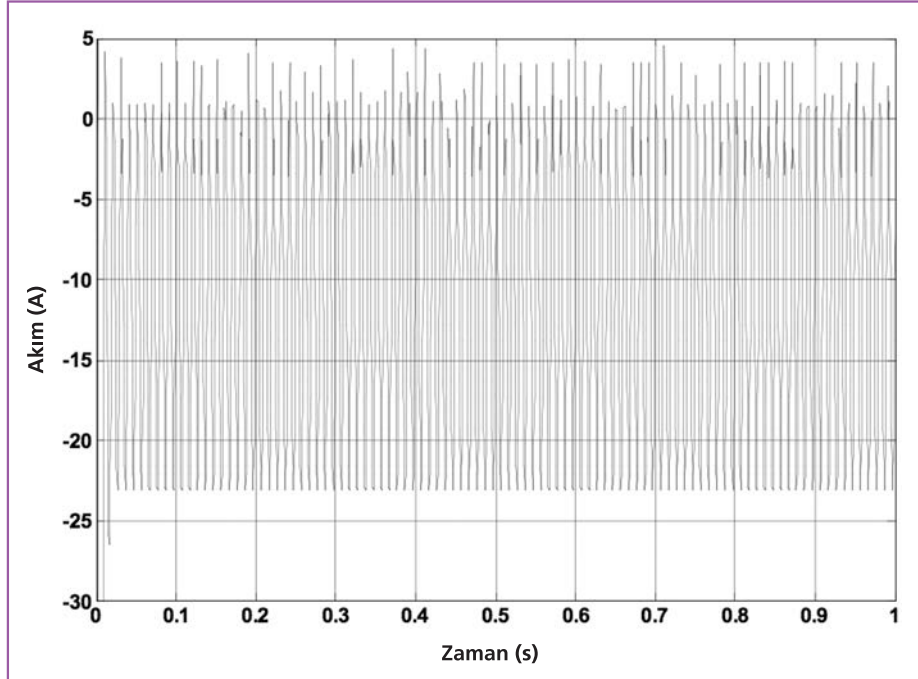
Şekil 2.8. Batarya'nın bir DC/DC dönüştürücü üzerinden DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu durum

Bu amaçla 3 kW şarj gücü ve 1 kVAr kapasitif referans güçleri altında bataryanın %65 SoC için 1 sn'lik bir simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonda 240 V nominal gerilimli 100 Ah kapasiteye sahip bir batarya tercih edilmiştir.



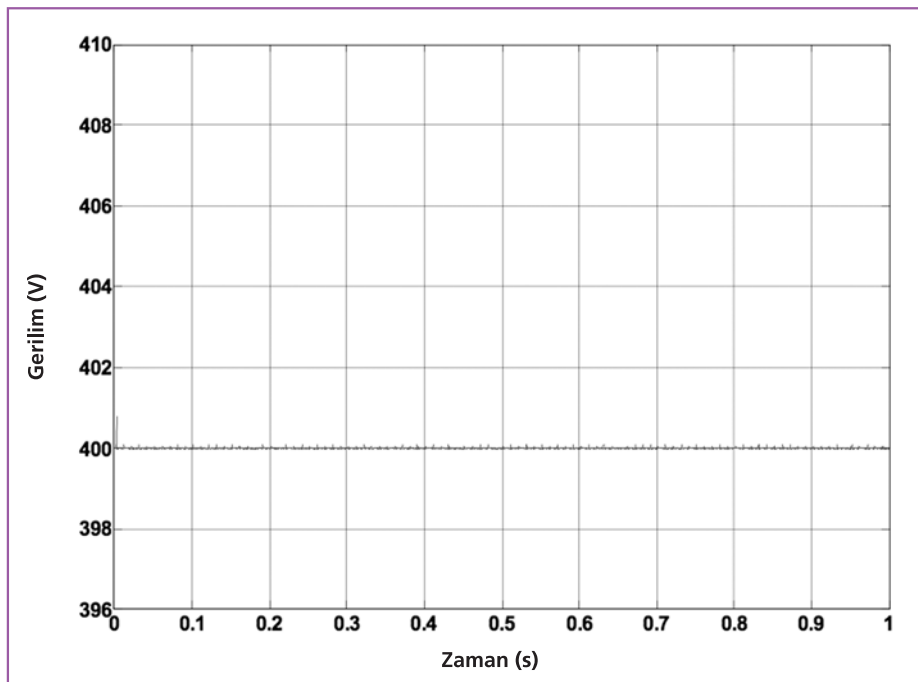
Şekil 2.9. Batarya gerilimi

Batarya gerilimi Şekil 2.9'da gösterildiği gibi bataryadan çekilen akımlara bağlı olarak dalgalanmıştır. Zaten bu sistemdeki amaç bütün dalgalanmaların DC bara yerine batarya tarafında olmasıdır. Şekil 2.10'da batarya akımı gözlenmektedir. Burada da 23 A genlikli oldukça büyük dalgalanmalar olmuştur.



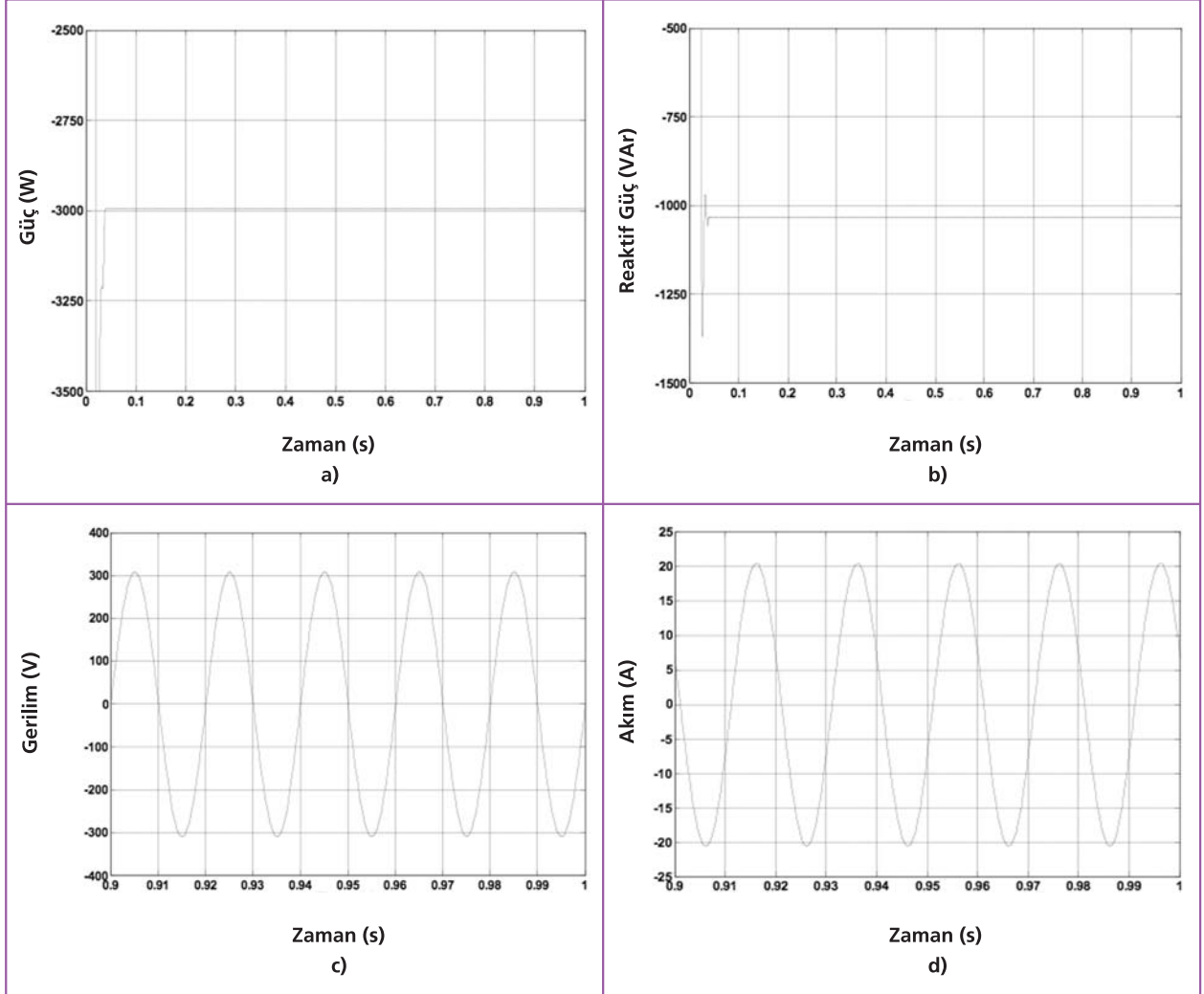
Şekil 2.10. Batarya akımı

Bu sistemin tek avantajlı olduğu nokta ise DC bara gerilimidir. DC bara geriliminin son derece başarılı bir şekilde sabit bir değerde korunduğu Şekil 2.11'den gözlemlenebilmektedir.



Şekil 2.11. DC Bara gerilimi

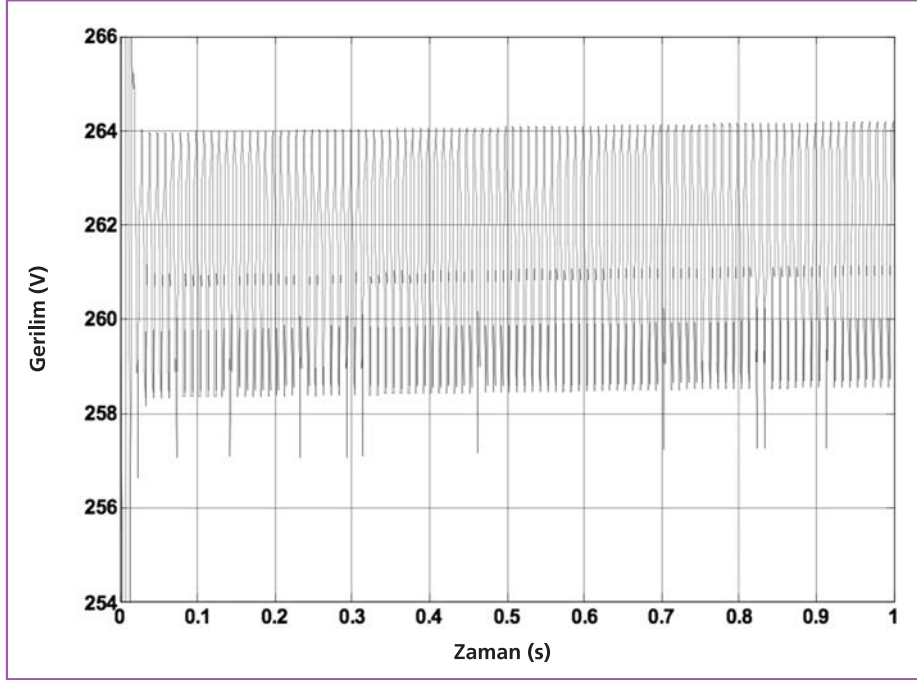
Elde edilen diğer sonuçlar Şekil 2.12'de verilmiştir ve bataryanın DC/AC dönüştürücüye doğrudan bağlı olduğu sistem ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 2.12. a) Şebekeden çekilen aktif güç b) Şebekeden çekilen reaktif güç c) Şebeke geriliminin dalga şekli d) Şebekeden çekilen akımın dalga şekli

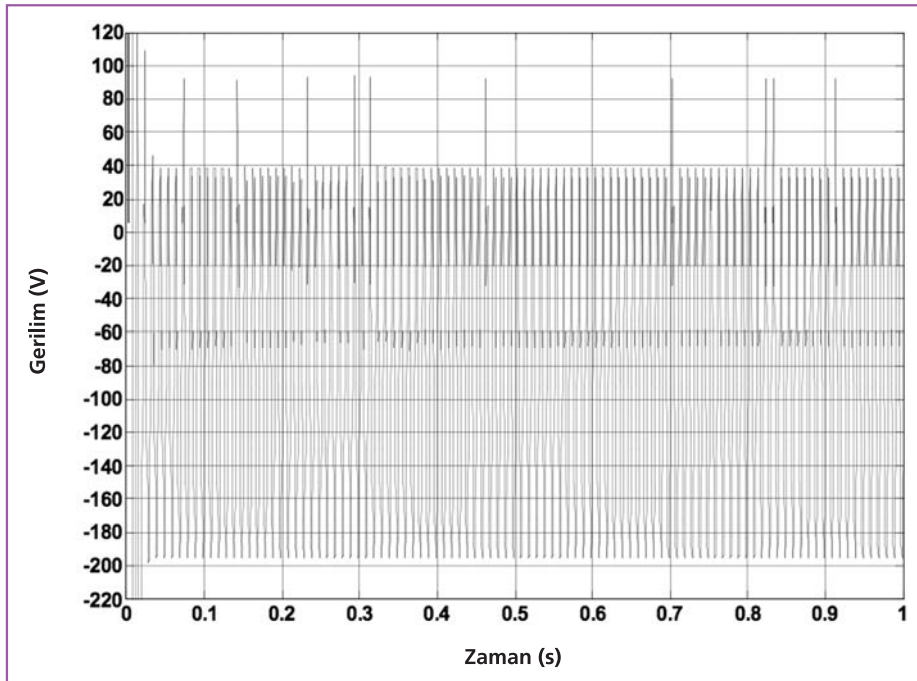
Aynı sistem hızlı şarj durumları için de incelenmiştir. Bu sebeple 25 kW aktif güç ve 5 kVAr kapasitif reaktif referans güçleri altında 240V nominal gerilim ve 100 Ah'lik bir bataryanın %65 SoC'de 1sn boyunca şarjı incelenmiştir.

Şekil 2.13'de batarya geriliminin zamana bağlı olarak değişimi gözükmemektedir. Hızlı şarj durumunda daha büyük güçlerle dolayısı ile daha büyük akımlarla şarj olmaya başlayınca batarya gerilimindeki dalgalanmalar da oldukça artmıştır.



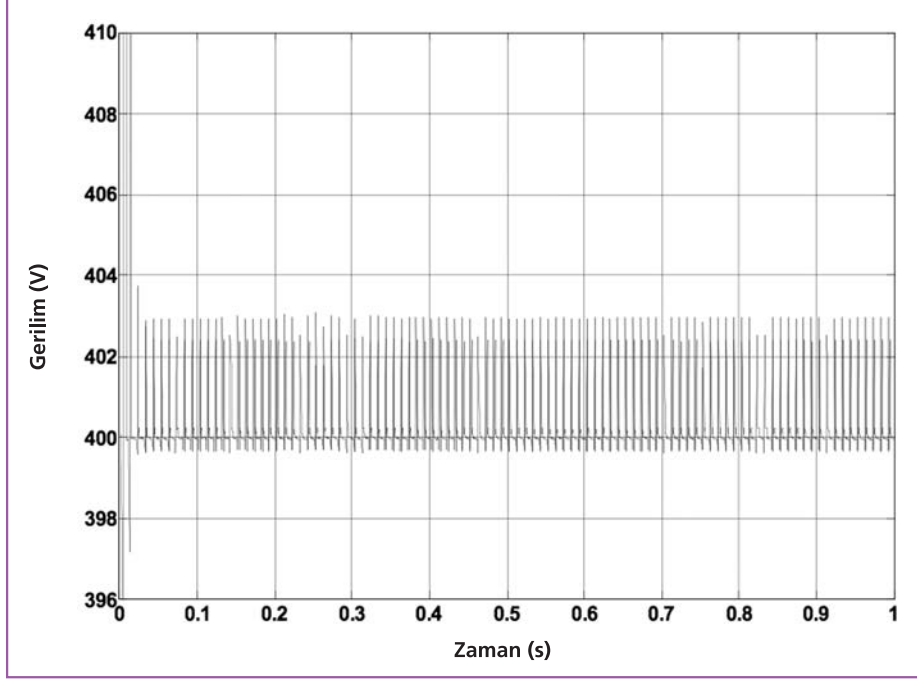
Şekil 2.13. Hızlı şarj için batarya gerilimi

Batarya akımı ise Şekil 2.14'de verilmiştir. Görüldüğü gibi 230 A'dan daha büyük genlikli dalgalanmalar oluşmuştur. Hızlı şarj durumunda DC/DC dönüştürücünün gerilim kontrollü çalışması sonuçlardan görüldüğü gibi hiç de uygun olmayacaktır.



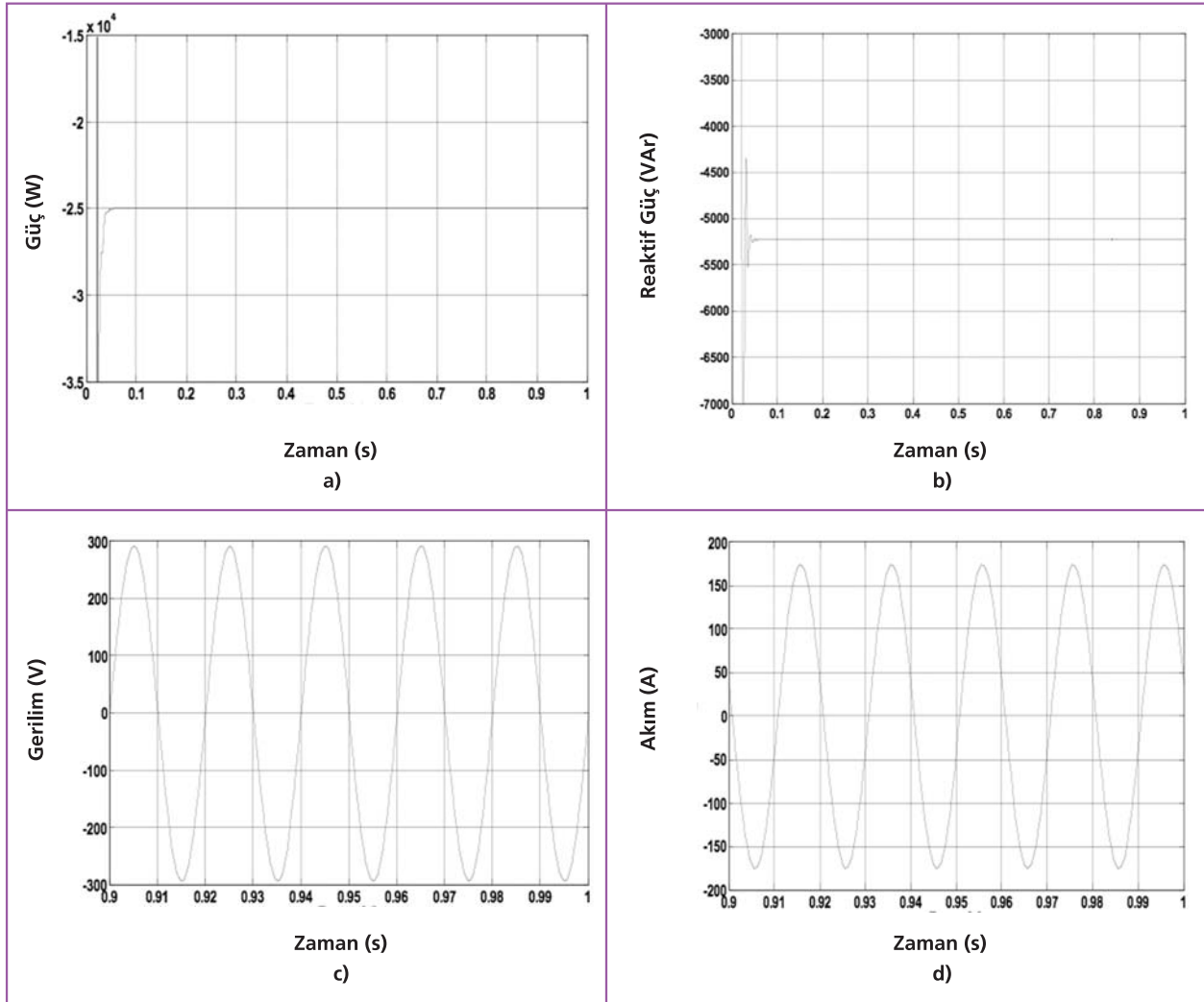
Şekil 2.14. Hızlı şarj için batarya akımı

DC bara geriliminde yüksek güç değerine bağlı olarak küçük genlikli pikler oluşsa da genel olarak sabit bir değerde tutulduğu Şekil 2.15'de gözükmektedir.



Şekil 2.15. Hızlı şarj için DC bara gerilimi

Hızlı şarj durumunda şebekeden çekilen aktif ve reaktif güçler, AC akım ve gerilimin dalga şekilleri Şekil 2.16'da verilmiştir. Hızlı şarj durumunda da verilen referans güç değerlerine uygun aktif ve reaktif güç değerlerinin çekilmiş olduğu, şebeke akım ve geriliminin dalga şekillerinin de son derece düzgün ve harmoniklerden arındırılmış olduğu görülmektedir.

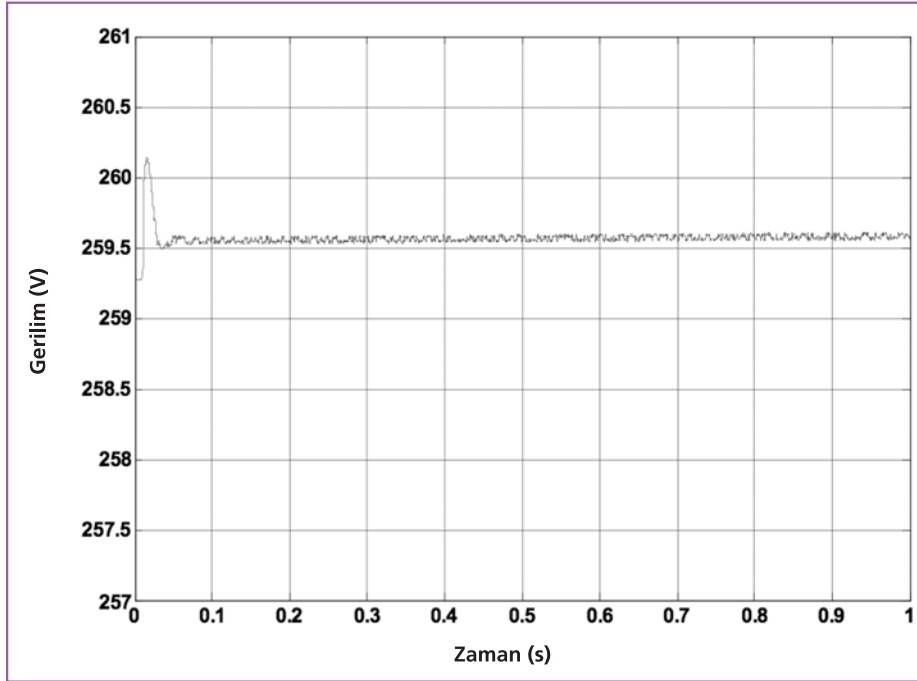


Şekil 2.16. a)Şebekeden çekilen aktif güç b)Şebekeden çekilen reaktif güç c)Şebeke geriliminin dalga şekli d)Şebekeden çekilen akımın dalga şekli

2.1.3. Bataryanın akım-gerilim kontrollü bir DC/DC dönüştürücü üzerinden DC/AC dönüştürücüye bağlı olduğu durum

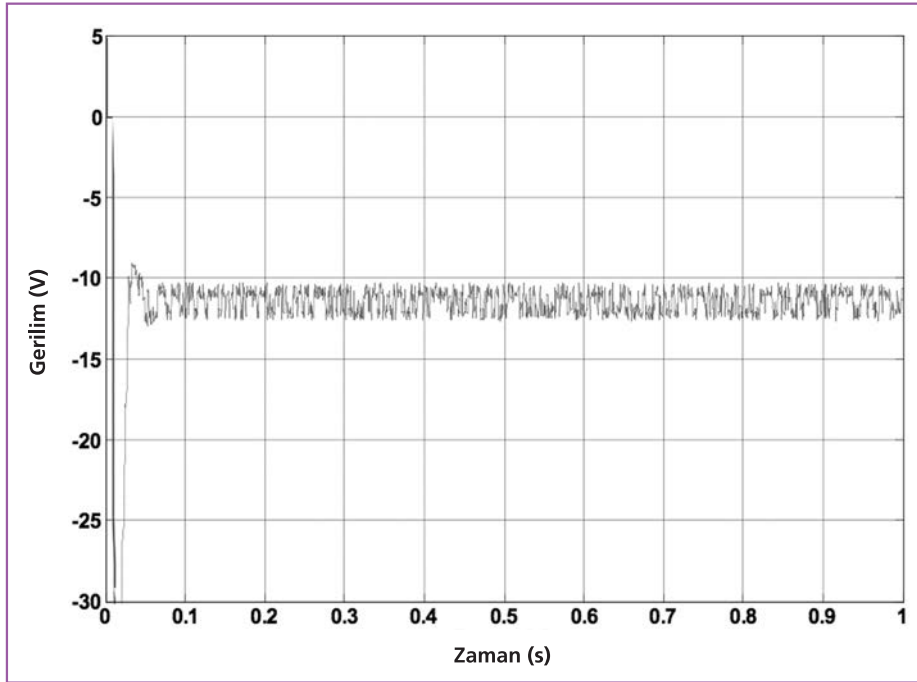
Şekil 8'de verilen yapıda kullanılan DC/DC dönüştürücüde batarya akımını düzelterek yapıda değişken bir kontrol uygulanırsa, şarj sırasında karşılaşılan dalgalanmalara çözüm getirilebileceği görülmüştür. Kullanılan sistemde kontrolör, DC bara gerilimini sabit tutmak yerine referans olarak ayarlanan DC bara gerilimini sağlamak için gerekli akımı hesaplayarak sabit akımla bataryayı şarj etmektedir. Hesaplamalarda oluşacak hatalara veya sistemde büyük dalgalanmalara karşı kontrolör bir yandan bara gerilimini de kontrol etmekte ve bir PI kontrolör aracılığı ile batarya akımını azaltmakta veya artırmaktadır.

Bu yapı ile de 3 kW şarj gücü ve 1 kVAr kapasitif referans güçleri altında bataryanın %65 SoC için 1 sn'lik bir simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonda 240V nominal gerilimli 100 Ah kapasiteye sahip bir batarya tercih edilmiştir. Şekil 2.17'de görüldüğü gibi batarya gerilimi son derece sabit kalmış batarya dalgalanmalarına karşı korunmuştur.



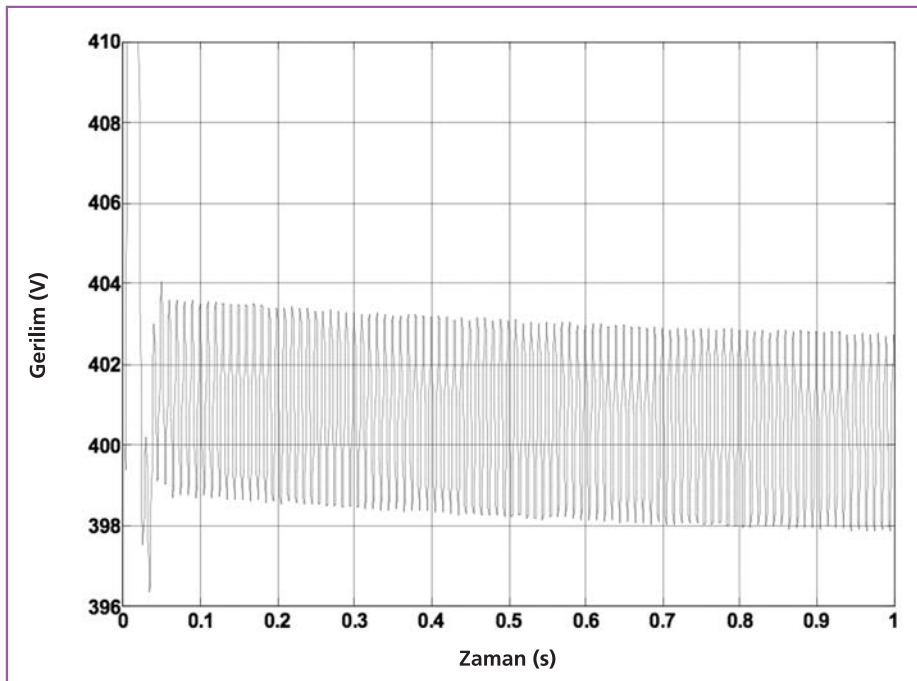
Şekil 2.17. Batarya gerilimi

Aynı şekilde bu kontrol yöntemi sayesinde batarya akımındaki büyük dalgalanmalar azaltılmıştır. Batarya büyük ölçüde sabit bir akımda şarj edilmiş ve bu durum Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



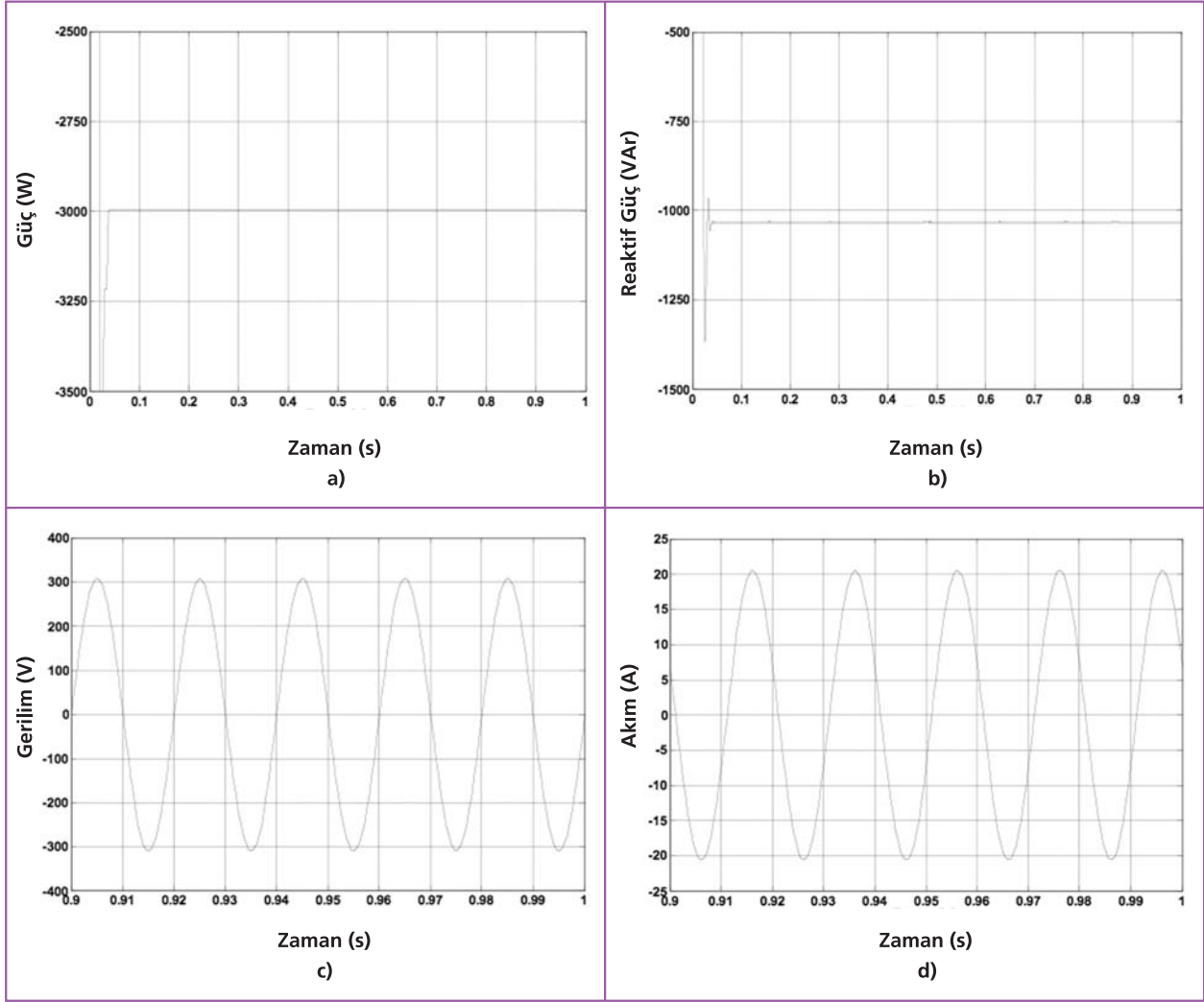
Şekil 2.18. Batarya akımı

Bu önerilen yöntemin karmaşıklığı dışında tek dezavantajı ise, bara gerilimin dalgalanmasıdır. Ancak bu durumun şarj sırasında bir zararı olmamaktadır. Farklı çalışma durumlarında eğer bara geriliminin sabit tutulması gerekirse kontrol yöntemi farklı davranabilir. Bu durumda yapı değişmediğinden bu dezavantajda giderilmiş olmaktadır. DC bara gerilimi Şekil 2.19'da gösterilmiştir.



Şekil 2.19. DC Bara Gerilimi

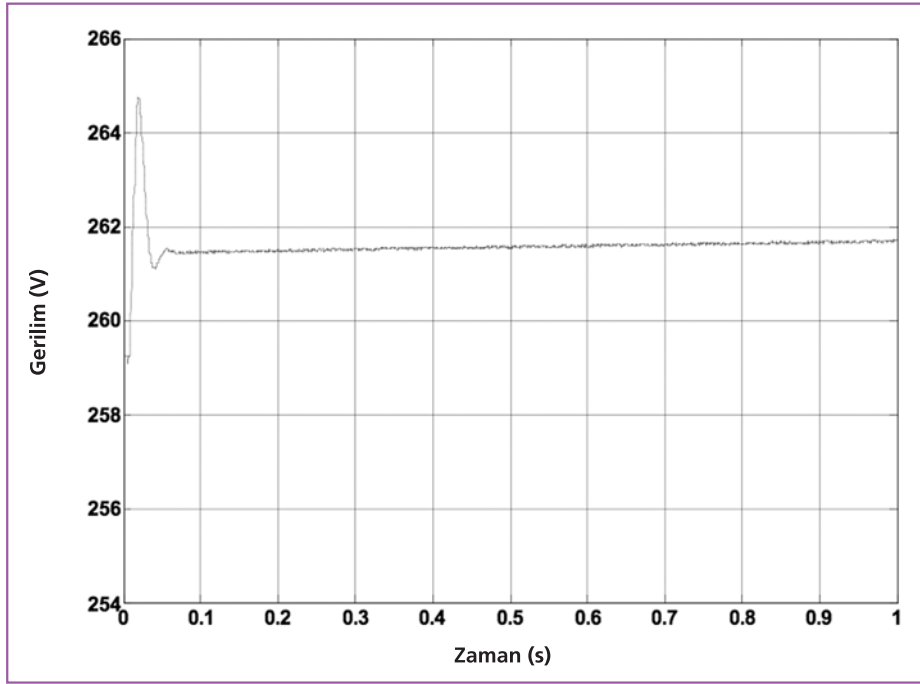
Diğer simülasyonlarda olduğu gibi şebeke gerilimi, akımı şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri istenilen sınır değerler içerisinde. Elde edilen sonuçlar Şekil 2.20'de verilmiştir.



Şekil 2.20. a) Şebekeden çekilen aktif güç b) Şebekeden çekilen reaktif güç c) Şebeke geriliminin dalga şekli d) Şebekeden çekilen akımın dalga şekli

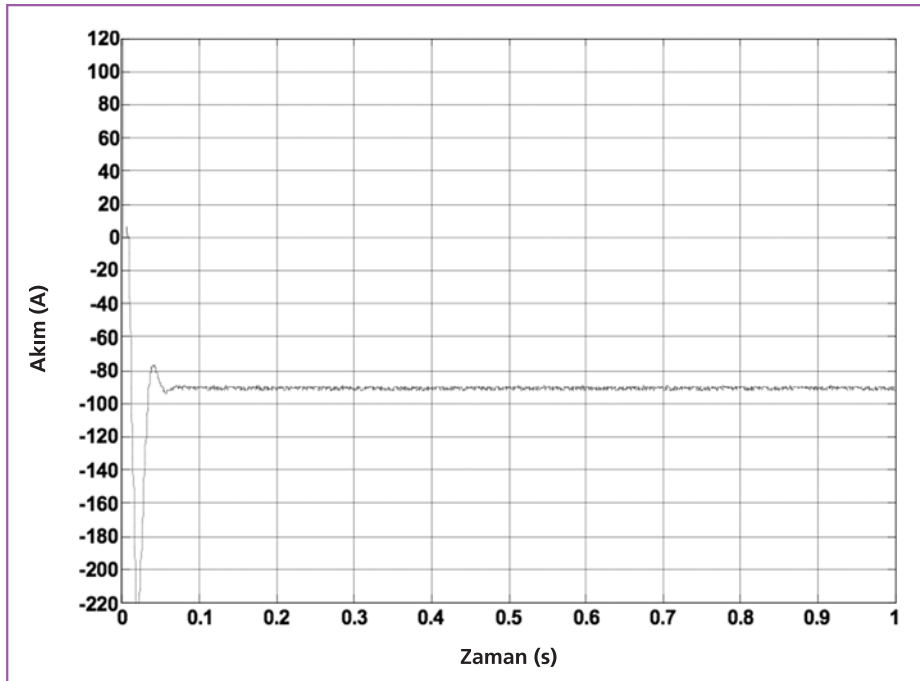
Aynı sistem hızlı şarj durumları için incelenmiştir. Bu sebeple 25 kW aktif ve 5 kVAr kapasitif reaktif referans güçleri altında 240V nominal gerilim ve 100 Ah'lık bir bataryanın %65 SoC'de 1 sn boyunca şarjı incelenmiştir.

Bu yöntemin avantajları hızlı şarj yönteminde daha belirgin ortaya çıkmıştır. Diğer sistemlerdeki hızlı şarj durumunda oluşan dalgalanmalar bu yöntemle oldukça azaltılmıştır. Bahsi geçen kontrol sistemi uygulandığında elde edilen batarya gerilimi değişimi Şekil 2.21'de gösterilmiştir.



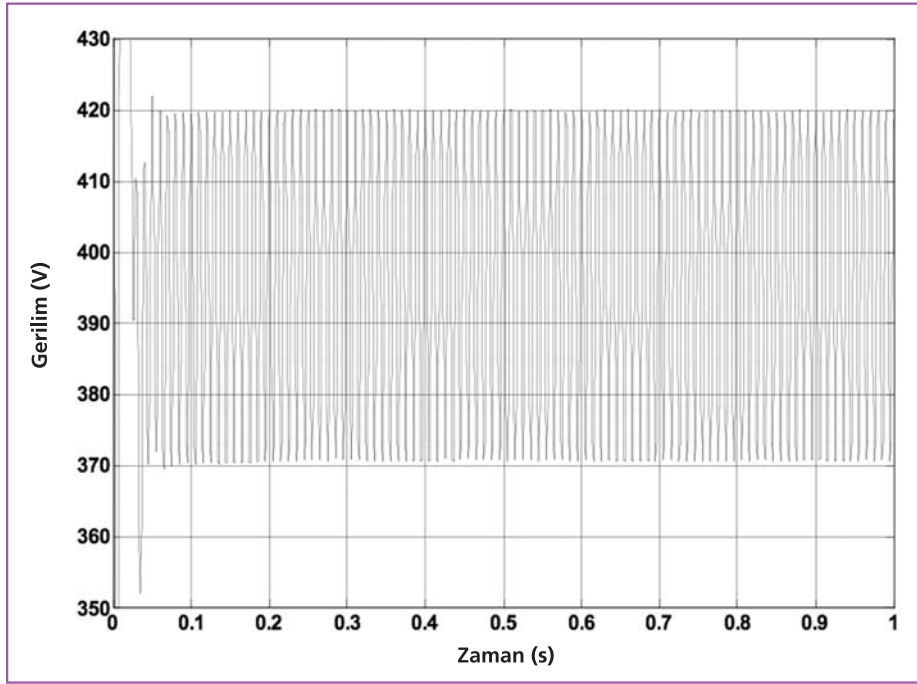
Şekil 2.21. Hızlı şarj durumunda batarya gerilimi

Aynı şekilde batarya akımında diğer yöntemlere göre oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 2.22'de batarya akımı değişimi gösterilmiştir.



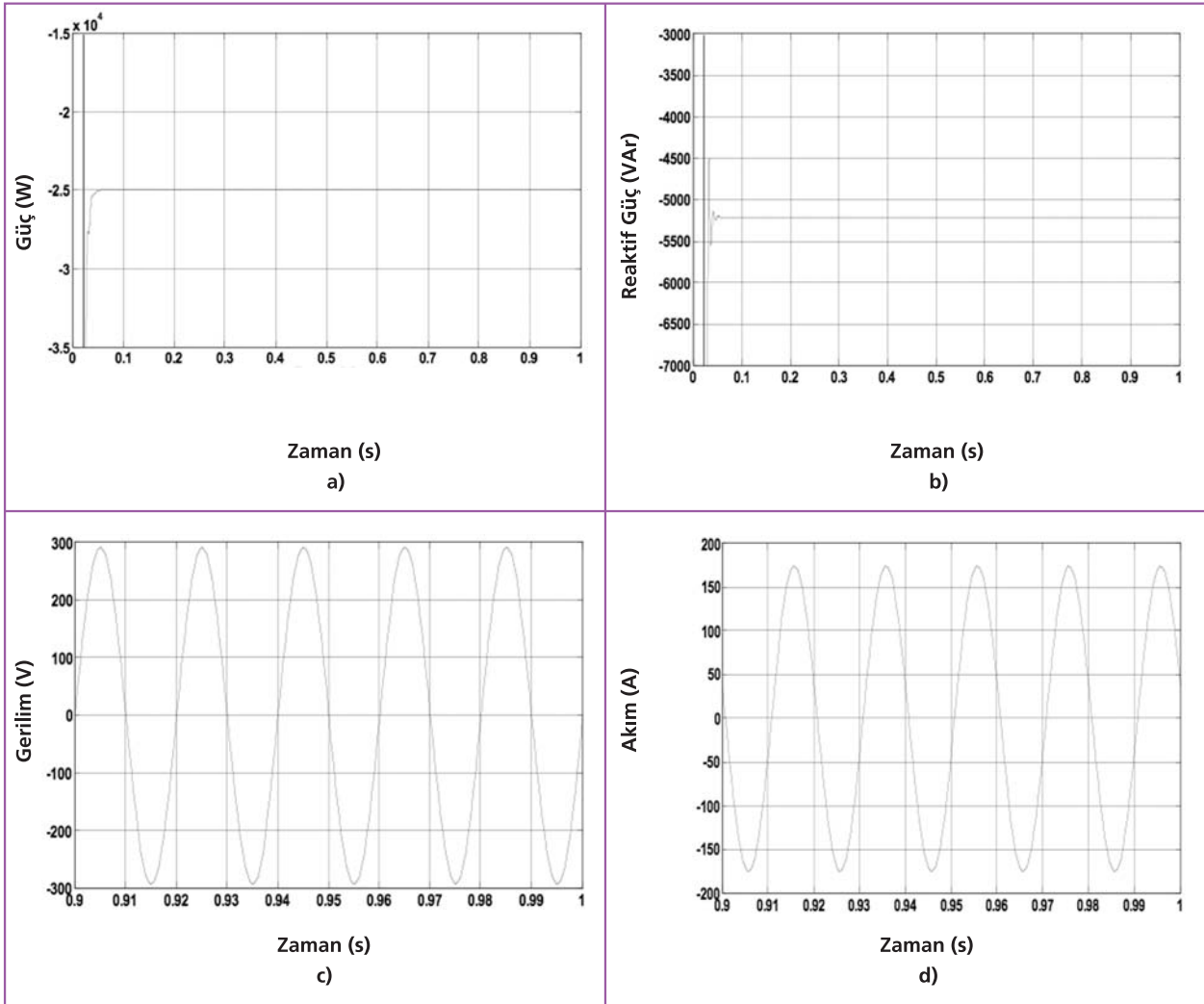
Şekil 2.22. Hızlı şarj durumunda batarya akımı

Bu yöntemde batarya akım ve geriliminin düzeltilebilmesi için DC bara geriliminin dalgalı olmasına müsaade edilmektedir. Hızlı şarj durumunda da DC bara gerilimindeki dalgalılar Şekil 2.23'te verilmiştir.



Şekil 2.23. Hızlı şarj durumunda DC bara gerilimi

Hızlı şarj durumunda da şebeke gerilimi, akımı, şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri, istenilen sınır değerler içerisindedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 2.24'te verilmiştir.



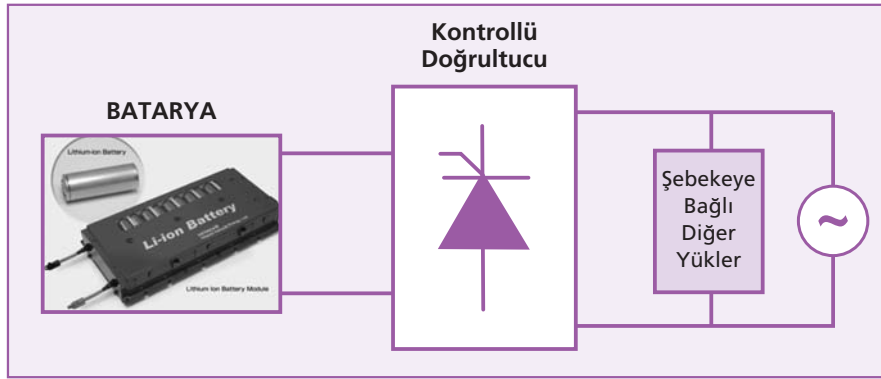
Şekil 2.24. a) Şebekeden çekilen aktif güç b) Şebekeden çekilen reaktif güç c) Şebeke geriliminin dalga şekli d) Şebekeden çekilen akımın dalga şekli

2.2. Şebeke ile Bağlantı Simülasyonları

Bu aşamada yapılan çalışmalarda aracın şebekeye bağlanması durumunda, çoğunlukla kullanılan doğrultucuyla şarj yerine, bu tez çalışmasında önerilen sistemle şarj yöntemi karşılaştırılmıştır. Bu sistemde aracın bir şarj noktası üzerinden şebekeye bağlandığı ve dağıtım şebekesinin araçla birlikte diğer tüketici yüklerini beslediği de düşünülmektedir. Bu çalışmadaki amaç aracın şebeke üzerine etkilerini ve dolayısı ile sınırlı güce sahip bir dağıtım şebekesinden maksimum sayıda aracın şarj edilebilmesini sağlamaktır.

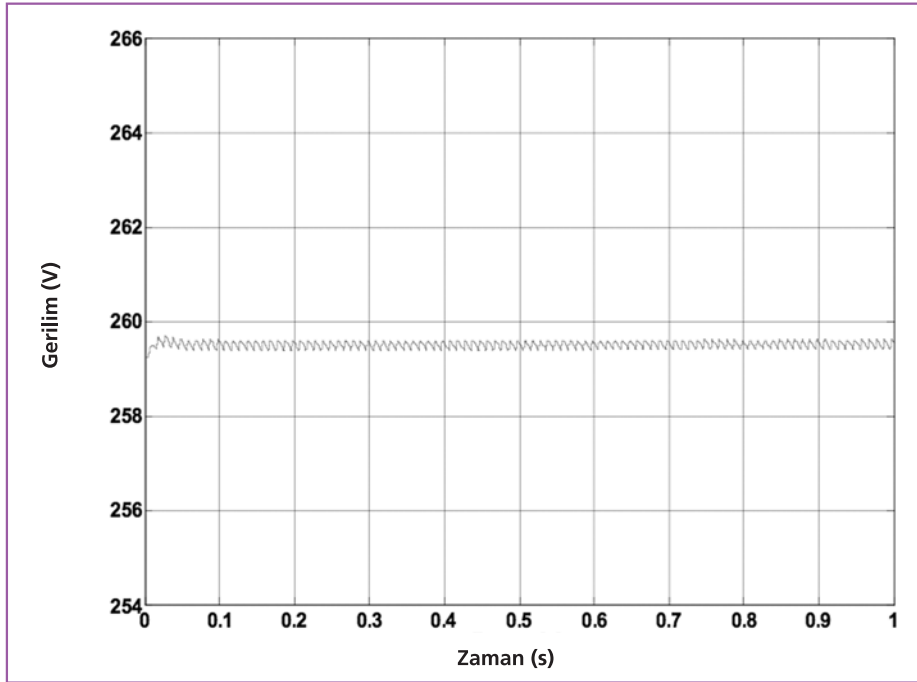
2.2.1. Bataryanın doğrultucu ile şarjı

İlk aşamada bataryanın bir doğrultucu üzerinden şebekeye bağlanması incelenmiştir. Kontrollü bir tam dalga doğrultucu üzerinden %65 SoC'ye sahip 240 V nominal gerilimli ve 100 Ah'lik bir araç bataryasının şarjı 1 sn boyunca incelenmiştir. Oluşturulan sistemin blok diyagramı Şekil 2.25'de verilmiştir. Araç 3 kW aktif güç ile bir yandan şarj olurken, aynı zamanda şarj noktasının bulunduğu bölgeden diğer yükler 5 kW aktif güç ve 2,5 kVAr reaktif güç çekmektedir. Ayrıca yük akımının 5 ve 7. harmonik bileşenleri bulunmaktadır.



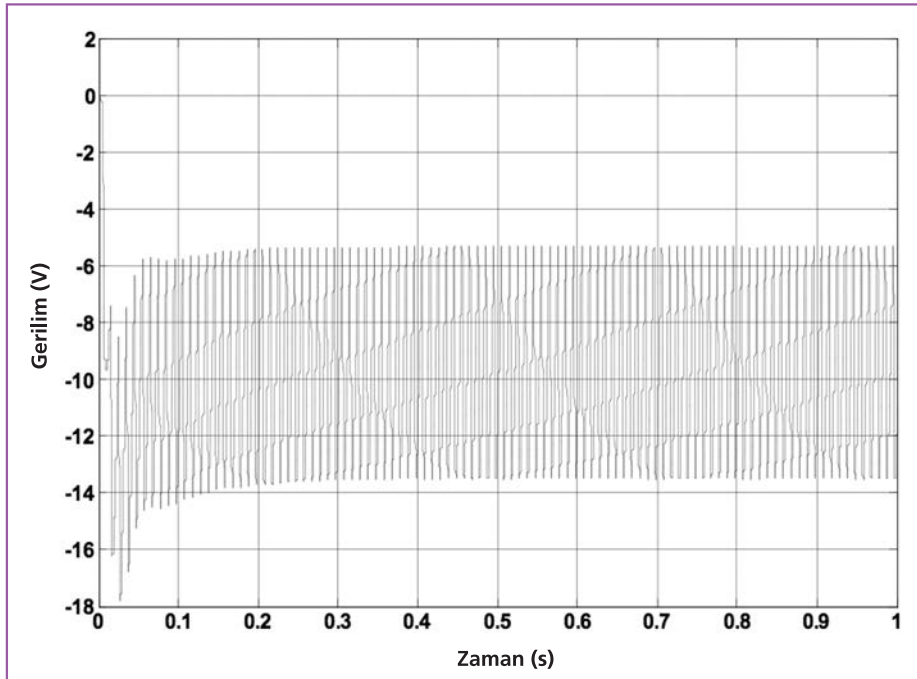
Şekil 2.25. Doğrultucu üzerinden şarj blok diyagramı

Şarjın bu şekilde yapılması durumunda batarya gerilimi triyot tetikleme açısına bağlı olarak darbeli akımlar çekmektedir. Çıkışa koyulan filtreler sayesinde akım oldukça düzeltilmiş, bu sayede batarya geriliminde oluşan dalgalanmalar azaltılmaya çalışılmıştır. Bu şartlar altında batarya gerilimi Şekil 2.26'da gösterilmiştir.



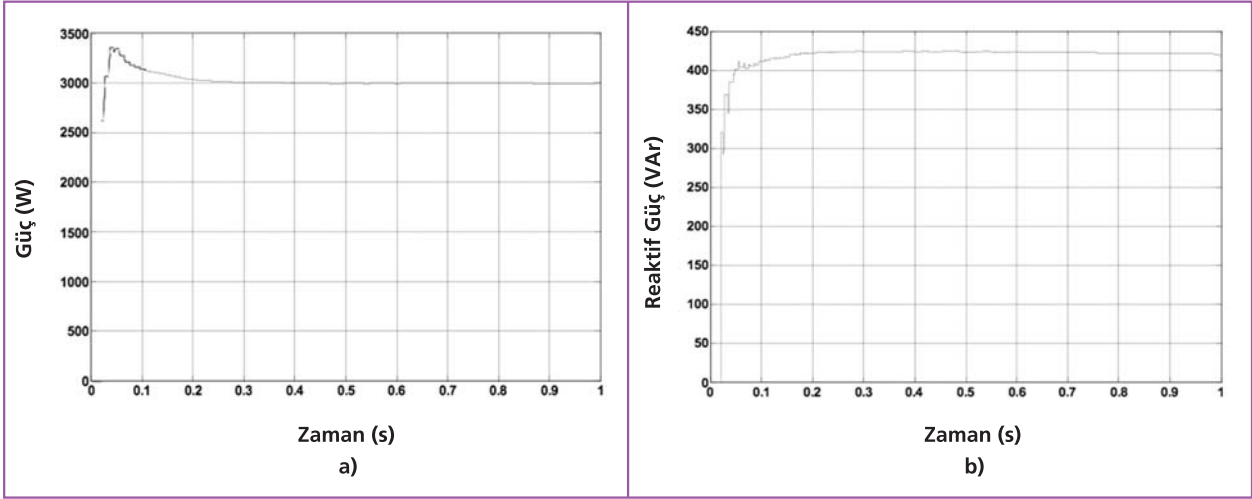
Şekil 2.26. Batarya gerilimi

Aynı şekilde doğrultucu sistemi ile yapılan şarjda Şekil 2.27'de de görüldüğü gibi batarya akımında da dalgalanmalar yüksek miktarda olmuştur. Dalgalanmalar 8 A gibi büyük bir genlikte gerçekleşmiştir.



Şekil 2.27. Batarya akımı

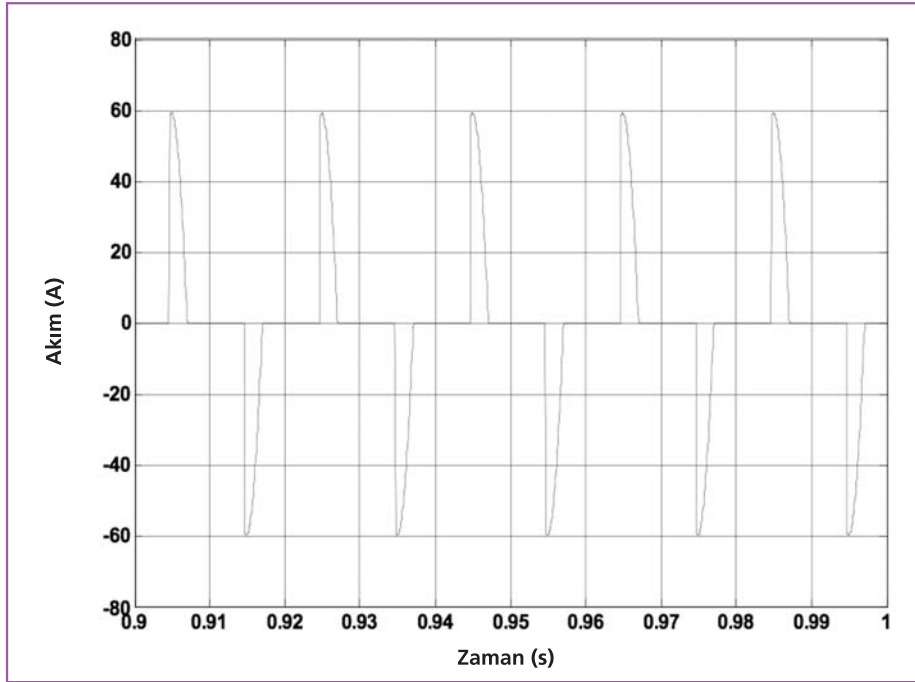
Şarj için şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç Şekil 2.28'de verilmiştir. EA'nın şarjı için doğrultucu kullanılması durumunda aktif güç dışında, şebekeden aktif gücün %14'ü kadar reaktif güç çekilmektedir.



Şekil 2.28. a) Şarj için çekilen aktif güç b) Şarj için çekilen reaktif güç

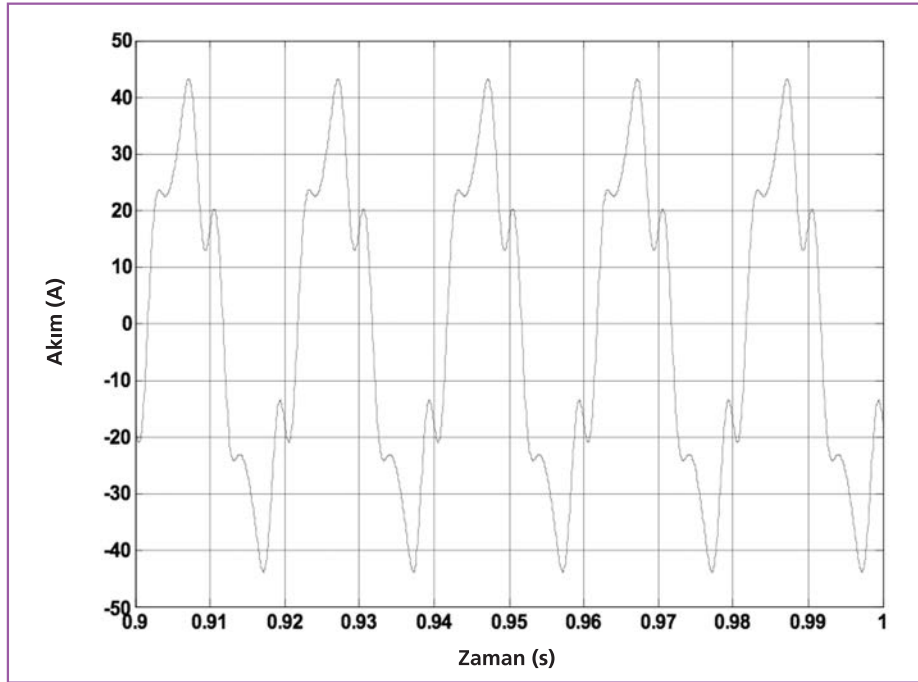
Doğrultucular büyük miktarda harmonik kaynağı oldukları için şebekeden çektikleri akımda sinüsoidal olmamaktadır. Tetikleme açısına bağlı olarak şebekeden çekilen akımın dalga şekli bozulmaktadır. Yapılan simülasyonda şarj için şebekeden çekilen akımın dalga şekli Şekil 2.29'da verilmiştir.

Akımın Fourier açılımı yapıldığında şebekeden çektiği akımın birçok harmonik bileşen içerdiği görülmüştür. Toplam harmonik bozulmanın %129 olduğu tespit edilmiştir.



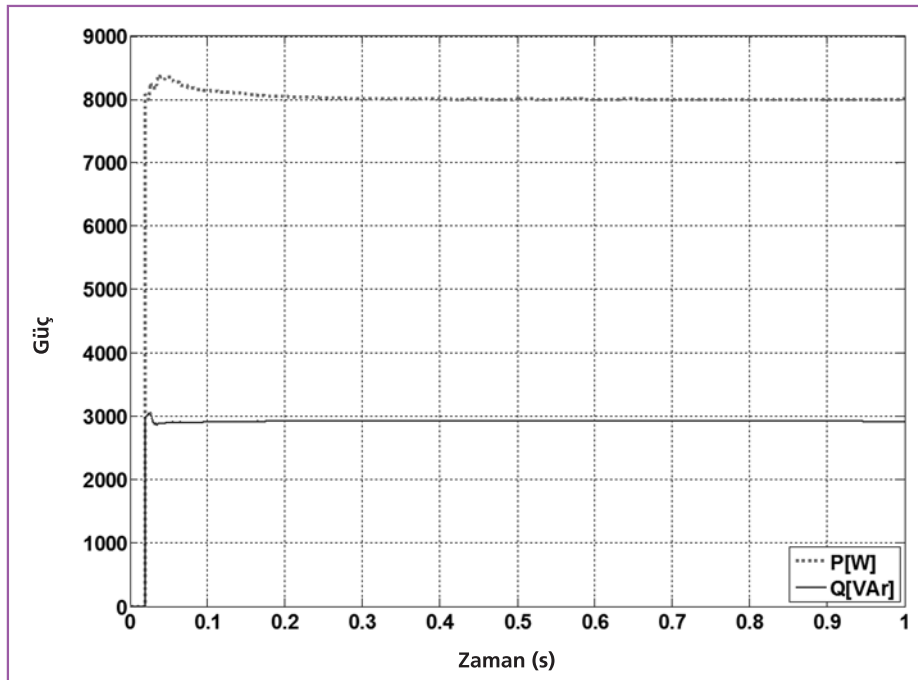
Şekil 2.29. Şebekeden çekilen şarj akımı

Şebekeden araç dışında diğer yüklerin çektiği akımın dalga şekli Şekil 2.30'da verilmiştir. Yük akımı düşük oranda 5 ve 7. harmonik bileşenleri içermektedir ve araç dışındaki diğer yüklerin çektiği akımın toplam harmonik distorsiyonu (THD) %25 civarındadır.



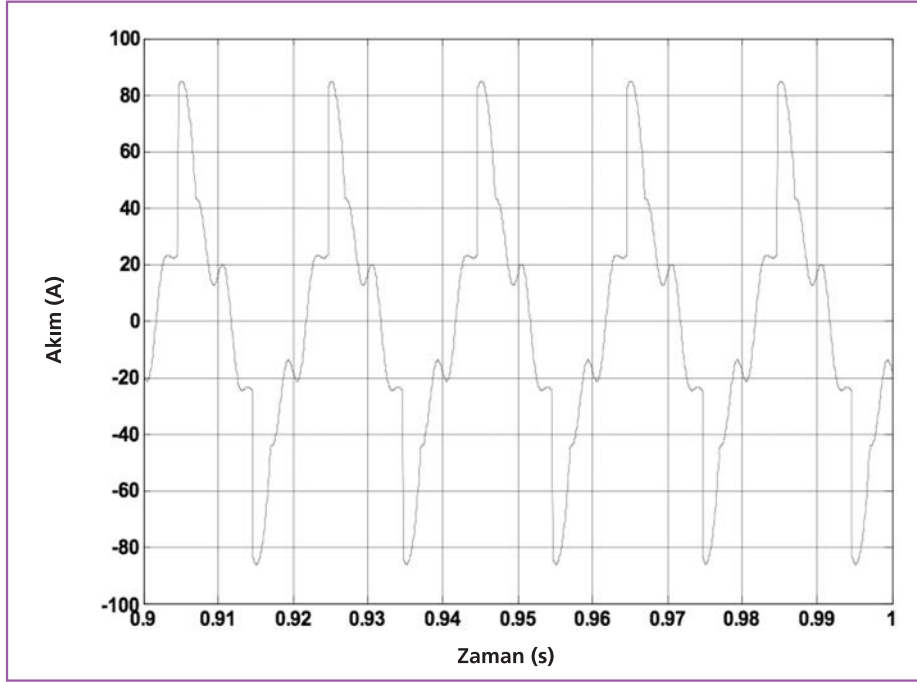
Şekil 2.30. Şarj noktasına bağlı diğer yüklerin akımı

Ayrıca bütün yüklerin toplam şebekeden çektiği aktif güç değeri 8 kW, reaktif güç değeri ise 3 kVAR civarında seçilmiştir. Bu değerlerde Şekil 2.31'de gösterilmiştir.



Şekil 2.31. Şarj noktasına bağlı yüklerin çektiği aktif ve reaktif güç değerleri

Aracın ve yükün harmonik bileşenli akımlarının toplamına bağlı olarak, şebekeden çekilen akımın dalga şekli oldukça bozulmuş ve enerji kalitesi açısından önemli bir etken olan "Crest Faktörü" (V_{max}/V_{RMS}) 2 gibi tehlikeli değerlere ulaşmıştır. Ayrıca aracın ve yükün reaktif güçlerinin toplamına bağlı olarak şebeke fazladan bir yük ile yüklenmiştir. Şebekeden çekilen toplam akımın dalga şekli Şekil 2.32'de verilmiştir. Bahsi geçen akım birçok harmonik bileşen içermekle beraber toplam harmonik bozulması %45 seviyelerindedir. Akımın RMS değeri ise 42,5 A'dir.

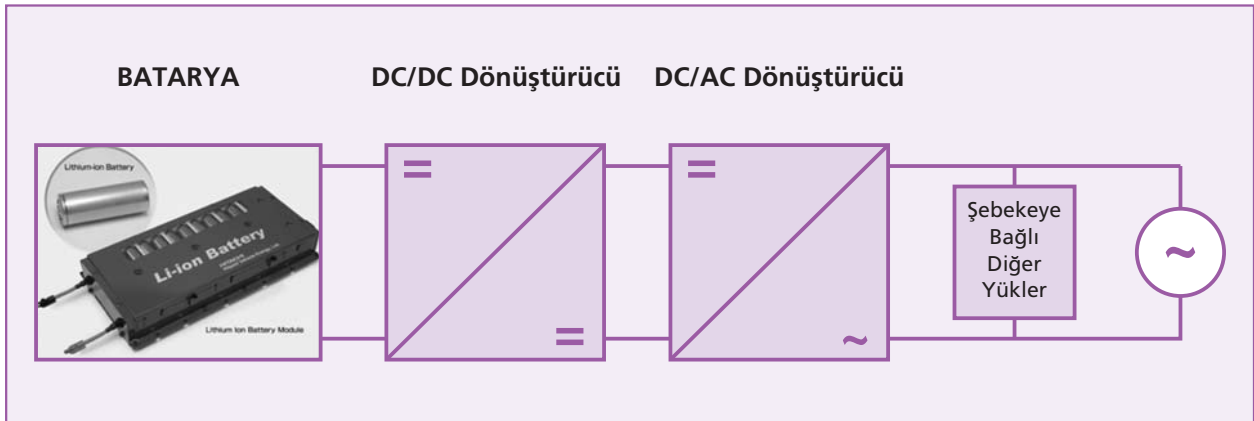


Şekil 2.32. Şebekeden çekilen toplam akımın dalga şekli

2.2.2. Bataryanın önerilen sistem ile şarjı

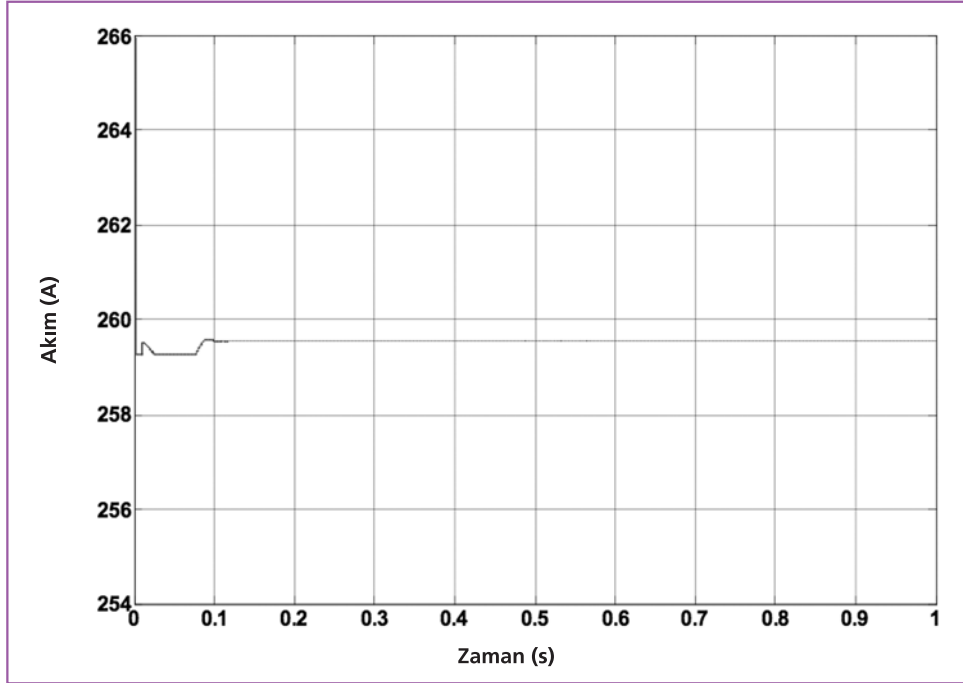
Bu simülasyon çalışmasında batarya bir DC/DC dönüştürücü üzerinden DC/AC dönüştürücü aracılığı ile şebekeye bağlanmaktadır. DC/DC dönüştürücü ise daha önceki çalışmalarda geliştirilen şekilde yapılmıştır. Bu sayede hem batarya akımları azaltılmış, hem de DC/AC dönüştürücünün kontrolünde uygulanan yöntemler sayesinde şebeke reaktif güç yükünden ve harmoniklerden arındırılmıştır.

Önceki simülasyonda olduğu gibi burada da %65 SoC'ye sahip 240 V nominal gerilimli ve 100 Ah'lik bir araç bataryasının şarjı 1 sn boyunca incelenmiştir. Oluşturulan sistemin blok diyagramı Şekil 2.33'te verilmiştir. Araç 3 kW aktif güç ile bir yandan şarj olurken, aynı zamanda şarj noktasının bulunduğu bölgeden diğer yükler 5 kW aktif güç ve 2,5 kVAr reaktif güç çekmektedir.



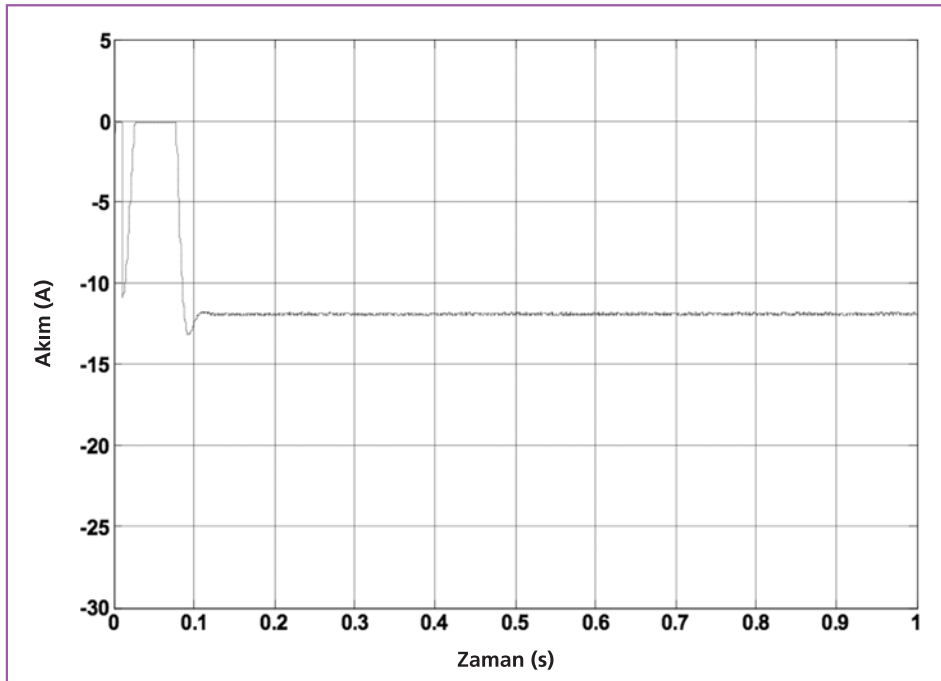
Şekil 2.33. Önerilen sistem ile bataryanın şarjı için blok diyagramı

Uygulanan sistem ile batarya akımındaki dalgalanmalar oldukça azaltıldığı için batarya geriliminde oluşacak dalgalanmaların önüne geçilmiş ve batarya gerilimi sonuç olarak Şekil 2.34'te görüldüğü hali almıştır.



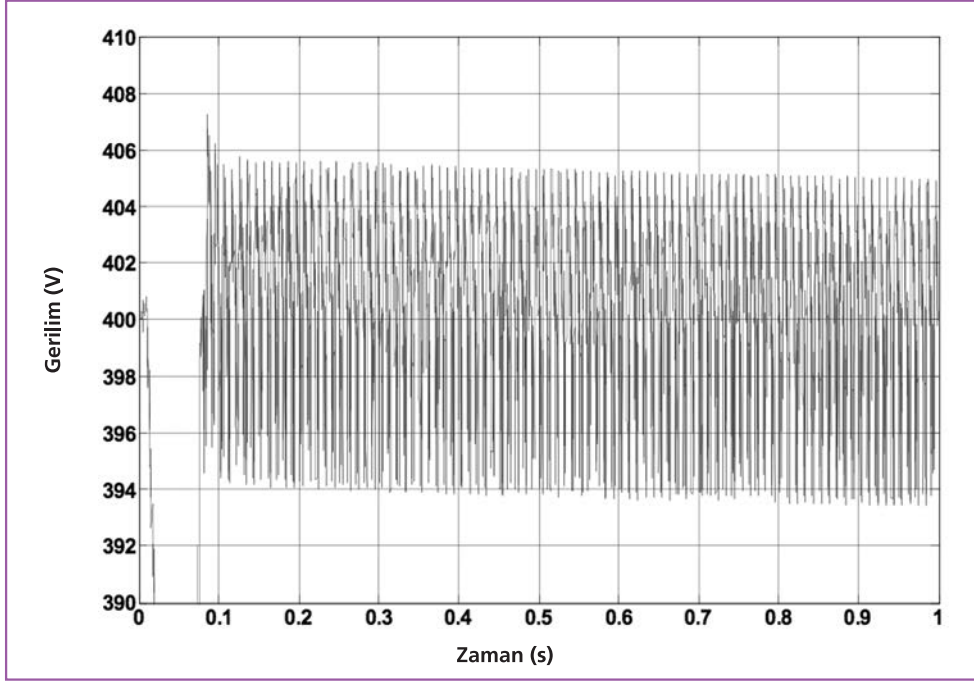
Şekil 2.34. Batarya gerilimi

Benzer şekilde batarya akımı da kontrol edildiğinden simülasyon boyunca batarya akımı da sabit bir halde devam etmiştir. Şekil 2.35'te batarya akımının değişimi gözlenebilmektedir.



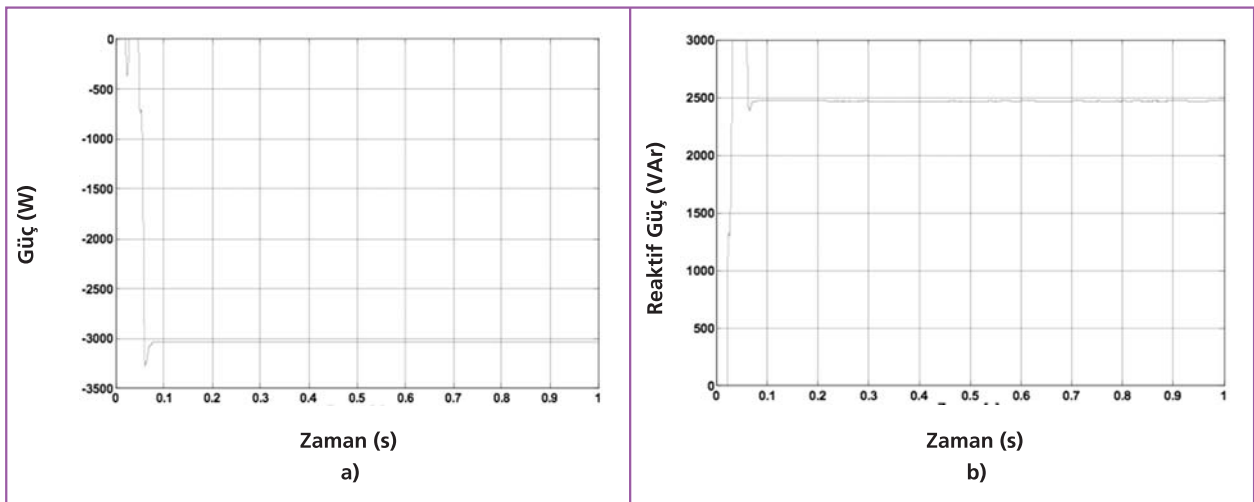
Şekil 2.35. Batarya akımı

Sistemde kullanılan kontrol yöntemi gereği DC bara gerilimi dalgalanmaktadır. Ancak bu işleyişte herhangi bir soruna yol açmamaktadır. DC bara gerilimi Şekil 2.36'da verilmiştir.



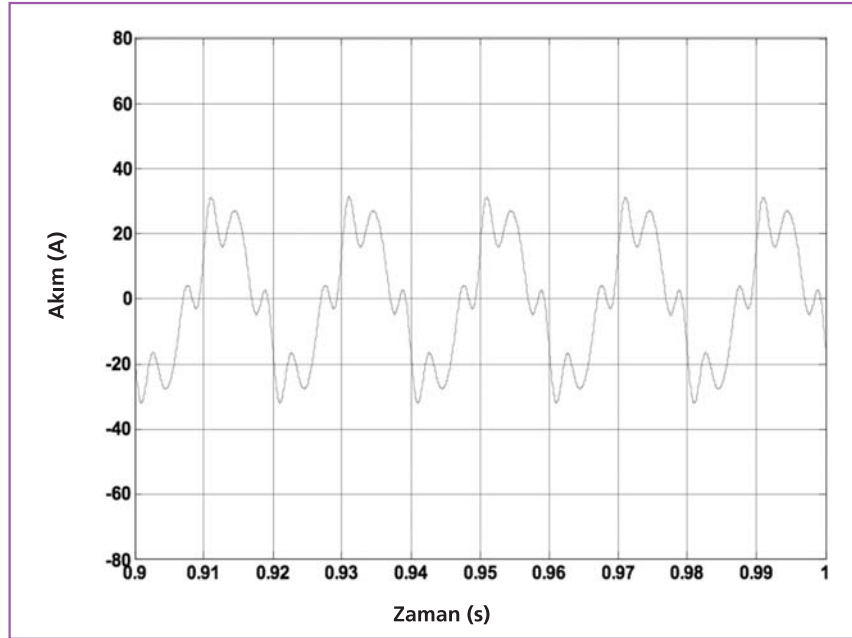
Şekil 2.36. DC bara gerilimi

Şekil 2.37'de şebekeden çekilen aktif ve reaktif güçlerin değişimi gösterilmiştir. Bu sistem ileride planlanan akıllı şebeke (smart grid) ile uyumlu çalışabilecek bir yapıdadır. Sistemde şebekeden çekilecek aktif ve reaktif güçler akıllı şebekeden gelecek referans değerle göre belirlenebilmektedir. Bu sayede şebekenin karşılayabileceği miktarda en büyük değerlerde aktif güç ve diğer yüklerin çektiği reaktif güçleri kompanse edecek şekilde reaktif güç çekilmesi sağlanmıştır. Böylelikle şebeke üzerinde oluşacak fazladan yüklenmelerin oldukça önüne geçilmiştir.



Şekil 2.37. a) Şarj için çekilen aktif güç b) Şarj için çekilen reaktif güç

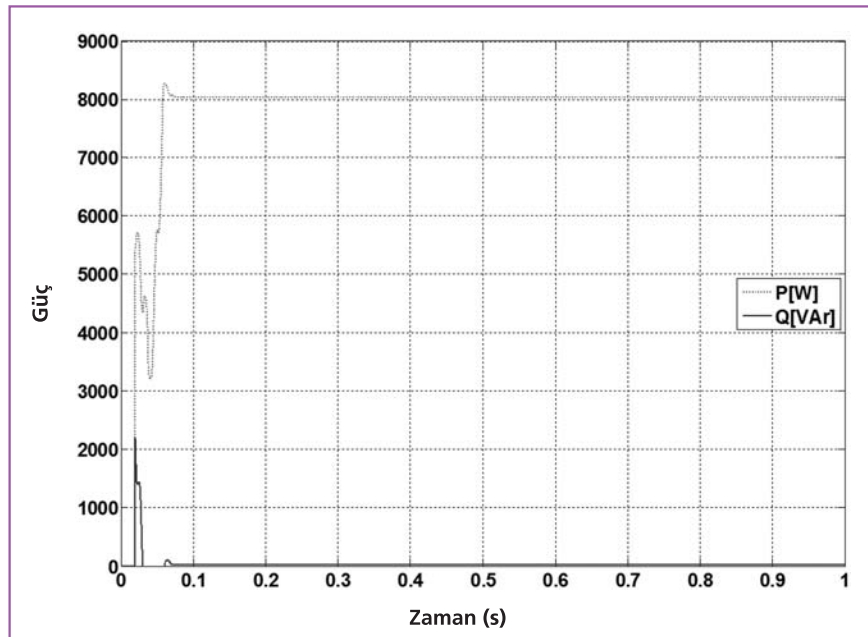
Bu sistemin avantajlarından biri de aynı zamanda aktif filtre gibi çalışıp sistemdeki diğer harmonik bileşenleri yok etmesidir. Burada sistem, akıllı şebekeden gelen harmonik akım bileşen değerlerini referans olarak kabul edip şebekeye bağlı olan diğer yüklerin harmonik bileşenlerini karşılayacak şekilde çalışmaktadır. Bu sebeple şarj akımında yük harmoniklerini bastırarak harmonik bileşenler bulunmaktadır. Şebekeden şarj için çekilen akımın dalga şekli Şekil 2.38'de verilmiştir.



Şekil 2.38. Şebekeden çekilen şarj akımının dalga şekli

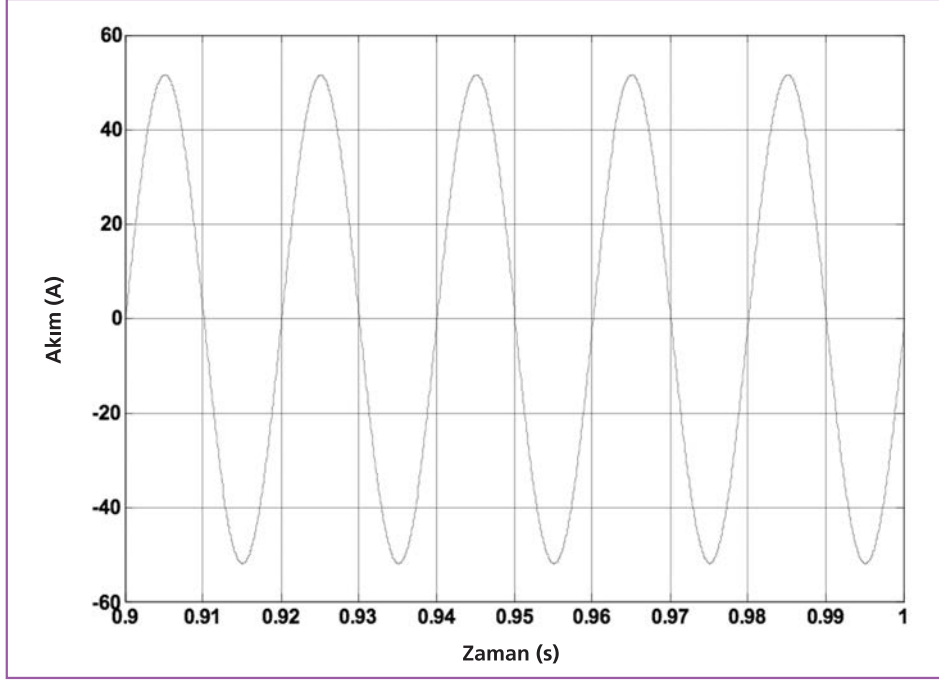
Şebekeye önceki simülasyonda kullanılan yükün aynısı bağlanmıştır. Yükün aktif ve reaktif güç değerleri Şekil 2.31'de verilmiştir. Ayrıca yükün şebekeden çektiği akımda Şekil 2.30'da gözlenebilmektedir.

Bu şartlar altında şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri Şekil 2.39'da verilmiştir ve görüldüğü gibi şebekeden reaktif güç çekilmemektedir.



Şekil 2.39. Şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri

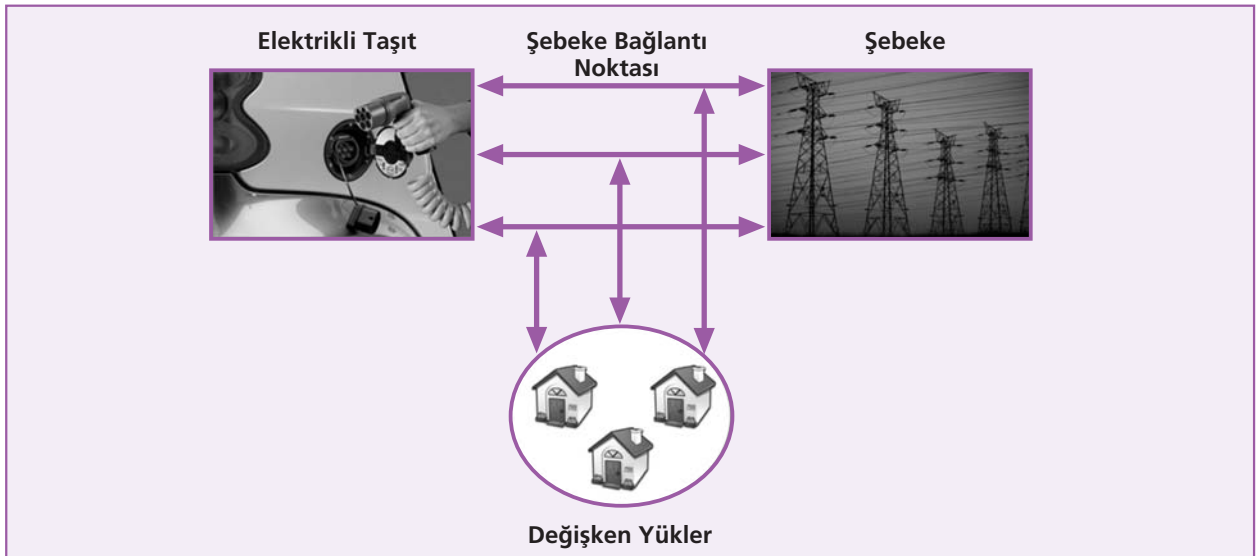
Önerilen sistemin avantajlarından bir diğeri de Şekil 2.40'ta görüldüğü üzere şebekeden çekilen akımın harmonik bileşenlerinden arındırılmış ve genliği oldukça düşürülmüştür. Ayrıca şebekeye olumsuz etkileri olan "Crest Faktörü" değeri ideal seviyelere çekilmiş (1,4) ve akımın RMS değeri 36,5 A'ya düşürülmüştür ki bu da doğrultucu ile yapılan şarj işlemine göre %14 daha az akım çekilmesi anlamına gelmektedir.



Şekil 2.40. Şebekeden çekilen toplam akımının dalga şekli

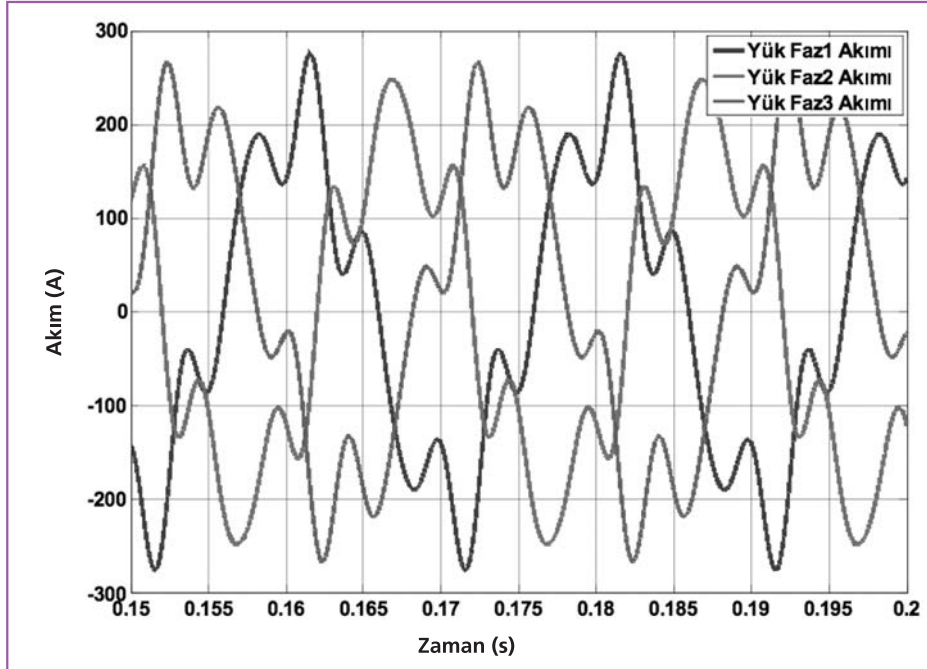
2.3. Üç Fazlı Modelleme

Elde edilen veriler doğrultusunda çalışmalara yön verilmiş ve sistem, 3 fazlı olarak modellenmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmasının blok diyagramı Şekil 2.41'de verilmiştir.



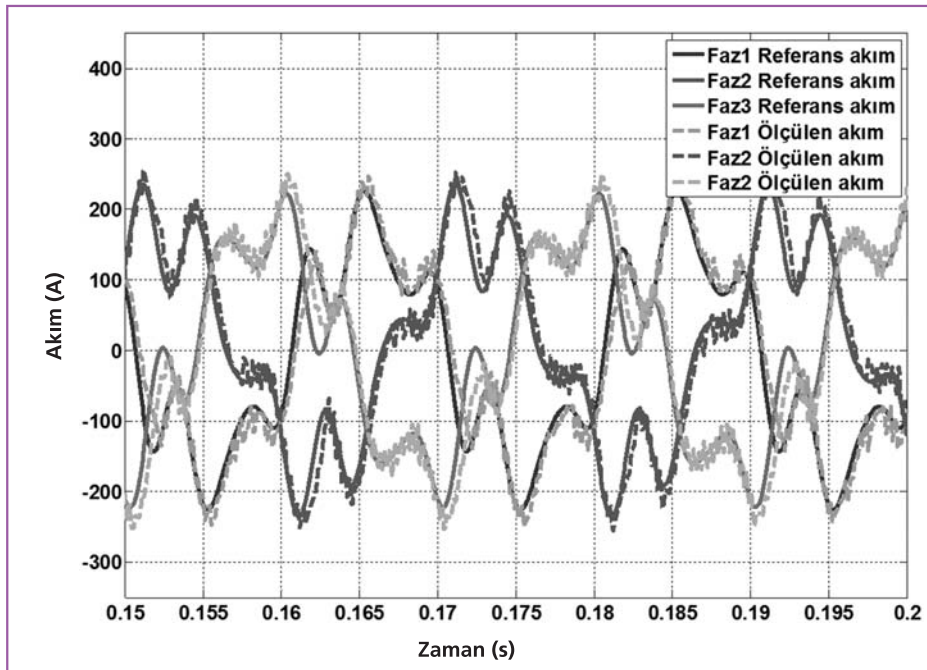
Şekil 2.41. Simülasyon Çalışması Blok Diyagramı

480 V gerilime ve 50 Ah kapasiteye sahip bir araç bataryasının, 50 kW ile hızlı şarj işlemi incelenmiştir. Şebekeye bağlı diğer yükler, önceki bölümlerde sunulan yükler ile aynı özelliklere sahip 3 fazlı yükler olarak simüle edilmiştir. Bu yükler harmonikli ve reaktif güce sahip yüklerdir. Yük faz başına 20 kVAR reaktif güç ve 25 kW aktif güce sahiptir. Ayrıca yükün akım THD'si %31,62 olacak şekilde 5. ve 7. harmonikler içermektedir. Yük akımı aşağıdaki Şekil 2.42'de verilmiştir.



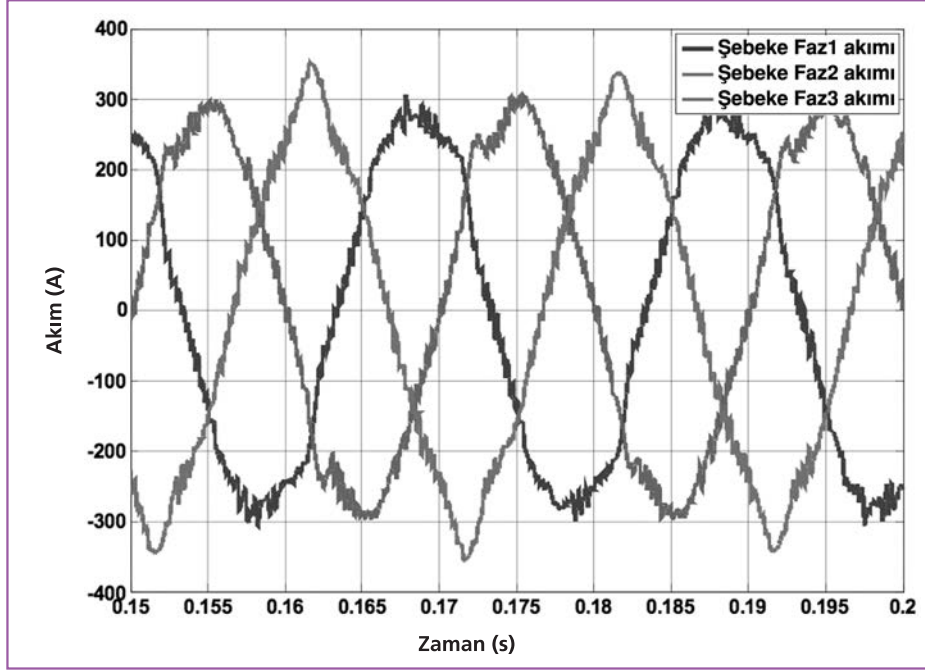
Şekil 2.42. Yük akımı

Önceki bölümlerde belirtilen özelliklere sahip olan EA şarj ünitesi hem reaktif güç kompanzatorü hem de aktif filtre gibi çalışmıştır. Bu özelliklere sahip eviricinin ürettiği referans akım sinyali ve şebekeden çekilen akımlar Şekil 2.43'deki gibi olmuştur.



Şekil 2.43. Evirici akımı

Eviricinin bu şekilde çalışması sonucu şebekeden çekilen akımlar Şekil 2.44'te gözüktüğü gibi düzelmiş ve harmonik akımlar azaltılmıştır. Şebekeden çekilen akımın THD değeri % 7,5 değerinde sınırlandırılmıştır.



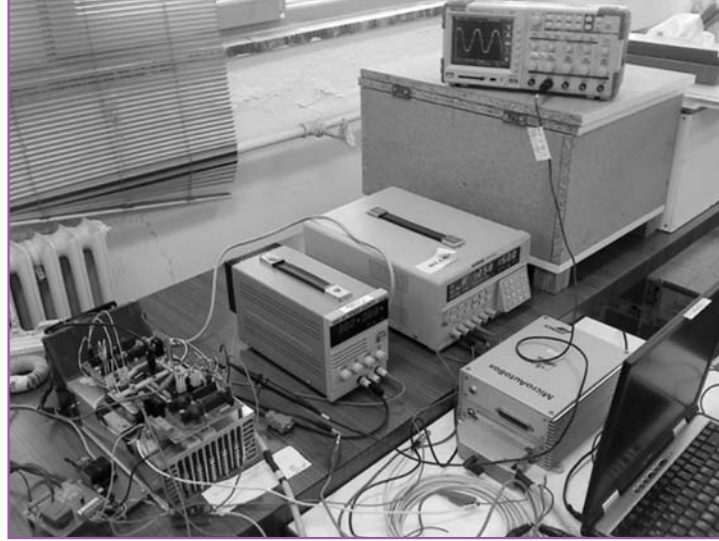
Şekil 2.44. Şebekeden çekilen akımlar

Yukarıda verilen değerler doğrultusunda şebekeden çekilen aktif güç değeri faz başına 45 kW civarında ve reaktif güç değeri ise faz başına 0,5 kVAR seviyesinde olmuştur ki bu değer ihmal edilecek kadar azdır. Eğer bu çalışmada önerilen özelliklere sahip evirici yerine şu an yaygın olarak kullanılan konvansiyonel bir evirici kullanılsaydı, şebekeden çekilen reaktif güç faz başına 20 kVAR artardı. Bu ise akımın genliğinde artışa sebep olacak ve transformatörlerin aşırı yüklenmesine sebep olacaktı. Ayrıca harmonikleri de azaltma özelliği olmayacağından şebekede aşırı yüklenmeler, aşırı nötr akımları gibi harmoniklere bağlı olumsuz durumlar baş gösterecekti.

BÖLÜM 3

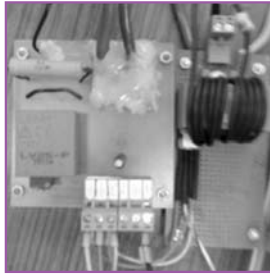
3. Deneysel Çalışmalar

Gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarını deneysel ortamda doğrulamak için öncelikle Şekil 3.1'de gösterilen test platformu kurulmuştur.

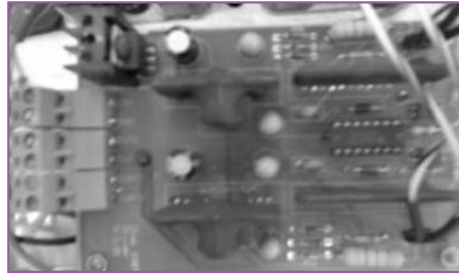


Şekil 3.1. Test sistemi

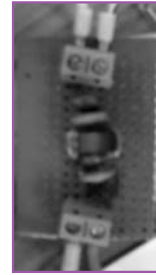
DC/AC dönüştürücü için gerekli güç elemanları, sürme devreleri ölçüm ve kontrol cihazlarından oluşan sistem oluşturulmuştur. Şekil 3.2'de oluşturulan devre elemanları verilmiştir.



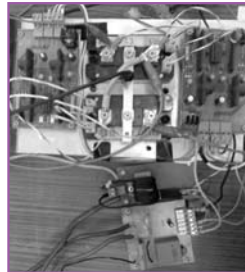
a



b



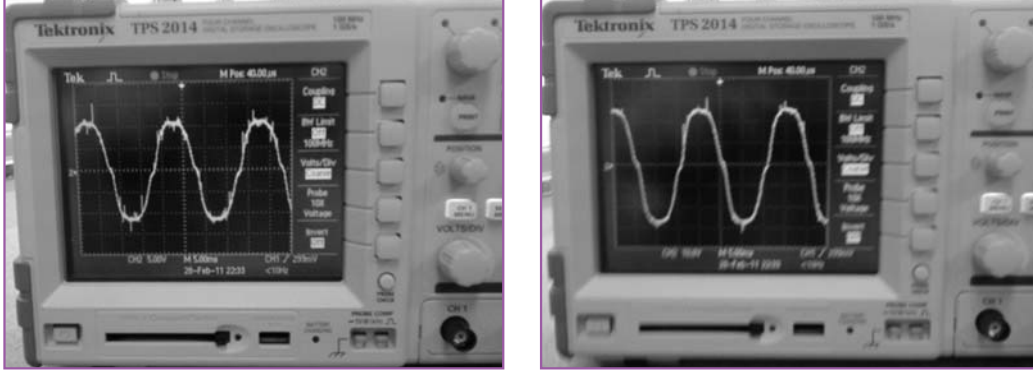
c



d

Şekil 3.2. a) Akım gerilim ölçüm devresi b) IGBT modülü sürme devresi c) Sensör sinyalleri için filtre d) DC/AC dönüştürücü güç devresi

Oluşturulan sistem üzerinde akım-gerilim sensörlerinin kalibrasyonu, anahtarlamalar, gürültü etkileri vb. testler yapılmış ve DC/AC dönüştürücü, şebekeden bağımsız olarak çalıştırılmıştır. Ayrıca EMI filtre çalışmaları da yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen akım ve gerilim değerleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



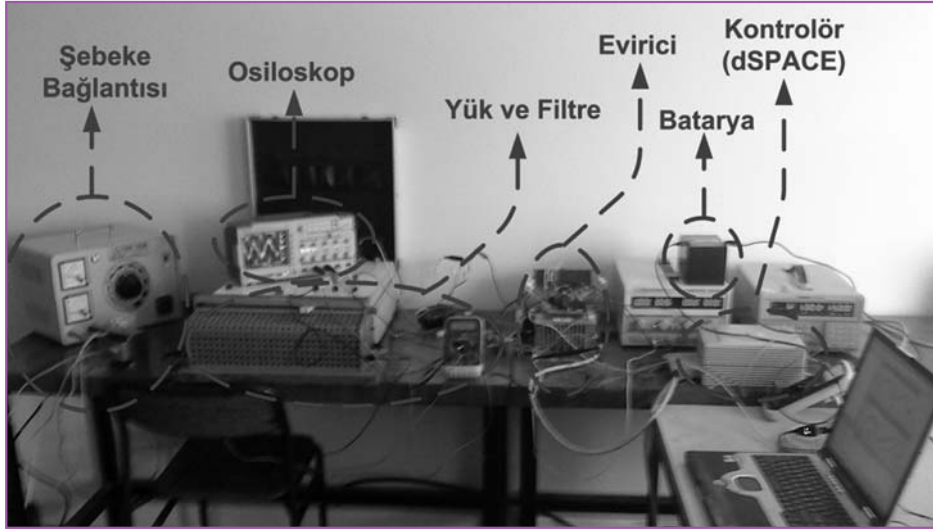
a

b

Şekil 3.3. a) DC/AC dönüştürücü çıkış akımı b) DC/AC dönüştürücü çıkış gerilimi

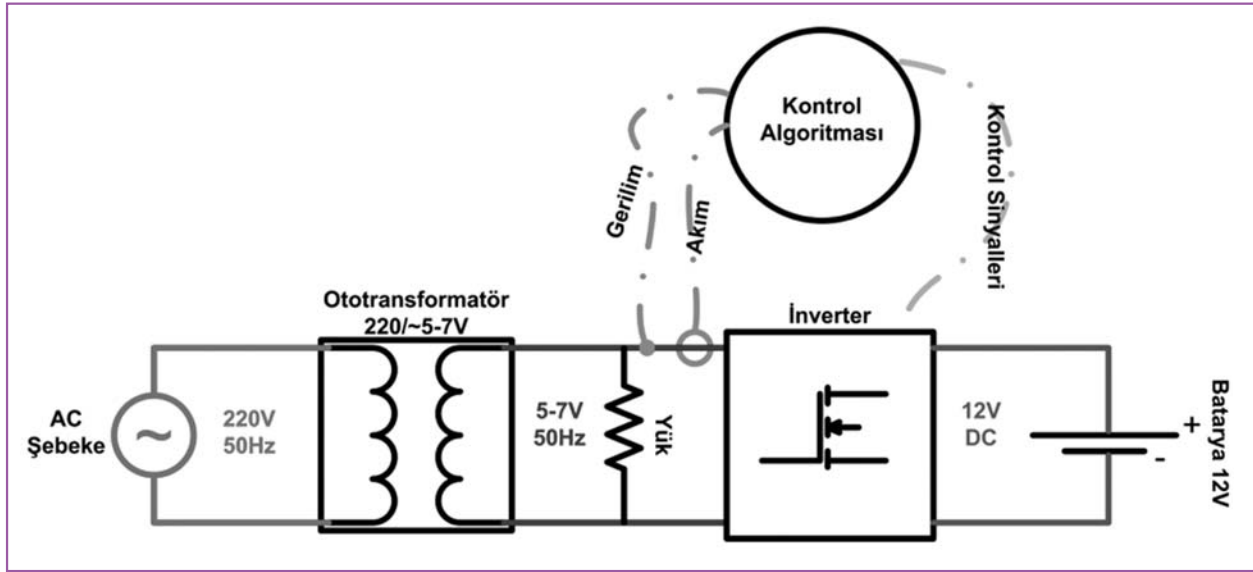
3.1. Şebeke Bağlantı Testleri

Bu aşamadan sonra Şekil 3.4'te verilen test platformu üzerinde şebeke ile bağlantı kurularak sistemin testleri yapılmıştır.



Şekil 3.4. Kurulumuna başlanan test sistemi

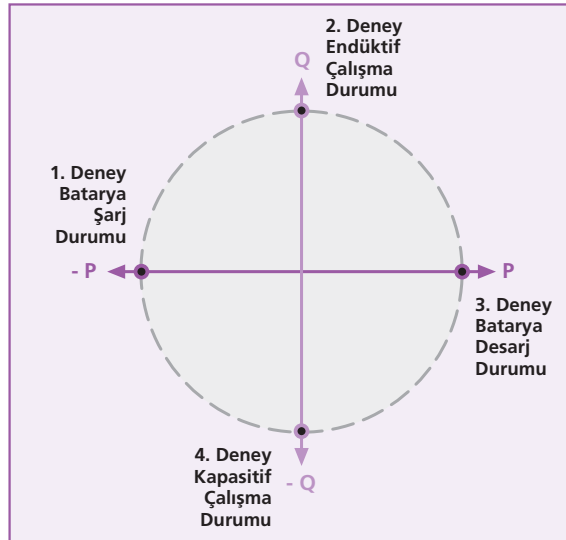
EA bağlantısını simüle etmek için Şekil 3.5'te blok diyagramı verilen sistem kurulmuştur. 5-7 V seviyesine düşürülen AC gerilim üzerinden şebeke ile bağlantı kurulmuştur.



Şekil 3.5. Test platformu blok şeması

Sistemden ölçülen gerilim bilgisi yardımı ile şebeke ile senkronizasyon sağlanmıştır. Şebeke akımı sürekli olarak ölçülerek histeresis kontrol yardımı ile akım istenilen faz farkı ve genlik değerinde tutulmuştur. Bu bağlamda test platformu üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları aşağıda verilmiştir.

Sistemin çalışabilirliğini denetlemek amacı ile 4 farklı deney yapılmıştır. Sistem; batarya şarj, batarya deşarj, kapasitif çalışma ve endüktif çalışma durumlarında çalıştırılmıştır. Böylelikle tasarlanan eviricinin istenilen faz farkını sağlayıp sağlayamadığı test edilmiştir. Ayrıca sistemin istenilen akım genliğini sağlayabilmesini test etmek amacı ile referans akım deneyleri sırasında değiştirilmiştir. Bu deneylerde amaç akıllı şebekeden gelecek veya araç kullanıcısı tarafından belirlenen aktif ve reaktif güç değerlerinin sağlanabilirliğini denemektir.



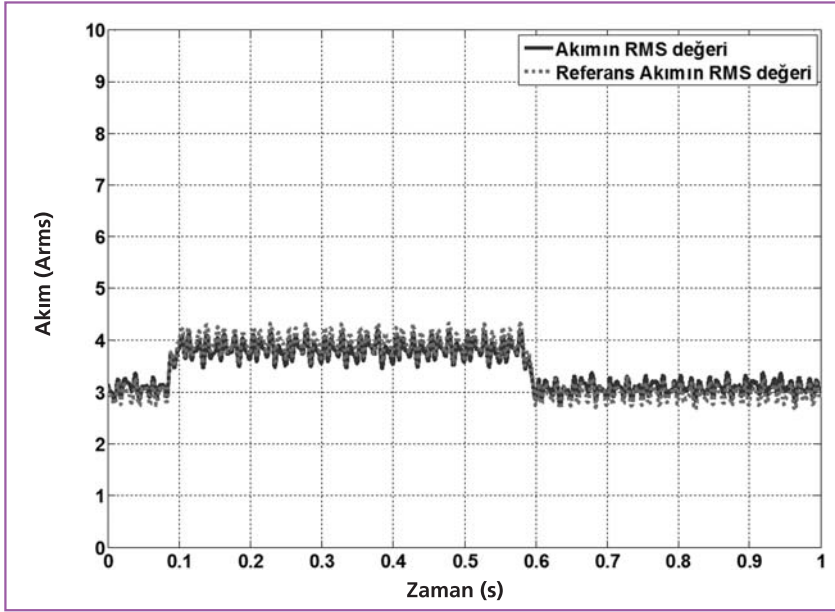
Şekil 3.6. Çalışma bölgeleri

Şekil 3.6'da, deneysel çalışmaların hangi bölgelerde yapıldığı gösterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ve sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

3.1.1. Batarya Şarj Durumu

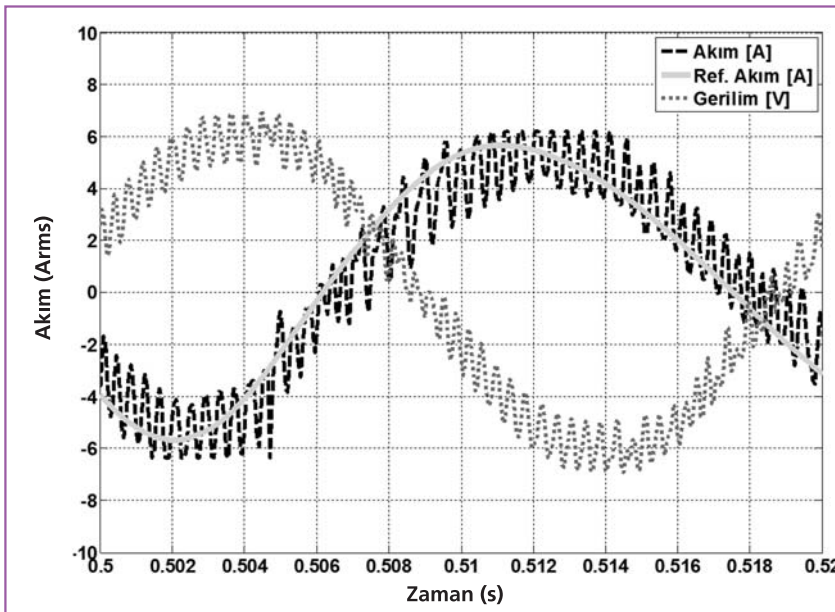
Bu çalışmada evirici, şebekeden hiç reaktif güç çekmeden referans akımın tamamını bataryayı şarj etmek için kullanacaktır. Böylelikle şebekeden sadece aktif güç çekilecektir. Eğer şebeke veya kullanıcı tarafından bir reaktif güç değeri atanmaz ise aracın şarjı için evirici bu konumda çalışacaktır.

Bu şartlar altında çalıştırılan sistemde eviricinin bir süre 3 A bir süre de 4 A akım çekmesi istenmiş referans akımları buna göre verilmiştir. Bu referans akımları ve eviricinin şebekeden çektiği akımlar Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



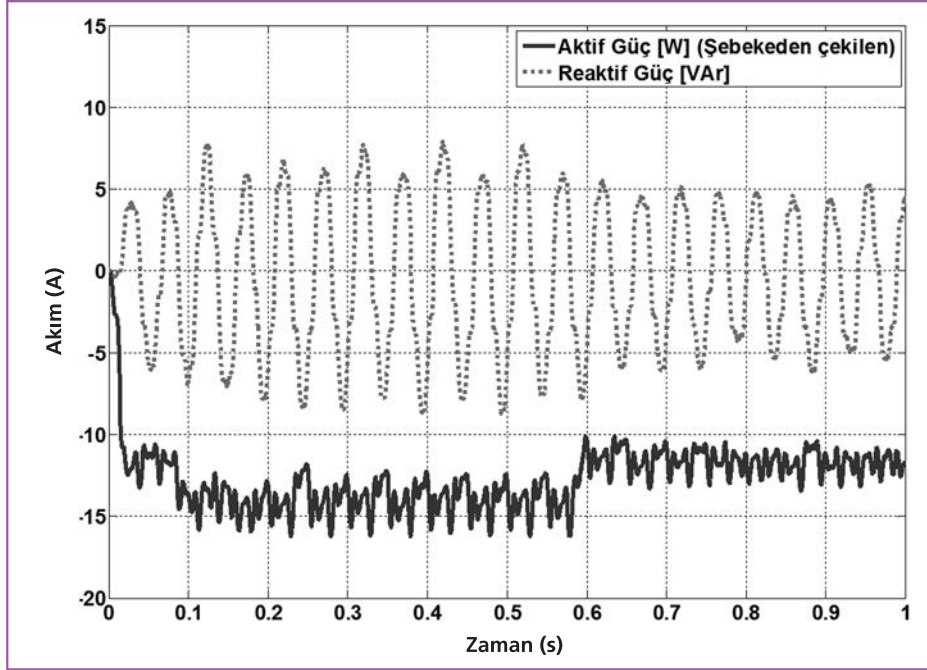
Şekil 3.7. Batarya şarj durumu için referans akımın ve şebekeden çekilen akımın efektif (RMS) değeri

Şekil 3.7'de de görüldüğü gibi evirici kendisinden istenen akımı başarılı bir şekilde şebekeden çekmeyi başarmıştır. Bu şartlar altında şebekeden çekilen akım, referans akım ve gerilimin dalga şekli Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Batarya şarj durumu için şebekeden çekilen akım, referans akım ve şebeke geriliminin dalga şekli

Şekil 3.8'de de görüldüğü gibi akım ve gerilim arasında 180 derece faz farkı bulunmakta (aktif güç çekilmesi - şarj olma) ve şebekeden çekilen akım referans akımı izlemektedir. Şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri ise Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Batarya şarj durumu için şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri

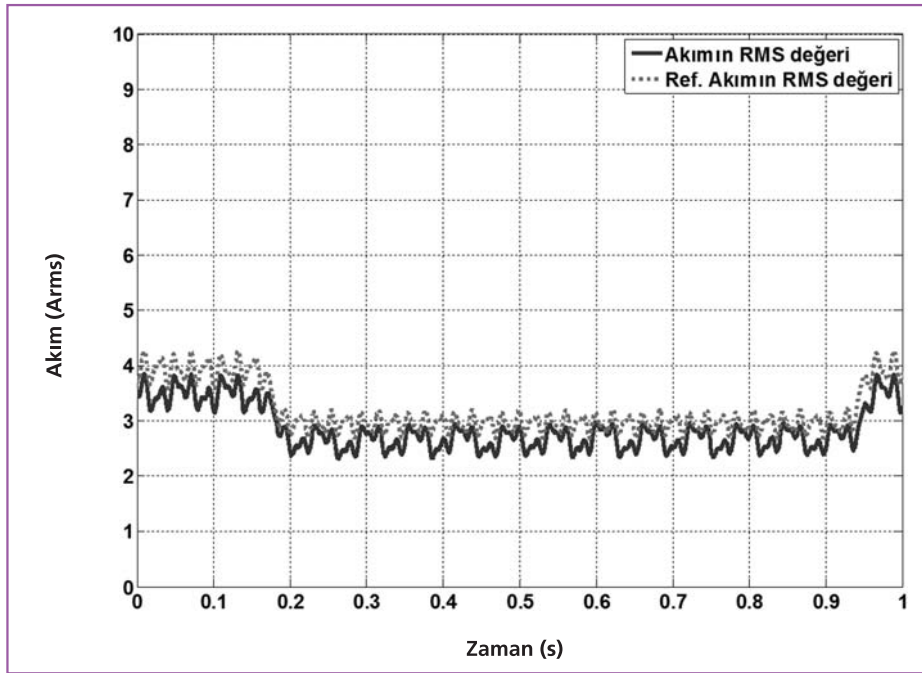
Şekil 3.9'da da görüldüğü üzere şebekeden istenilen akım değerine bağlı olarak aktif güç çekilmektedir. Aktif gücün şebekeden çekilmesi negatif, şebekeye verilmesi pozitif olarak kabul edilmiştir. Eviricinin aktif gücü değişken akım referansı değerlerine göre başarılı bir şekilde tuttuğu gözlenmektedir. Reaktif güç ise ortalaması 0 olacak şekilde küçük değerlerde salınmaktadır. Bu salınma harmoniklerden kaynaklanmaktadır. Gerilimin 0 noktasının kayması faza kilitleme algoritmasının hatalı çalışmasına sebep olmaktadır. Bu salınmanın göz önüne alınarak bir sonraki deneysel çalışmalarda düzeltilmiştir. Bu çalışmada amaç eviricinin istenilen biçimde çalışabilirliğini test etmektir ve sonuçlardan görülmüştür ki evirici istenilen referans akımında bataryayı başarılı bir şekilde şarj etmeyi başarabilmiştir.

3.1.2. Endüktif çalışma durumu

Bu çalışma durumunda aracın şebeke ile bağlantısı devam etmekte ancak batarya ne şarj ne de deşarj olmaktadır. Şebeke bağlantı noktasında bulunan yükler, kapasitif veya endüktif reaktif güç karakteristiğine sahipse bu reaktif gücün şebekeden karşılanması, hatların ve transformatörlerin üzerine fazladan bir yük bindirmekte ve transformatörden çekilebilecek maksimum gücü kısıtlamaktadır. Bu durumu önlemek için dağıtım şebekelerinde reaktif güç kompanzasyonu yapılır. Güç faktörü düzeltme olarak da bilinen reaktif güç kompanzasyonu, kapasitif yükler ve endüktif yüklerin birbirini dengelemesi prensibine dayanır. Bu sayede kapasitif yüklerin ihtiyaç duyduğu reaktif güç endüktif yüklerden; endüktif yüklerin ihtiyaç duyduğu reaktif güç kapasitif yüklerden karşılanmaktadır. Ayrıca sistemin endüktif ve kapasitif karakteristiğini değiştirmek, gerilim regülasyonunda da kullanılan bir yöntemdir.

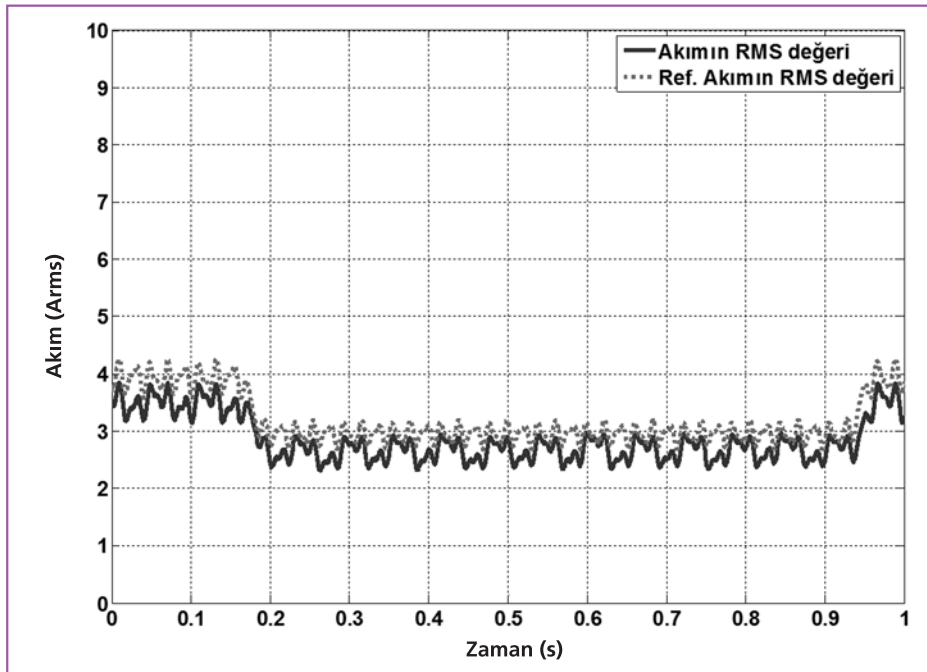
Bu amaçla araç şebekeye bağlandığında şarj olurken veya şarj işlemi gerekmesen bile şebeke bağlantı noktasındaki transformatörün yükünü azaltmak amacı ile endüktif veya kapasitif çalışabilir. Bu sayede, o bağlantı noktasına bağlı araçlar dağıtım transformatörünün aşırı yüklenmesine bağlı olarak enerjisiz kalma ve şarj olamama durumu ile karşılaşmamış olacaklardır. Böylelikle önerilen sistem ile araçlar daha düşük güçlerde şarj olabilecek veya hiç şarj olamayacakken daha hızlı şarj olma imkânını yakalayabileceklerdir.

Geliştirilen eviricinin ve kontrol algoritmasının bu bölgede de çalışabilirliğini test etmek amacı ile evirici şebekeden sadece endüktif kapasitif reaktif güç çekecek şekilde ayarlanmıştır. Değişken akım genliği yine bu durumda da uygulanmıştır. Akım referansı ile şebekeden çekilen akımın değerleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



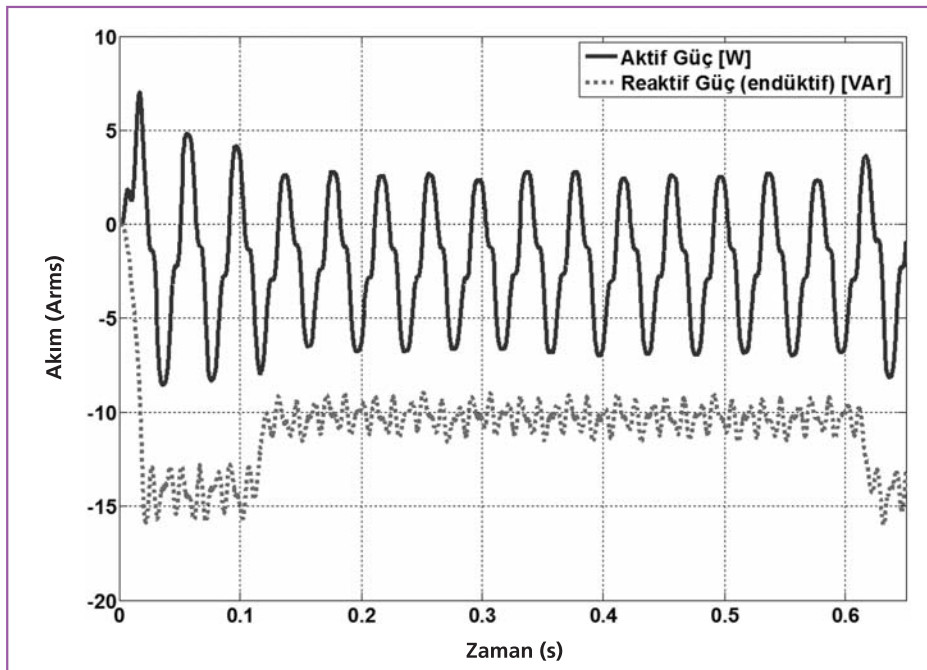
Şekil 3.10. Endüktif çalışma için referans akımın ve şebekeden çekilen akımın efektif (RMS) değeri

Görüldüğü gibi şebekeden çekilen akım, referans akımı başarılı bir şekilde takip etmiştir. Küçük boyutta olan hata payı harmonik sorunlarının giderilmesi ile bir sonraki sonuçlarda daha düşük değerlere düşürülmüştür. Ayrıca çalışmanın endüktif olduğunu görmek için akım ve gerilim arasındaki zaman farkını (faz farkını) görmek gerekmektedir. Bu amaçla şebekeden çekilen akım, referans akım ve şebeke geriliminin dalga şekilleri Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Endüktif çalışma için şebekeden çekilen akım, referans akım ve şebeke geriliminin dalga şekli

Şekil 3.11'de de görüldüğü gibi gerilim 0 değerini aldığı anda akım tepe değerine ulaşmaktadır. Akım, gerilimi zamanda geriden takip etmektedir. Bu duruma geri güç faktörü yani endüktif çalışma denilmektedir. Daha net bir ifade ile EA değerleri değiştirilebilir bir endüktans (bobin) gibi davranmaktadır. Bu sayede, eğer şebeke bağlantı noktasında kapasitif yükler bulunmakta ise EA endüktif davranarak şebeke bağlantı noktasındaki transformatörün yükünü azaltmayı hedeflemektedir. Böylelikle reaktif gücü sağlamakta kullanılan güç, EA'ları şarj etmek için kullanılabilir. Bu çalışma durumunda şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri ise Şekil 3.12'deki gibi olmaktadır.



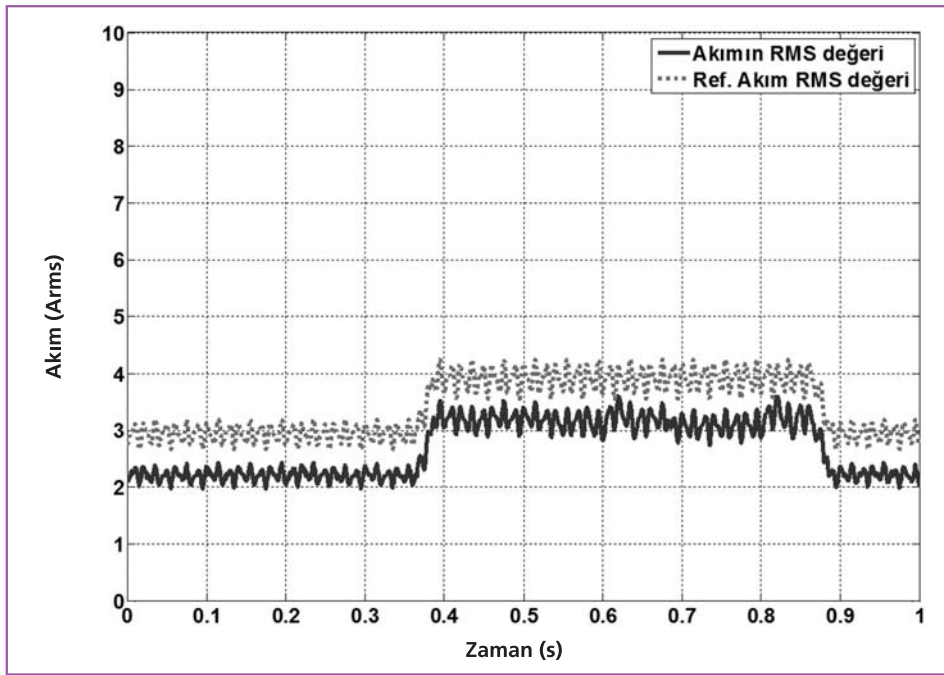
Şekil 3.12. Endüktif çalışma için şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri

Görüldüğü gibi bu bağlantı durumunda araç endüktif reaktif karakteristiğe sahiptir. Şebekeden ortalaması sıfıra yakın bir değerde aktif güç çekilmektedir. Aktif güçteki bozulmanın sebebi daha önce de bahsedildiği gibi harmoniklerdir. Ancak ortalamasının sıfır olmayıp çok küçük bir değerde olmasının sebebi ise sistem kayıplarıdır. Birkaç Watt'lık sistem kayıpları şebekeden çekilmektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi sistem endüktif olarak başarılı bir şekilde çalışabilmektedir.

3.1.3. Batarya deşarj durumu

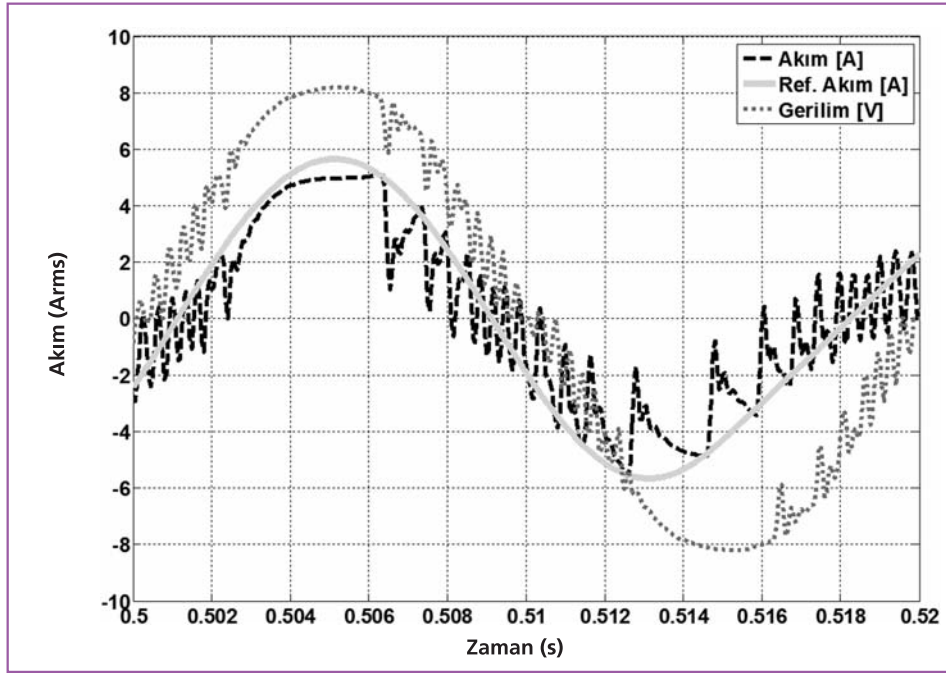
Akıllı şebekeler kapsamında EA'ların şebeke ile bağlantısının sağlanmasında ihtiyaç duyulan bir diğer durumda enerjinin EA bataryalarından şebekeye aktarılmasıdır. Bu duruma şu şekilde örnek verilebilir. Aracını gece şebekenin yüklenmediği saatlerde oldukça düşük ücretlerden şarj eden kullanıcılar, yüklenmenin fazla olduğu pik saatlerde elektrik enerjisini aldığı fiyatın üstünde şebekeye satabileceklerdir. Bu durumda aracın şarj ünitesi yani eviricinin enerjii bataryadan şebekeye doğru aktarması gerekmektedir. Bu amaç dışında eviricinin Kesintisiz Güç kaynağı (KGK) gibi çalışması durumu, ilerleyen bölümlerde gösterilecektir

Bu çalışma durumunda da değişken akım referansları eviriciden talep edilmiştir. Eviriciden talep edilen akım referansının ve şebekeden çekilen akımın RMS değerlerinin değişimi Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Batarya deşarj durumu için referans akımın ve şebekeden çekilen akımın efektif (RMS) değeri

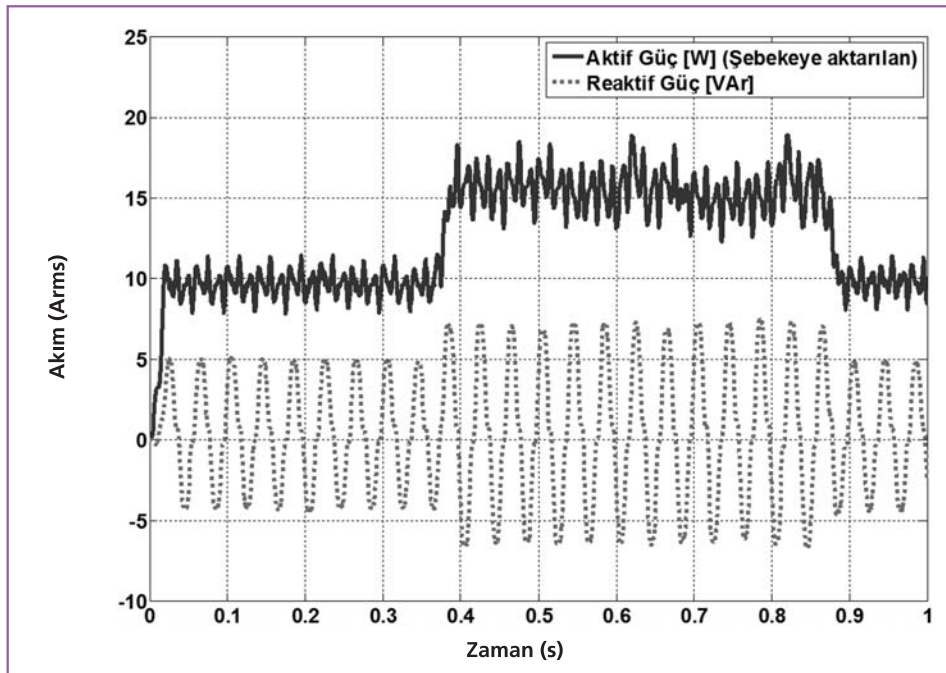
Şekil 3.13'de de görüldüğü gibi akım değeri referans değerinin biraz altında kalmıştır. Bu durumun sebebi olarak yine harmonikli yapı ve transformatörün yüksek empedansı gösterilebilir. Ayrıca batarya boyutlarının küçüklüğü de destekleyici yönde etki yapabilir. Bu durumda göz önüne alınarak ilerleyen çalışmalarda bu probleme çözüm getirilmiştir. Batarya enerjisini şebekeye aktararak deşarj olurken şebeke gerilimi, şebekeden çekilen akım ve referans akımın dalga şekli Şekil 3.4'deki gibi olmuştur.



Şekil 3.14. Batarya deşarj durumu için şebekeden çekilen akım, referans akım ve şebeke geriliminin dalga şekli

Şekil 3.14'te de görüldüğü gibi akım referans sinyali izlediği ve gerilim ile aynı fazda olduğu görülmüştür. Yani gerilim ile akım arasında bir zaman farkı yoktur. Ancak harmoniklerden kaynaklanan hatalı sıfır noktası oluşumuna bağlı geçici faz kaymaları oluşmakta ve sistem kendini bir süre sonra toparlanmaktadır. Bu durumda daha önceden belirtildiği gibi ilerideki bölümlerde verilen sonuçlarda çözümlenmiştir. Sistemin incelenen kısmında herhangi bir problem teşkil etmemektedir.

Bu çalışma durumunda da şebekeye verilen aktif güç ve reaktif güç değerleri Şekil 3. 15'deki gibi olmuştur.



Şekil 3.15. Batarya deşarj durumu için şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri

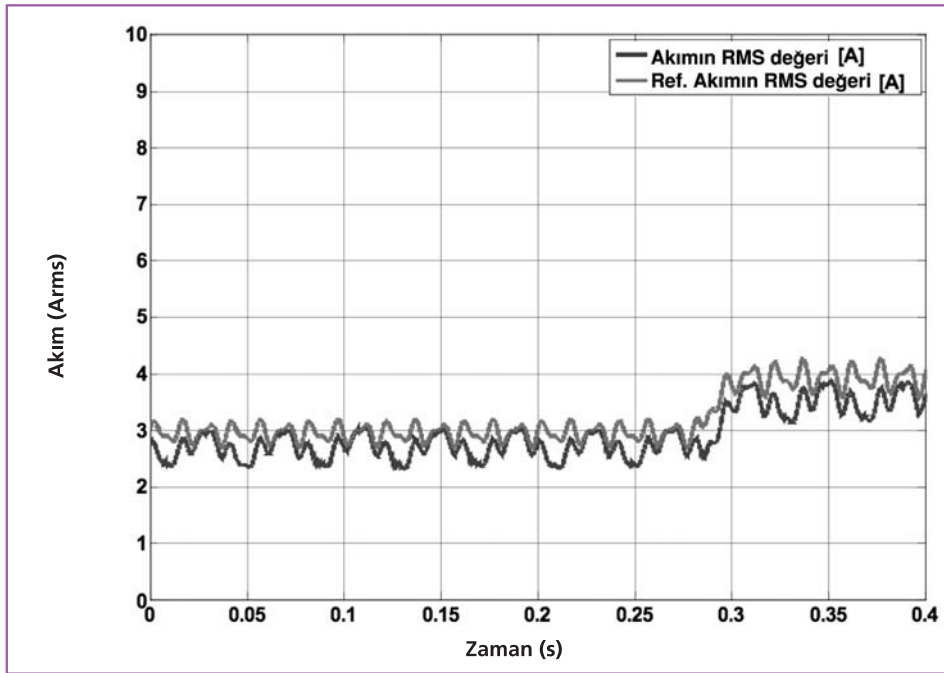
şebekeye aktarılan aktif güç referansa göre değişmekte ve reaktif güç ise 0 civarında dalgalanmaktadır. Bu çalışma durumunda akımın THD değeri %17,93 ve gerilim THD değeri ise %4,02 olmuştur. Değerler çok yüksek olmamakla beraber gerekli filtre tasarımı ve iyileştirilmelerden sonra çok daha iyi seviyelere ulaşacaktır.

Bu çalışma koşuluna ait sonuçlar incelendiğinde de görülmüştür ki evirici büyük ölçüde istenenleri yerine getirmiş ve bu çalışma koşulunda da kullanılabilceğini göstermiştir.

3.1.4. Kapasitif çalışma durumu

Daha önce 2. çalışma durumu olan endüktif çalışma durumunda da bahsedildiği gibi aracın reaktif güç kompanzasyonu yapabilme özelliği denenmektedir. şebeke bağlantı noktasındaki yüklerin karakteristiği endüktif olursa ki genelde şebeke yükleri endüktif karakteristiğe sahip olmaktadır, bu durumda aracın reaktif güç kompanzasyonunu sağlamak için değişken bir kondansatör gibi davranması gerekmektedir. Bu çalışma durumunu test etmek amacı ile evirici kapasitif bölgede çalıştırılmıştır.

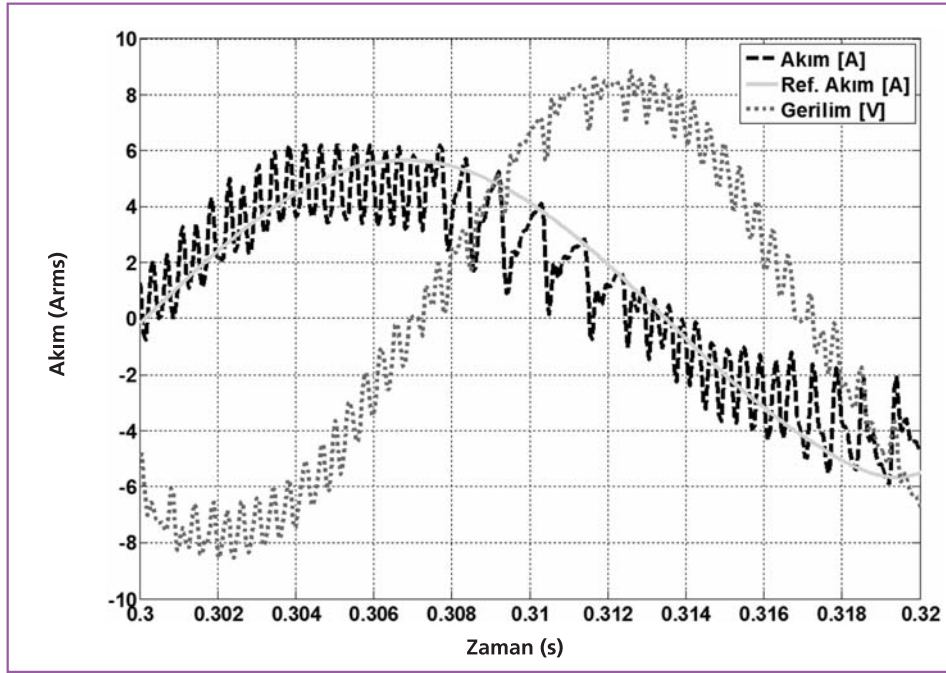
Bu çalışma durumunda talep edilen referans akım ile şebekeden çekilen akımın RMS değeri şekil 3.16'da verilmiştir.



şekil 3.16. Kapasitif çalışma için referans akımın ve şebekeden çekilen akımın efektif (RMS) değeri

EA'nın kapasitif çalıştığı durumunda da eviriciden talep edilen referans akım değiştirilmiş ve görüldüğü üzere büyük oranda akım istenilen değere yakın bir değerde tutulmuştur.

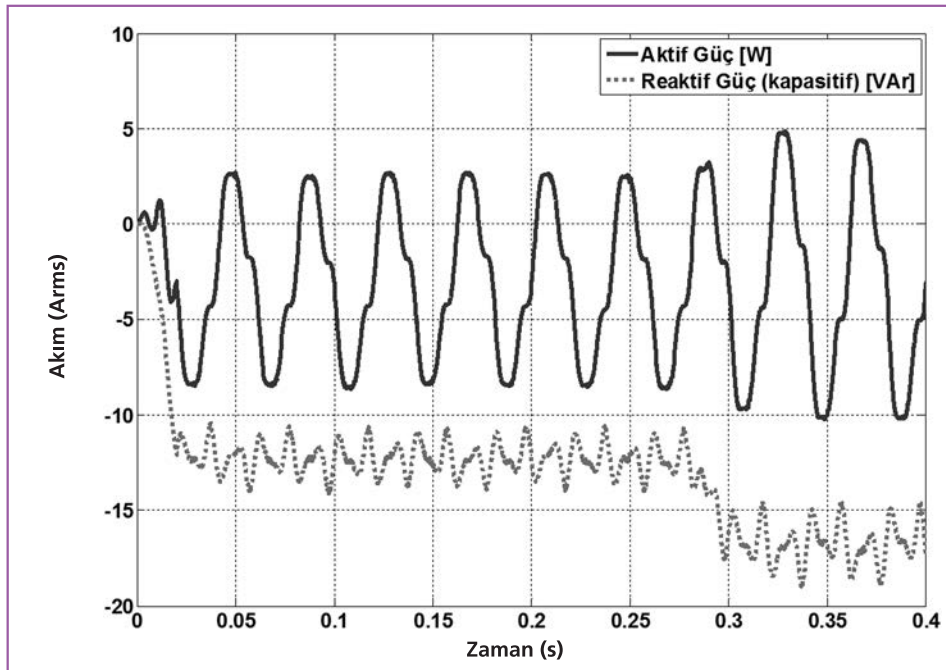
Akım ve gerilim arasındaki faz farkının görülebilmesi için eviricinin şebekeden çektiği akım, referans akım ve şebeke gerilimin dalga şekilleri şekil 3.17'deki gibi olmuştur.



Şekil 3.17. Kapasitif çalışma için şebekeden çekilen akım, referans akım ve şebeke geriliminin dalga şekli

Şekil 3.17'de görüldüğü üzere akım tepe noktasında iken gerilim 0 noktasında ve akım gerilimden 90 derece ileridedir. Bu durum kondansatör akımına eşdeğerdir. Evirici bu konumda çalışarak şebekeye bağlı değişken değerli bir kondansatör gibi çalışmaktadır. Bu sayede amaçlanan hedefe uygun çalışabildiği gösterilmiştir.

Şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri Şekil 3.17'deki gibi olmuştur.



Şekil 3.18. Kapasitif çalışma için şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değerleri

Şebekeden talep edildiği gibi aktif güç değeri sıfıra yakın bir değer almaktadır (kayıplar yüzünden 0 değil) ve reaktif güç değeri de referansa göre değişmektedir. Aynı şekilde sonuçlar incelendiğinde eviricinin bu durumda da istenilen şekilde çalışabileceği gösterilmiştir.

3.2. KGK Çalışma Modu

ŞEEA'ların ihtiyaç duyulan zamanlarda KGK olarak kullanılabilceğini denemek amacı ile laboratuvar ortamında bir test platformu oluşturulmuştur. Oluşturulan test platformu üzerinde boyutlar normalize edilerek deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Test Platformunda Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Laboratuvar ortamında normalize edilmiş koşullarda hazırlanmış olan bu test platformu batarya grubu, inverter ünitesi, akım ve gerilim ölçüm ünitesi, adalama ünitesi, yük ünitesi, ölü zaman oluşturma ünitesi ve dSPACE kontrol ünitesinden oluşmaktadır.

3.2.1.1. Batarya Grubu

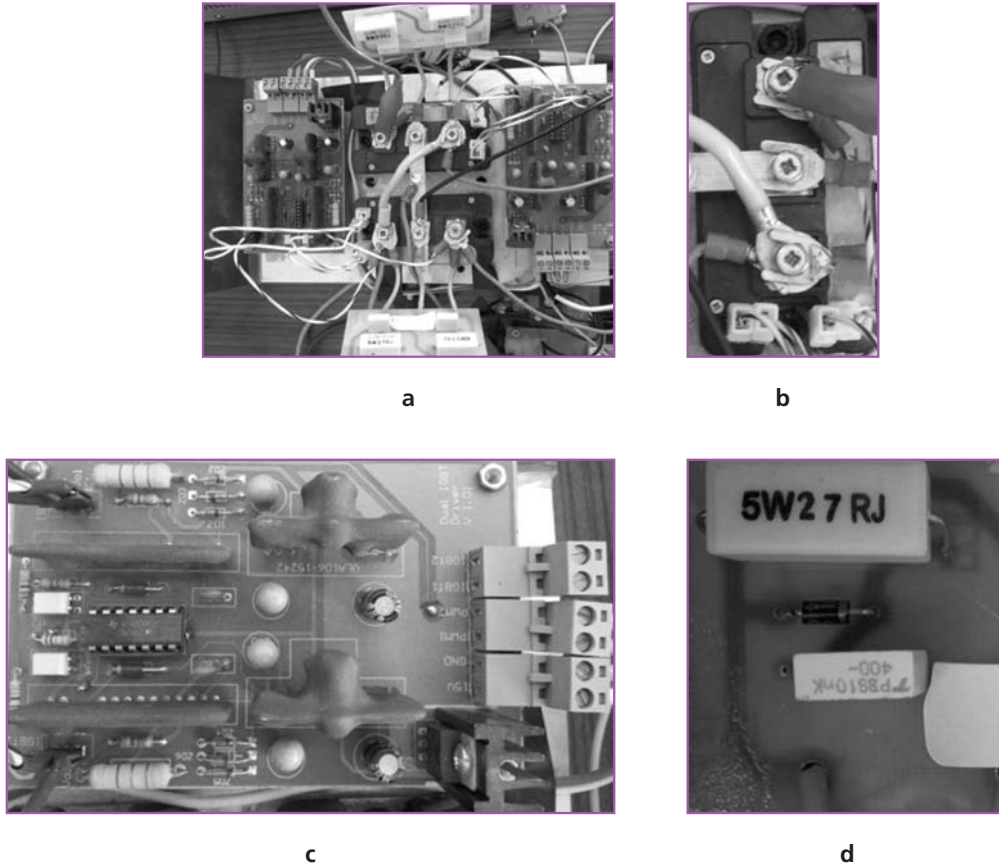
Şekil 3.19'da gösterilen ve bu deneysel çalışmada ŞEEA'nın güç ihtiyacını karşılayan bataryalar, elektrik enerjisinin kesilmesi veya şebeke gerilim seviyesinin belirlenen sınırların dışına çıkması durumunda bir tüketim merkezini besleyebileceği test edilecektir. Test platformunda iki adet 12 V, 18 Ah'lık batarya kullanılarak 24 V DC gerilim elde edilmiştir.



Şekil 3.19. Test platformunda kullanılan batarya grubu

3.2.1.2. İnverter Ünitesi

Şekil 3.20'de test platformunda kullanılmak üzere hazırlanmış olan tek fazlı tam köprü inverter ünitesi ve bu üniteye kullanılan güç elemanları ile sürme devreleri gösterilmiştir.



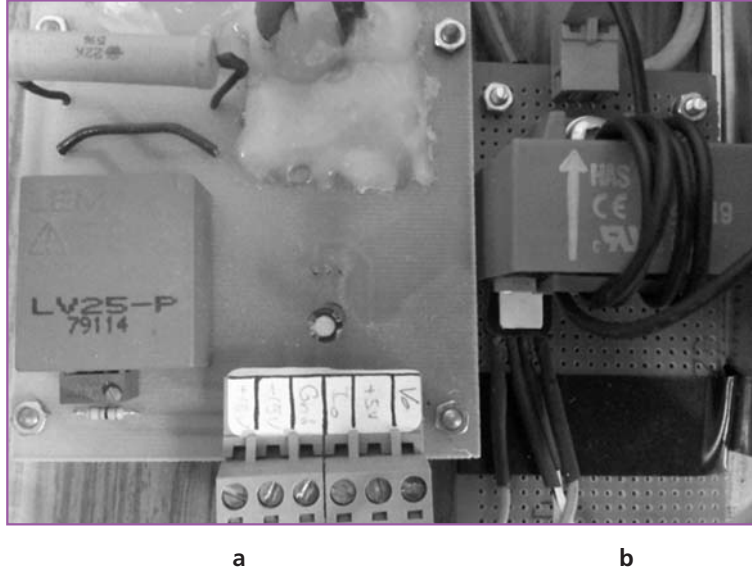
Şekil 3.20. a) İnverter ünitesi b) IGBT modülü c) IGBT modülü sürme kartı d) bastırma devresi

Şekil 3.20'de görüldüğü üzere inverterde anahtarlama elemanı olarak iki adet IGBT modülü kullanılmıştır. Her bir IGBT modülü tek fazlı tam köprü inverterde bir kolu oluşturmaktadır. Kullanılan her bir IGBT modülünün anahtarlama yapabilmesi için iki ayrı sürme devresi gerekmektedir. Şekil 3.20'de gösterildiği üzere kullanılan her bir sürme kartında, bir ikili IGBT modülü için iki adet sürme devresi bulunmaktadır. Kullanılan bu sürme kartları, dSPACE'den gelen sinyaller vasıtasıyla IGBT'lerin anahtarlama yapmasını sağlamaktadır. Bunların dışında IGBT modüllerini korumak için inverter ünitesine paralel RCD bastırma (snubber) devreleri yerleştirilmiştir. Böylece IGBT'lerin anahtarlama yaptığı anlarda üzerlerinde oluşacak gerilim yükselmeleri sınırlanmaktadır.

İnverterlerin çalışması sırasında harmonikler meydana gelir. Bu harmonikleri yok etmek için pasif ve aktif olmak üzere güç filtreleri kullanılmaktadır. Pasif filtreler, endüktans, kapasitans ve omik direnç gibi pasif elemanlardan meydana gelir. Pasif filtreler, temel frekans dışındaki harmonik bileşenleri yok etmeyi amaçlarlar. Test platformunda da bu istenmeyen olayları minimize etmek amacı ile pasif bir LC filtresi kullanılmıştır. Filtrede kullanılan endüktansın değeri 1 mH ve kondansatörün değeri ise 15 μ F'dir.

3.2.1.3. Akım ve Gerilim Ölçüm Ünitesi

Şekil 3.21'de akım ve gerilim ölçüm ünitesini oluşturan kartlar gösterilmiştir. Test platformunda bu ünitelerden üç tane bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, inverter çıkışındaki akım ve gerilim değerlerini ölçmektedir. Şekil 3.21'de (a) ile gösterilen kart, inverter çıkışındaki gerilimi ölçmektedir. Şekil 3.21'de (b) ile gösterilen kart ise inverter çıkışındaki akım değerini ölçmektedir. İkincisi akım gerilim ölçüm ünitesi ise, şebeke akımı ile şebeke gerilim değerlerini ölçmek için kullanılmaktadır. Diğeri ise bataryanın çıkışında bulunmaktadır ve sadece bataryanın gerilimini ölçmektedir. Sensörler tarafından ölçülen akım ve gerilim değerleri daha sonra kontrol ünitesi olan dSPACE'e gönderilip değerlendirilmektedir.



Şekil 3.21. Test platformunda kullanılan a) gerilim sensörü b) akım sensörü

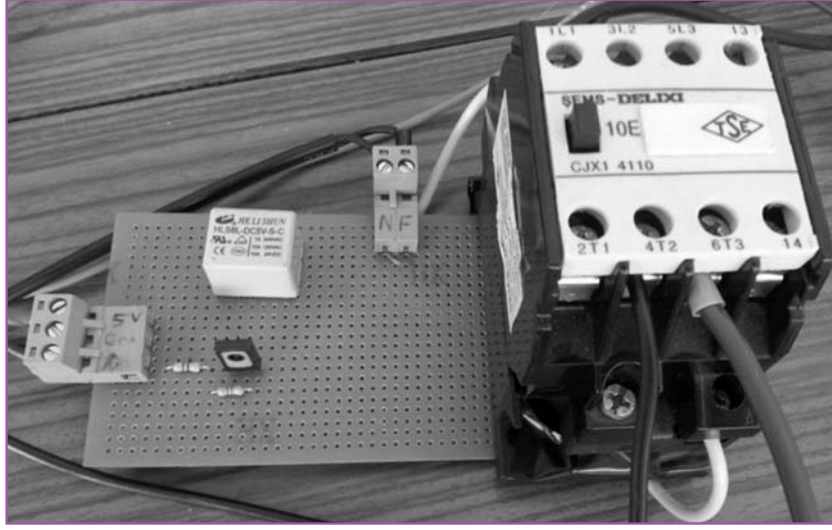
3.2.1.4. Yük Ünitesi

Test platformunda kullanılan yük ünitesi gerçek hayattaki tüketim merkezi olarak düşünülmektedir. Yük ünitesinde 17 Ω 'luk bir direnç ile inverteri şebekeye bağlayan transformator bulunmaktadır.

3.2.1.5. Adalama Ünitesi

Adalama ünitesi, şebeke ile yük arasındaki elektriksel bağlantıyı ortadan kaldırmaktadır. Test platformu için hazırlanan adalama ünitesi Şekil 3.22'de gösterilmiştir. Adalama ünitesi sistem güvenliği için çok önemlidir. Çünkü adalama ünitesinin devreye girmesiyle birlikte 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.

Adalama ünitesi ilk olarak aktif değildir ve şebekenin yükü beslemesine izin verir. Daha sonra şebeke tarafında bir arıza oluşması halinde (elektrik kesintisi gibi) dSPACE'den gelen sinyal ile ünite şebekeyle yükü ayırmaktadır. Bu adalama işleminde dSPACE'den gelen sinyal önce tristörü iletme sokmaktadır. Ardından sırasıyla önce tristör röleyi sonra da röle kontaktörü devreye almaktadır. Böylece adalama işlemi gerçekleşmiş olmaktadır.



Şekil 3.22. Test platformunda yük ünitesini şebekeden ayıran adalama ünitesi

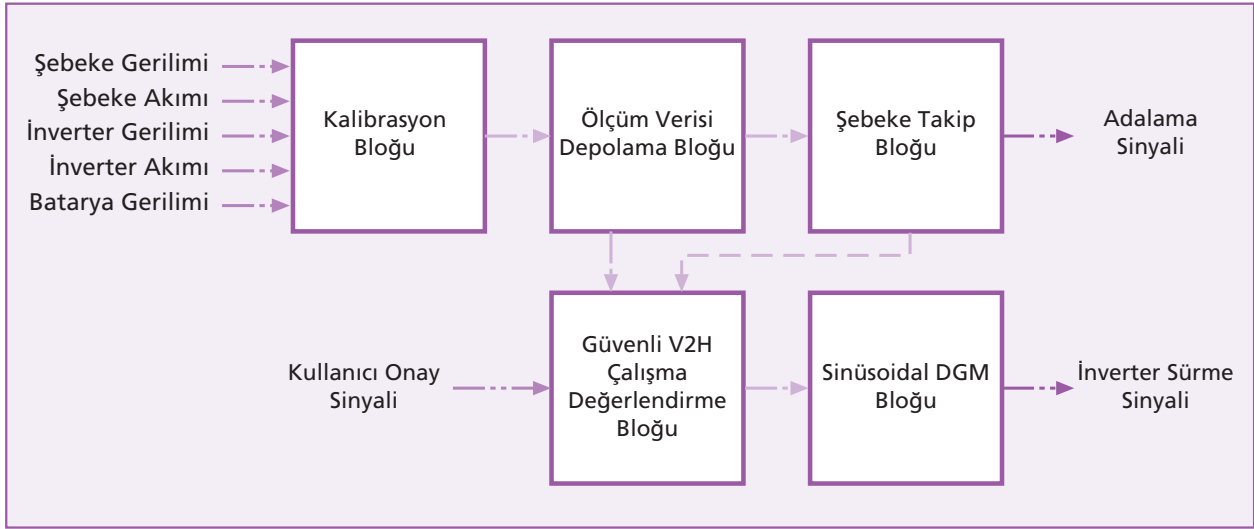
3.2.1.6. dSPACE Kontrol Ünitesi

Deneysel çalışmalarda kontrolör olarak Şekil 3.23'te görülen dSPACE gömülü kontrol ünitesi kullanılmıştır. dSPACE ünitesi sayesinde öncelikle batarya grubundan yük ünitesine doğru enerji aktarımının yapılabilmesi amacı ile geliştirilen PWM sinyali ölü zaman oluşturma ünitesi üzerinden inverter ünitesine uygulanmaktadır. Ayrıca üretilen bu sinyale ek olarak, adalama ünitesinin devreye alınmasını ve çıkarılmasını sağlayan sinyal yine dSPACE ünitesi sayesinde adalama ünitesine gönderilmektedir.



Şekil 3.23. 23 dSPACE micro autobox kontrol ünitesi

Ayrıca akım ve gerilim ölçüm ünitelerinden alınan akım ve gerilim değerleri, dSPACE içine gömülü olan Şekil 3.24'te gösterilen algoritma ile kontrol sinyallerine dönüştürülür.

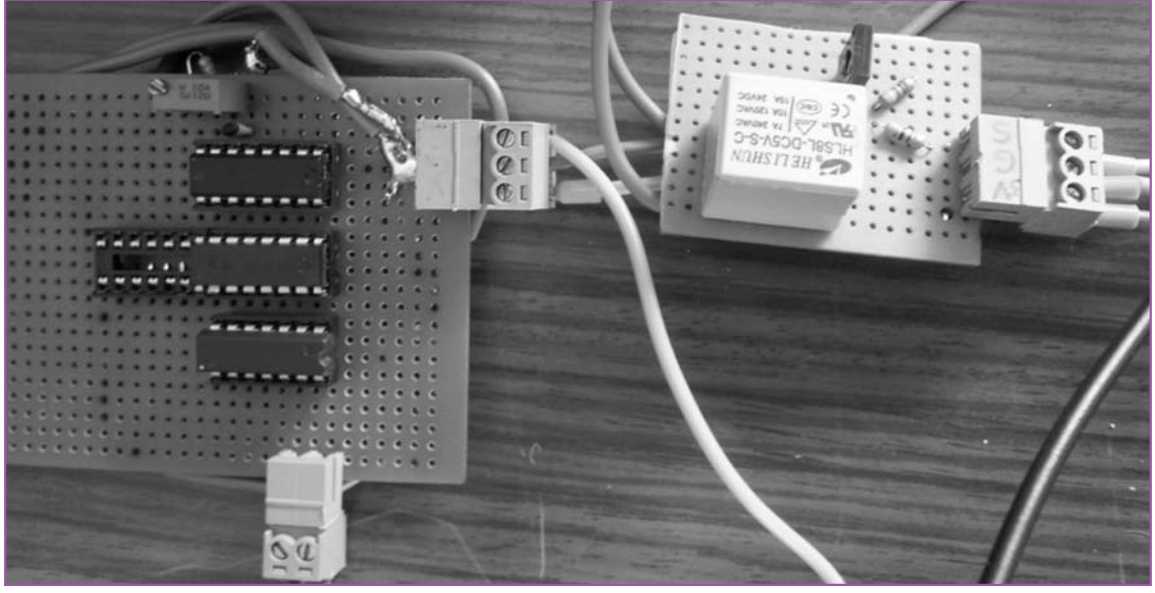


Şekil 3.24. dSPACE içine gömülü olan kontrol algoritması

Şekil 3.24'te gösterilen kontrol algoritmasında altı adet giriş ve iki adet çıkış sinyali bulunmaktadır. Bahsi geçen bu altı giriş sinyalinden beşi, sensörlerden alınan ölçüm verileridir. Bu ölçüm verileri ilk olarak kalibrasyon bloğuna girmektedir ve bu sinyaller teker teker kalibre edilerek gerçek değerlere çevrilmektedir. Daha sonra kalibre edilmiş olan sinyaller veri depolama bloğuna girmektedir. Ardından veri depolama bloğundan ilk olarak şebeke takip bloğuna şebeke ile ilgili gerilim bilgisi gönderilmektedir. Şebeke takip bloğunda, gelen gerilim bilgisinin belirlenen gerilim aralıklarında olup olmadığına bakılır ve bu duruma göre adalama sinyali üretilmektedir. Veri depolama bloğundan ayrıca sistemin güvenli çalışmasını sağlayan güvenli V2H çalışma değerlendirme bloğuna bazı veriler gönderilmektedir. Bu veriler sırasıyla batarya gerilimi ile inverter gerilimidir. İnverterin güvenli çalışmasını sağlayan blok, veri depolama ünitesinden bahsi geçen verilere ek olarak kullanıcı onay veya iptal sinyalini ve şebeke takip bloğundan adalama durumu hakkındaki veri sinyalini almaktadır. Bu blok, bütün bu sinyalleri değerlendirerek sinüsoidal PWM bloğunun çalışıp çalışmayacağına ve SPWM bloğunun ne zaman durdurulacağına karar vermektedir. Son olarak da SPWM bloğu kendisine gelen onay ve iptal sinyaline göre çalışmakta ve inverter için gerekli olan sürme sinyalini üretmektedir. Bu deneysel çalışmada inverter ünitesi 5 kHz'de çalışacak şekilde SPWM bloğunun ayarları yapılmıştır.

3.2.1.7. Ölü Zaman Oluşturma Ünitesi

dSPACE'den üretilen bir adet kontrol sinyali bu ünitenin girişine verilmektedir. Bu ünite üç adet entegre (DM74LS12N, CD4049BD, HD74LS02P), bir adet ayarlanabilir direnç, bir adet kondansatör ve bir adet röle devresinden oluşmaktadır. Şekil 3.25'de ölü zaman oluşturma ünitesinin tamamı gösterilmiştir.



a

b

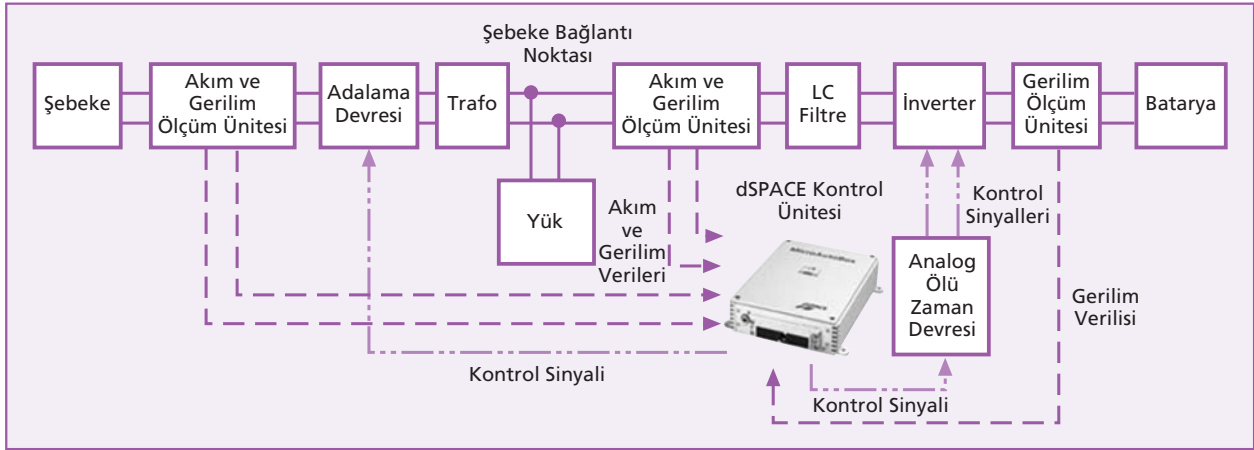
Şekil 3.25. Ölü zaman oluşturma ünitesi

Şekil 3.25'te (a) ile gösterilen kart, dSPACE'den gelen sürme sinyalini almakta ve aralarında ölü zaman olan, iki adet kontrol sinyali üretmektedir. Üretilen sinyaller arasındaki ölü zaman direnç ve kondansatörün değerlerinin değiştirilmesiyle ayarlanabilmektedir [15]. Bu test platformunda kontrol sinyalleri arasındaki ölü zamanın yeterli olup olmadığı osiloskop aracılığıyla kontrol edilmiştir. Sonuç olarak, üretilen bu sinyaller daha sonra inverter sürme devrelerine iletilmektedir.

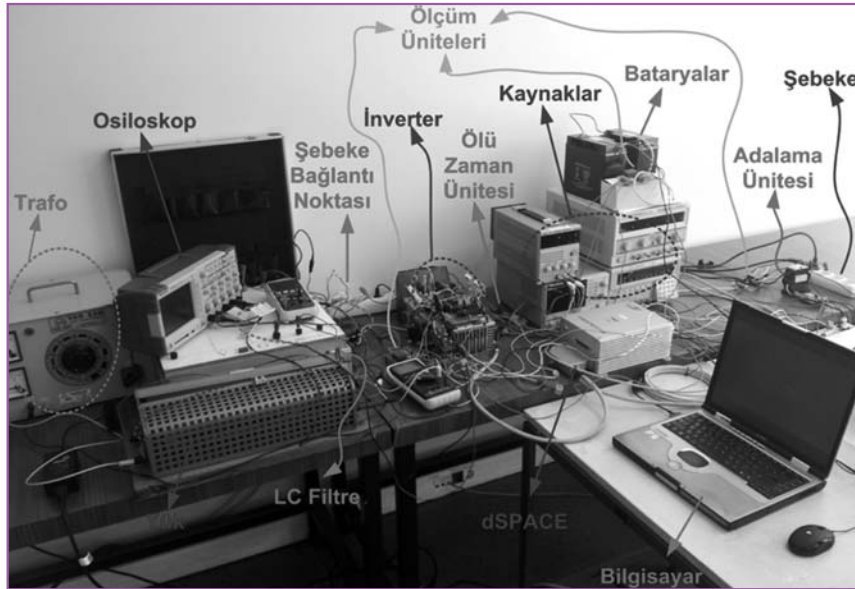
Şekil 3.25'de (b) ile gösterilen kart, ölü zaman ünitesinin çalışmasını kontrol etmektedir. Bu röle devresi adalama ünitesinde kontaktörü devreye alıp çıkararak aynı olmakla beraber, bu ünite ölü zaman oluşturan kartın 5 V DC gerilim beslemesini anahtarlama yapmaktadır. Böylelikle, invertere ve sürme devrelerine ya sürekli sinyal gelmekte ya da hiç sinyal gelmemektedir. Sonuç olarak, bu devre ile çapraz kollardan birinin sürekli devrede olması engellenmekte ve bu çalışma durumunun güvenliği daha da arttırılmaktadır.

3.2.2. Test Platformunun Kurulması ve Testlerinin Yapılması

Şekil 3.26'da genel şeması verilmiş test platformunu oluşturacak cihaz, donanım ve üniteler öncelikle bir araya getirilmiştir. Ardından da gerekli olan bağlantılar ve montajlar tamamlanarak Şekil 3.27'de gösterilen test platformu hazırlanmıştır.



Şekil 3.26. Oluşturulan test platformunun genel şeması



Şekil 3.27. Hazırlanan test platformu

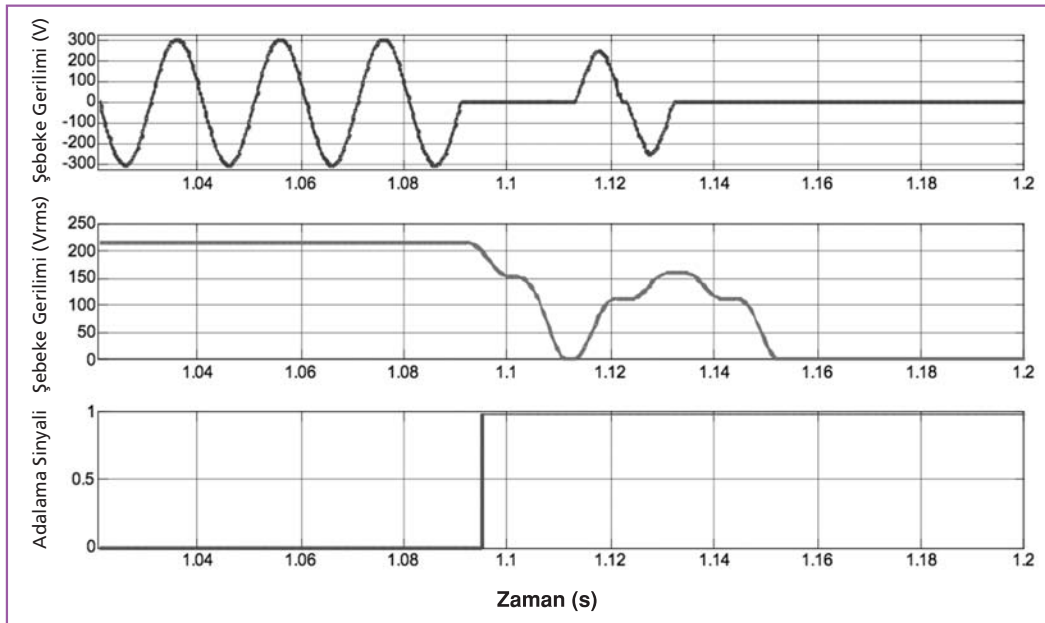
Test platformunun çalışmasını madde madde açıklamak gerekirse;

- İlk anda, şebeke bağlantı noktasına ŞEEA'yı temsil eden inverter ünitesi ve batarya grubu transformatör üzerinden bağlanmaktadır. Ancak bu çalışmada ŞEEA'nın kesintisiz güç kaynağı olarak çalıştırılması konu edildiğinden dolayı, bataryanın şarj edilme işlemine deneysel çalışmada yer verilmemiştir. Test platformunda transformatör kullanılmasının sebebi, şebekeye bağlanmak için gerekli gerilime sahip batarya grubunun laboratuarda bulunmaması ve şebeke tarafında oluşacak arızalara karşı tedbir olarak şebeke kısa devre gücünün kısıtlanmasıdır. Transformatör yardımıyla şebeke gerilimi düşürülmüştür. Böylelikle hem tehlikeli olacak yüksek gerilimler deneysel çalışmada kullanılmamış, hem de çalışmanın maliyeti azaltılmıştır. Oluşturulan test platformunda şebekenin yükü beslediği ve ŞEEA'nın şarjlı halde beklediği bir anda şebeke tarafında elektrik kesintisi meydana gelmesi ve yükün enerjisiz kalması durumu incelenmiştir. Bahsi geçen bu durumda, çalışmada incelenen ve önerilen V2H çalışma durumu gerçekleşecektir. Bu esnada, öncelikle şebeke tarafındaki gerilim sensörü dSPACE'e şebeke gerilim seviyesinin belirlenen sınırların dışında olduğunu bildirmektedir. Bunun sonucunda, dSPACE'de gömülü olan kontrol algoritması sayesinde adalama ünitesine sinyal göndermekte ve şebeke ile yük, elektriksel olarak birbirinden ayrılmaktadır.

- Bu andan itibaren inverter kesintisiz güç kaynağı olarak çalışabilmek için gerekli şartların oluşmasını beklemektedir. Batarya başlangıç geriliminin referans gerilimden büyük olması, kullanıcının bu çalışmaya onay vermesi, inverter tarafında gerilimin sıfır olması ve şebeke tarafında enerjinin olmadığını gösteren ölçüm sinyalinin gelmesi bahsi geçen şartlardır. Belirtilen bu şartların sağlanmasından sonra dSPACE ile oluşturulan kontrol sistemi, ŞEEA'nın kesintisiz güç kaynağı olarak çalışmasına izin vermektedir. Bu çalışma durumunda inverter, gerilim kontrollü olarak çalışmakta ve bataryadan yüke doğru güç akışı sağlanmaktadır.
- En son aşama ise bu çalışma durumunun sonlandırılmasıdır. Bu çalışma durumunun sonlanması için birkaç şart vardır. Batarya geriliminin belirlenen bir referans gerilimden düşük olması, kullanıcının çalışma durumunu iptal etmesi, şebeke tarafında enerjinin olduğunu gösteren ölçüm sinyalinin gelmesi bahsi geçen şartlardır. Bu şartlardan birinin sağlanması sonucunda öncelikle dSPACE ölü zaman oluşturma ünitesi üzerinden invertere sinyal göndermeyi keser. Ardından, gerekli sensörlerden ihtiyaç duyduğu verileri alıp değerlendirir. Bu değerlendirme sonucunda, güvenlik bakımından bir sorun oluşturmayacağı anda kontaktörün sinyalini keser (yaklaşık 2 periyot). Sonuçta, yük ile şebeke bağlantısı tekrardan gerçekleşmiş olur.

3.2.3. Yapılan DeneySEL Çalışmalar ve Sonuçları

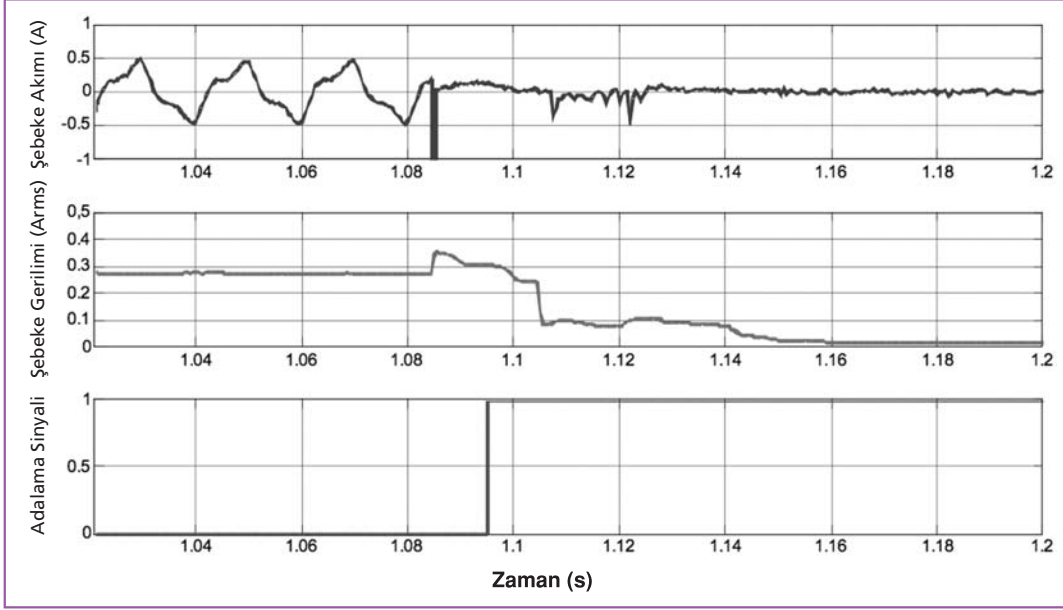
DeneySEL çalışma başlatıldığında ilk olarak şebeke gerilimi belirlenen sınırlar içindedir. Bu süreçte, şebeke yükü beslemektedir. Aynı zamanda, ŞEEA'da tamamen şarjlı halde şebekeye bağlı olarak beklemektedir. Daha sonra deneySEL çalışmanın ilk aşaması olan ve Şekil 3.28'de gösterildiği gibi elektrik şebeke gerilim seviyesinin belirlenen sınırların dışına çıkmaya başlamaktadır. dSPACE, şebeke tarafındaki ölçüm ünitesi sayesinde bu gerilim değerlerini fark etmektedir. Bu durumun sonucunda da, adalama ünitesine sinyal göndererek kontaktörün açmasını sağlamaktadır. Bahsi geçen adalama sinyali, şebeke geriliminin dalga şekli ve RMS değerinin değişimi de Şekil 3.28'de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda şebeke gerilimine ait değişimler ile adalama sinyalinin değişimi

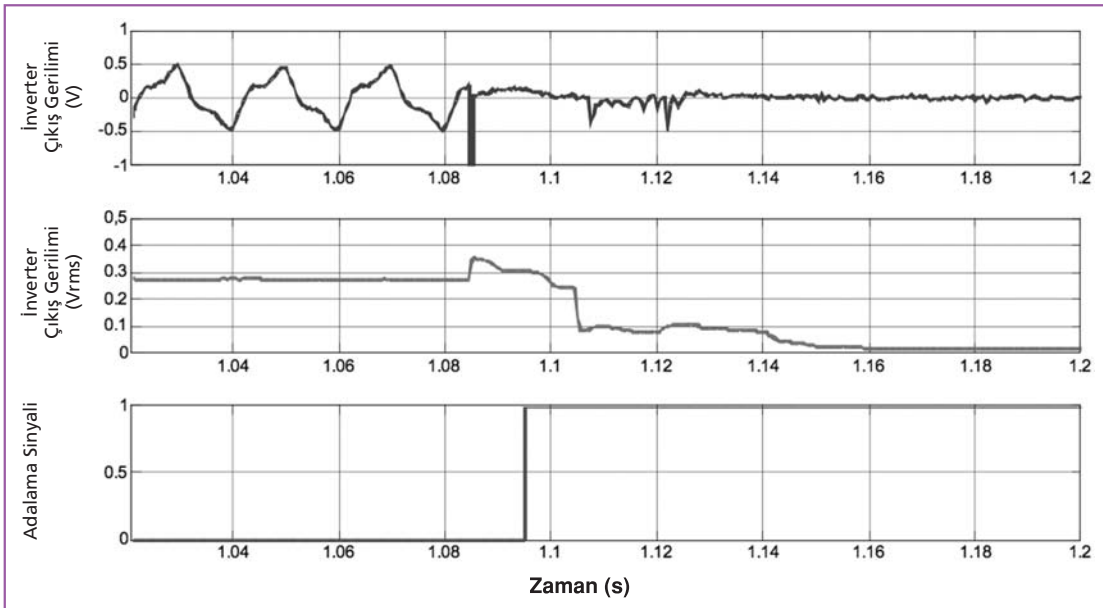
Şekil 3.28'de en son gösterilen ve bundan sonraki şekillerde de gösterilecek olan sinyal dSPACE'den adalama ünitesine gönderilen kontrol sinyalidir. Adalama ünitesine gönderilen kontrol sinyalinin 0 olduğu zaman aralıklarında adalama ünitesi devre dışıdır, yani şebekeden yüke doğru enerji akışı gerçekleşmektedir. Bahsi geçen sinyal 1 olduğu andan itibaren, adalama ünitesi devreye girmekte ve yük ile şebekeyi elektriksel olarak ayırmaktadır. Adalama sinyalindeki bu durum, bundan sonraki şekillerde de geçerliliğini korumaktadır.

Şekil 3.28'de gösterilen aralıkta şebekeden çekilen akımın dalga şekli ve RMS değerinin değişimleri Şekil 3.29'da gösterilmiştir. Yük akımındaki bozukluğun sebebi, yük ünitesi içindeki transformatörden kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.29. Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda şebeke akımına ait değişimler ile adalama sinyalinin değişimi

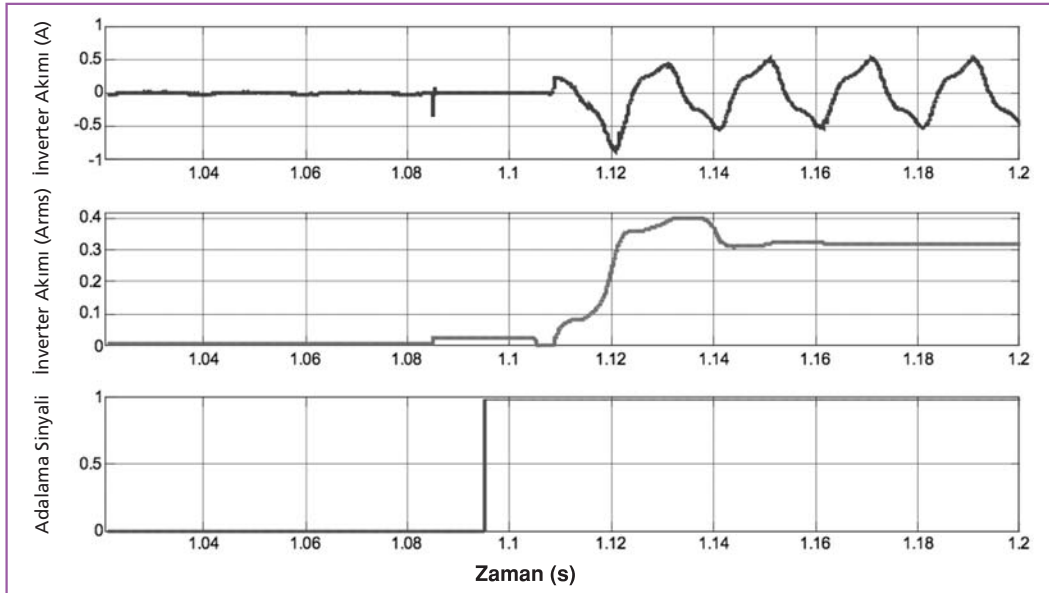
Şekil 3.30'da deneysel çalışmanın ilk aşamasındaki inverter çıkış gerilimi (uç gerilimi) ile RMS değeri değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda inverterin çıkış gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

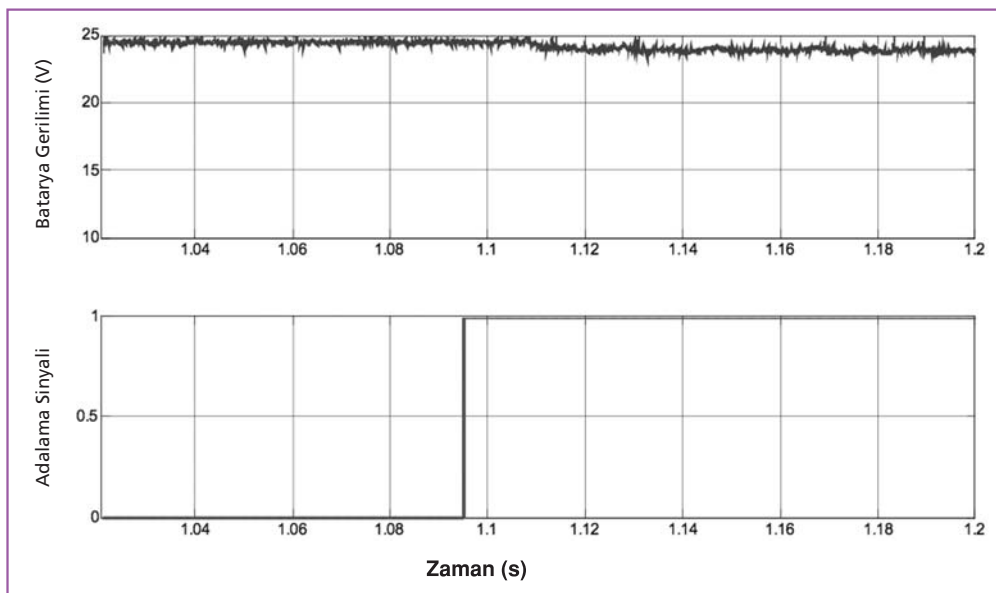
Şekil 3.30'da adalama ünitesi devreye girdikten kısa bir süre sonra ŞEEA yükü beslemeye başlamaktadır. Yaklaşık bir periyotluk bu süreyi test platformun güvenli çalışabilmesi için dSPACE ayarlamaktadır. Bu durum sistemin çalışma prensibinde, sistemin güvenli çalışması için gerekli şartlar kısmında ifade edilmiştir.

Şekil 3.31'de adalama işlemi gerçekleşmeden önce ve gerçekleşikten sonra inverterden çekilen akım ile ilgili değişimler gösterilmiştir. Şekil 3.31'de görüldüğü üzere, Şekil 3.29'da gösterilen akımın dalga şekli ve RMS değerini tutmaktadır. Bu durum da test platformunun istenildiği gibi çalıştığını göstermektedir.



Şekil 3.31. Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda inverterden çekilen akıma ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

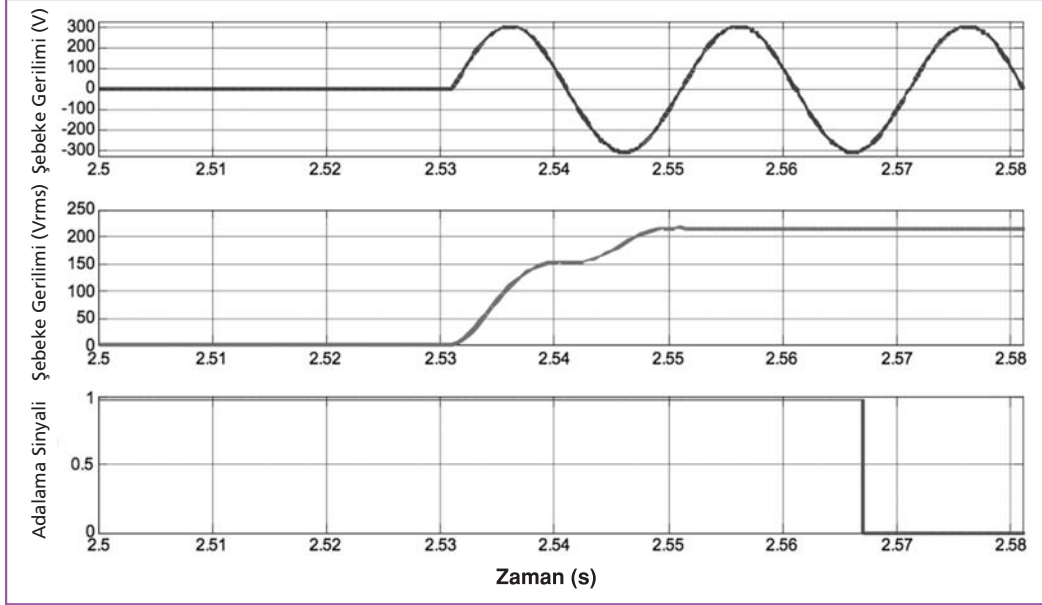
Bu aşamada son olarak, batarya geriliminin adalama sinyaline göre değişimi Şekil 3.32'de gösterilmiştir. Öncelikle batarya şarj edilmiş durumda beklemektedir. Ardından, adalama işlemi gerçekleşmektedir. Adalama işlemi gerçekleştikten sonra, inverter çalışmak için gerekli şartların sağlanmasını beklediği sürede de batarya gerilimi aynı değerde kalmaktadır. İnverter çalışmaya başladıktan sonra batarya yükü beslemektedir ve batarya gerilim değerinde çok az bir azalma olmaktadır.



Şekil 3.32. 32 Elektrik şebekesinde enerji kesildiği anda batarya geriliminin değişimi ile adalama sinyalinin değişimi

Deneyel çalışmanın son aşamasında da, elektrik şebekesine tekrar enerjinin gelmesi halinde test platformunun bu duruma verdiği cevap incelenmektedir. Şekil 3.28, Şekil 3.29, Şekil 3.30, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32'de elektrik şebekesine tekrar enerjinin gelmesiyle beraber ŞEEA'dan yüke doğru olan enerji akışının durduğu ve şebekenin tekrar yükü beslediği gösterilmektedir.

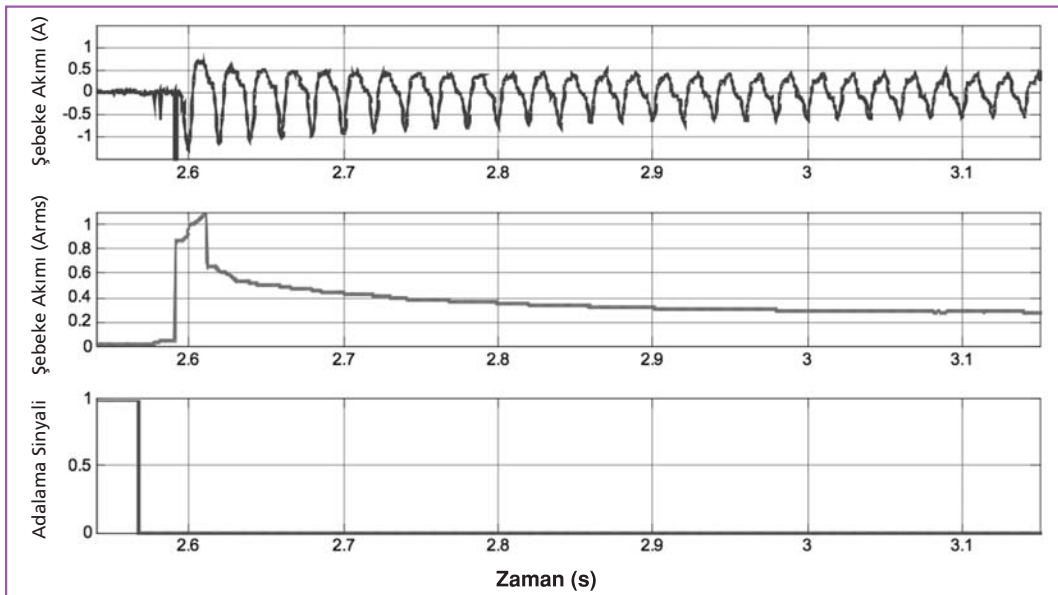
Şekil 3.33'te şebeke gerilimi ile değişimler ve bu değişimlere göre dSPACE ünitesinin adalama ünitesine gönderdiği kontrol sinyali gösterilmiştir.



Şekil 3.33. Elektrik şebekesine enerji geldiği anda şebeke gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

Şekil 3.33'te görüldüğü üzere şebeke geriliminin belirlenen sınır değerler içine gelmesinden kısa bir süre sonrasında adalama sinyalinin değeri 0 olmaktadır. Böylece adalama ünitesi tekrar devre dışı kalmakta ve şebeke tekrar yükü besleyebilmektedir. Şebeke geriliminin düzelmesine rağmen adalama sinyalinin tekrar 0 olması belli bir süre sonrasında gerçekleşmiştir. Bunun temel sebebi, dSPACE'in daha önce de bahsedilen güvenlik şartlarının gerçekleşmesini beklemesidir.

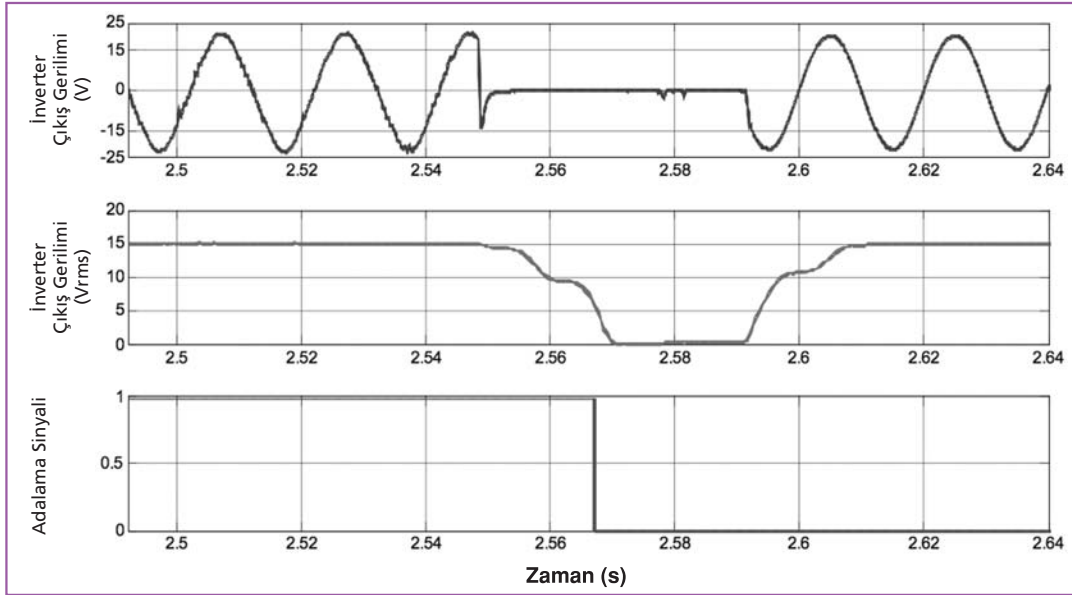
Şekil 3.34'te de deneyel çalışmanın son aşamasındaki şebeke akımı ile ilgili değişimler gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Elektrik şebekesine enerji geldiği anda şebeke akımına ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

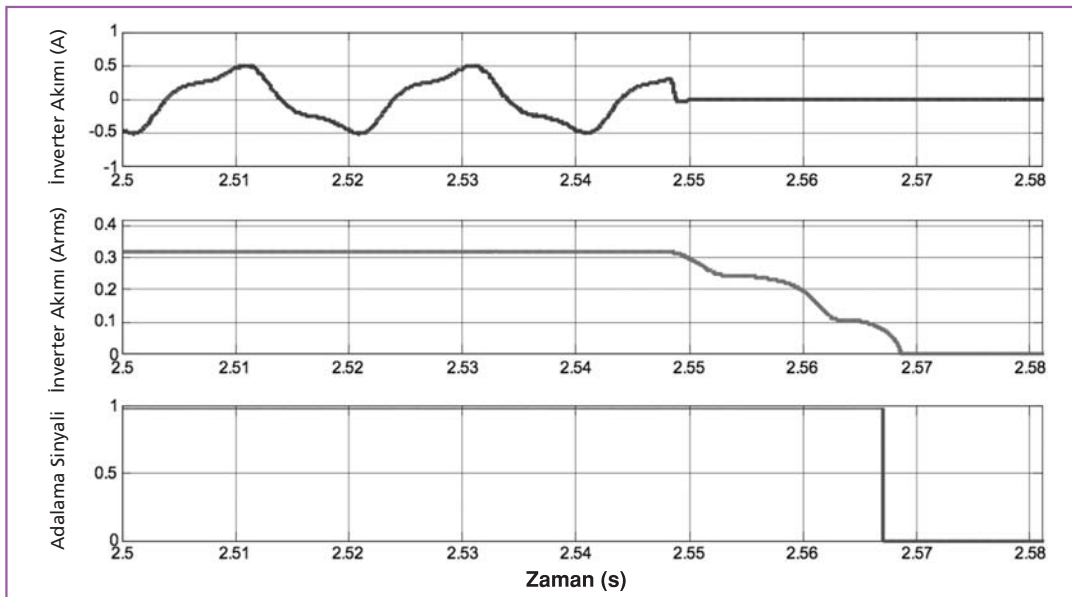
Şekil 3.34'te adalama ünitesinin sistemden çıkmasıyla beraber ilk anlarda, yük yüksek akım çekmektedir. Bu durum yük ünitesi içinde yer alan transformatörden dolayı meydana gelmektedir. Daha sonra yükün akım dalga şekli normal haline dönmektedir.

Şekil 3.35'te inverter çıkış gerilimi ile ilgili verilere göre adalama sinyalinin değişimi gösterilmiştir. Şekil 3.35'te de görüldüğü üzere, şebeke geriliminin belirlenen sınır değerler içinde olduğu bilgisi geldikten sonra ilk önce inverterin çalışması durdurulmaktadır. Ardından güvenlik açısından inverter çıkış geriliminin RMS değeri belli bir değere geldikten sonra adalama işlemi sonlanmaktadır. Böylece şebeke, tekrar yükü besleyebilmektedir. Bu durum da Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



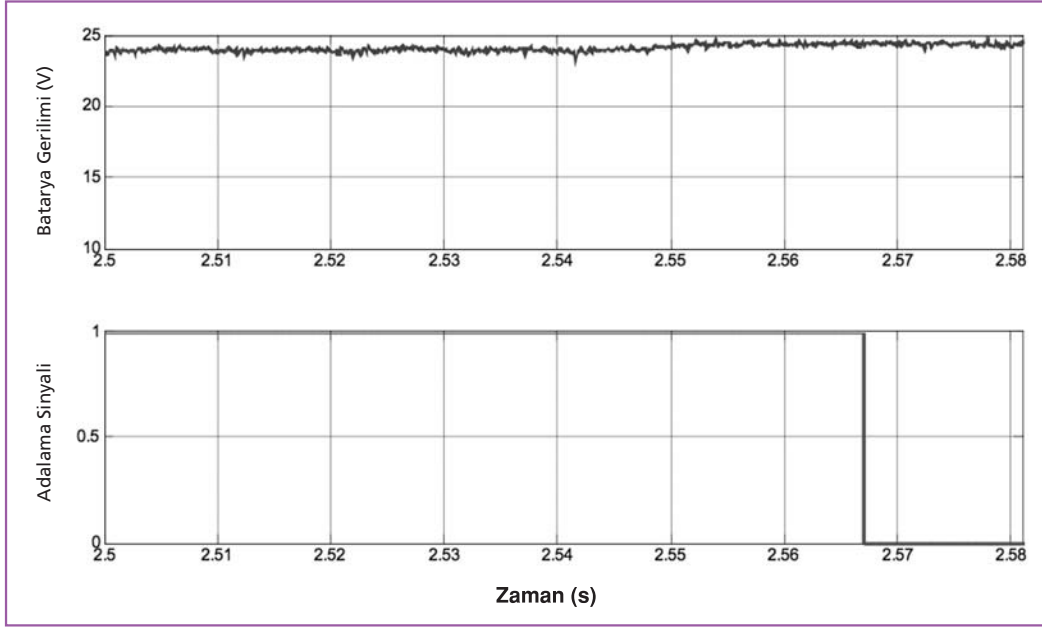
Şekil 3.35. Elektrik şebekesine enerji geldiği anda inverterin çıkış gerilimine ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

Şekil 3.36'da öncelikle inverterden çekilen akım sıfır olmaktadır, ardından adalama sinyali 0 değerine gelmektedir. Şebeke tekrar yükü beslediğinde inverter akımının sıfır olmasının sebebi bataryanın şarj edilmemesidir.



Şekil 3.36. Elektrik şebekesine enerji geldiği anda inverterden çekilen akıma ait değişimler ve adalama sinyalinin değişimi

Son olarak Şekil 3.37'de batarya geriliminin değişimi gösterilmiştir. Şebeke geriliminin belirlenen sınır değerlere gelmesinden sonra, ilk olarak dSPACE inverterin çalışmasını durdurmaktadır. Bu andan itibaren, batarya gerilim değeri ilk andaki değerine geri dönmektedir. Daha sonra dSPACE güvenlik için bütün şartların sağlanmasından sonra adalama işlemini sonlandırmaktadır.

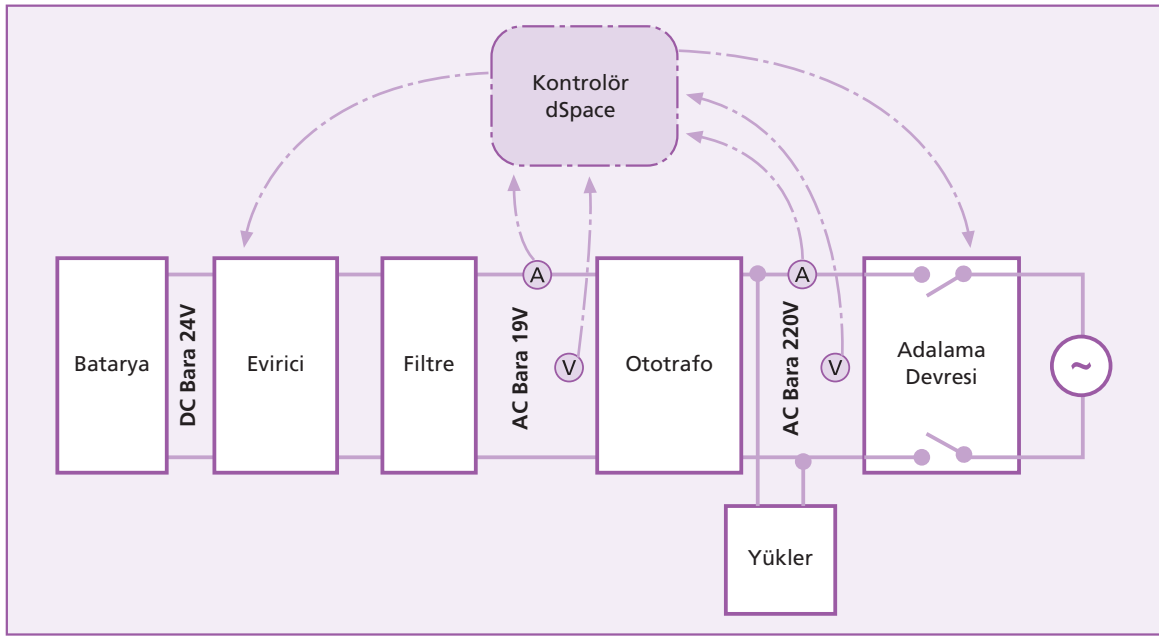


Şekil 3.37. Elektrik şebekesine enerji geldiği anda batarya geriliminin değişimi ile adalama sinyalinin değişimi

Deneyel çalışmanın sonucunda elde edilen veriler ve grafikler bize göstermektedir ki, test platformunu oluşturan bütün üniteler dolayısıyla test platformu, normalize edilmiş koşullar altında başarılı bir şekilde çalışmaktadır. Sonuç olarak, gerekli elektriksel alt yapıların hazırlanması ve inverter kontrolüne dikkat edilmesi halinde ŞEEA'lar başarılı bir şekilde kesintisiz güç kaynağı olarak da kullanılabilir.

3.3. Reaktif Güç Kompanzasyonu Çalışma Modu

Bu çalışma modunu test amacı ile gerçekleştirilen deneyel çalışmalarda, EA şarj olurken aynı zamanda enerji kalitesi problemlerine de çözüm üretip şebekeden çekilen akımlar azaltılmaya çalışılmıştır. Böylelikle EA şebeke üzerinde daha az yük oluşturup aynı bağlantı noktasından daha çok aracın şarj edilmesi sağlanabilecektir. Bu amaçla sistemi test etmek üzere deney düzeneği ve kontrol algoritması geliştirilmiştir. Oluşturulan deney düzeneğinin blok şeması Şekil 3.38'de verilmiştir.



Şekil 3.38. Deney düzeneği blok diyagramı

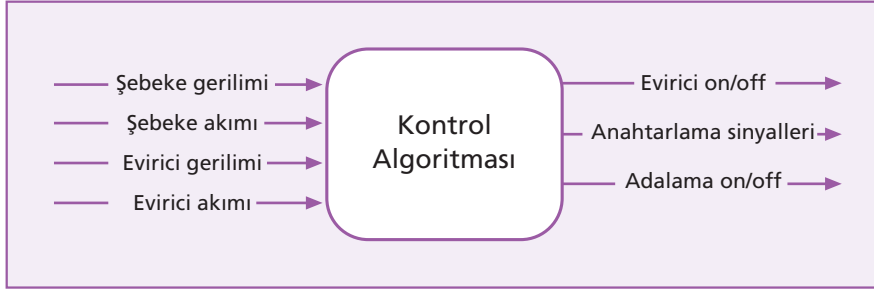
Deney düzeneğinde 12 V gerilim değerinde 2 adet batarya seri bağlanarak 24 V DC bara elde edilmiştir. Elde edilen DC gerilim, geliştirilen şebeke ile bağlantı kurabilme yeteneğine sahip bir evirici ile AC gerilime bağlanmıştır. Akım ve gerilim dalga şekilleri filtre ile düzeltilmiştir. Elde edilen AC gerilim, bir ototransformatör yardımıyla yükseltilerek şebeke gerilimine çıkarılmıştır. Tüketim merkezindeki (ev, iş yeri vb.) yükleri modellemek için yük bankası kullanılmıştır. Şebeke ile bağlantıyı koparmayı ve tekrar bağlanmayı sağlayan adalama devresi üzerinden elektrik şebekesine bağlanılmıştır. Oluşturulan deney düzeneği Şekil 3.39'da sunulmuştur.



Şekil 3.39. Deney düzeneği

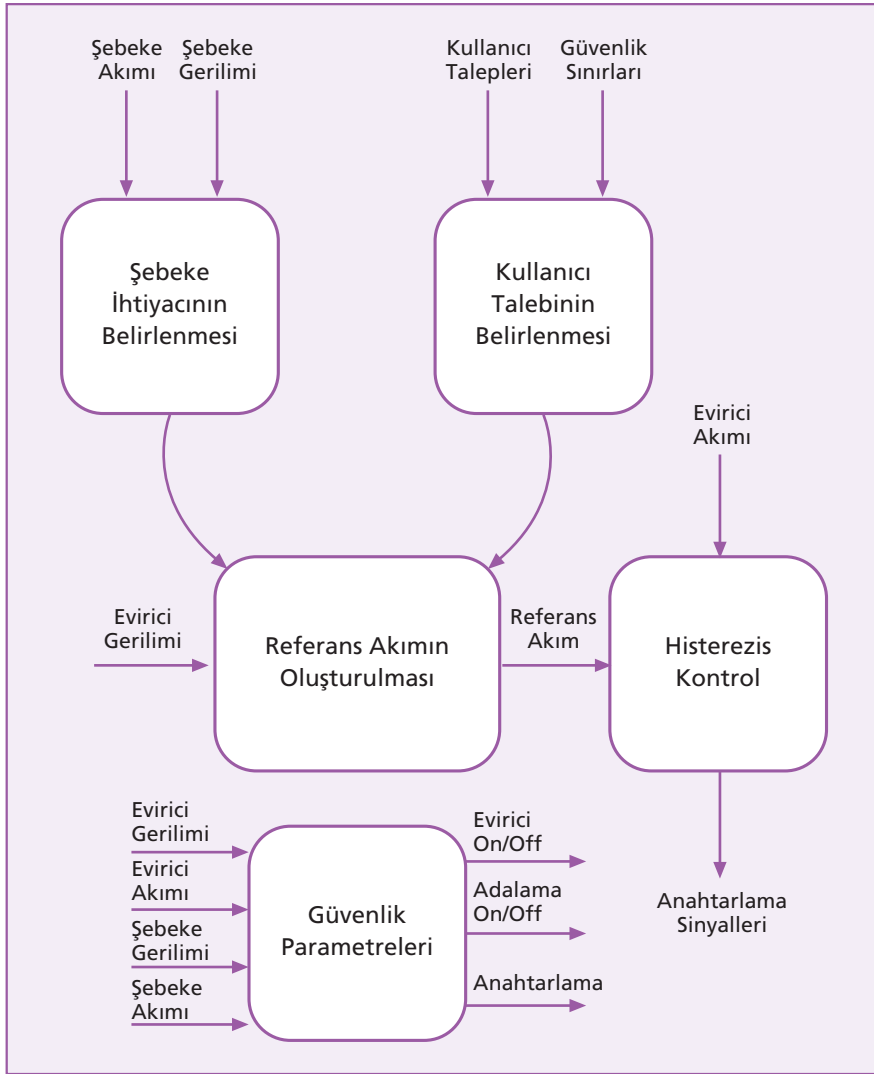
3.3.1. Kontrol Algoritması

Evirici şebekeye bağlı olduğu zaman akım kontrollü çalışmaktadır. Bu durumda kontrol algoritmasının referans akım sinyalini üretebilmesi için 2 adet akım ve 2 adet gerilim verisine ihtiyaç vardır. Kontrol algoritmasının ihtiyaç duyduğu girişler ve ürettiği sinyaller Şekil 3.40'ta verilmiştir.



Şekil 3.40. Kontrol algoritmasının geri beslemeleri ve ürettiği sinyaller

Şebekeden gelen veriler doğrultusunda şebeke ihtiyaçlarını ve kullanıcı tarafından belirlenen şarj ihtiyacını göz önüne alan Şekil 3.41'de blok diyagramı verilen kontrol algoritması, bu verileri kullanarak referans bir akım sinyali üretmektedir. Burada amaç şebekeden şarj akımının yanında şebeke akımını azaltacak yönde faz farkı ile akım çekerek şebekenin aşırı yüklenmesinin önüne geçmektir. Böylelikle hem kullanıcının talep ettiği şarj işlemi devam etmiş, hem de şebekenin ihtiyaçları karşılanmış olacaktır. Ayrıca akım ve gerilim değerlerinde güvenlik sınırlarının dışına çıkılması durumunda, kontrol algoritması gerekirse şebeke ile bağlantıyı kesmekte veya eviriciyi durdurmaktadır



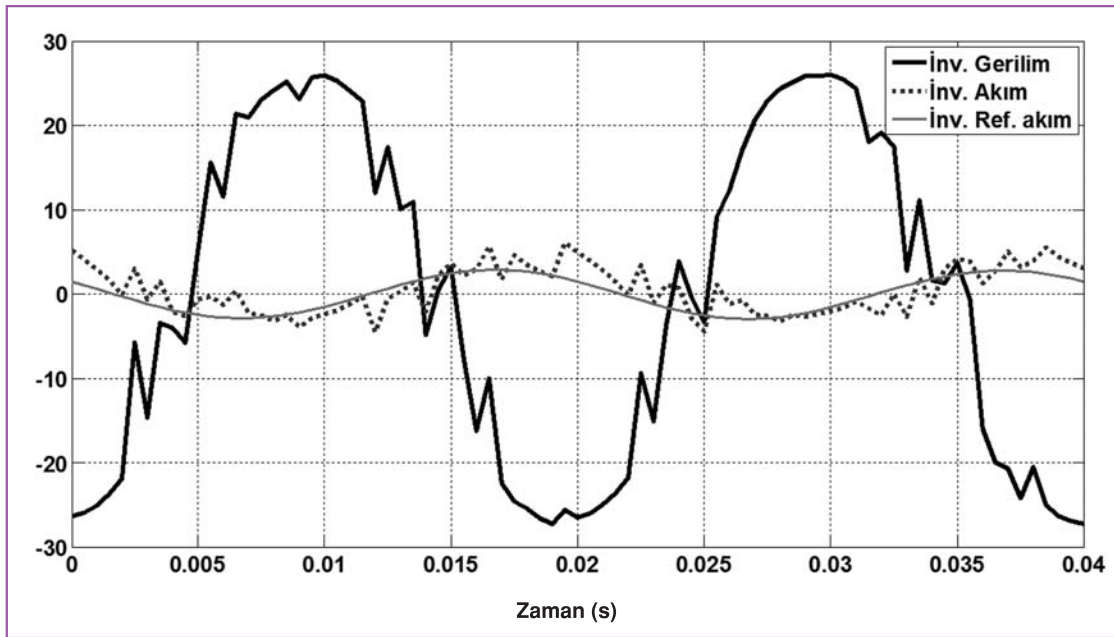
Şekil 3.41. Kontrol Algoritması

3.3.2. Testler ve Sonuçları

Kontrol algoritmasının ve evirici yapısının test edilmesi için deney düzeneği üzerinde 4 adet farklı yük altında test gerçekleştirilmiştir. Her testte evirici, bir önerilen algoritma ile çalıştırılmış, bir de sadece şarj ihtiyacını karşılayacak şekilde çalıştırılmıştır.

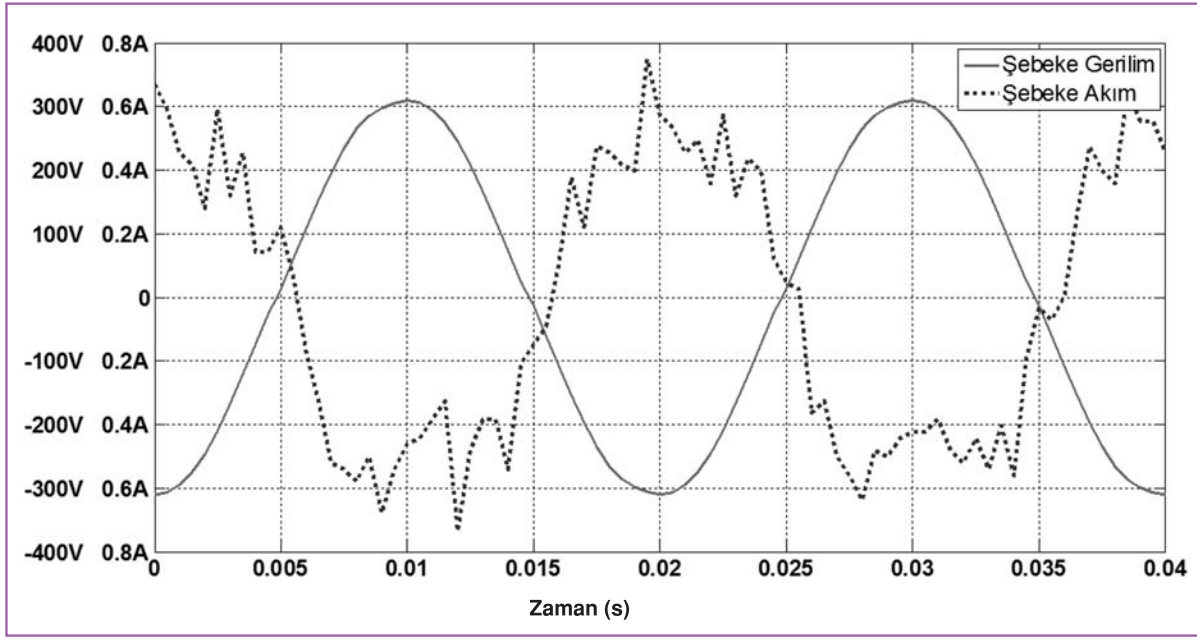
3.3.2.1. Yüksüz durum

Bu çalışmada yüklerin hiç biri devreye alınmamıştır, ancak sadece deney düzeneği üzerinde bulunan ototransformatörün boşta çalışma akımı ve şarj akımı mevcuttur. Önerilen algoritma devredeyken eviricinin akım ve gerilim eğrileri ve referans akım eğrisi Şekil 3.42'de verilmiştir.



Şekil 3.42. Yüksüz durumda önerilen algoritma ile evirici akım ve gerilim dalga şekilleri

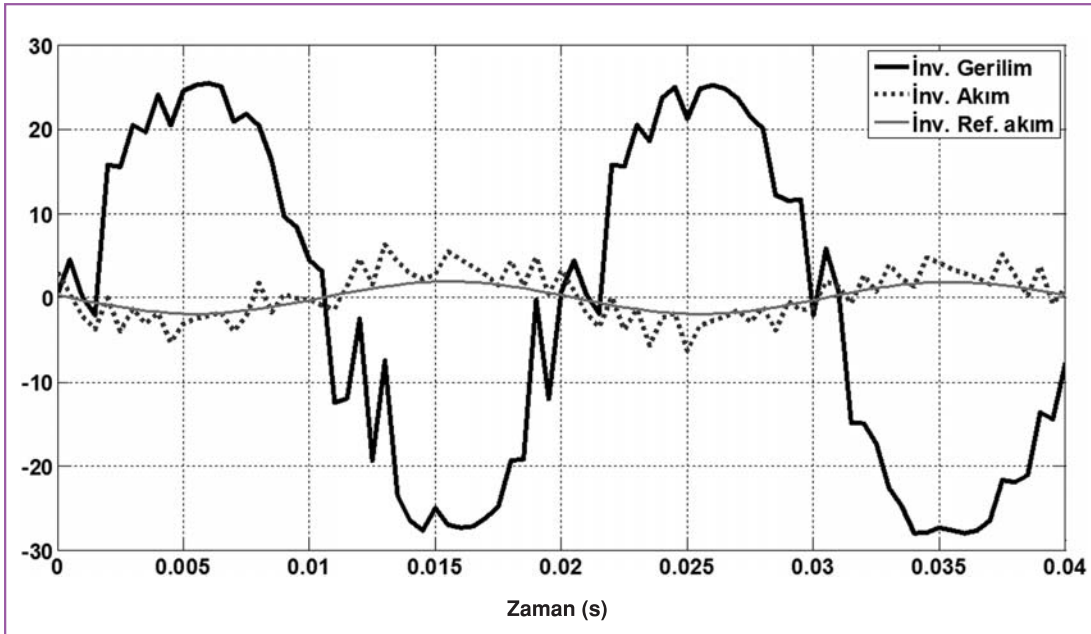
Şekil 3.42'de görüldüğü gibi şebeke ile az da olsa bir faz farkı ile akım çekilmektedir. Bunun sebebi ototransformatörün çektiği endüktif karakterli akımdır. Aynı durumda şebekeden alınan akım ve gerilim dalga şekilleri de Şekil 3.43'te sunulmuştur.



Şekil 3.43. Yüksüz durumda önerilen algoritma ile şebeke akım ve gerilim dalga şekilleri

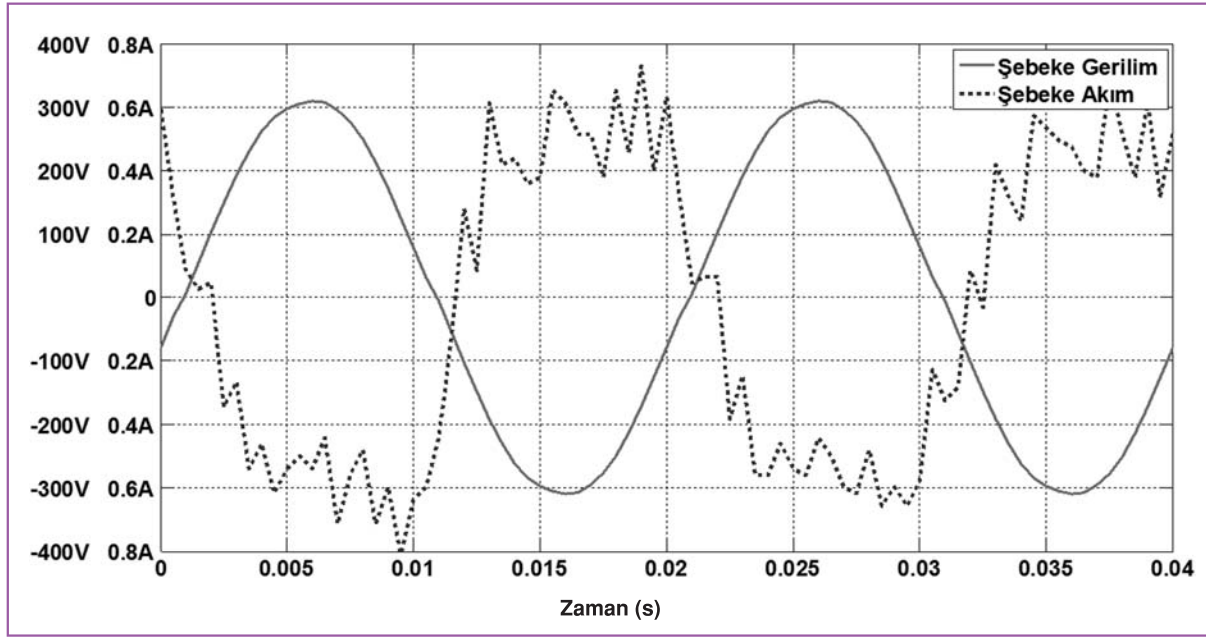
Şekilden gözlemlenebildiği gibi şebeke bağlantı noktasında akım ve gerilimin sıfır noktaları kesişmekte ve şebekeden gerilim sinyaline göre 180 derece faz farkı ile sadece şarj akımı çekilmektedir.

Evirici, şebeke değerlerini görmeden sadece batarya şarj etmek için çalıştığında ise evirici akım ve gerilim dalga şekilleri ile referans akımın değişimi Şekil 3.44'te verilmiştir.



Şekil 3.44. Yüksüz durumda sadece şarj algoritması ile evirici akım ve gerilim dalga şekilleri

Şekil 3.44'ten gözlemlenebildiği gibi artık evirici akım ve gerilimi arasında faz farkı olmayan bir akım çekmekte ve sadece şarj işlemi yapmaktadır. Bu şartlar altında şebekeden çekilen akım ve gerilimin dalga şekli de Şekil 3.45'te sunulmuştur. Akım ve gerilimin dalga şekilleri arasında biraz kayma olmuş ve şebekeden endüktif bileşenli bir akım çekilmiştir. Akım ve gerilimin sıfır noktalarının kesişmemesinden bu durum gözlemlenebilmektedir.



Şekil 3.45. Yüksüz durumda sadece şarj algoritması ile şebeke akım ve gerilim dalga şekilleri

Yüksüz durum için elde edilen sonuçların grafiklerden okunması zorluk oluşturacağı için sayısal veriler ile bir tablo oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1. Yüksüz durumda önerilen algoritma ile sadece şarj algoritmasının karşılaştırılması

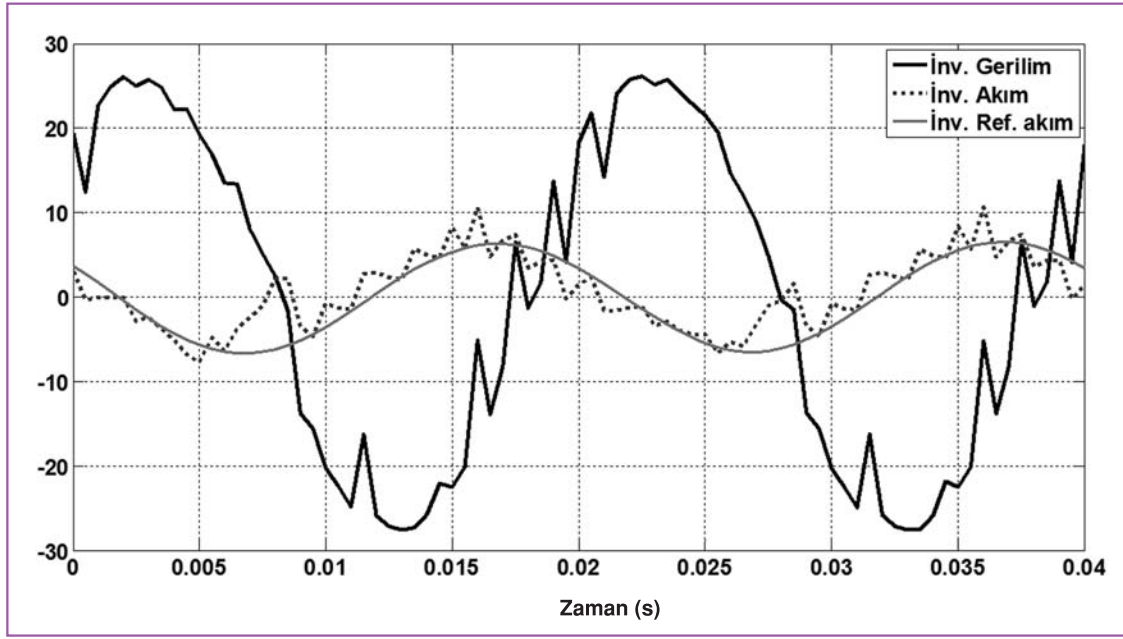
	Pevirici (W)	Qevirici (VAr)	Vevirici (V)	Ievirici (A)	Psebeke (W)	Qsebeke (VAr)	Vsebeke (V)	Isebeke (A)
Önerilen Algoritma	39	-10(kap)	18	2,4	85	+14(end)	214	0,42
Sadece Şarj	47	+3(end)	20	2,7	90	+32(end)	220	0,45

Çizelge 3.1 incelendiğinde önerilen algoritma ile şebekeden çekilen reaktif güç (Q) değerinde büyük oranda düşüğe sebep olduğu görülmüştür. Böylelikle şebekeden çekilen akım değerinde %6 oranında azalma elde edilmiştir.

3.3.2.2. I.Yük Grubu ile

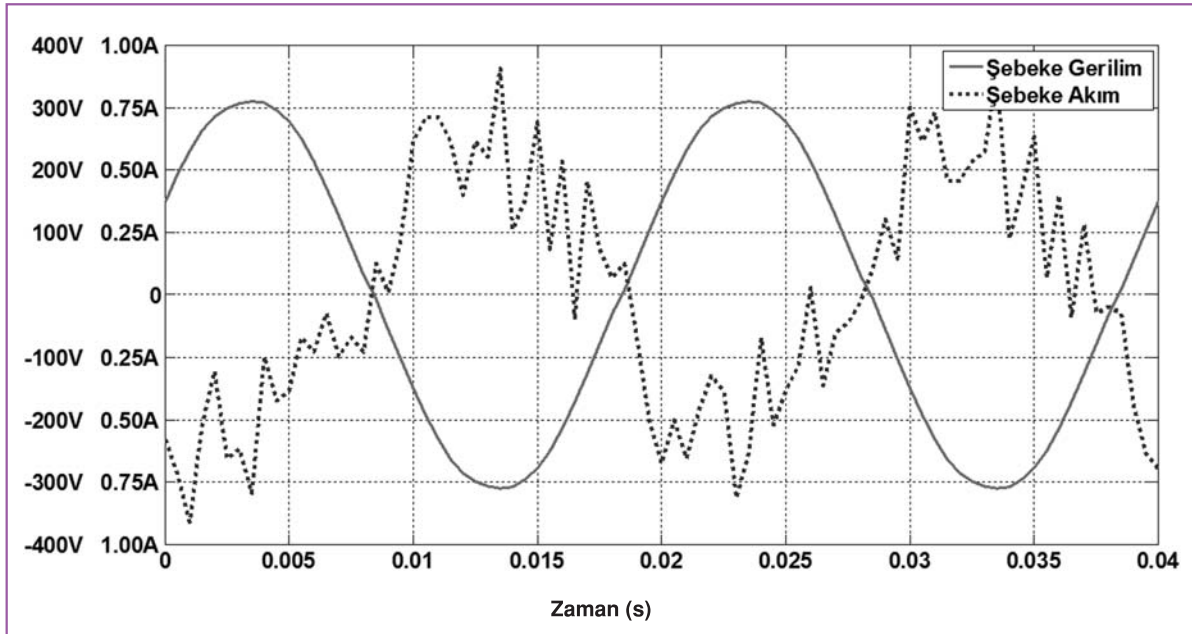
Önerilen şarj algoritmasının etkilerini görebilmek amacı ile reaktif güç çeken yükler devreye alınmıştır. Böylelikle başka yükler devrede olduğunda önerilen algoritmanın nasıl sonuçlar verdiği incelenmiştir. Bu amaçla 250 VAr endüktif reaktif güç çeken bir yük ile bu yükün kompanzasyonu için 25,5 μ F'lık bir kondansatör, yük olarak devreye alınmıştır. Böylelikle yükler şebekeden 100 VAr'ın üzerinde bir kapasitif reaktif güç çekecektir.

Eviricinin önerilen şarj algoritması ile çalıştırılması durumunda, evirici akım ve gerilim dalga şekli ile referans akımın değişimi Şekil 3.46'da verilmiştir.



Şekil 3.46. Endüktans (250 VAR) ve kondansatörün (380 VAR) devrede olduğu durum için evirici dalga şekilleri (Önerilen algoritma)

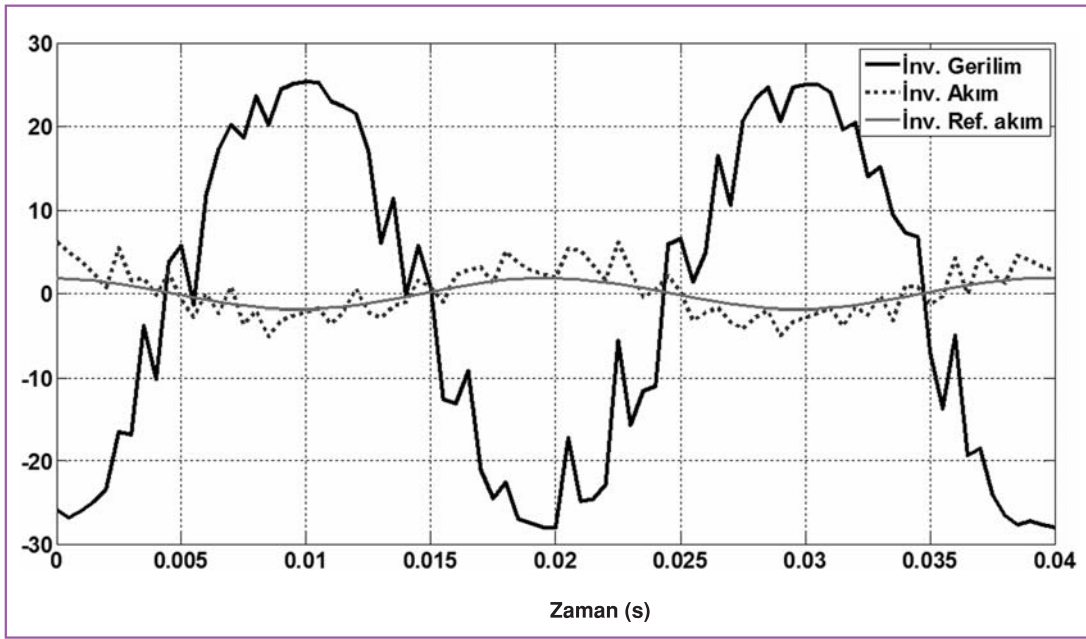
Dalga şekillerinden de görüldüğü üzere evirici akım ve gerilimi arasında görünür şekilde bir faz farkı oluşturulmuş ve yüklerin akımını kompanse edecek şekilde reaktif bileşenli bir akım çekilmiştir. Bu şartlar altında şebekeden çekilen akımın ve şebeke geriliminin dalga şekli Şekil 3.47'de sunulmuştur.



Şekil 3.47. Endüktans (250VAR) ve kondansatörün (380 VAR) devrede olduğu durum için şebeke dalga şekilleri (Önerilen algoritma)

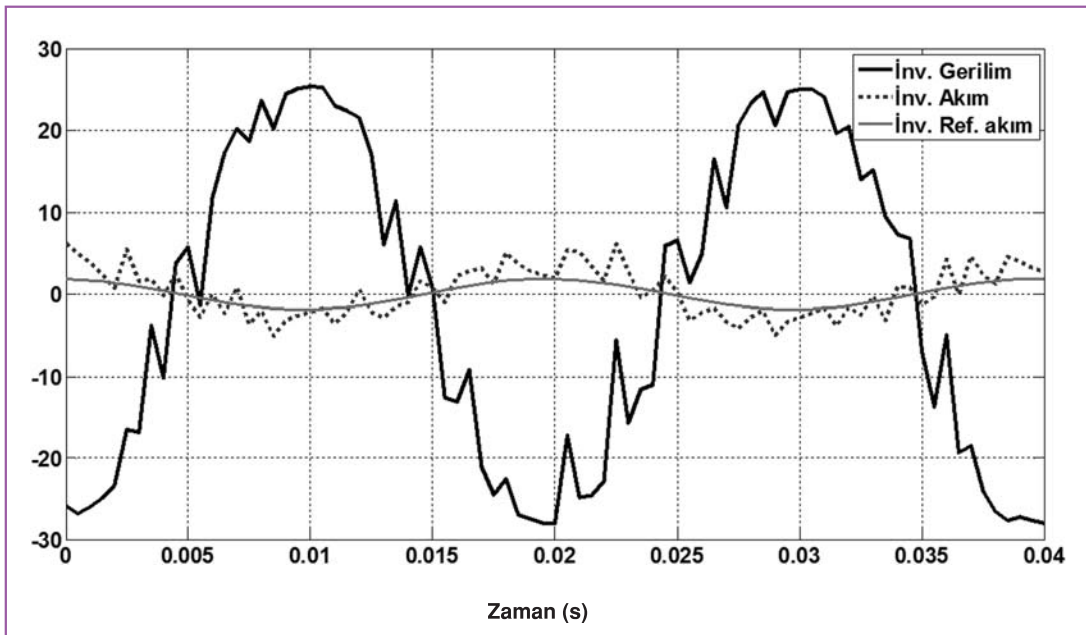
Yüklerin faz farkına sahip olmasına rağmen şebekeden çekilen akım ve gerilim arasında faz farkı olmadığı görülmektedir. Görüldüğü gibi sadece aktif bileşenli yük şebekeden çekilmektedir.

Önerilen algoritma yerine sadece şarj işlemi yapacak olan bir algoritma ile sistem çalıştırıldığında evirici akım ve gerilim dalga şekilleri ve referans akımın değişimi Şekil 3.48'de verilmiştir.



Şekil 3.48. Endüktans (250VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için evirici dalga şekilleri (Sadece şarj)

Dalga şekillerinden de görülebildiği gibi evirici gerilimi ile akımı arasında faz farkı yoktur, bir başka deyişle reaktif bileşen içermeyen bir akım ile bataryayı şarj etmektedir. Bu şartlar altında şebeke gerilim ve akımının dalga şekilleri Şekil 3.49'da sunulmuştur.



Şekil 3.49. Endüktans (250VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için şebeke dalga şekilleri (Sadece şarj)

Akım ve gerilim dalga şekilleri arasındaki faz farkı belirgin değerde olduğu akım ve gerilimin sıfır noktaları arasındaki farktan anlaşılabilir. Dalga şekillerinden çıkarılabilecek sonuç, şebekeden şarj işlemi dışında sürekli şebeke ile salınan faz farklı reaktif bir akımın çekildiğidir. Sonuçların daha iyi anlaşılabilmesi için Çizelge 3.2 incelendiğinde görülmektedir ki, önerilen algoritma devreye alındığında şebekeden çekilen reaktif güç oldukça düşürülmüş ve şebeke akımı da %30'un üzerinde azaltılmıştır.

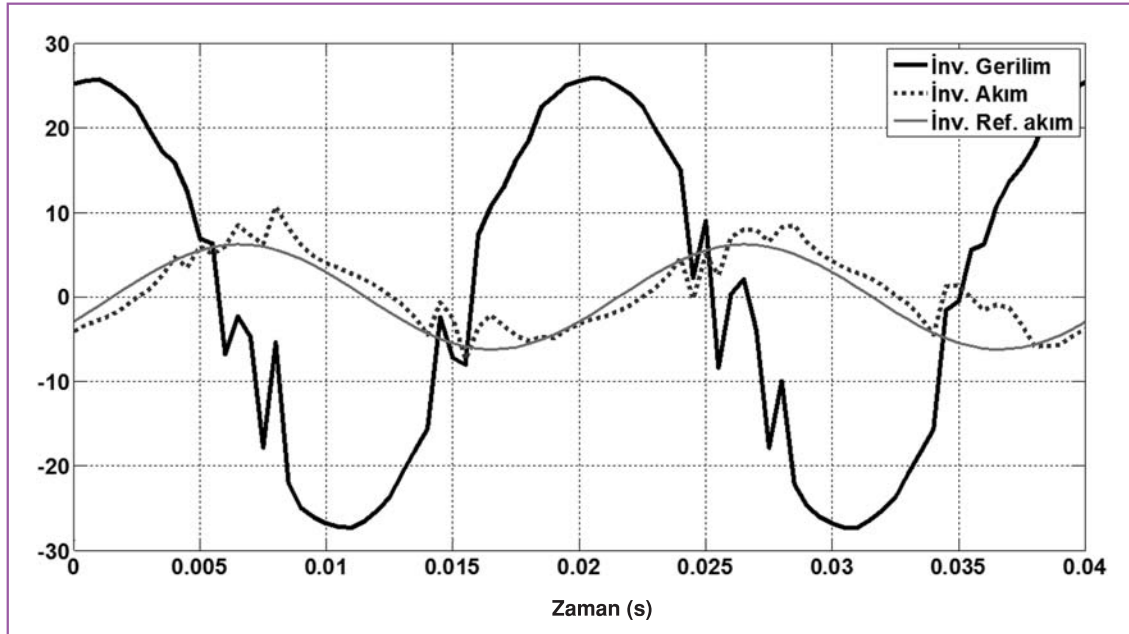
Çizelge 3.2. Endüktans (250VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durumda önerilen algoritma ile sadece şarj algoritmasının karşılaştırılması

	Pevirici (W)	Qevirici (VAr)	Vevirici (V)	Ievirici (A)	Psebeke (W)	Qsebeke (VAr)	Vsebeke (V)	Isebeke (A)
Önerilen Algoritma	43	57(end)	19	4,2	87	-30(kap)	221	0,44
Sadece Şarj	48	0	19	2,9	88	-104 (kap)	220	0,64

3.3.2.3. II.Yük Grubu ile

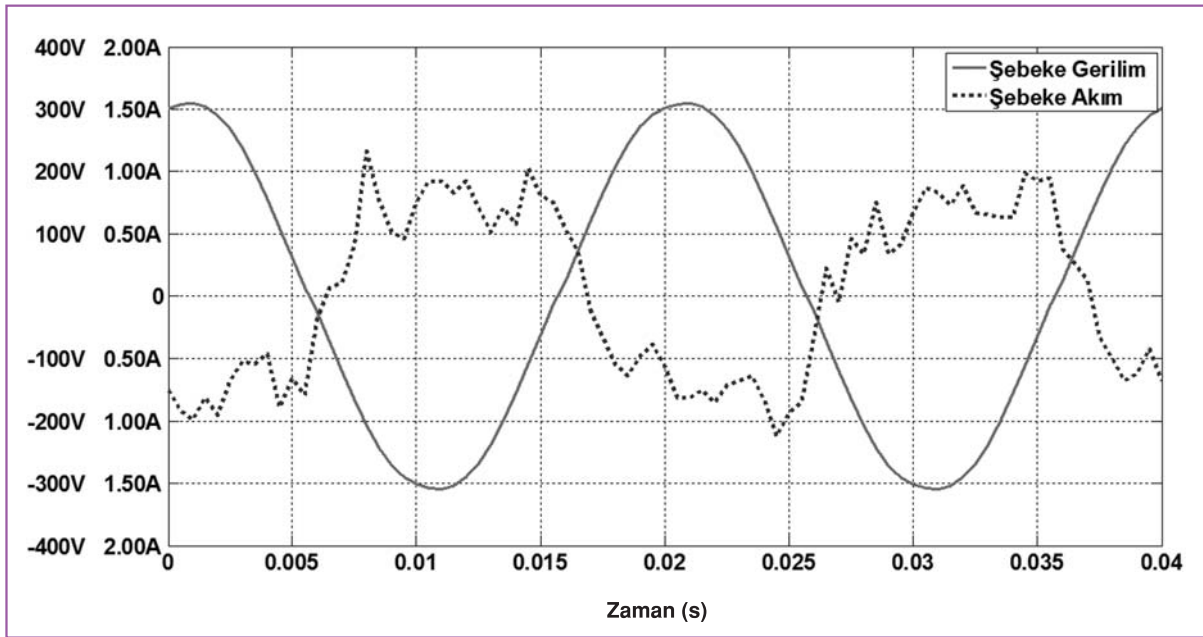
Önerilen algoritmanın farklı çalışma koşulları altında da testinin yapılabilmesi için yük kademeleri değiştirilmiş ve tekrar sonuçlar alınmıştır. Bu sefer 500 VAr endüktif bir yük ve 380 VAr kompanzasyon kondansatörü devrede iken algoritma test edilmiştir.

Önerilen algoritma devrede iken yükler toplamda endüktif karakterli olduğundan evirici kapasitif akım çekerek yüklerin kompanzasyonunu sağlamıştır. Eviricinin gerilim, akım ve referans akım değerlerinin değişimi Şekil 3.50'de verilmiştir.



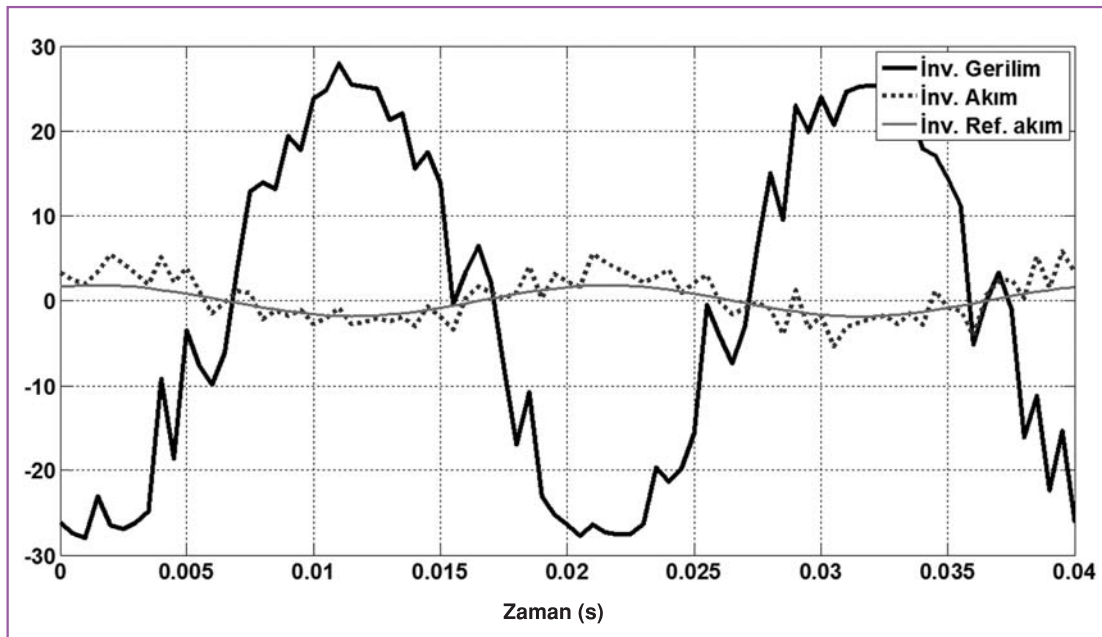
Şekil 3.50. Endüktans (500VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için evirici dalga şekilleri (Önerilen algoritma)

Evirici akım ve gerilim dalga şekilleri incelendiğinde eviricinin endüktif karakterli bir akım çektiği gözlemlenebilmektedir. Böylelikle algoritma şebekeden çekilen reaktif gücü kompanze etmeye çalışmaktadır. Şekil 3.51'de şebekenin akım ve gerilim dalga şekilleri incelendiğinde sonuçlar daha net gözükmemektedir.



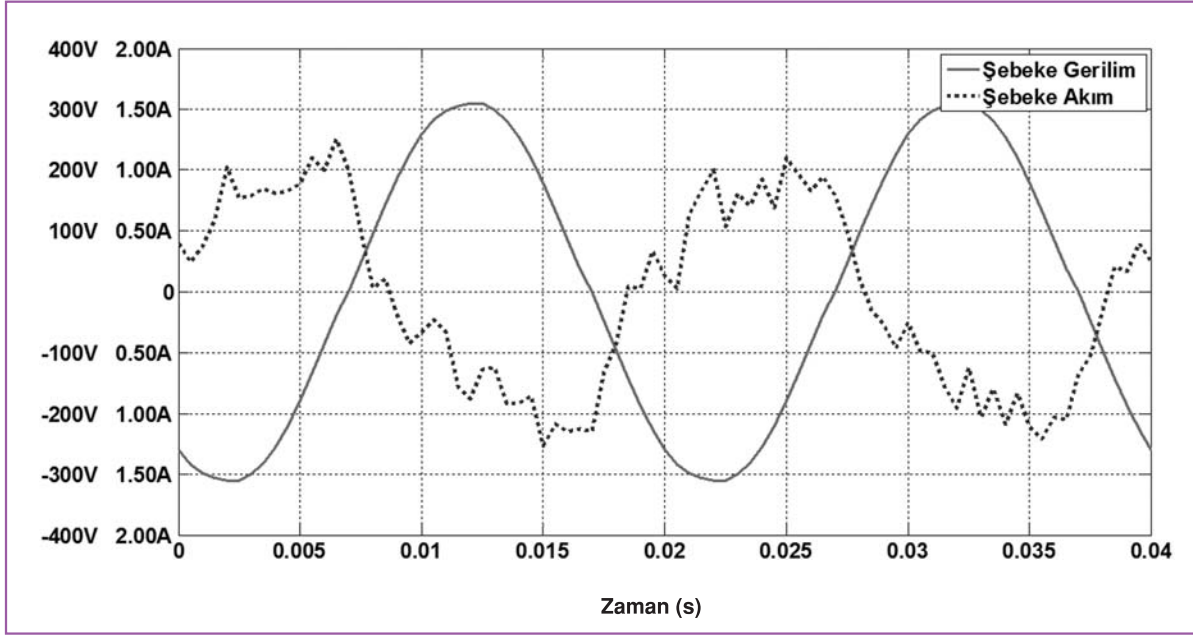
Şekil 3.51. Endüktans (500VAR) ve kondansatörün (380 VAR) devrede olduğu durum için şebeke dalga şekilleri (Önerilen algoritma)

Dalga şekillerinden görülebildiği gibi akım ve gerilim arasındaki faz farkı sıfıra oldukça yaklaştırılmıştır. Sadece şarj algoritması ile sistem çalıştırıldığında ise evirici dalga şekilleri Şekil 3.52'de sunulmuştur.



Şekil 3.52. Endüktans (500VAR) ve kondansatörün (380 VAR) devrede olduğu durum için evirici dalga şekilleri (Sadece Şarj)

Daha önceki çalışmalarda olduğu gibi evirici gerilim ile aynı fazda sadece şarj akımı çekmektedir. Bu şartlar altında şebeke gerilim ve akımının dalga şekilleri Şekil 3.53'teki gibi olmuştur.



Şekil 3.53. Endüktans (500VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durum için şebeke dalga şekilleri (Sadece Şarj)

Sonuçların daha net incelenebilmesi için sayısal veriler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

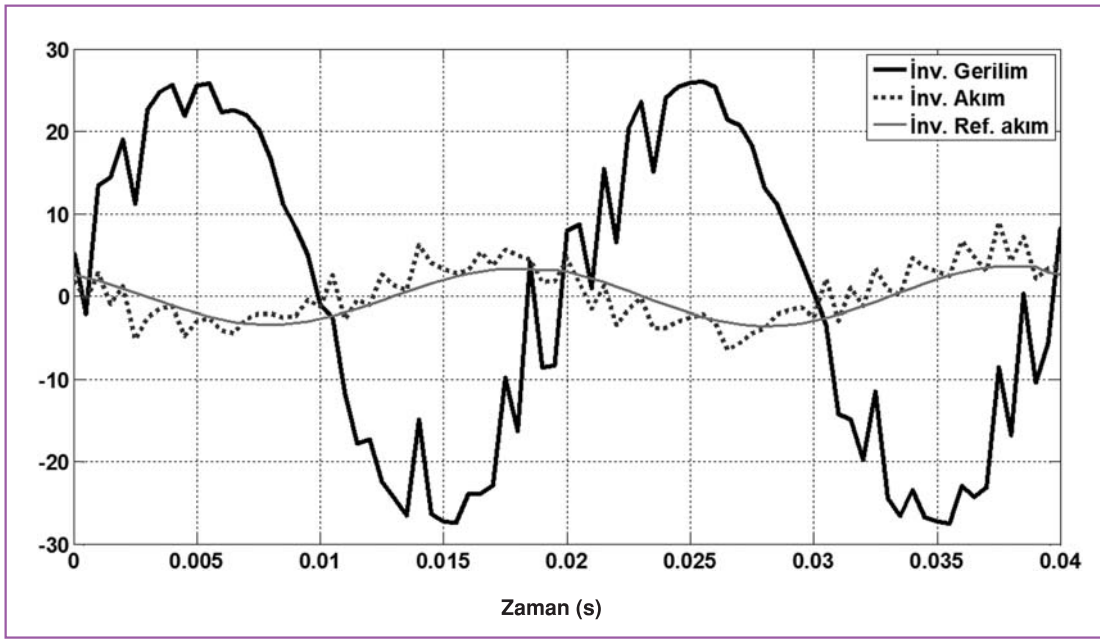
Çizelge 3.3. Endüktans (500VAr) ve kondansatörün (380 VAr) devrede olduğu durumda önerilen algoritma ile sadece şarj algoritmasının karşılaştırılması

	Pevirici (W)	Qevirici (VAr)	Vevirici (V)	Ievirici (A)	Psebeke (W)	Qsebeke (VAr)	Vsebeke (V)	Isebeke (A)
Önerilen Algoritma	47	-51 (kap)	19	4,2	125	+64 (end)	221	0,67
Sadece Şarj	44	-6 (kap)	19	2,6	125	+92 (end)	221	0,73

Aşırı akım çekmeyi önlemek amacıyla konulan güvenlik sınırları yüzünden reaktif güç tamamen kompanse edilmese de şebekeden çekilen akımda %8'lik bir azalma sağlanmıştır.

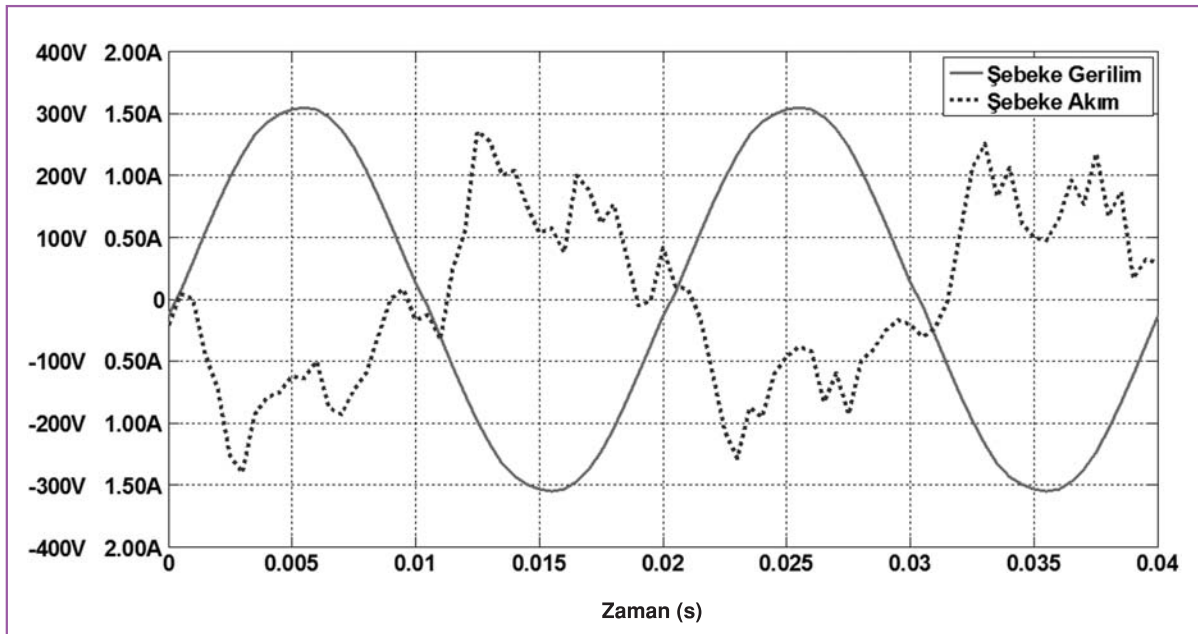
3.3.2.4. III.Yük Grubu ile

Önerilen algoritmanın reaktif gücün az olduğu durumlarda tepkisini ölçmek için reaktif gücün çok az olduğu bir yüklenme testi yapılmıştır. Bu durum için 750 VAr endüktans ve kompozasyon için kondansatör grupları devreye alınmıştır. Bu şartlar altında önerilen algoritma çalışırken evirici akım, gerilim ve referans akım dalga şekilleri Şekil 3.54'te verilmiştir.



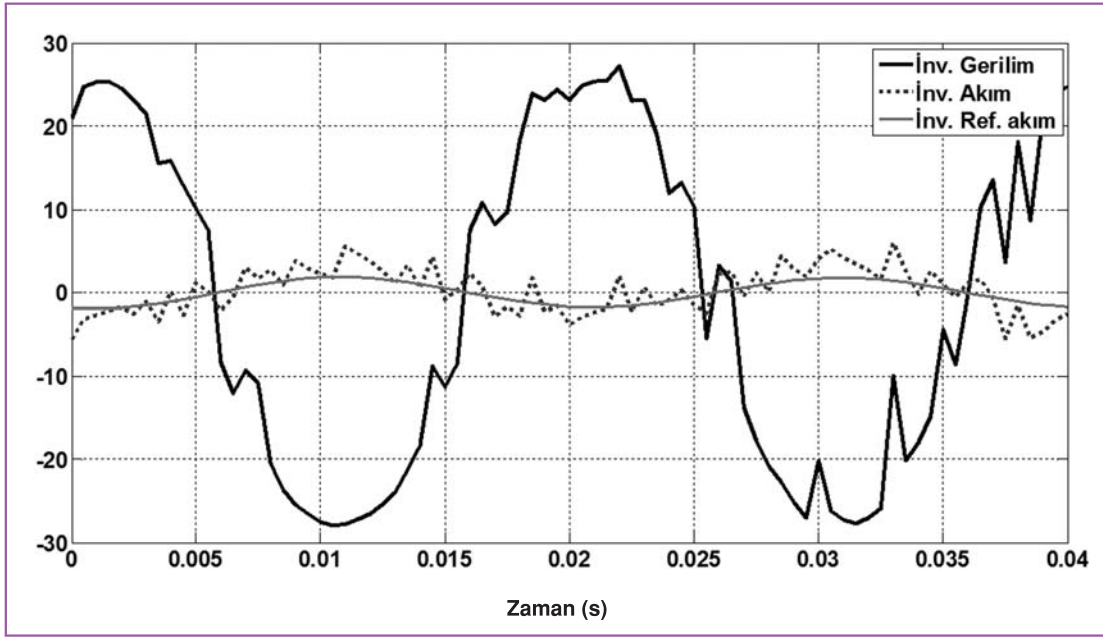
Şekil 3.54. Endüktans (750VAr) ve kondansatörlerin (780 VAr) devrede olduğu durum için evirici dalga şekilleri (Önerilen algoritma)

Akım ile gerilim arasındaki açı, eviricinin kompanzasyon yaptığını göstermektedir. Bu şartlar altında şebeke akım ve gerilim dalga şekilleri de Şekil 3.55'te verilmiştir.



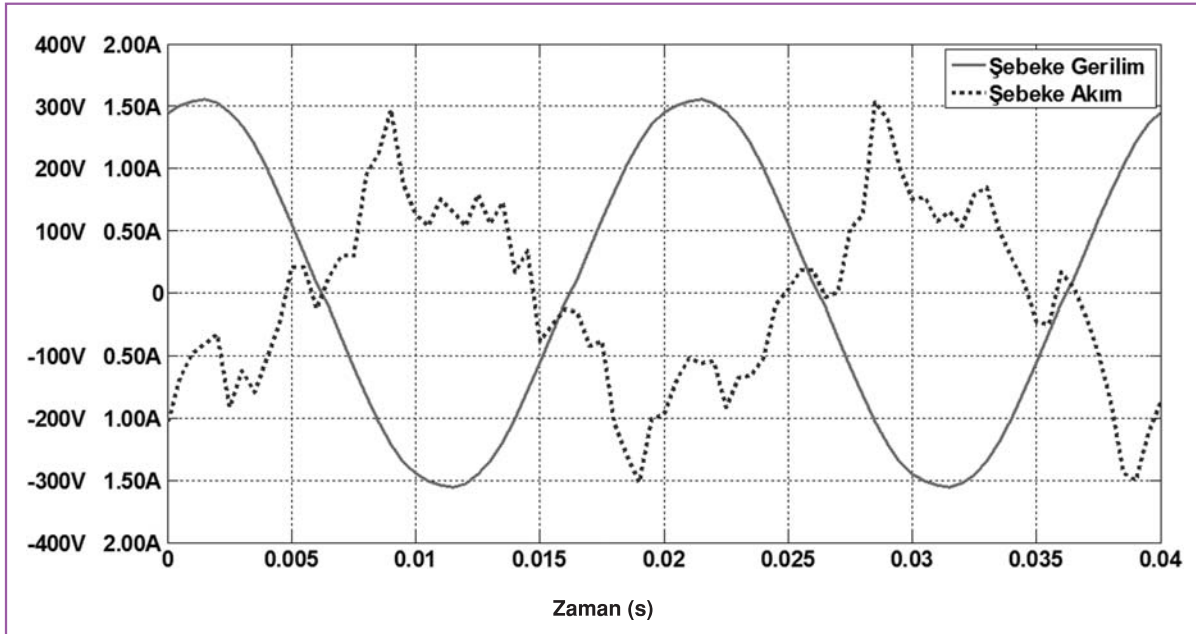
Şekil 3.55. Endüktans (750VAr) ve kondansatörlerin (780 VAr) devrede olduğu durum şebeke dalga şekilleri (Önerilen algoritma)

Akım ve gerilim dalga şekillerinin sıfır noktalarının kesiştiği net bir şekilde görülmektedir. Böylelikle şebekeden reaktif güç çekilmesinin önüne geçilmiştir. Sadece şarj eden evirici devreye alındığında elde edilen evirici akım ve gerilim dalga şekli Şekil 3.56'da verilmiştir.



Şekil 3.56. Endüktans (750VAr) ve kondansatörler'in (780 VAR) devrede olduğu durum evirici dalga şekilleri (Sadece şarj)

Evirici akımının gerilim ile sıfır noktaları kesiştiğinden reaktif güç çekilmediği anlaşılmaktadır. Bu şartlar altında şebekeden çekilen akım da Şekil 3.57'de gösterildiği gibi olmuştur.



Şekil 3.57. Endüktans (750VAr) ve kondansatörler'in (780 VAR) devrede olduğu durum şebeke dalga şekilleri (Sadece şarj)

Şebeke akımında az da olsa sıfır noktaları arasındaki fark gözlemlenebilmektedir. Sonuçların daha net analiz edilebilmesi için sayısal veriler Çizelge 3.4'te sunulmuştur.

Çizelge 3.4. Endüktans (500VAr) ve kondansatörlerin (780 VAr) devrede olduğu durumda önerilen algoritma ile sadece şarj algoritmasının karşılaştırılması

	Pevirici (W)	Qevirici (VAr)	Vevirici (V)	Ievirici (A)	Psebeke (W)	Qsebeke (VAr)	Vsebeke (V)	Isebeke (A)
Önerilen Algoritma	49	30 (end)	18	3,5	135	4 (kap)	220	0,67
Sadece Şarj	42	-6 (kap)	19	2,7	138	-44 (kap)	220	0,71

Sonuçlar incelendiğinde görülmektedir ki şebekeden çekilen reaktif güç kompanze edilmiştir ve bu sayede şebeke akımında yaklaşık olarak %6 bir azalma sağlanmıştır.

SONUÇLAR

EA'ların petrol rezervinin azalması ve çevrenin korunması için yapılan çalışmalar nedeniyle önümüzdeki yıllarda EA'ların otomobil pazarında önemli bir paya sahip olması beklenmektedir. Bu araçların ihtiyacı olan enerjinin şebekeden karşılanacak olması, dağıtım sisteminde büyük bir yük artışına sebep olacaktır. Bu durum, bütün elektrik enerjisi sistemi elemanlarının kapasitelerinin zorlanmasına, ömürlerinin azalmasına ve enerji kalitesi problemlerine neden olabilecektir.

Bahsi geçen problemleri engellemek için ilk akla gelen yöntem mevcut elektrik sistemine ait bileşenlerin kapasitelerini arttırmaktır. Ancak bu işlem hem çok masraflıdır, hem de çok fazla iş gücü gerektirmektedir. Bu yatırımların uzun vadeye yayılarak yapılması daha doğru olur. Bu sebeplerden dolayı günümüzde bu problemleri engellemenin en iyi yöntemi mevcut elektrik sistemini olabildiğince etkin ve verimli bir şekilde kullanmaktır. Elektrik sistemimizi etkin kullanabilmek için hem EA'ların tasarımında hem de elektrik sisteminin altyapısında bazı düzenlemeler ve eklemeler yapmak gerekmektedir.

Öncelikle, EA'larda bulunan eviricinin tasarımı yapılırken hem harmonik oluşturmadan çalışması sağlanmalıdır, hem de bu evirici güç faktörünü olumsuz etkilememelidir. Hatta şebeke problemleri ise şebekeyi düzeltici olarak çalışması hedeflenmelidir. EA'ların şarj işlemleri kontrollü olmalıdır. Bu sayede, pik zamanlarda aracın şarj olması engellenecektir. Ayrıca V2G yöntemiyle park halindeki EA'ların bataryalarının güç talebinin yükseldiği saatlerde yedek güç kaynağı olarak çalışması sağlanmalıdır. Ancak yukarıda bahsedilen konuların hepsi akıllı şebeke ve akıllı sayaç teknolojilerinden bağımsız olarak düşünülemez. Çünkü akıllı şebeke sayesinde şebekeden talep edilen gücün pik anları algılanacak ve şebeke araç ile iletişim kurarak çalışma modunu değiştirebilecektir.

Bahsedilen bu çözüm önerileri günümüzde Ar-Ge çalışmaları yapılan güncel ve popüler konulardır. Bu konular üzerinde ülkemizde de 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.

Yapılan çalışmaya bağlı olarak elde edilen çıktılar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

- Yapılan literatür taramalarının sonucunda dünya genelinde EA'lar üzerine yapılan çalışmalarda ABD'nin liderliği çektiği görülmektedir. Uzakdoğu'nun ABD'yi izlediği ve ardından Avrupa'nın geldiği gözlemlenmiştir. EA'lar kısa mesafelere uygun yapıları, yoğun şehir hayatında yükselen verimleri ve olumsuz çevresel etkileri azaltma açısından Avrupa ve Uzakdoğu şehirlerinde daha büyük bir ihtiyaçtır. Ancak ABD'nin konu üzerinde büyük yatırımlar yapması akıllara EA konusunda da yine teknolojiyi satın alma durumuna düşülebileceğini göstermektedir.
- Literatür taraması sırasında eksikliği tespit edilen önemli bir ihtiyaç da ülkemizde yapılan çevre dostu araç çalışmalarını, satıcılarını, üreticilerini ve bilim insanlarını birbiri ile iletişime geçirecek resmi bir sitenin kurulması gerektiğidir. Böylelikle konu üzerine çalışanlar yapılan diğer çalışmalardan haberdar olabilirler.
- Yapılan çalışmalar ve literatür taraması incelendiğinde, EA'ların yaygınlaşması önündeki önemli engellerden birinin de standart yapıların henüz kurulamamış olmasıdır. Her firma, akademisyen, Ar-Ge laboratuvarı diğerlerinden bağımsız olarak çalışmakta ve bunun sonucunda herkes farklı yönlere yönelmektedir. Eğer şimdiden EA batarya ve şarj sistemleri ile ilgili belirli standartlar oluşturulursa çok daha hızlı bir ilerlemenin yaşanacağı kesindir.

- EA teknolojilerinin önünde engel oluşturan bir diğer büyük etken olan batarya teknolojisi ise hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bu yüzden geçiş teknolojisi olarak düşünülen içten yanmalı ve elektrikli hibrit araçların (Hybrid Vehicles) atlanarak doğrudan TEA veya ŞEEA geçilmesi öngörülmeye başlanmıştır.
- Ancak bataryaların ömür, sıcaklık, dalgalı ve yüksek genlikli akımlara karşı tepkileri henüz çözülmemiş problemler olmakla beraber yeni geliştirilen bataryaların bu etkilere nasıl cevap vereceği ise halen belirsizliğini korumaktadır. Mobil telefonlarda kullanılan yeni teknoloji bataryaların yüksek akımlara maruz kalmamasına rağmen 5 seneden fazla dayanmadığı düşünülürse bu konuya ne kadar dikkat edilmesi gerektiği daha çok ön plana çıkmaktadır.
- Yapılan çalışmada batarya problemlerine karşılık batarya akımlarını sınırlayıcı bir yapı öngörülmüştür. Yapılan simülasyonlarda batarya akımı kontrol edilebilmiştir. Gerçekleştirilen yapı modüler olup eğer batarya akımının sabit olması yerine darbeli bir akım istenirse kontrol sisteminde yapılacak değişiklik ile kolayca bu durum sağlanabilecektir. Kullanılacak batarya sisteminin özelliklerine bağlı olarak bataryanın ihtiyacı olan akımı sağlayacak şekilde bir sistem geliştirilmiştir.
- Araçların şebekeyle bağlantısında karşılaşılabilecek muhtemel problemlere, yapılan çalışma ile çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Önerilen sistem sayesinde bağlantı noktasının özelliklerine bağlı olarak şebeke üzerindeki yükler azaltılarak fazladan EA'ların bağlanabilmesi sağlanabilecektir. Bahsi geçen sistem, günümüz şebeke yapısında bile geleneksel sistemlere göre daha başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak bu sistem, şebekeden gerekli reaktif güç referans değeri ile harmonik bileşen değerlerini alabilir ise çok daha başarılı sonuçlar sunacaktır. Bu da akıllı şebekelere geçişi ve belirli bir haberleşme protokolünü gerektirmektedir. Özellikle şarj istasyonları kurulurken akıllı şebekeye uygun tasarlanması gerekmektedir. Bu yüzden EA konusunda bu tez konusunu da içerecek şekilde hızlı bir standartlaşmaya gidilmesine ihtiyaç vardır.
- Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki önerilen şebeke bağlantı sistemi son halini aldığı anda EA'lerin şebeke ile bağlantısında yaşanacak bir çok probleme çözüm getirebilecektir. Bu sistem sayesinde aşırı yüklenmelere bağlı oluşacak problemler azaltılabilecektir. Böylelikle bir bağlantı noktasından şebekeye bağlanabilecek EA sayısı arttırılabilecek veya araçların şarj süreleri azaltılabilecektir.
- EA'ların şebeke ile bağlantıları, elektrik şebekesi ve EA'lar açısından zorluklar barındırmaktadır. Özellikle ulusal şebekemiz yaz aylarında klima yüklerini taşımakta zorlanmakta ve hatta bazen yetersiz kalmaktadır. Bir tanesi 50 kW'a kadar şarj gücüne ihtiyaç duyan EA şarj yüklerinin şebekeye bağlanması durumunda, ulusal şebekemiz bu yükleri karşılamakta zorlanacaktır. Bu konuda yapılan deneysel çalışmalar ile çözüm üretilmeye çalışılmış, şarj ihtiyacını şebekeden giderirken şebeke üzerindeki gereksiz yükleri de azaltacak bir evirici sistemi önerilmiştir.
- Nüfus artışı ve gelişen teknolojiye bağlı olarak enerji talebi de giderek artmaktadır ve artan bu ihtiyacı karşılamak için çeşitli kaynaklardan faydalanılmaktadır. Günümüzde enerji talebinin büyük bir kısmının karşılanmasında fosil kökenli yakıtlar kaynak olarak kullanılmaktadır. Büyük oranda fosil kökenli yakıt tüketen sistemlerden biri de ulaşım sistemleridir. Fakat İYM'li araçlara bağlı olarak fosil yakıt tüketimindeki hızlı artış, hem fosil yakıt rezervlerinin azalmasına hem de yakıt tüketimine bağlı olarak, sera gazı etkisi gibi olumsuz çevresel etkilere neden olmaktadır. Bahsedilen bu sorunların üstesinden gelebilmek amacıyla önümüzdeki yıllarda EA'ların özellikle ŞEEA'ların otomobil pazarında önemli bir paya sahip olması beklenmektedir. Bu tezin, ŞEEA'nın bir kesintisiz güç kaynağı gibi kullanılarak araç sahiplerinin belirli kritik yüklerin enerji ihtiyacını karşılamasına ve aynı zamanda aracın mobil bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

- EA'lar sahip oldukları batarya ve güç biçimlendirme üniteleri sayesinde, bir ulaşım aracı olarak kullanılmasının dışında şebeke ve tüketim merkezlerini doğrudan destekleyecek şekillerde de kullanılabilir. Bu tez çalışmasında da bahsedildiği üzere bu kullanım şekillerinden birisi de şebekeden bağımsız olarak bir tüketim merkezinin beslenmesidir. Bu çalışma durumunda araç bir kesintisiz güç kaynağı gibi bir tüketim merkezini besleyebilmektedir. Tez çalışmasına başlamadan önce bir EA'nın sahip olduğu batarya ile genel olarak bir evsel yükün enerji ihtiyacının giderilebileceği öngörülmüştür. Bu çalışma laboratuvar ortamında normalize edilmiş değerlerle hazırlanan test platformu üzerinde yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar, bu çalışma durumunun pratik olarak da gerçekleştirilebilirliğini göstermiştir. Tabii ki bu çalışma durumunun kullanılabilmesi için tüketim merkezlerinin bu çalışma durumuna uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun içinde tüketim merkezini şebekeden ayıracak adalama sistemi yeterli olacaktır. Bu alt yapı işlemi tamamlandıktan sonra EA'ların acil veya ihtiyaç duyulduğu zamanlar da kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılmasında herhangi bir sorun kalmamış olacaktır. Böylece, kesintisiz bir elektrik enerjisi için bir alternatif daha ortaya çıkmış olacaktır. Ayrıca bu çalışma durumu sayesinde, 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. Böylelikle, bu çalışma durumu sayesinde EA'nın aynı zamanda bir yatırım aracı olarak da kullanılması söz konusu olabilecektir.
- Ayrıca afetler ve acil durumlarda her EA bir jeneratör gibi kullanılabilir ve büyük sıkıntılara çözüm üretebilecektir.
- Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda farklı yükler altında sistemin çalışması denetlenmiştir. Evirici akımı artırılarak şebeke akımı azaltılmıştır. Evirici akımının artırılması bir dezavantaj olarak düşünülse de EA'ların şarj süreçleri incelendiğinde şarj işlemi tamamlandığı halde EA şebekeye bağlı kalmaktadır. Bahsi geçen durumlarda bu sistem şebekede bulunan enerji kalitesi sorunlarına çözüm üreterek sisteme fayda sağlayacaktır. Ayrıca araçlar %80 şarjın üzerine çıktığında şarj akımını giderek azaltarak batarya şarj edilmektedir. Bu işlemde %100 şarja ulaşana kadar yaklaşık olarak 2 saat sürmektedir. Bu zaman aralığı da sistemin önerilen şekilde çalışabileceği bir aralıktır.
- Farklı yükler altında yapılan testlerde önerilen algoritma, şebeke akımında %6 ve %30 arasında azalmaya sebep olmuştur. Sistemin reaktif güç değerlerinin yüksek olduğu ve kompanze edilmediği yerlerde daha etkin olacağı sonuçlardan gözlemlenmektedir.
- EA'ların yaygınlaşması durumunda şarj yükünün şebeke üzerinde oluşturacağı fazladan yüklenme yeni yatırımların yapılmasına sebep olacaktır. Bu yatırımlar yapılırken mevcut transformatörleri yenilemek yerine daha verimli kullanılmalarına yönelik çalışmalarla yatırım maliyetleri düşürülebilir, sistem verimliliği önemli oranda artırılabilir.
- Elektrik kesintisi, gerilim dalgalanmaları, gerilim düşümü ve yükselmesi gibi elektrik enerji kalitesi sorunlarına büyük oranda çözüm getirilebilecektir.
- Akıllı şebekeler olmadan bu sistemlerin istenilen seviyede gelişmesi mümkün gözükmediğinden EA sistemleri, mutlaka akıllı şebekeler ile birlikte düşünülmelidir.
- Çıktıları verilen çalışmaya ek olarak gelecekte harmonik etkilerin azaltılması için sistemin aktif filtre olarak çalıştırılması ve şebeke kayıplarının azaltılması hedeflenmektedir. Ayrıca daha verimli şarj sistemleri için farklı bağlantı topolojileri kullanılarak tamamen sinüsoidal dalga şekilleri üretmek hedeflenmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi "Akıllı Şebekelere Yönelik Çevreci Akıllı Ev" laboratuvarında gerçekleştirilen sistemlerin testlerinin yapılması ve daha ileri Ar-Ge faaliyetleri ile sistemin daha da geliştirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Skerlos S. J., Winebrake J. J., Targeting plug-in hybrid electric vehicle policies to increase social benefits, *Energy Policy*, 38:705-708. (2010).
- [2] 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).
- [3] Bradley T. H., Frank A. A., Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13:115-128, (2009).
- [4] Silva C., Ross M., Farias T., Evaluation of energy consumption, emissions and cost of plug-in hybrid vehicles, *Energy Conversion and Management*, 50:1635-1643, (2009).
- [5] Smith W. J., Plug-in hybrid electric vehicles - A low-carbon solution for Ireland ?, *Energy Policy*, 38:1485-1499, (2010).
- [6] Göransson L., Karlsson S., Johnsson F., Integration of plug-in hybrid electric vehicles in a regional wind-thermal power system, *Energy Policy*, 38:5482-5492, (2010).
- [7] Galus M. D., Zima M., Andersson G., On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures, *Energy Policy*, In Press, Corrected Proof doi:10.1016/j.enpol.2010.06.043, (2010).
- [8] Lund H., Kempton W., Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G, *Energy Policy*, 36:3578-3587, (2008).
- [9] Hadley S. W., Tsvetkova A., Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation, OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY Technical report Operated for the U.S. Department of Energy by Battelle under Contract DE-AC05-00OR22725, (2008).
- [10] Markel T., Brooker A., Gonder J., O'Keefe M., Simpson A., Thornton M., Plug-In Hybrid Vehicle Analysis, National Renewable Energy Laboratory, Operated for the U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy by Midwest Research Institute Battelle Contract No. DE-AC36-99-GO10337, (2006).
- [11] Kintner-Meyer M., Schneider K., Pratt R., IMPACTS ASSESSMENT OF PLUG-IN HYBRID VEHICLES ON ELECTRIC UTILITIES AND REGIONAL U.S. POWER GRIDS, Pacific Northwest National Laboratory Technical report Operated for the U.S. Department of Energy by Battelle under Contract DE-AC05-76RL01830, (2007).
- [12] Sioshansi R., Fagiani R., Marano V., "Cost and emissions impacts of plug-in hybrid vehicles on the Ohio power system" *Energy Policy*, In Press, Corrected Proof doi:10.1016/j.enpol.2010.06.040, (2010).
- [13] Andersson S.L., Elofsson A.K., Galus M.D., Göransson L., Karlsson S., Johnsson F., Andersson G., Plug-in hybrid electric vehicles as regulating power providers: Case studies of Sweden and Germany, *Energy Policy*, 38:2751-2762, (2010).
- [14] Su Gui-Jia, Tang Lixin, Control of plug-in hybrid electric vehicles for mobile power generation and grid support applications , *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE 1152 - 1157, (2010).
- [15] Kisacikoglu M.C., Ozpineci B., Tolbert L.M., Examination of a PHEV bidirectional charger system for V2G reactive power compensation , *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE 458 - 465, (2010).

- [16] Zhang H., Tolbert L.M., Ozpineci B., Impact of SiC Devices on Hybrid Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Industry Applications Society Annual Meeting, 2008. IAS '08. IEEE 1 - 5, (2008).
- [17] Coleman M., Kwan Lee Chi, Zhu Chunbo, Hurley W.G., State-of-Charge Determination From EMF Voltage Estimation: Using Impedance, Terminal Voltage, and Current for Lead-Acid and Lithium-Ion Batteries, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 54: 2550 - 2557, (2007).
- [18] Lin Cheng, Zhou Hui, Sun Feng-chun, Nan Jin-rui, Study on Intelligent Control Strategy of Battery-Electric Bus Based on the Fuzzy Comprehensive Evaluation Method , Intelligent Systems, 2009. GCIS '09. WRI Global Congress, 2: 328 - 332, (2009).
- [19] Liu, R., Dow, L., Liu, E., "A Survey of PEV Impacts on Electric Utilities", IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference, 2011, Anaheim, CA, USA
- [20] "Choosing Your Chargers", <http://www.virginiaev.org>, erişim tarihi: 27/06/2011.
- [21] Foley, A.M.; Winning, I.J.; Gallachoir, B.P.O. "State of the art electric vehicle charging infrastructure", Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2010 IEEE, p.1-6, 1-3 Sept.2010.
- [22] Boulanger, A.G., Chu, A.C., Maxx S., Waltz D.L., "Vehicle Electrification: Status and Issues", Proceedings of the IEEE, Vol. 99, No. 6, 2011.
- [23] Haghbin, S., v.d., "Integrated Chargers for EV's and PHEV's: Examples and New Solutions", XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010.
- [24] Electric Power Research Institute (EPRI), "Comparing the benefits and impacts of hybrid electric vehicle options for compact sedan and sport utility vehicles" Final Report, July 2002.
- [25] U.S Department of Energy (DOE), "Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review", Vehicle Technologies Program- Advance vehicle Testing Activity, Final Report, November 2008.
- [26] http://en.wikipedia.org/wiki/Altairnano#cite_note-0 erişim tarihi: 20/04/2011.
- [27] Cogen, J., "Report of the Alternative Fuel Vehicle Infrastructure Working Group", Oregon State Reports, 2010.
- [28] Putrus, G. A., v.d., "Impact of Electric Vehicles on Power Distribution Network", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, September, 2009.
- [29] Jewell, W. , Ward, D.J., "Single Phase Harmonic Limit,," in PSERC EMI Power Quality and Safety Workshop, Wichita State University, 2002.
- [30] Farmer, C., Hines, P., Dowds, J., Blumsack S., "Modeling the Impact of Increasing PHEV Loads on the Distribution Infrastructure", 43rd Hawaii International Conference, 2010.
- [31] Elmoudi, A., Lehtonen, M., Normdan, H., "Effect of Harmonics on Transformers Loss of Life", in IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 2006.
- [32] Maitra, A., v.d., "Integrating PEV with the Distribution System", C I R E D 20th International Conference on Electricity Distribution, 2009.
- [33] http://move.rmi.org/files/smartgarage/PreRead_v2_Core-1.pdf, erişim tarihi: 06/07/2011.
- [34] http://move.rmi.org/files/smartgarage/SmartGarageCharretteReport_2.10.pdf, erişim tarihi: 06/07/2011.
- [35] Zhoubo Ding; Liping He; Zuoming Dong " Modeling and testing of low-speed electric vehicle" Electric Information and Control Engineering (ICEICE), 2011 , 2355 - 2357

- [36] Hemphill, M. " Electricity distribution system planning for an increasing penetration of plug-in electric vehicles in New South Wales" Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2012, 1 - 6
- [37] Kanata, J.; Ametani, A.; Yamamoto, K. "Threats of lightning current through an electric vehicle" Lightning Protection (ICLP), 2012, 1 - 6
- [38] Zhang Guirong; Zhang Henghai; "Research of the electric vehicle safety" World Automation Congress (WAC), 2012 , 1 - 4
- [39] Poon, J.J.; Kinsy, M.A.; Pallo, N.A.; Devadas, S.; Celanovic, I.L.; " Hardware-in-the-loop testing for electric vehicle drive applications", Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2012 Twenty-Seventh Annual IEEE 2576 - 2582
- [40] Hengsong Wang; Qi Huang; Changhua Zhang; Aihua Xia; " A novel approach for the layout of electric vehicle charging station", Apperceiving Computing and Intelligence Analysis (ICACIA); 2010, 64 - 70
- [41] Deng Benzai; Wang Zhiqiang ; "Research on Electric-Vehicle Charging Station Technologies Based on Smart Grid" Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011, 1 - 4
- [42] Aabrandt, A.; Andersen, P.B.; Pedersen, A.B.; Shi You; Poulsen, B.; O'Connell, N.; Ostergaard, J.; " Prediction and optimization methods for electric vehicle charging schedules in the EDISON project" Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2012 IEEE PES , 1-7
- [43] Lei Shi; Haiping Xu; Dongxu Li; Zengquan Yuan" A novel high power factor PWM rectifier inverter for electric vehicle charging station"; Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2011, 1 - 6

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali Rifat BOYNUEĞRİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 1986
Akademik Ünvanı : Arş. Gör.
E-posta : alirifat@yildiz.edu.tr



EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	Üniversite	Alan	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi	Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği - Elektrik Tesisleri	2010
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi	Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği - Elektrik Tesisleri	2008

MAKALE

SCI/SCI-Exp. Kapsamındaki Dergi
1. Boynuegri A.R., Vural B., Tascikaraoglu A., Uzunoglu M., Yumurtaci R., "Voltage Regulation Capability of a Prototype Static VAr Compensator for Wind Applications", Applied Energy, Issue 93, Vol. 0, pp. 422-431, (2012)
2. Erdinc O., Elma O., Uzunoglu M., Selamogullari U.S., Vural B., Ugur E., Boynuegri A.R., Dusmez S., "Experimental Performance Assesment of an Online Energy Management Strategy for Varying Renewable Power Production Suppression", International Journal of Hydrogen Energy, Issue 37, Vol. 6, pp. 4737-4748, (2012)
3. Vural B., Boynuegri A. R., Nakir I., Erdinc O., Balikci A., Uzunoglu M., Gorgun H., Dusmez S., Fuel Cell and Ultra-Capacitor Hybridization: A Prototype Test Bench Based Analysis of Different Energy Management Strategies for Vehicular Applications, Int. Journal of Hydrogen Energy, Issue 20, Vol. 35, pp. 11161-111, (2010)

KONFERANS

Ulusal Bildiri
1. Şen, G. , Boynueğri A.R. , Uzunoğlu M., Şarj Edilebilir Elektrikli Araçların Kesintisiz Güç Kaynağı Olarak Kullanılmasına Yönelik Bir Benzetim Çalışması, ELEKTRİK - ELEKTRONİK ve BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU ELECO'2012, Issue 0, Vol. 0, pp. 0, (2012)
2. Arabul, A.Y. , Sarul, M.H. , Boynueğri A.R. , Kumru C.F., Eysel Bir Yük Talebinin Karşılmasında Yakıt Pili Kullanılmasına Yönelik Bir Benzetim Çalışması, ELEKTRİK - ELEKTRONİK ve BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU ELECO'2012, Issue 0, Vol. 0, pp. 0, (2012)
3. Şen G., Boynuegri A.R, Uzunoglu M., Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri Ve Araçların Şebekeyle Bağlantısında Karşılaşılan Problemlere Yönelik Çözüm Önerileri, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu FEED 2011Fırat Üniversitesi-Elazığ, Issue 0, Vol. 0, pp. 0, (2011)
4. Erdinç O., Uzunoğlu M., Boynueğri A. R., İstanbul un Finans Merkezi Oluşum Sürecinde Enerji Verimliliği ve Altyapı Analizi, 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK 2011) Kocaeli-TÜRKİYE, Issue 0, Vol. 0, pp. 0, (2011)
5. Kocatürk S., Şen G., Boynueğri A.R., Uzunoğlu M., Yumurtacı R., , Tristör Anahtarlamalı Bir Kompanzasyon Sisteminin Tasarlanması ve Uygulaması, Elektrik Elektronik Ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ELECO 2010, Bursa, Türkiye,, Issue 0, Vol. 0, pp. 0, (2010)
6. BOYNUĞRİ A.R., VURAL B., UZUNOĞLU M., RÜZGAR SANTRALLERİNİN ŞEBEKEYE BAĞLANMASI İLE OLUŞAN GERİLİM DALGALANMALARINA SVC İLE ÇÖZÜM GETİRİLMESİ, Nükleer Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Nüeyek 2009 Ankara, Issue 0, Vol. 0, pp. 0, (2009)

Uluslararası Bildiri
1. Tascikaraoglu A.,Uzunoglu M., Tanrioven M., Boynuegri A.R., Elma O., Smart Grid-Ready Concept of a Smart Home Prototype: A Demonstration Project in YTU, Power Engineering, Energy and Electrical Drives Conferance, Powereng, (2013)
2. Boynuegri A.R., Yagcitekcin B., Baysal M., Karakas A., Uzunoglu M., Energy Management Algorithm for Smart Home with Renewable Energy Sources, Power Engineering, Energy and Electrical Drives Conferance Powereng, (2013)

PROJELER

Proje Adı	Görevi	Destekleyen Kurum	Bütçe	Başlangıç - Bitiş
Güç Elektroniği Arayüzlü Alçak Gerilim Dağıtık Üretim Şebekelerinin Korunması	Bursiyer	TÜBİTAK (ERANET)	240.400 TL	2013-02-01 - 2015-02-01
Elektrikli Kara Taşıtları için Şarj Altyapısının Elektrik Şebekesini Bozmayacak Şekilde Konumlandırılması	Araştırmacı	BAP	20.700 TL	2012-12-01 - 2014-12-01
Enerji Verimliliğini Arttırmak ve Karbon Emisyonunu Azaltmak Amacıyla Akıllı Şebeke Altyapısına Uygun Bir Akıllı Evin Geliştirilmesi	Araştırmacı	İstanbul Kalkınma Ajansı (İSTKA),	888.708,15 TL	2012-01-01 - 2013-01-01
Elektrikli Araçlar için Şarj İstasyonu ve Ekosistemi	Danışmanlık	KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon Programı	300.000 TL	2011-07-01 - 2012-09-01
Elektrikli Taşıtların Güç Yönetimi ve Şebeke Bağlantısı	Araştırmacı	İstanbul Sanayi Odası	24.000 TL	2010-09-01 - 2012-09-01
Bir Evin Elektrik İhtiyacının Karşılmasında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması Durumunda Hem Yük Hem De Kaynak Değişkenliği Dikkate Alınarak Sistem Tasarımı ve Uygulaması	Araştırmacı	BAP	20.000 TL	2010-05-01 - 2011-11-01
Elektrikli Taşıtlar için Yakıt Hücresi/Ultra-Kapasitör/Batarya Hibridizasyonunun Tasarımı ve Uygulaması	Araştırmacı	BAP	40.000 TL	2009-05-01 - 2011-05-01
Yakıt Hücreli ve Ultra-Kapasitörlü Hibrit Taşıtlar için Enerji Yönetim Sisteminin Tasarım ve Uygulaması Proje No:107M355	Bursiyer	TÜBİTAK	256.000 TL	2007-11-01 - 2010-11-01
Rüzgar Santrallerinin Şebeke Entegrasyonunda Karşılaşacak Güç Kalitesi Problemlerin Belirlenmesi Ve Bu Problemlerin Çözümü İçin Statik Var Kompanzator Sistemini Kullanarak Bir Prototip Uygulamanın Gerçekleştirilmesi	Araştırmacı	İstanbul Büyükşehir Belediyesi, PROJEM İSTANBUL	10.000 TL	2008-03-01 - 2009-03-01



**İSTANBUL
SANAYİ ODASI**

Meşrutiyet Caddesi No:62 Tepebaşı 34430 - İstanbul Tel: (0212) 252 29 00 Faks: (0212) 249 50 07 e-posta: kobi@iso.org.tr
(Elektronik) ISBN: 978-605-137-290-7 ISBN: 978-605-137-289-1