

AG DA Dağıtım Şebekeleri ve Türkiye Elektrik Dağıtım Şebekesinin DA Dönüşümü

LVDC Distribution Grids and DC Roadmap of Turkish Electricity Distribution System

Oğuzhan ÖZÇELİK¹, Gökhan ÖNAL¹, Negar DASHTI¹, Mustafa Emre ŞAFK², Harun KÖROĞLU², Alper ÇETİN³, Tuba AVŞAR³, Mutlu BEKTAŞ³, Caner ÖZEN³, Kerim KAYA³, Arsalan BAYATMAKOO³, Burak ELİBOL⁴, Can GÜRKAN¹, Mustafa BAĞRIYANIK⁵

¹Lean Power Solutions, Ar-Ge Departmanı
oguzhan@leanpowersolutions.com, goekhan@leanpowersolutions.com, negar@leanpowersolutions.com, can@leanpowersolutions.com

²Meram Elektrik Dağıtım A.Ş., Ar-Ge Birimi
MustafaEmre.Safak@meramedas.com.tr, Harun.Koroglu@meramedas.com.tr

³Yeşilirmak Elektrik Dağıtım A.Ş., Teknik Kalite ve Enerji Depolama Sistemleri
Alper.Cetin@yedas.com, Tuba.Avsar@yedas.com, Mutlu.Bektas@yedas.com, Caner.Ozen@yedas.com, Arsalan.Bayatmakoo@yedas.com

⁴Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş., Teknoloji Geliştirme
burak.elibol@eedas.com.tr

⁵İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
bagriy@itu.edu.tr

Özet

AG DA dağıtım şebekeleri son yıllarda çeşitli sektör paydaşları tarafından mevcut AA sistemlere daha verimli bir alternatif olarak tanınmaya başlanmıştır. Artan bu ilgiyle beraber dünyada AG DA şebekelerle ilgili çeşitli kurumlar tarafından standardizasyon çalışmaları başlatılmıştır. Bununla birlikte dağıtım şebekeleri konusunda gelişmekte olan yeni teknolojileri ve trendleri takip edebilmek adına Türkiye elektrik dağıtım şebekesinin özellikleri ve ihtiyaçlarına uygun DA gerilim seviyeleri, topolojiler, koruma ve kontrol konularında araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye elektrik dağıtım şebekesinin DA dönüşümü için nasıl bir yol haritası izlenmesi gerektiği kapsamında yapılan çalışmalara ve örnek AG AA sistemi temel alınarak modellenen farklı AG DA topolojilerine ilişkin geçici hal analizleri sonuçlarına yer verilmiştir.

Anahtar kelimeler: AG DA, Dağıtım Operatörleri, DA Dağıtım Şebekeleri, Güç Elektroniği.

Abstract

LVDC distribution grids have become increasingly recognized in recent years as an efficient alternative to traditional AC distribution grid. With this increasing interest, standardization efforts have been initiated by various institutions. However, in order to keep up with

the new technologies and trends in distribution networks, the need has arisen to conduct studies on DC voltage levels, topologies, protection, and control that are suitable to the characteristics and needs of the Turkish electricity distribution network. This project is aimed at preparing a roadmap for the DC transformation of the Turkish electricity distribution network. A discussion of the investigation conducted within the framework of this roadmap is presented in this study.

Keywords: Distribution System Operators, LVDC, LVDC Distribution Grids, Power Electronics.

1. Giriş

Bir elektrik sisteminde kayıplar, akımın karesiyle orantılı olarak arttığından sistem gerilimini arttırmak aynı güç seviyesi için akım değerini düşüreceğinden kayıplar da düşecektir. Elektrik enerjisinin gelişiminin ilk yıllarından itibaren gerilim seviyesinin yükseltilebilmesini sağlayan transformatörler AA (Alternatif Akım) sistemlerde elektrik enerjisinin DA (Doğru Akım) sistemlere göre daha uzun mesafelere iletilebilmesini ve dağıtılabilesini mümkün kılmıştır [1].

Ancak yarı-iletken malzemelerin ve güç elektroniği dönüştürücülerinin gelişimi ile birlikte DA sistemlerde de gerilim seviyesinin değiştirilebilmesi mümkün olmuştur. Deniz üstü rüzgâr enerjisi santralleri ile kıyıdaki ana şebekenin bağlantısı, birbirine uzak

konumda bulunan üretim ve tüketim merkezlerinin bağlantısı ve iki asenkron şebekenin birbirine bağlantısı için kullanılan yüksek gerilim (YG) DA şebekelerinin gelişiminin yanında son yıllarda AG DA dağıtım şebekeleri de son yıllarda çeşitli sektör paydaşları tarafından mevcut AA sistemlere daha verimli bir alternatif olarak dikkate alınmaya başlanmıştır. Bu nedenle dağıtım şebekeleri konusunda gelişmekte olan yeni teknolojileri ve trendleri takip edebilmek adına Türkiye elektrik dağıtım şebekesinin özellikleri ve ihtiyaçlarına uygun DA gerilim seviyeleri, topolojiler, koruma ve kontrol konularında araştırmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada AG DA dağıtım şebekeleri için kullanılabilir şebeke topolojileri, güç elektroniği dönüştürücüleri gibi çeşitli konular incelenmiştir. AG DA dağıtım şebekesinin tesis edilmesi planlanan bölgenin ihtiyacına göre tercih edilebilecek gerilim seviyeleri, şebeke topolojileri, kontrol metodları ve modlarına değinilmiştir. Ayrıca Temmuz 2021 başvuru döneminde Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından kabul edilen “Türkiye Elektrik Dağıtım Şebekesinin DC Dönüşümü İçin Yol Haritasının Çıkarılması” Ar-Ge projesi kapsamında yapılan çalışmalara yer verilerek, örnek AG AA sistemi temel alınarak modellenen farklı AG DA topolojilerine ilişkin geçici hal analizleri sonuçları sunulmuştur.

2. AG DA Şebeke Topolojileri

AG DA dağıtım şebeke topolojileri 2 ana başlık altında incelenebilir. Bunlardan ilki AG DA şebeke ile bağlı olduğu diğer şebekeler ile bağlantı tipi olup, diğeri ise DA şebekedeki kutup sayısıdır.

2.1. AG DA Şebeke Konfigürasyonları

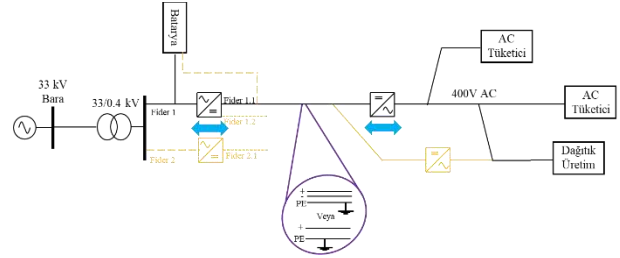
AG DA dağıtım şebekeleri için tercih edilebilecek birçok farklı topoloji bulunmaktadır. Bunlar arasındaki temel fark ise DA/AA dönüşümünün yapıldığı yer yani tüketicilerin şebekeye bağlantı şeklidir. Bu kısımda verilen şekillerden (Şekil 1-3) görülebileceği üzere AA/DA dönüşümü dağıtım trafosunun çıkışına konumlandırılan bir doğrultucu yardımıyla yapılmaktadır. AA kullanıcılara sağlanacak besleme gerilimi için DA/AA dönüşümü ise topolojiler arasında değişiklik göstermektedir.

Burada yer verilen topolojiler fikir vermesi amacıyla literatürden derlenmiş olup uygulama yapılacak bölgenin ihtiyacına göre tamamen esnetilebilir yapıdadır. Başka bir deyişle, tesis edilmesi planlanan bölgeye has ihtiyaçlara ve özelliklere uygun yeni AG DA şebekesi topolojileri türetilebilir.

Bu çalışmada yapılan isimlendirmeler, farklı topolojiler arasında ayırt edici olması amacıyla yapılmıştır. Herhangi bir standarttan alınmış veya sektörde kabul görmüş isimlendirmeler değildir.

2.1.1. Noktadan-Noktaya AG DA Dağıtım

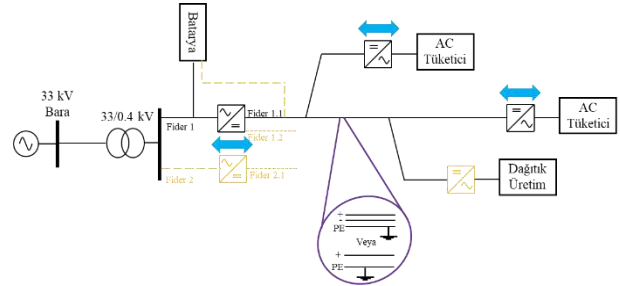
Şekil 1’den görülebileceği üzere DA/AA dönüşümü tek noktada yapılmaktadır. AA kullanıcılar ise tek bir dönüştürücü üzerinden şebekeye bağlanmaktadır. Bu topolojiye bir diğer alternatif ise hem AA/DA hem de DA/AA dönüşümünün tek bir noktada yapılmasıdır. Bu topoloji, en basit ve ekonomik şekilde yük akışı üzerinde kontrol yeteneğinin elde edilmesi amacıyla tercih edilebilir. Gerilim düşümü, gerilim dalgalanması ve frekans gibi çeşitli güç kalitesi sorunlarının yaşandığı bölgelerde bu sorunların çözümü ve hat taşıma kapasitesinin artırılması amacıyla tercih edilebilir.



Şekil 1. Noktadan-Noktaya AG DA Dağıtım

2.1.2. Genişletilmiş AG DA Dağıtım

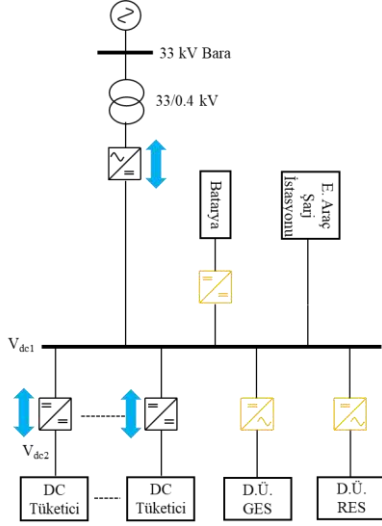
Her kullanıcının kendine ait DA/AA dönüştürücüsünün bulunduğu AG DA şebeke topolojisi Şekil 2’de verilmiştir. Daha fazla ekipman yatırımı gerektirdiğinden ilk yatırım maliyetleri daha yüksek olmasına rağmen daha yüksek güç kalitesi ve enerji sürekliliği sağlanabileceğinden operatörler tarafından tercih edilebilecek topolojiler arasında yer almaktadır.



Şekil 2. Genişletilmiş AG DA Dağıtım Konfigürasyonu

2.1.3. Tamamen-DA AG DA Dağıtım

Bu topoloji, DA yüklerin ve GES gibi dağıtık üretimin yaygın bulunduğu bölgelerde, güç kalitesini arttırmak ve şebeke üzerinde yük akışı kontrol yeteneği sağlanmak için tercih edilebilir. Ayrıca bu topoloji, günümüzde henüz pek yaygınlaşmamış olsa da bina içi DA dağıtım olduğu akıllı evlerin gelecekte yaygınlaşacağı göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur.

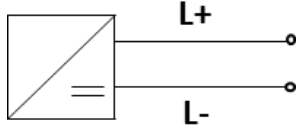


Şekil 3. Tamamen DA AG DA Dağıtım Konfigürasyonu

2.2. Kutup Sayısına Göre Şebeke Topolojisi

2.2.1. Tek Kutuplu Sistem

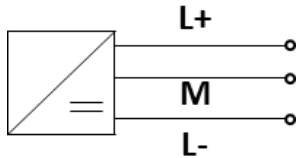
Bir pozitif kutuplu iletken ve bir de dönüş iletkeninden oluşan bağlantı türüdür. Kullanıcıların şebekeye tek bağlantı şansı bu 2 iletken ile olduğundan tek gerilim seviyesine sahiptir. Tek kutuplu sistem yapısı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Tek Kutuplu Sistem

2.2.2. Çift Kutuplu Sistem

Bir pozitif, bir negatif ve bir orta nokta iletkeninden oluşan bağlantı türüdür. Kullanıcılar şebekeye +V_{dc}, -V_{dc} ve 2V_{dc} olmak üzere 2 farklı gerilim seviyesi ile bağlanabilir. Ayrıca pozitif - orta nokta, negatif - orta nokta ve pozitif - negatif iletkenler arasında olmak üzere 3 farklı bağlantı türü bulunmaktadır. Dikkat edilmesi gereken husus ise bu sistemlerde koruma ve kontrol fonksiyonlarının tek kutuplu sisteme göre daha karmaşık olmasıdır.



Şekil 5. Çift Kutuplu Sistem

3. Türkiye Elektrik Dağıtım Şebekesinin DA Dönüşümü İçin Yol Haritasının Çıkarılması Ar-Ge Projesi Kapsamında Yapılan Çalışmalar

Bu kısımda Temmuz 2021 başvuru döneminde Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından kabul edilen "TÜRKİYE ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİNİN DC DÖNÜŞÜMÜ İÇİN YOL

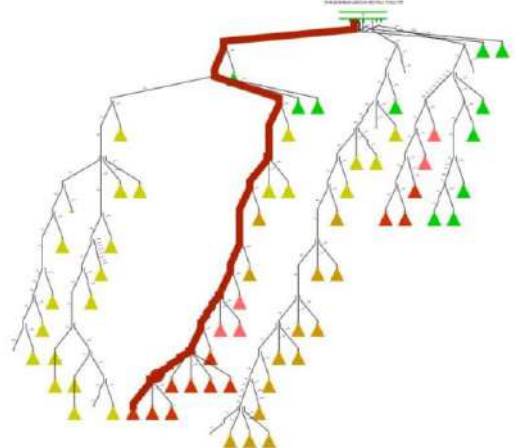
HARİTASININ ÇIKARILMASI" AR-GE projesi kapsamında yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Proje kapsamında, dünyada yapılan AG DA referans çalışmaları, standartlar ve literatür incelenerek Türkiye elektrik dağıtım şebekesinin özellikleri ve ihtiyaçlarına uygun bir DA dönüşüm yol haritasının ortaya konması hedeflenmektedir. Bu kapsamda proje paydaşı elektrik dağıtım şirketlerinden alınan gerçek saha bilgileri kullanılarak hâlihazırda işletimde olan bir bölgenin şebeke modeli elektromanyetik geçici hâl analizlerinde kullanılan PSCAD simülasyon programı üzerinde oluşturulmuştur. Proje süresince elde edilen bilgi birikimiyle birlikte bu bölgenin özelliklerine ve ihtiyaçlarına uygun DA dönüşümü planlanmış ve PSCAD üzerinde modeli oluşturularak AA ve DA şebeke modelleri karşılaştırılmıştır.

3.1. Modelleme Çalışmaları

Proje kapsamında mevcut durumda işletimde olan proje paydaşı dağıtım şirketi bölgesinin özellikleri ve bilgileri kullanılarak PSCAD üzerinde örnek sistem modellemesi yapılmıştır. Bölgede yaşanan sorunlar model üzerinde gösterilerek incelenmiştir. Daha sonra bu bölgenin DA dönüşümü planlanarak DA şebeke modeli oluşturulmuştur. Yaşanan sorunların AG DA şebekelerle birlikte nasıl çözülebileceği değerlendirilmiştir. DA şebekelerde kullanılan güç elektroniği dönüştürücülerinin kazandırmış olduğu kontrol yeteneğinin şebekeyi destekleyici reaktif güç kontrolü, arıza sırasında şebekeye bağlı kalabilme yeteneği ve enerji depolama sistemlerinin şebekeye direkt bağlantısı gibi senaryolarda AG DA şebekelerin sağlayacağı faydalar incelenmiştir.

3.1.1. AA Şebeke Modeli

PSCAD üzerinde modeli oluşturulan bölgenin genel görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir. Bölge 400 kVA görünür güce sahip dağıtım trafosu üzerinden beslenmekte olup kırmızı ile gösterilen havai hattın toplam uzunluğu 992 metredir. Hattın büyük bir kısmı Pansy iletkeninden oluşmaktadır. Bölgede, hat sonunda %20'yi aşan gerilim düşümü sorunu yaşanmaktadır. Daha sonra oluşturulan AG DA şebeke ile birlikte güç elektroniği dönüştürücülerinin yük akışı kontrol yeteneği sayesinde bu sorunların çözülebileceği gösterilecektir.



Şekil 6. Modellene Bölge Yapısı

Bölgeye güç sağlayan dağıtım trafosunun özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir. Trafonun nominal gerilimi 33/0,4 kV olup 400 kVA gücündedir.

Tablo 1. Güç Trafosu Özellikleri

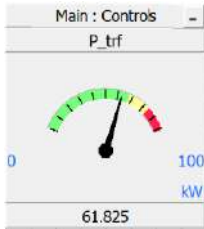
Nominal Gerilim	33/0.4 kV
Nominal Güç	400 kVA
Bağlantı Grubu	DYn11
Frekans	50 Hz
Kaçak Reaktans	%4.6

Hatta kullanılan iletkenin karakteristik bilgileri ise Tablo 2’de özetlenmiştir. Bu bilgiler kullanılarak sahada bulunan havai hat PSCAD üzerinde modellenmiştir.

Tablo 2. İletken Karakteristiği

Pozitif Bileşen Empedansı		
Direnç (Ω)	Endüktif Reaktans (Ω)	Kapasitif Reaktans (Ω)
0.674779	0.0002116	1.71651*10 ⁻⁸

Paylaşılan verilere göre dağıtım trafosunun son üç aylık maksimum güç değeri 152 kVA’dır. Güç faktörü 0,95 olarak kabul edildiğinden aktif güç değeri ise 145 kW’tır. Şekil 6’da görüldüğü üzere bölgede toplam 55 çıkış bulunmaktadır. Modellenen hatta ise 19 çıkış bulunmaktadır. Ortalama bir yük değerinin elde edilebilmesi adına trafonun maksimum güç değerinin çıkış sayısı başına ortalama güç değeri hesaplanarak toplam çıkış sayısı ile çarpıldığında elde edilen değer hattaki toplam güç değeri olarak kabul edilmiştir. Ancak gerilim düşümü ve güç faktörü değerlerinin sağlanabilmesi adına bu hatta trafodan toplam yaklaşık 62 kW güç çekildiği kabul edilmiştir. Trafodan çekilen toplam aktif güç değeri Şekil 7’de görülebilir. Güç faktörü değeri ise Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. Trafodan Çekilen Güç

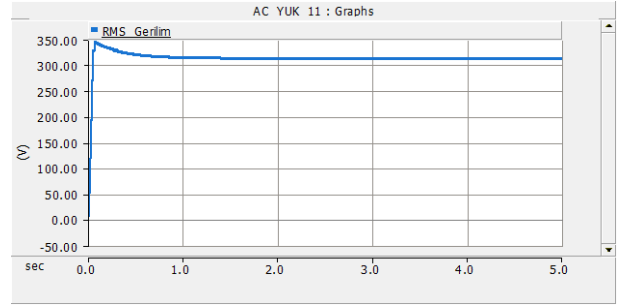


Şekil 8. Trafo Çıkışındaki Güç Faktörü

Oluşturulan modelde hat sonunda görülen gerilim düşümü değeri Şekil 9’da verilmiştir. Hat sonunda görülen faz-faz rms gerilimin grafiği Şekil 10’da verilmiştir. Hat sonundaki gerilim 314 V’dır. Ülkemizde gerilim düşümü sınır değerinin %5 olduğu düşünüldüğünde %20 gerilim düşümü değeri, sınırların çok üzerindedir. AG DA şebekeler ile birlikte bu ve daha fazla sorunun giderebileceği önerilmektedir.

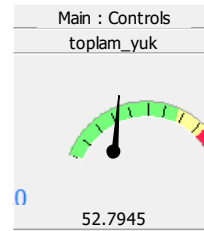


Şekil 9. Hat Sonunda Görülen Gerilim Düşümü Değeri



Şekil 10. Hat Sonu Faz-Faz RMS Gerilimi

Hat empedansı kaynaklı oluşan güç kayıplarını incelemek adına trafo çıkışında görülen aktif güç değeri baz olarak alınıp yüklerin çektiği toplam güç ile arasındaki fark kayıp olarak kabul edilmiştir. Yüklerin toplam çektiği güç değeri Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Yüklerin Toplam Aktif Güç Değeri

Hat empedansı kaynaklı toplam aktif güç kayıp yüzdesi ise Eşitlik 1 kullanılarak %15,38 olarak hesaplanmıştır.

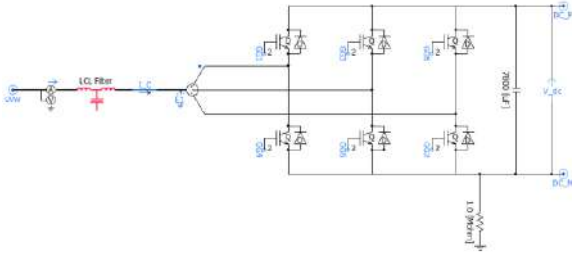
$$\frac{P_{trafo} - P_{yük}}{P_{trafo}} \times 100 \quad (1)$$

3.1.2. AG DA Şebeke Modeli

Dağıtım trafosunun çıkışına konumlandırılan doğrultucunun PSCAD devre şeması Şekil 12’de verilmiştir. Doğrultucunun DA çıkış gerilimi 1.5 kV olarak belirlenmiştir. Şebeke topolojisi “Genişletilmiş AG DA Dağıtım” olarak belirlenmiş olup tek kutuplu bir sistemdir. Yani her kullanıcı, kendine ait evirici üzerinden beslenmektedir. Ancak yapılacak simülasyonların işlem yükü de düşünüldüğünde tek bir kullanıcının hat sonunda bulunduğu varsayılarak modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilecek sonuçlar en kötü durum senaryosu olacağından diğer kullanıcılar için de geçerli olacaktır. Ayrıca çift kutuplu sistemdeki kontrol karmaşıklığına sahip olmayan tek kutuplu sistem tercih edilerek en sade hâliyle bile AG

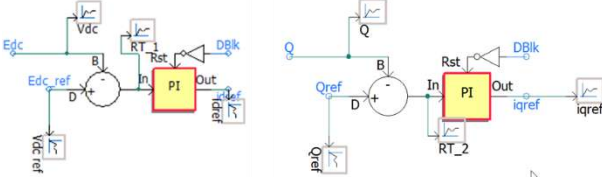
DA şebekelerin sağlayabileceği faydalar ortaya konmaya çalışılmıştır.

Doğrultucu IGBT'lerden oluşmaktadır. Gerilim kaynağı dönüştürücü (VSC) olarak da isimlendirilen bu dönüştürücü topolojisinin çift yönlü güç akış yeteneği bulunmaktadır. Tercih edilen kontrol metodu Durum Vektörü Kontrolü [2] olup 4 kHz anahtarlama frekansına sahiptir. Doğrultucunun şebeke tarafındaki harmonik etkileri azaltmak adına LCL filtre kullanılmıştır. DA çıkış tarafında ise gerilim dalgalanmaları minimize etmek ve gerilimin olabildiğince sabit tutulabilmesi amacıyla 7.8 mF'lik kapasitör tercih edilmiştir.



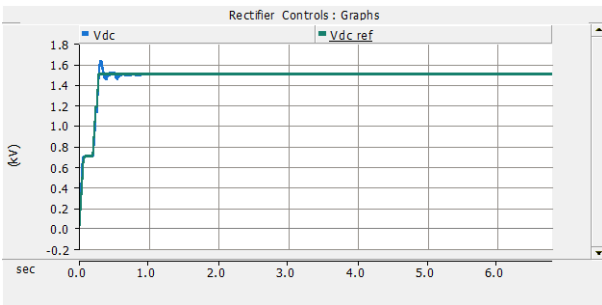
Şekil 12. PSCAD'te Oluşturulan Doğrultucu Devresi

Dönüştürücünün DA çıkış gerilimi ve reaktif güç yeteneği bulunmaktadır. Bu yeteneklere ait kontrol döngüleri Şekil 13'te verilmiştir. Şebeke tarafı gerilim ve akımları Clark-Park dönüşümleriyle birlikte D-Q eksenlerine dönüştürülmüştür. Dönüşüm sırasında ihtiyaç duyulan açı referansı ise şebekeden PLL yardımı ile elde edilmektedir. Dolayısıyla doğrultucu, şebeke bağlı (grid-tie) dönüştürücüdür.



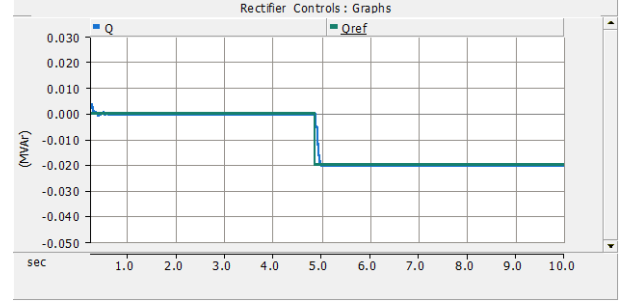
Şekil 13. Kontrol Döngüleri

Doğrultucu çıkışında görülen DA şebeke gerilim değişimi Şekil 14'de verilmiştir. Dönüştürücü, simülasyon başladıktan 0,2 saniye sonra devreye girmektedir. PI kontrolü sayesinde DA gerilim, hem kararlı hem de geçici hâllerde istenen seviyeye ayarlanabilmektedir.



Şekil 14. DA Şebeke Gerilim Grafiği (Kararlı-Hâl)

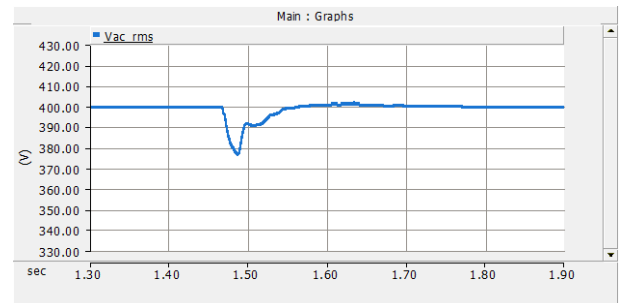
Doğrultucunun şebeke tarafındaki reaktif güç değişimi ise Şekil 15'den görülebilir. Başlangıçta 0 olarak ayarlanan reaktif güç referansı 5.saniyede 20 MVAR kapasitif olarak ayarlanmıştır. Doğrultucunun bu yeteneği, şebekeyi destekleyici yönde reaktif güç kontrolü elde etmek için kullanılabilir. Bu sayede ana AA şebekede yaşanan anormal bir durum (arıza, aşırı-gerilim vb.) sırasında DA şebeke tarafından ana şebekeye çift yönlü reaktif güç desteği sağlanabilir.



Şekil 15. Şebeke Tarafındaki Reaktif Güç Grafiği

Kullanıcılara besleme gerilimini sağlayan DA/AA dönüştürücü, doğrultucuya benzer kontrol metoduyla modellenmiştir. Ancak bir şebekeye bağlı olmadığından referans fazı açısı farklı yöntemle elde edilmektedir. Eviricide çıkış AA gerilimi ve aktif güç kontrol yetenekleri bulunmaktadır.

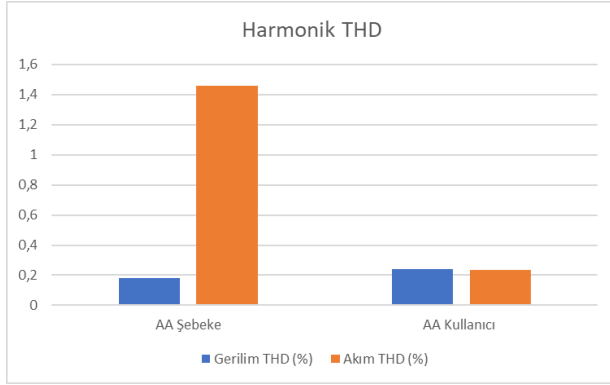
Eviricinin AA gerilim kontrol yeteneği sayesinde yük değişimlerinde besleme gerilimi ülkemizde kabul gören TS EN 50160 standardındaki gerilim dalgalanmaları sınırları içerisinde tutulabilmektedir. Besleme gerilimi kararlı hâlde 400±1 V sınırları içerisinde tutulabilirken ani yük değişimlerinde (%50 maksimum) 400±%5 sınırları içerisinde tutulabilmektedir. Eviricinin beslemekte olduğu yükün aktif güç değerinin 10 kW'den 15 kW'ye çıkarılmasıyla besleme geriliminde görülen değişim Şekil 16'da verilmiştir. Kullanıcılara besleme gerilimini sağlayacak olan eviricilerin tasarımı gerçekleştirilirken yük değişimlerine bağlı olarak yaşanabilecek gerilim dalgalanmalarına da dikkat edilmelidir.



Şekil 16. Ani Yük Değişimi Sırasında Kullanıcı Besleme Gerilimi Grafiği

Güç elektroniği dönüştürücülerinin şebeke gerilim ve akımlarında yaratmış olduğu harmonik etkiler de incelenmiştir. Şebeke tarafı ve kullanıcı besleme gerilim ve akımlarında toplam harmonik distorsiyon değerleri

(THD) sırasıyla Şekil 17’de verilmiştir. Doğrultucunun şebeke gerilimi üzerindeki toplam harmonik bozucu etkisi %0,18 olup akım toplam harmonik distorsiyonu ise %1,45 seviyesindedir. Bu değerler TS EN 50160 ve IEEE-519 standartlarında belirtilen gerilim ve akım THD sınır değerlerinin oldukça altında olup bu değerlerin şebeke gücüyle ve dönüştürücünün tasarımıyla değişeceği göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 17. Gerilim ve Akım THD Değerleri

4. Sonuç

AG DA dağıtım şebekeleri son yıllarda çeşitli sektör paydaşları tarafından mevcut AC sistemlere daha verimli bir alternatif olarak tanınmaya başlanmıştır. AG DA, mW güç seviyelerinden MW seviyelerine kadar geniş bir aralığı kapsamaktadır. AG DA sadece gelişmekte olan ülkelerde elektriğe ulaşım için bir çözüm değil gelişmiş ülkelerde sürdürülebilir ve daha yeşil bir çözüm olarak da görülmektedir [5].

Bu çalışmada Temmuz 2021 başvuru döneminde EPDK tarafından kabul edilen “Türkiye Elektrik Dağıtım Şebekesinin DA Dönüşümü İçin Yol Haritasının Çıkarılması” Ar-Ge projesi kapsamında yapılan AG DA dağıtım şebekeleri çalışmalarına ve elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Proje aktif olarak devam etmekte olup çeşitli konu başlıkları altında dünyada yapılan referans çalışmalar incelenerek proje sonucunda Türkiye elektrik dağıtım şebekesinin ihtiyaçları ve özelliklerine uygun bir DA dönüşüm yol haritasının ortaya konması hedeflenmektedir.

Teknik ve ekonomik anlamda DA şebekelerin uygulanabilirliği konusunda en önemli etken gerilim seviyesi olduğundan ortaya konacak olan yol haritası ile birlikte düzenleyici kurumlar ve dağıtım operatörleri için uygulama alanına bağlı olarak topoloji ve DA gerilim seviyesi seçimi alternatifleri araştırılmıştır. Çalışmanın hem düzenleyici kurumlar tarafından hazırlanacak mevzuat ve yönetmeliklere hem de dağıtım operatörleri tarafından yapılacak şebeke planlama çalışmaları için yol gösterici olması hedeflenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri ve elektrikli araç şarj istasyonları gibi DA üretim ve tüketim yapan cihazların şebekeye bağlantısı, AA-DA şebeke entegrasyonu ve bağlantı noktasındaki kısa devre gücüne

bağlı olarak şebeke etkileşimleri PSCAD yazılımı kullanılarak zaman domeni analizleri ile araştırılmakta, koruma ve topraklama sistemi seçimi, DA güç kalitesi fenomeni ve iletişim ve haberleşme gibi çeşitli konularda dikkat edilmesi gereken hususlar incelenmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Temmuz 2021 başvuru döneminde EPDK tarafından kabul edilen “Türkiye Elektrik Dağıtım Şebekesinin DC Dönüşümü İçin Yol Haritasının Çıkarılması” Ar-Ge projesi kapsamında desteklenmektedir. Bu proje, Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği (ELDER) koordinatörlüğünde Meram EDAŞ, Yeşilirmak EDAŞ ve Başkent EDAŞ’ın katılımıyla sürdürülmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] C. L. Sulzberger, "Triumph of AC - from Pearl Street to Niagara," in IEEE Power and Energy Magazine, vol. 1, no. 3, pp. 64-67, May-June 2003, doi: 10.1109/MPAE.2003.1197918.
- [2] R. Peña et al. ‘Doubly Fed Induction Generator Using Back-to-Back PWM Converters and its Application to Variable-Speed Wind-Energy Generation’, IEE Proc. Electrical Power Applications, Vol. 143, No. 3, May 1996, pp. 231-241.
- [3] TSE, “TS EN 50160 Standardı”, Ankara, 2011.
- [4] IEEE Std 519™-2014, “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems”, IEEE, 2014.
- [5] PD IEC TR 63282:2020, “LVDC systems. Assessment of standard voltages and power quality requirements.”, IEC, 2020.
- [6] P. Nuutinen et al., “Power Electronic Converters in Low Voltage Direct Current Distribution – Analysis and Implementation”, Lappeenranta University of Technology, Doctoral Thesis, 2015.
- [7] “LVDC: electricity for the 21st century.”, 2017, IEC.
- [8] P. Nuutinen et al., "Research Site for Low-Voltage Direct Current Distribution in a Utility Network—Structure, Functions, and Operation," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 5, pp. 2574–2582, Sept. 2014.
- [9] Afamefuna, David & Chung, Il-Yop & Hur, Don & Kim, Ju-Yong & Cho, Jintae. (2014). A Techno-Economic Feasibility Analysis on LVDC Distribution System for Rural Electrification in South Korea. Journal of Electrical Engineering and Technology. 9. 1501-1510.