



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 08.07.2022
Kabul Tarihi : 02.08.2022

Received Date : 08.07.2022
Accepted Date : 02.08.2022

OG-AG ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE DİNAMİK KONTROLLÜ KOMPANZASYON UYGULAMASI

DYNAMICALLY CONTROLLED COMPENSATION APPLICATION IN MV-LV ELECTRIC GRIDS

Ramazan SOLMAZ¹ (ORCID: 0000-0001-8933-2922)

Muhammet SARI² (ORCID: 0000-0001-8624-2040)

Fatih BALTACI³ (ORCID: 0000-0002-4370-1558)

Mustafa TEKİN^{4*} (ORCID: 0000-0002-8682-411X)

¹Bartın Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

^{2,3}Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye

⁴Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mustafa TEKİN, mustafatekin@ksu.edu.tr

ÖZET

Elektrik enerjisinin üretim-tüketim dengesinin korunması, değişik yük taleplerinin karşılanması veya sistemde meydana gelebilecek arızaların elimine edilmesi oldukça önemlidir. Çok fonksiyonlu elektrikli cihazların dengesiz güç tüketimleri ve sürekli artan enerji ihtiyacı, elektrik güç sistemlerinin verimini ve enerji kalitesini olumsuz etkilemektedir. Giderek karmaşık hale gelen elektrik şebekelerindeki başlıca problemler; aktif-reaktif güç dengesizlikleri, harmonikler, gerilim dengesizlikleri, geçici ve kalıcı arızalar olarak sıralanabilir. Bu çalışmada kurulu gücü 20 MW olan bir radyal elektrik şebekesi analiz edilerek şebekede meydana gelen güç ve gerilim dengesizlikleri tespit edilmiştir. Şebekedeki reaktif güç problemini elimine etmek için dinamik kontrollü kompanzasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. AG kısmı indüktif ve OG kısmı kapasitif karakteristiğe sahip olan şebekenin reaktif güçleri karşılıklı elimine edilmek suretiyle doğal kompanzasyon sağlanmıştır. Doğal kompanzasyonun yetersiz olduğu durumlarda SVK şebekeye entegre edilmiştir. Dinamik kontrollü merkezi kompanzasyon uygulaması ile şebekedeki güç oranları izin verilen yasal sınırlar içinde tutularak gerilim daha kararlı hale getirilmiş ve güç faktöründe de iyileştirme sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dinamik reaktif güç kompanzasyonu, enerji verimliliği, gerilim kalitesi, güç faktörü, SVK.

ABSTRACT

It is very important to protect the production-consumption balance of electrical energy, to meet different load demands, or to eliminate the malfunctions that may occur in the system. The unbalanced power consumption of multifunctional electrical devices and the ever-increasing energy demand adversely affect the efficiency and energy quality of electrical power systems. The main problems in increasingly complex electrical networks are; active-reactive power imbalances, harmonics, voltage imbalances, temporary and permanent faults. In this study, a radial electric network with an installed power of 20 MW was analyzed, and power and voltage imbalances were determined. To eliminate the reactive power problem in the network, a dynamically controlled compensation application has been carried out. Natural compensation is provided by mutual elimination of the reactive powers of the network, which has inductive characteristics in the LV part and capacitive characteristics in the MV part. In cases where natural compensation is insufficient, SVC is integrated into the network. With the dynamically controlled central compensation application, the power ratios in the network were kept within the allowed legal limits, making the voltage more stable and improving the power factor.

Keywords: Dynamic reactive power compensation, energy efficiency, voltage quality, power factor, SVC.

GİRİŞ

İnsanların yaşam kalitesini artırmaya veya kolaylaştırmaya yönelik geliştirilen her türlü teknolojik cihazı çalıştırmak için kısmen veya tamamen elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Elektrik enerjisinin mekanik, ısı ve ses gibi enerjilere dönüştürülmesindeki kolaylığı ve aynı zamanda bir transfer aracı (bilgi transferi) olarak kullanılması gibi diğer enerjilere göre oldukça önemli üstünlükleri vardır. Elektrik enerjisinin, insan yaşam döngüsündeki yeri ve yukarıda bahsedilen üstünlükleri düşünüldüğünde, vazgeçilemez bir konuma sahip olduğu kolaylıkla ifade edilebilir. Teknoloji ve nüfus artışına paralel olarak enerjiye olan ihtiyaç da artmaktadır. Enerji talebi geleneksel kaynaklar ve yenilenebilir kaynaklar olarak iki türlü kaynaktan karşılanmaktadır. Kömür, petrol, doğal gaz gibi geleneksel enerji kaynağı olarak bilinen fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye olan negatif etkileri nedeniyle araştırmacılar, yeni kaynaklar olarak ifade edilen yenilenebilir kaynaklara yönelmiştir. Güneş, rüzgâr vb. yenilenebilir kaynakların ise mevcut enerji taleplerini karşılayacak kapasitede olmadığı açıktır. Bütün bu nedenlerden dolayı üretilen elektrik enerjisinin verimli kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bunun en önemli göstergelerinden biri Birleşmiş Milletlerin belirttiği hedeflerdir. Çalışmamız Ülkemizin de dahil olduğu ve Birleşmiş Milletler nezdinde başlatılan “Türkiye Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları” projesi kapsamında 7. alt başlık olan “Erişilebilir ve Temiz Enerji” konusu ile doğrudan ilişkili olup bu bağlamda 2030 yılına kadar herkes için karşılanabilir, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimi sağlamak öncelikli hedef olarak belirlenmiştir (Web1, 2022). Bunu başarabilmek için elektrik enerjisinin üretim, transfer ve tüketim aşamalarının her birinden optimum fayda sağlanmalıdır. Yani enerji üretirken kaynakların verimli kullanılması, enerji taşırken minimum kayıp ve enerji tüketilirken maksimum faydalanılacak şekilde sistemlerin yeni teknolojilerle yapılandırılmasının iyi bir çözüm olacağı düşünülmektedir. Reaktif güç dengesizlikleri, iletim kayıpları ve harmonikler elektrik enerjisinin verimsiz tüketildiğini gösteren başlıca etkenlerdir. Güç kalitesi ile alakalı yapılan güncel çalışmalar konunun önemi açısından aşağıda özetlenmiştir.

Xiong vd., (2018), dinamik kapasitör ile endüstriyel santrallerde kompanzasyon ve harmonik filtreleme konusunda çalışma gerçekleştirmişlerdir. Alcalá vd., (2020), yaptıkları çalışmada Voltage Source Converter (VSC) kullanarak şebekede aktif-reaktif güç kontrolü ve akım harmoniğinin elimine edilmesi konusu ele alınmıştır. Tellez vd., (2018), dağıtık enerji üretim santralleri vasıtasıyla dağıtım şebekelerinde optimum reaktif güç kompanzasyonu yapılmasına dair çalışmaları ele alan bir derleme makale yayınlamışlardır. Kashif vd., (2018), gerçekleştirdikleri çalışmada reaktif güç ve harmonik kompanzasyonu çözümü için üç kademeli inverter kullanılmışlardır. Zimann, vd., (2020), çalışmalarında bir alçak gerilim şebekesinde gerilim regülasyonunu sağlamak için koordineli aktif-reaktif güç kontrolü gerçekleştirmişlerdir. ElGebaly vd., (2019), yaptıkları çalışmada demir yolu elektrik şebekelerinde gerilimi regüle etmek için sistemde var olan reaktif güçlerin eliminasyonu için Multi Level Inverter’i STATCOM olarak kullanmışlardır. Skamyin & Vasilkov, (2019), yüksek frekanslı harmoniklerin ve reaktif gücün bulunduğu şebekeler için güç ölçer tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Smadi vd., (2019), çalışmalarında şebeke bağlantılı bir PV sistemin aktif güç üretmenin yanı sıra şebeke gereksinimlerine göre hem reaktif güç üretmek hem de harmoniklerin bastırılması için kullanıldığını ifade etmişlerdir. Bajaj & Rana, (2018), çalışmalarında üç fazlı asenkron motor sürücülerinin şebekede oluşturduğu harmonikler ve reaktif güçleri elimine etmek için PV temelli D-STATCOM kullanmışlardır. Ferreira vd., (2018), yaptıkları çalışmada şebekede oluşan reaktif güçleri bastırmak için hibrit aktif filtre kullanıldığını belirtmişlerdir. Chavan & Chavan, (2018), çalışmalarında bir rüzgâr santrali ile elektrik şebekesinin bağlanmasında kullanılan sistemin aynı zamanda şebeke için STATCOM olarak kullanıldığını ifade etmişlerdir. Smrithi vd., (2017), çalışmalarında reaktif güç kompanzasyonunda sınırsız seviyeli inverterin geleneksel çok seviyeli invertere göre daha başarılı olduğu belirtmişlerdir. Chenyi vd., (2018), Elektrik şebekelerinde oluşan reaktif güç, harmonik ve fazlar arası dengesiz yüklenme gibi kalite problemlerini çözmek için şebekeye bağlı akıllı sistemlerin tümünün bir arada kullanımı durumunda bu sistemlerin beraber çalışmasının organizasyonu yaptıklarını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada OG ve AG kısımlarından oluşan bir dal-budak şebeke analiz edilerek bu şebekede oluşan reaktif güç problemlerinin çözümü için dinamik kontrollü kompanzasyon uygulaması yapılmıştır. Dinamik kompanzasyonun birincil amacı Şekil 3’te verilen algoritma ile şebekeyi anlık kontrol ederek, şebekenin OG tarafında kullanılan XLPE kabloların oluşturduğu kapasitif güç ile yüklerden kaynaklanan indüktif güçleri karşılıklı elimine ederek şebekenin aktif-reaktif güç dengesini kompanzasyon sistemlerini kullanmadan sağlamaktır. Bunun için şebekenin OG girişindeki elektriksel değerler ve her bir binanın tükettiği elektriksel değerler anlık okunarak yerel bir ağ ile merkezde bulunan algoritma tarafından değerlendirilmektedir. Bu sistemde mümkün olduğu sürece kompanzasyon sistemleri kullanılmamaktadır. Dolayısıyla ihtiyaç durumunda kullanılmak için kurulan kompanzasyon sistemleri, özellikle kondansatörler, şebekede oluşan harmoniklerden uzak tutularak uzun süre boyunca kullanılmaları düşünülmektedir. Yük dengesizliklerinin dinamik kompanzasyon tarafından doğal olarak giderilemediği durumlarda

Şekil 2’de belirtildiği gibi kurulan kompanzasyon sistemleri devreye alınarak şebekenin yük dengesi korunmaktadır. Şekil 2’de verilen kompanzasyon bölgelerinin seçimiyle, şebeke yük durumu analiz edilerek, enerji verimliliği açısından problemin yerinde çözümü hedeflenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Kompanzasyon

Kompanzasyon, elektrik şebekelerinde oluşan reaktif güçlerin (iş yapmayan güç) elimine edilmesi veya belli sınırlar içerisinde tutulması olarak tanımlanabilir. Bobin ya da kapasitör karakterli devre elemanları tarafından tüketilen reaktif gücün elektrik hatlarında ısınma şeklinde kayba, mevcut şebekenin enerji taşıma kapasitesini sınırlama ve şebekelerde gerilim dengesizlikleri oluşturma gibi problemlere neden olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı reaktif güçlerin şebekelerden giderilmesi veya yasal sınırlar içinde tutulması önem arz etmektedir. Ülkemiz için indüktif güç tüketimi aktif güç tüketiminin %20’sini, kapasitif güç ise aktif güç tüketiminin %15’ini geçmeyecek şekilde sınırlandırılmıştır (Web2, 2022).

Bir elektrik şebekesinde var olan Aktif (P), Reaktif (Q) ve Görünür (S) güçler arasındaki ilişkiler Denklem 1,2,3,4’te verilmiştir.

$$P = S \cdot \cos \theta \quad (1)$$

$$Q = S \cdot \sin \theta \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{(X_L - X_C)}{R} \right) \quad (3)$$

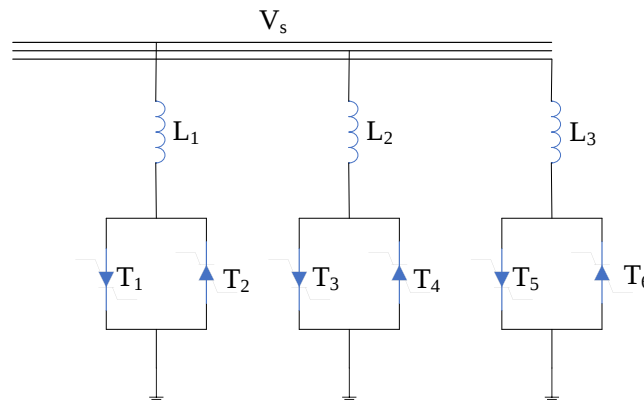
$$Z = R + j(X_L - X_C) \quad (4)$$

Yukarda verilen denklemlerde; R omik direnci, X_L indüktif reaktansı, X_C ise kapasitif reaktansı temsil etmektedir. θ akım gerilim arasındaki açı farkı olup maksimum verim için bu açının sıfır olması yani $X_L = X_C$ veya bu değerlerinin birbirlerine yakın olması gerekmektedir.

Static Var Kompanzatör (SVK)

Elektrik şebekelerinde şebekeyi kararlı durumda tutabilmek için çok sayıda Flexible AC Transmission Sytems (FACTS) yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemlerden biri de SVK’dır. SVK genel olarak reaktif güç kompanzasyonu yaparak şebeke gerilimini dengede tutmak ve şebeke kayıplarını azaltmak için kullanılır. SVK’lar şebekeye paralel bağlanan ve şebekenin durumuna göre şebekeye reaktif güç sağlayan (kapasitif mod) ya da şebekeden reaktif güç çeken (indüktif mod) devrelerdir. SVK’lar hızlı cevap süreleri, istenen güçte çalıştırılmaları, doğruluk oranlarının yüksek olması ve sağlamlık gibi nedenlerden ötürü elektrik şebekelerinde klasik kompanzasyona nazaran daha fazla tercih edilmektedir (Khalili vd., 2020).

Analiz edilen şebekenin genellikle kapasitif davranış sergilemesinden dolayı Şekil 2’de Komp1-8 ile belirtilen noktalara 3X10 kVAR SVK kontrollü indüktif yük bağlanmıştır. Bu yükler merkezi algoritma tarafından sürülerek şebekenin güç faktörü 1 veya 1’e yakın tutulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan SVK kontrollü indüktif yük devresi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. SVK Kontrollü İndüktif Yük Devresi

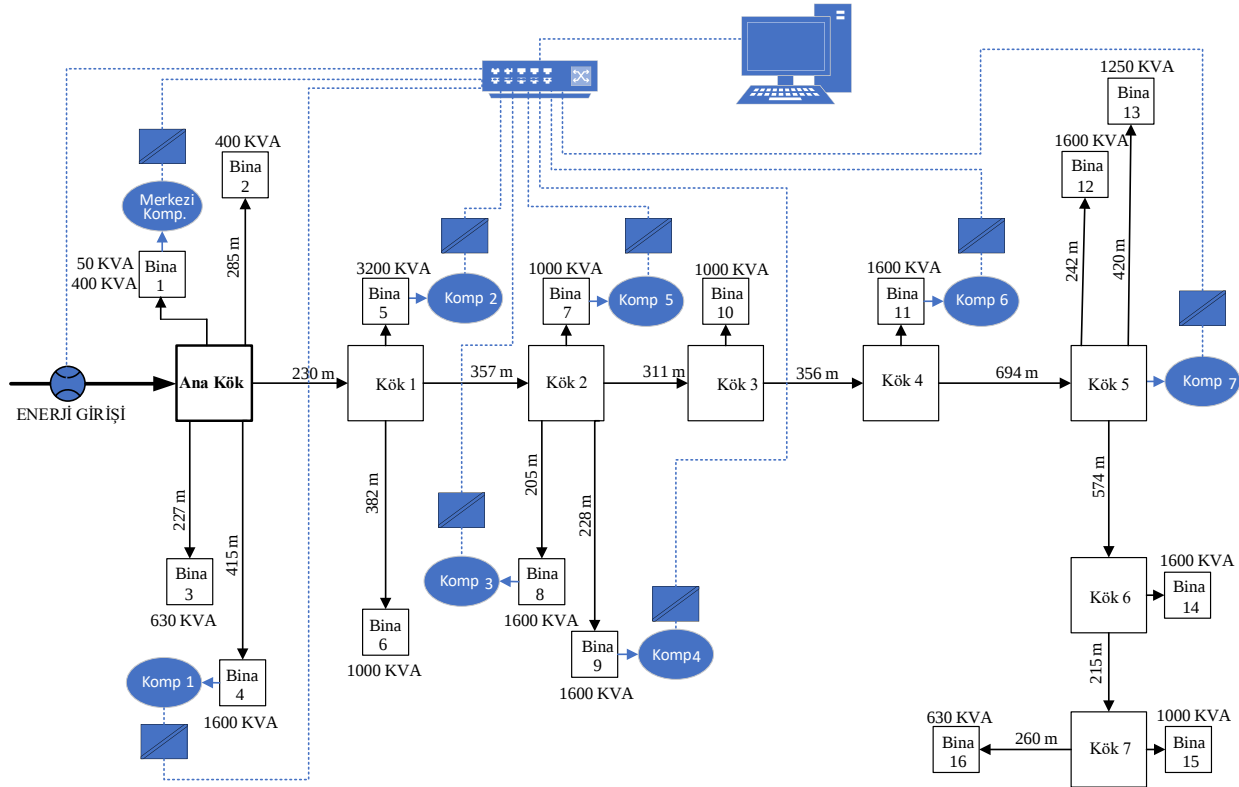
Şekil 1’de T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 ve T_6 tristörleri, L indüktansı ve V_s şebeke gerilimini göstermektedir. Bu devrede çekilecek güç miktarını i_L akımı, bu akımı ise $X_L = \omega L$ belirler.

$$i_L = \frac{V_m}{\omega L} (\sin \omega t - \sin \alpha) \quad (5)$$

Denklem 5’te; i_L bobin üzerinden akan akımı, V_m şebeke geriliminin genliğini, ω açısal hızı, L bobinin indüktansını ve α ise gecikme açısını temsil etmektedir. Denklem 5’te verildiği gibi L ’nin devrede tutulma süresi ayarlanarak şebekeden çekilen reaktif güç belirlenmektedir.

Uygulama Yapılan Elektrik Şebekesi

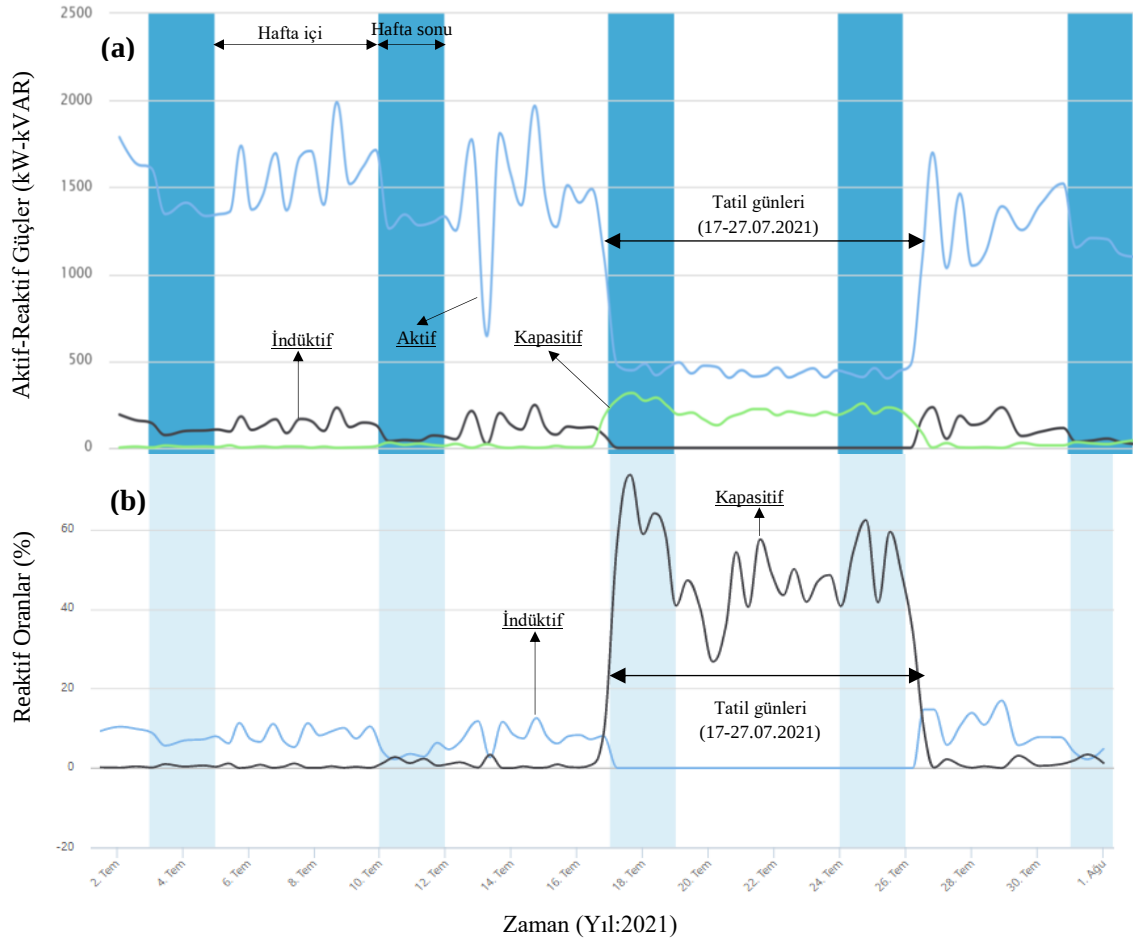
Üzerinde çalışılan elektrik güç şebekesi Şekil 2’de verilmiştir. Bu bölgenin elektrik enerjisini sağlayan elektrik şebekesi, orta gerilim (OG-31,5 kV) ve alçak gerilim (AG-FF/380 V ve FN/220 V) kısımlarından oluşmaktadır. Şebekenin OG kısmı üç fazlı sistem ve AG kısmı bir fazlı ve üç fazlı sisteme sahip olup enerji akışı Şekil 2’de belirtildiği gibi ok yönündedir. Güç şebekesinin OG kısmı ana dağıtım noktası ile binaların girişlerine kadar olan kısımlardan oluşmaktadır ve enerji transferi XLPE kablolar yardımıyla yapılmaktadır. OG şebeke hattının uzunluğu yaklaşık olarak 5,4 (5,4x3=16,2 kablo uzunluğu) km’dir. Bundan dolayı XLPE kablolarının şebekeye olan kapasitif güç etkisi yaklaşık 290 kVAR olarak hesaplanmıştır. AG kısmı ise çevre aydınlatma, spor tesisleri ve 16 yapının iç tüketiminden oluşmaktadır. Şebekeden çekilen güç mevsim koşulları, işyeri özelliği ve çalışma saatlerine bağlı olarak oldukça değişkendir. Yapılan iki yıllık izleme neticesinde şebekenin önemli problemlerinden birinin de dengesiz güç tüketimi olduğu görülmüştür. Mevsimlere bağlı olarak aktif anlık güç tüketiminin 0,1 MW ile 1,9 MW arasında değiştiği tespit edilmiştir. Örneğin kış mevsiminde aktif anlık güç tüketimi gece ortalama 0,6 MW iken gündüz için bu değer 1,4 MW’tır. Yaz mevsimi tatil zamanı ve gündüz saatlerinde tüketim 0,1 MW olarak ölçülmüştür. Şebekenin hizmet alanı kamusal olduğu için anlık yük değerlerinin gece, gündüz, çalışma saatleri, tatil günleri veya mevsimlere bağlı olarak uç noktalarda olduğu gözlemlenmiştir. Bu koşullar altında aktif-reaktif güç dengesinin sağlanabilmesi için dinamik kontrol gerekmektedir.



Şekil 2. Uygulama Yapılan Dal-Budak Elektrik Güç Şebekesi

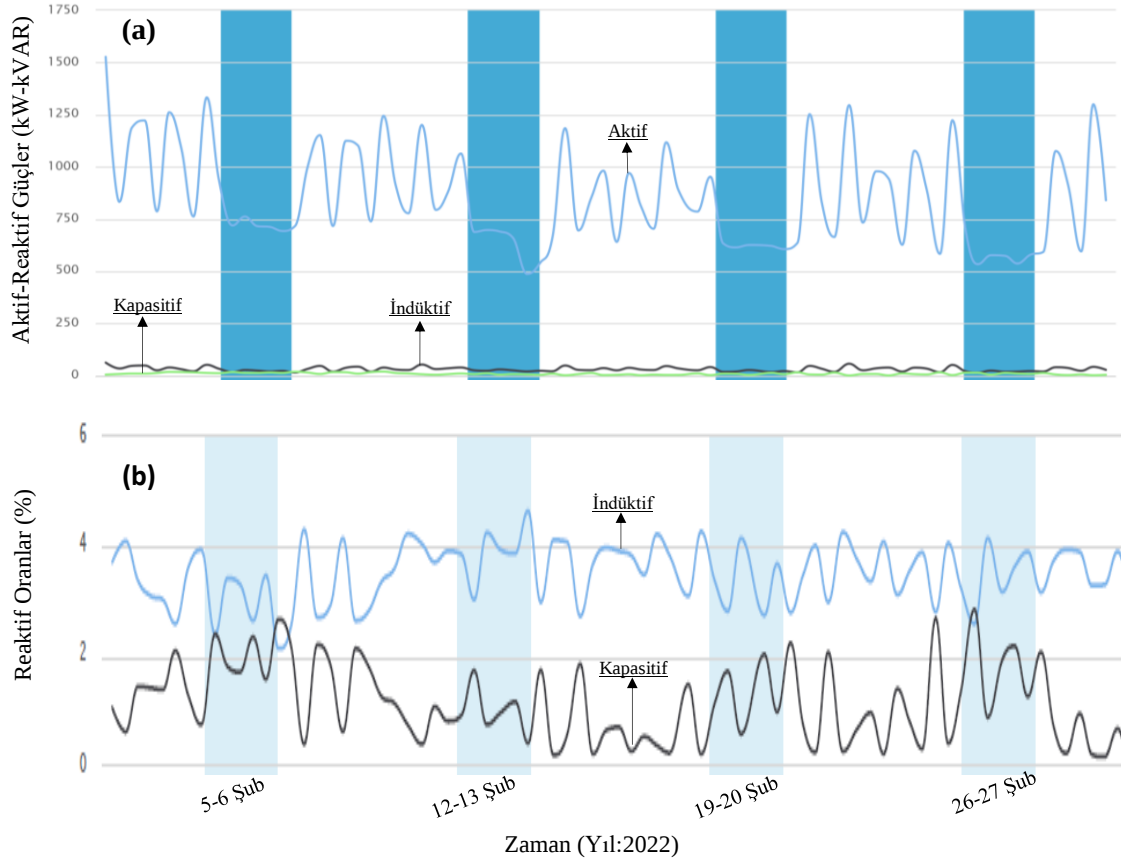
Çalışmada belirtilen hedeflere ulaşmak için Şekil 2’de verilen güç şebekesi analiz edilerek şebekeye bağlı olan yükler belirlenmiştir. Yük akışı ve yük değerleri ölçülerek kompanzasyonun kurulacağı noktalar, güç yoğunluğu ve güç dengeleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Kompanzasyon sistemini dinamik olarak kontrol edebilmek için panoların kurulduğu binalar ile kontrol bilgisayarı arasındaki iletişimi sağlayacak internet altyapısı kurulmuştur. Smart power enerji izleme programı ile şebekenin davranışları izlenmiştir. Elde edilen verilerle şebekenin anlık olarak güç dengesini sağlayacak dinamik kontrol sistemi algoritması tasarlanmıştır.

Analiz edilen şebekenin 2 Temmuz-1 Ağustos 2021 tarihlerine ait sırasıyla aktif-reaktif anlık güç tüketimleri ve reaktif güç oranları Şekil 5'te verilmiştir. Belirtilen zaman aralığında güç tüketimindeki değişim, güç oranları ve şebekenin karakteristik özelliği oldukça belirgin olup problem çözümünde önemli ipuçları vermektedir. Şekillerde mavi ince barlar hafta sonlarını beyaz barlar ise hafta içi zaman dilimlerini göstermektedir. Şekil-5.a aktif güç tüketiminin gece-gündüz, hafta sonu-hafta içi ve resmî tatil günlerine göre değişimini göstermektedir. Bu zaman dilimlerinde tüketilen güçlerin oranları sabit değildir. Örneğin ortalama tüketimi 1500 kW olan aktif güç, 17-27 Temmuz tarihleri arasında ortalama 500 kW kadar olup yaklaşık olarak 2/3 oranında azalma söz konusudur. Buna karşın kapasitif güç tüketiminde lineer olmayan bir artış gözlemlenmiş olup bu değer aktif gücün %75 oranında yaklaşık olarak 375 kVAR olmuştur. Bu durumun sebebi şebekedeki aktif gücün minimum seviyeye inmesiyle ve kısmen endüktif yüklerin devre dışı kalmasıyla birlikte XLPE iletkenlerinin kapasitif özelliklerinin şebekede oldukça baskın hale gelmesi olarak ifade edilebilir. Diğer bir ifadeyle; belirtilen zaman diliminde statik bir yapı sergileyen şebeke harmoniklerinin olmadığı ve buna bağlı olarak kapasitif yükün üstel bir biçimde artış gösterdiği düşünülmektedir. Resmî tatil günlerinde kapasitif oranın yaklaşık %75'lere kadar uzanarak yasal sınırlar (%20) üzerine çıktığı görülmektedir. Dinamik kontrol ile bu olgu anlık olarak kontrol edilerek aktif-reaktif güç dengesizlikleri belirtilen yasal sınırlar çerçevesinde tutulmuş ve bu durum Şekil 6'da gösterilmiştir.

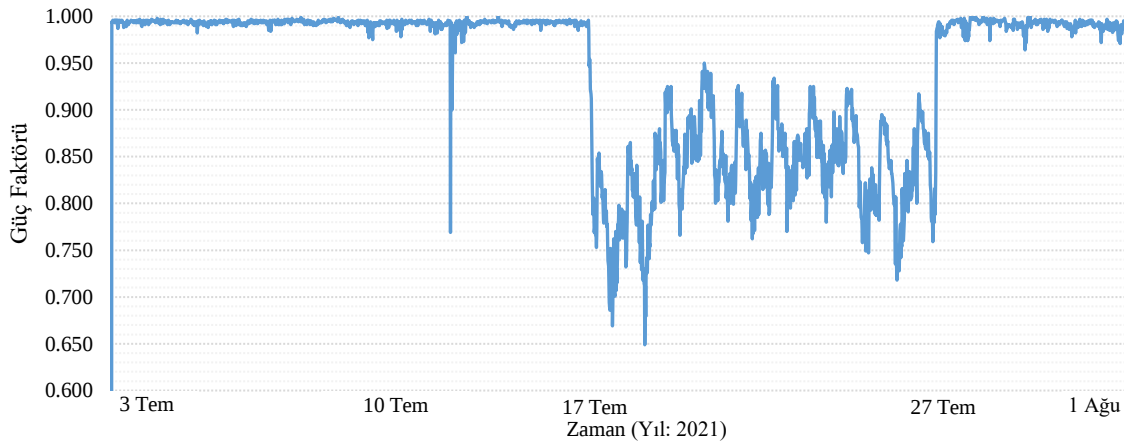


Şekil 5. a. Dinamik Kompanzasyon Öncesi Aktif-Reaktif Güç Grafiği b. Reaktif Oranlar

Şekil 6. a ve b’de 2 Şubat–2 Mart 2022 tarihlerine ait kompanzasyon sonrası aktif, reaktif güç ve reaktif oranlar görülmektedir. Şekil 6.a’dan aktif gücün hafta sonu tatili dışında yaklaşık olarak 750-1000 kW arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Hafta sonlarını temsil eden mavi bar grafiklerde görüldüğü üzere aktif güç 500-750 kW arasında değişmektedir. Kış aylarında alınan ölçümler olduğu için (soğutma sistemleri devre dışı) yaz aylarındaki ölçümlere göre daha az aktif güç tüketimi göze çarpmaktadır. Şekil 5.a’da olduğu gibi Şekil 6.a’da da indüktif reaktif gücün aktif güce eş zamanlı değişimler sergilemektedir. Hafta sonları aktif gücün düşmesine rağmen, Şekil 5.a’nın aksine, kapasitif reaktif güçte herhangi bir değişikliğin olmadığı görülmektedir. Şekil 6.b’de ise indüktif reaktif oranının %4 kapasitif reaktif oranının ise %1 civarında olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda dinamik kompanzasyon öncesi yasal sınırlar dışında olan kapasitif oranlar dinamik kompanzasyon sonrasında yasal sınırlar içerisinde tutulmuştur. Böylece kurulan dinamik kompanzasyon sisteminin XLPE iletkenlerinin şebeke üzerindeki kapasitif etkilerini istenen değerler arasında tuttuğu, Şekil 5 ve Şekil 6’da karşılaştırmalı olarak analiz edildiğinde açıkça görülmektedir.



Şekil 6. a. Dinamik Kompanzasyon Sonrası Aktif-Reaktif Güç Grafiği b. Reaktif Oranlar

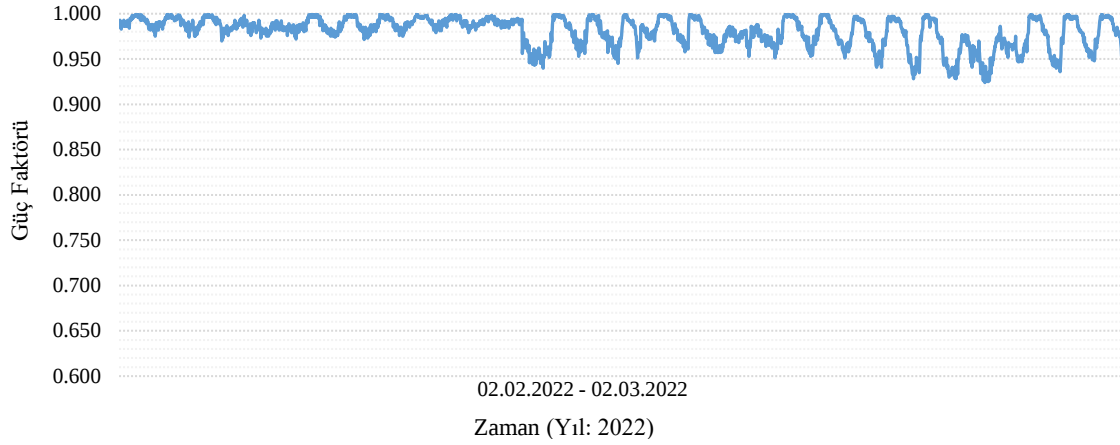


Şekil 7. Kompanzasyon Öncesi Güç Faktörü

Şekil 7’de, kompanzasyon uygulaması öncesinde, ele alınan şebekenin güç faktörü değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde; tatil günleri olan 17-27 Temmuz tarihlerinde güç faktörünün 0,65’e kadar düştüğü ve oldukça dalgalı bir seyir izlediği görülmektedir. Normal çalışma günlerinde ise güç faktörünün genel olarak 0,98 değeri üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca grafikte bir bölgede, çalışma günleri, güç faktörünün anlık olarak 0,76’ya düştüğü tespit edilmiştir. Bu düşüşün nedeninin anlık bir reaktif gücün devreye girmesinin olabileceği düşünülmektedir.

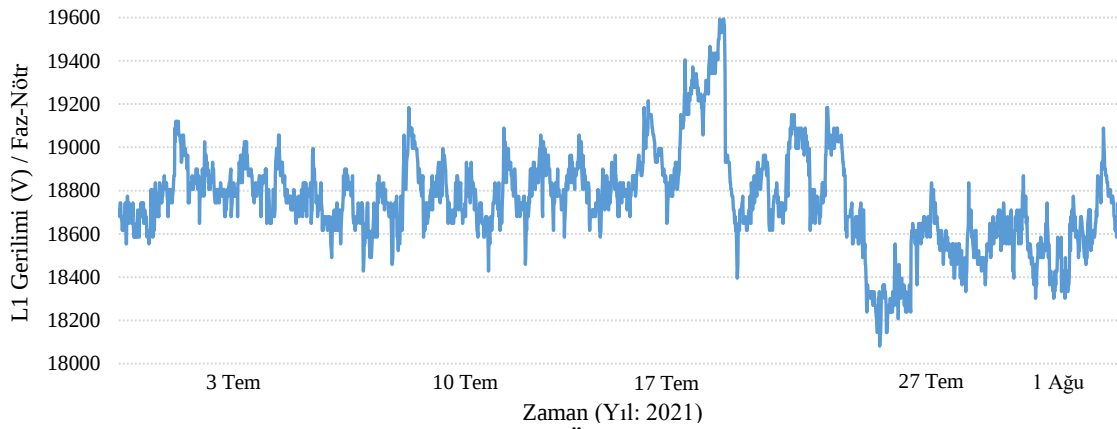
Şekil 8’de kompanzasyon işlemi sonrasında şebekenin güç faktörü grafiği görülmektedir. Bu grafikte güç faktörünün genel olarak 1-0,95 arasında değiştiği gözlemlenmektedir yani sistemin aktif olarak şebekeyi kontrol ettiği ifade edilebilir. Bazı noktalarda güç faktörünün 0,92’ye kadar düştüğü görülmekte ve bu durumun şebekede meydana gelen büyük yük değişimlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sistemin bu dalgalanmalardan sonra istenen güç değerlerini tekrar sağladığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla Şekil 7 ve Şekil 8’de verilen grafikler karşılaştırmalı olarak

incelendiğinde; şebeke için kurulan dinamik kontrollü merkezi kompanzasyon sisteminin kararlı çalıştığı görülmektedir.



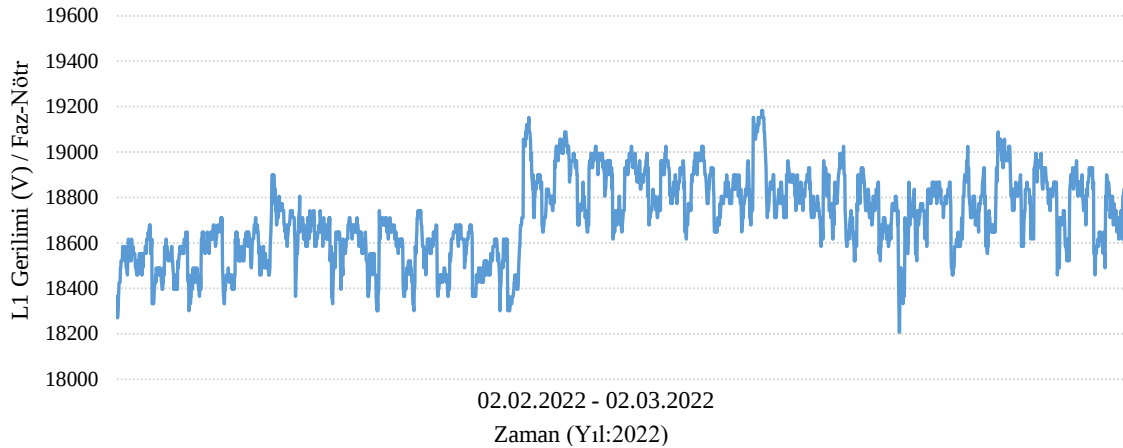
Şekil 8. Kompanzasyon Sonrası Güç Faktörü

Şekil 9’da şebekenin bir fazına ait, kompanzasyon öncesi efektif gerilim grafiği görülmektedir. Gerilim değerinin normal günlerde genel olarak ortalama 18400-19000 V aralığında değiştiği görülmektedir. Ancak Şekil 5’te bahsedilen resmî tatil günlerinde XLPE iletken kaynaklı kapasitif güç etkisiyle şebeke geriliminde ani yükselme olduğu (19600 V) ve daha sonra bu tatil günlerinde şebeke geriliminde oldukça yüksek gerilim dalgalanmaları gözlemlenmiştir. Bu durumun şebeke gerilim kararlılığını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür ve şebekeye bağlı bulunan cihazların verimini olumsuz yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.



Şekil 9. Kompanzasyon Öncesi Şebeke Gerilimi

Yukarda bahsedilen gerilim dengesizliğinin kompanzasyon uygulaması sonrasında minimize edildiği Şekil 10’da verilen grafikten anlaşılmaktadır. Bu grafikte gerilimin 18500-18900 V aralığında ortalama bir seyir izlediği ve bu durumun gerilim kalitesi açısından kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 10. Kompanzasyon Sonrası Şebeke Gerilimi

SONUÇLAR

Bu çalışmada kurulu gücü 20 MW olan ve OG-AG kısımlarından oluşan bir dal-budak şebeke; aktif-reaktif güç dengesizlikleri, güç faktörü ve gerilim kalitesi bakımından ele alınmıştır. Şebekeden elde edilen veriler incelendiğinde; tatil günlerinde (aktif güç tüketiminin en az olduğu zaman dilimleri) XLPE iletkenlerinin oluşturduğu ve şebekenin güç dengesi, gerilim kalitesi ve güç faktörünü olumsuz yönde etkileyen kapasitif reaktif güçler analiz edilmiştir. Yapılan analizler doğrultusunda; tespit edilen olumsuzlukları gidermek veya izin verilen yasal sınırlar içerisinde tutmak amacıyla ele alınan şebeke için merkezi dinamik kontrollü kompanzasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın en önemli noktalarından birisi anlık ve sürekli değişen yük durumlarında dinamik kontrol ile şebekeye ait güç oranlarının istenen değerler aralığında tutulmasını sağlamaktır. Bunu yapabilmek için ilk olarak OG ve AG kısımlarından oluşan şebekenin (Şekil 2) enerji girişi ve her bir kompanzasyon bölgesinden (8 adet) alınan veriler anlık olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu veriler ışığında merkezi bir kontrol ile AG kısmında oluşan indüktif yükler ve OG kısmında (XLPE) var olan kapasitif yükler ile elimine edilmiştir. Dinamik kontrollü sistem kullanılarak, doğal bir kompanzasyon ile şebekenin güç dengeleri belirtilen değerlerde tutulup şebekenin verimi ve kararlılığı artırılmıştır. Ayrıca uygulama kapsamında kompanzasyon panolarının kurulacağı bölgeler her bir nokta için, yük değerleri analiz edilerek, tespit edilmiştir. Bu kompanzasyon sistemleri doğal kompanzasyonun yetersiz olduğu durumlarda merkezi kontrol sistemi tarafından yönetilmektedir. Şebekede var olan reaktif güçlerin giderilmesinde Tristör Kontrollü Reaktör (TKR) tipi dinamik kontrollü bir SVK her bir kompanzasyon sistemine entegre edilmiştir. Bu entegrasyon neticesinde; şebekede güç dengesizliğine neden olan kapasitif güçler hassas bir şekilde faz bazında kompanse edilerek kapasitif reaktif güç oranı %70 seviyelerinden %1 seviyelerine indirilmiştir. Aynı zamanda şebeke geriliminde oluşan dalgalanmaların en aza indirildiği (Şekil 10) ve güç faktörünün de 1'e yaklaştırıldığı (Şekil 8) görülmüştür.

Teşekkür: Bu çalışmaya katkı sunan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Alcalá, J., Cárdenas, V., Aganza, A., Gudiño-Lau, J., & Charre, S. (2020). The performance of the BTB-VSC for active power balancing, reactive power compensation and current harmonic filtering in the interconnected systems. *Energies*, <https://doi.org/10.3390/en13040831>
- Bajaj, M., & Rana, A.S. (2018). Harmonics and reactive power compensation of three phase induction motor drive by photovoltaic-based DSTATCOM. *Smart Science*, 6(4), <https://doi.org/10.1080/23080477.2018.1505114>
- Chenyi, L., Lei, X., Shuilian, H., Shengdong, Z., & Xiaobo, F. (2018, September). Research of comprehensive application of intelligent low-voltage power distribution units in improving power quality. In 2018 China International Conference on Electricity Distribution. IEEE.

- ElGebaly, A.E., Hassan, A.E.W., El-Nemr, M.K., (2019, January). Reactive power compensation by multilevel inverter STATCOM for railways power grid. In 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). IEEE.
- Ferreira, S.C., Gonzatti, R.B., Pereira, R.R., Henrique da Silva, C., Borges da Silva, L.E., Lambert-Torres, G. (2018). Finite control set model predictive control for dynamic reactive power compensation with hybrid active power filters. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 65(3), 10.1109/TIE.2017.2740819
- Kashif, M., Hossain, M.J., Zhuo, F., & Gautam, S. (2018). Design and implementation of a three-level active power filter for harmonic and reactive power compensation. *Electric Power Systems Research*, 165 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.09.011>
- Khalili, M., Namdari, F., & Rokrok, E. (2020). Traveling wave-based protection for SVC connected transmission lines using game theory. *Electrical Power and Energy Systems*, 123 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106276>.
- M. Chavan, P., & P. Chavan, G. (2018, August). Interfacing of wind energy to grid using static compensator and load reactive power compensation. In 2018 International Conference on Information, Communication, Engineering and Technology (ICICET). IEEE.
- Skamyin, A.N., & Vasilkov, O.S. (2019, June). Power components calculation and their application in presence of high harmonics. In 2019 Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ) & 2019 Symposium on Electrical Engineering and Mechatronics (SEEM). IEEE.
- Smadi, A.A., Lei, H., & Johnson, B.K. (2019, October). Distribution system harmonic mitigation using a PV system with hybrid active filter features. In 2019 North American Power Symposium (NAPS). IEEE.
- Smrithi, K., Vittappan, S., & Jayanand, B. (2017, October). A novel convertertopology based STATCOM for reactive power compensation. In 2017 Asian Conference on Energy, Power and Transportation Electrification (ACEPT). IEEE.
- Tellez, A.A., Lopez, G., Isaac, I., & Gonzalez, J.W. (2018). Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources. *Heliyon*, 4(2018), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00746>
- Web1: Türkiye Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (2022). <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/7/> Accessed 04.07.22.
- Web2: Dağıtım Lisansı Sahibi Tüzel Kişiler Ve Görevli Tedarik Şirketlerinin Tarife Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar (2015). <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1994/dagitim-lisansi-sahibi-tuzel-kisiler-ve-gorevli-t#/> Accessed 04.07.22.
- Xiong, L., Dai, K., Chen, X., Wang, X., & Dai, Z. (2018, March). Reactive power compensation and resonance damping for three-phase buck-type dynamic capacitor. In 2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). IEEE.
- Zimann, F.J., Stangler, E.V., Neves, F.A.S., Batschauer, A.L., & Mezaroba, M. (2020). Coordinated control of active and reactive power compensation for voltage regulation with enhanced disturbance rejection using repetitive vector control. *Energies*, 13(11), <https://doi.org/10.3390/en13112812>