



1500 V DC Beslemeli Raylı Sistemlerde Dinamik Reaktif Güç Probleminin DKS ile Çözümü

Solution of Dynamic Reactive Power Problem in 1500 V DC Supply Rail Systems with DCS

Mehmet Taciddin Akçay

¹ Istanbul Metropolitan Municipality, Directorate of Rail Systems, Istanbul, TURKEY

Başyuru/Received: 29/07/2020 **Kabul / Accepted:** 09/12/2020 **Çevrimiçi Basım / Published Online:** 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Elektrik güç sistemlerinde kaynaktan üretilen gücün etkin bir şekilde yüke aktarılması ana hedeftir. Bunun için kaynaktan çekilen görünür gücün tamamının aktif güç olması gerekmektedir. AC şebeke tarafından sağlanan güç sinusoidal dalga şekline sahip yüksek güç faktörüne sahip bir yapıda olsa da yük tarafında reaktif güç unsurları bulunmaktadır. Bu durum şebeke tarafında ve sistemin genel performansına problem ortaya çıkaracağı için açığa çıkan bu reaktif gücün kompanze edilmesi gerekmektedir. Raylı sistemler elektrifikasyon sistemi bünyesinde birçok alt sistemi barındıran kompleks bir yapıya sahip olduğu için bu durumda dinamik bir reaktif güç problemi ortaya çıkmaktadır. İşletme özelliklerine göre sistemin davranışı ve aktif hale gelen yükler değiştiği için dinamik koşullara göre reaktif güç kompanze edilmektedir. Bu çalışmada 1500 V DC beslemeli raylı sistemlerde dinamik reaktif güç probleminin DKS (Dinamik Kompanzasyon Sistemi) ile çözümü yapılmıştır. DKS için üretilen algoritma verilerek benzetimi yapılan sistem analiz edilmiştir. Üretilen güç faktörü düzeltilmesi model üzerinden anlatılırken tasarlanan bu cihazın sisteme bağlanmasından sonra elde edilen başarı önceki durumla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“DC, Dinamik, DKS, Güç, Reaktif”

Abstract

In electrical power systems, the main goal is to effectively transfer the power generated from the source to the load. For this, all of the apparent power provided from the source must be active power. Although the power supplied by the AC mains has a high power factor structure with sinusoidal waveform, there are reactive power elements on the load side. This reactive power must be compensated since this will cause problems on the network side and the overall performance of the system. Since rail systems have a complex structure that includes many subsystems within the electrification system, a dynamic reactive power problem arises in this case. Reactive power is compensated according to the dynamic conditions since the behavior of the system and the activated loads change according to the operating characteristics. In this study, dynamic reactive power problem was solved with DCS (Dynamic Compensation System) in 1500 V DC powered rail systems. By giving the algorithm created for DCS, the simulated system was analyzed. When the power factor correction produced is explained on the model, the success achieved after connecting this device to the system is given in comparison with the previous situation.

Key Words

“DC, DCS, Dynamic, Power, Reactive”

1. Giriş

Elektrik güç sistemlerinin optimize edilerek kaynağa ulaşacak enerjini daha etkin kılınması problemi gelişen teknoloji ile birlikte yeni çözümlerle ortaya çıkmaktadır. Gün geçtikçe big data erişiminin yaygınlaşması ile yapay zeka ve machine learning uygulamaları kullanılarak işletmelerdeki bir çok probleme çözüm bulunabilmektedir. Gelişen teknoloji ile alışılmış yaygın ekipman çözümlerinin yerini dinamik ve çağın şartlarına uygun koşullarda sağlanan öneriler almaktadır. Elektrik güç sistemlerinde çeşitlere elektrik karakteristiklere sahip ekipmanlar kullanıldığı için kaynak geriliminin sinusoidal yapısını koruması kompleks bir problem haline gelmiştir. Özellikle sisteme ilave edilen ve birbirinden çok farklı elektriksel karakteristiğe sahip yüklerin ortaya çıkardığı bu durumun şebekeye önemli etkileri olmaktadır. Raylı sistem elektrifikasyon sistemi devresine bağlı bir çok ekipman bulunurken bunlardan bazıları sürücüler, eviriciler, doğrultucular, motorlar, UPS'ler, aküler ve frekans konvertörler olarak sıralanabilir. Raylı sistem elektrifikasyon sisteminde kullanılan enerjinin % 50'sini araç teknolojisinin içeren cer gücü oluşturmaktadır. Bu durumdan dolayı işletmede araç hareketininin konfigürasyonunu etkileyen durumların sisteme etkileri önemli etkiye sahiptir. Özellikle yolcu talebinin karşılanması, cer besleme sisteminin kapasitesi, işletmesel özel nedenler (makineci yeterliliği) bu durumlardan bazılarıdır. Tüm sisteme bağlı birçok alt sistem aktif olduğu için sistemin elektriksel analizinde dinamik çalışma koşullarının olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum reaktif güç kompanzasyonu problemini raylı sistem özelinde kompleks bir sorun olduğunu gösterirken sistemin elektriksel davranışının net bir şekilde çıkarılması gerekliliğini vurgulamaktadır. Enerji üretim merkezlerinin yük sahasının yakınına yerleştirmek genellikle mümkün olmamasından ötürü, gerilim kontrolü ve enerji iletim kapasitesini arttırmak için pratikte reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili yöntemler uygulanmaktadır (Doğruer vd., 2019). Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler kapasitör pil ile reaktif güç kompanzasyonu sisteminin eksikliklerinin giderek kapandığını göstermiştir (Pavleka vd., 2019). Kompanzasyon için üretilen reaktif gücün ihtiyaç noktasına en yakın bölgeye yerleştirilmesi sistemin verimi açısından büyük önem arz etmektedir (Bayındır vd., 2007).

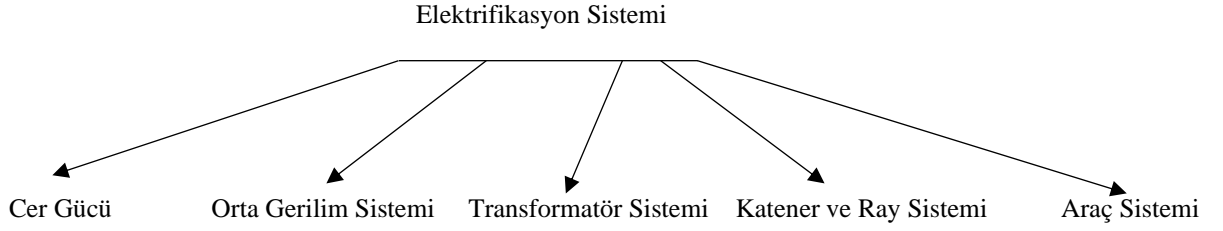
Raylı sistemlerde reaktif güç kompanzasyonu için çeşitli teknolojiler kullanılmakta olup hattın yapısına, elektrifikasyon sisteminin özelliklerine göre çeşitli çözümler uygulanabilmektedir. İşletme performansı için hattı etkileyen tüm kayıplar minimize edilmelidir (Liudvinavičius, 2017). Kayıpların azaltılmasında reaktif güç ve gerilim kontrolü büyük öneme sahiptir (Güngüneş vd., 2019). İletim hattı ve şebekedeki kayıpların azaltılması kablo kesitlerinin, ölçme elemanlarının ve koruma devrelerinin maliyetlerini azaltarak sistemi optimize etmektedir (Gani vd., 2015). Raylı sistemlerde eski ve yeni hatlarda kullanılan araçlarda tristör bazlı doğrultucuların kullanılması sistemden sinüs olmayan akımların çekilmesine neden olmaktadır (Raimondo vd., 2012). Reaktif güç kullanımının aşırı artışı diğer taraftan iletim hattının kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır (Arunprasanth vd., 2013). Raylı sistemlerde olası harmonik bozulmalara ise doğrusal olmayan yükler olan Cer sistemlerindeki kontrol ekipmanları, darbeli doğrultucular, aydınlatma sistemlerinde kullanılan cihazlar neden olmaktadır (Fidan vd., 2018). Oluşan harmoniklerin ise kompanzasyon sistemi üzerinde sistemin ömrünün kısalması gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır (Tunçalp & Sucu, 2006). Harmonikler enerji kalitesini düşürürken yarı iletken teknolojisi kullanan cihazların bozulmalara olan duyarlılığını etkilemektedir (Kürker vd., 2018). Demiryollarında işletme anında sürekliliğin sağlanabilmesi ve herhangi bir arıza ya da kesinti durumu yaşanmaması açısından gerilim kararlılığı çok önemlidir (Akçay & Kocaarslan, 2019). Halihazırda işletme altında bulunan hatların büyük kısmında kendi OG altyapısını bünyesinde barındıran sistemler tercih edildiği için kapasitif reaktif güç miktarı önemli seviyelere çıkmaktadır. İşletme altında araç hareketiyle birlikte motorların aktif edilmesiyle endüktif reaktif güç tüketimi artarken toplam tüketilen reaktif gücün durumu değişkenlik gösterebilmektedir. Özellikle istasyon sayısının ve hat uzunluğunun fazla olduğu raylı sistem hatlarında kapasitif reaktif güç derecesi ciddi seviyelerde seyir etmektedir. Şebekeye verilen reaktif güç değerinin artması ise hattan çekilen akımın artarak işletme maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Elektrik Piyasası Müşteri Yönetmeliği'ne göre işletmelerin reaktif güç miktarlarının limitleri belirlenmiş olup bu sınırın dışına çıkanların ceza ile karşılaşacağı belirtilmiştir. Enerji kaynaklarının sınırlı ve hızla tükeniyor olmasından dolayı güç sistemlerinin verimli kullanılması gerekmektedir. Alternatif akım şebekesinin kalitesi, gerilim ve frekans sabitliği, güç faktörünün 1'e yakınlığı, faz gerilim ve akımlarının dengeli olması, enerji sürekliliği ve harmoniklerin sınırlandırılması ile ölçülmektedir (Ay vd., 2003). Şebeke iletim kayıplarının azaltılması ve enerji kaynaklarının kullanımında verimin artırılması için reaktif güç miktarının azaltılması çok önemlidir. Reaktif güç miktarının azaltılması için güç faktörü değerinin 1'e eşit olması ya da mümkün olduğu kadar 1'e yaklaştırılması gerekmektedir. Güç faktörü (PF) aktif gücün (P) görünür güce (S) oranı olup idealde 1 olması beklenmektedir. Alternatif akımda yükler omik, endüktif ve kapasitif olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir. Endüktif yükte akım gerilimin yük açısı kadar gerisinde iken Kapasitif yük durumunda akım gerilimin ilerisinde olmaktadır (Sezer vd., 2020). Demiryolu araçlarında bulunan cer motorlar endüktif yükün oluşmasına neden olmaktadır (Kaleybar & Farshad, 2016).

Gerilim (V) ve akım (I) arasında kalan açının kosinüsüne güç faktörü denilirken bu katsayı reaktif güç katsayı olarak kullanılmaktadır (Vardar vd., 2010). Yüksek güç tüketimine sahip ve hızlı devreye girip çıkan alt sistemlerin güç faktörünün düzeltilmesi geleneksel elektromekanik kompanzasyon sistemleri ile çözülmesi mümkün olmamaktadır (Çötel & Aydoğmuş, 2007). Raylı sistemler yüksek güç tüketimine ve dinamik bir davranışa sahip olduğu için kompanzasyon sisteminin de dinamik bir sistem olması gerekmektedir. Literatürde statik tristörlü kompanzasyon, PLL kontrol yöntemi kullanılarak elde edilen kompanzasyon, geleneksel yöntemlerle kullanılan mekanik anahtarlamalı kompanzasyon, yapay sinir ağları tabanlı reaktif güç kompanzasyonu, statkom tabanlı kompanzasyon, Pasif filtreleme elemanları kullanılarak kompanzasyon, uyarlamalı bulanık-PI Denetim Esaslı dinamik senkron kompanzasyon ile kompanzasyon sistemi gibi çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak literatürde hassas örnekleme zamanı kullanılarak özgün bir algortima yardımıyla dinamik kompanzasyon çözümü içeren bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada 1500 V DC beslemeli raylı sistemlerde dinamik reaktif güç probleminin DKS ile çözümü geliştirilen algoritma ile devre modeli üzerinden yapılmıştır. Kullanılan model ile dinamik bir yapı oluşturularak endüktif ve kapasitif durumlar için hassas ve etkin bir çözüm elde edilmiştir.

Bu makalenin 2. bölümünde DKS sistemi için önerilen model ve modelin yapısını oluşturmak için kullanılan yöntem anlatılmıştır. 3. bölümde elde edilen benzetim sonuçları sunulmuş ve elde edilen başarı tablo ile gösterilmiştir. Son bölümde ise makalenin değerlendirilmesi detaylı olarak irdelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Raylı sistem elektrifikasyon sistemi çeşitli bileşenlerden oluşmakta olup bu bileşenler elektriksel yükleri oluşturmaktadır. Bu yükler endüktif ya da kapasitif değer alabilmektedir. Şekil 1 ile raylı sistem elektrifikasyon sisteminin sistem ve alt sistemler olarak şematiği gösterilmektedir.



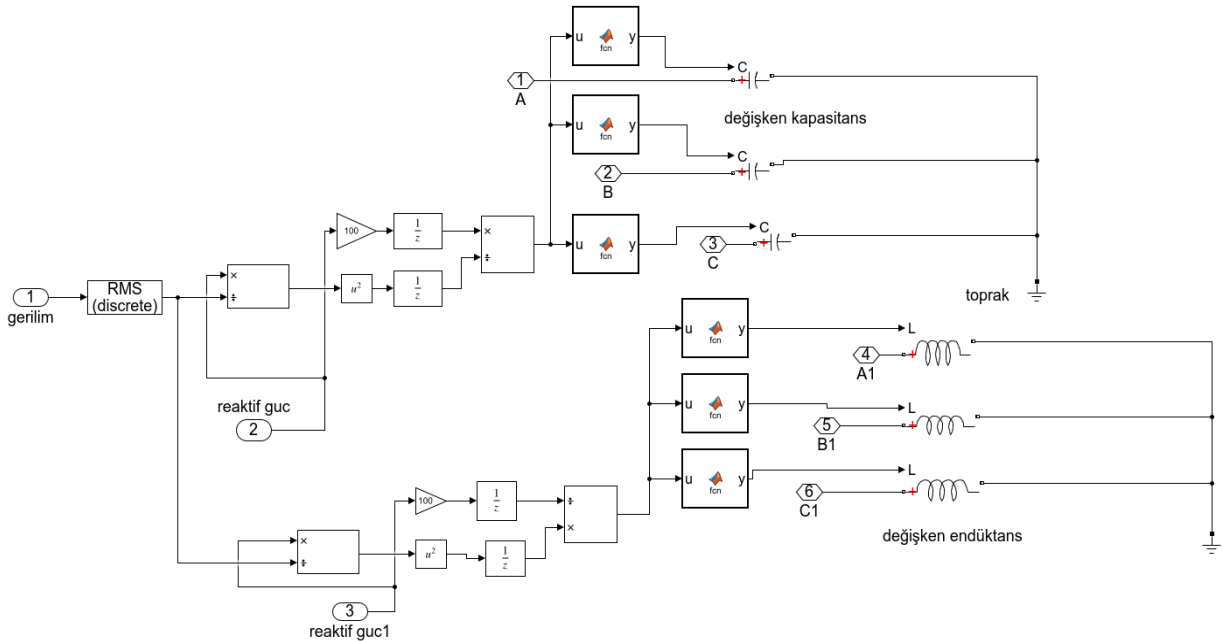
Şekil 1. Raylı Sistem Elektrifikasyon Sisteminin Bileşenleri

Yükün endüktif ya da Kapasitif olma durumuna göre sistem için öngörülen çözümler de değişiklik göstermektedir. Şekil 2 ile güç faktörü gösterilerek endüktif ve kapasitif durumlar için güç bağıntıları verilmektedir.



Şekil 2. Endüktif ve Kapasitif Durumlara ait Güç Bağıntıları

DKS sisteminin tasarımında aktif ve reaktif güç hesaplamalarında yararlanılmıştır. Raylı sisteme özgü geliştirilen yeni bir algoritma ile sistemin ana fonksiyonu oluşturulmuştur. Algoritma ile devrenin hızlı bir şekilde aktif hale gelerek reaktif güç problemini çözmesi sağlanmıştır. Şekil 3 ile DKS devresine ait çizim gösterilmektedir.



Şekil 3. DKS Devresi

AC sistemlerde güç hesaplamaların bazı denklemlerden yararlanılmaktadır. Bu eşitlikler ile aktif güç, reaktif güç, endüktif durum, kapasitif durum, güç faktörü ve güç açısı gibi etkenlerin durumu hakkında bilgi alınmaktadır. Bu tanımlar sistemin elektriksel durumu hakkında bilgilerin elde edilmesinde katkı sağlamaktadır. (1) eşitliği ile kaynak gerilimine ait ifade verilmektedir. Burada V gerilimi belirtirken ωt açısal frekansı simgelemektedir.

$$V_k(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t) \quad (1)$$

Yük akımı ise (2) denklemi ile ifade edilmiştir. I ile akım gösterilmekte olup φ ile yük açısı belirtilmiştir.

$$I_y(t) = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

Bir faza ait anlık güç eşitliği (3) ile gösterilmektedir.

$$P_{tek-faz}(t) = V_k I_y \quad (3)$$

Anlık güç ifadesi (1), (2) ve (3) eşitlikleri kullanılarak biraz geliştirilip yeni eşitlikler türetilirse (4) denklemi ortaya çıkmaktadır.

$$P_{tek-faz}(t) = VI \cos(\varphi) (1 - \cos(2\omega t)) - VI \sin(\varphi) \sin(2\omega t) \quad (4)$$

(5) ve (6) eşitlikleri ile yaygın olarak kullanılan aktif ve reaktif güç ifadeleri verilmektedir. P ve Q aktif güç ile reaktif gücü simgelemektedir.

$$P = VI \cos(\varphi) \quad (5)$$

$$Q = VI \sin(\varphi) \quad (6)$$

Üç faza ait aktif ve reaktif güç eşitlikleri ise (7) ve (8) eşitlikleri ile gösterilmektedir.

$$P_{üç-faz} = 3VI \cos(\varphi) \quad (7)$$

$$Q_{üç-faz} = 3VI \sin(\varphi) \quad (8)$$

Görünür güce ait ifade ise (9) ile verilmektedir. Üç faza ait görünür güç değeri ise bu eşitliğin üç ile çarpılması ile elde edilmektedir.

$$S = VI \quad (9)$$

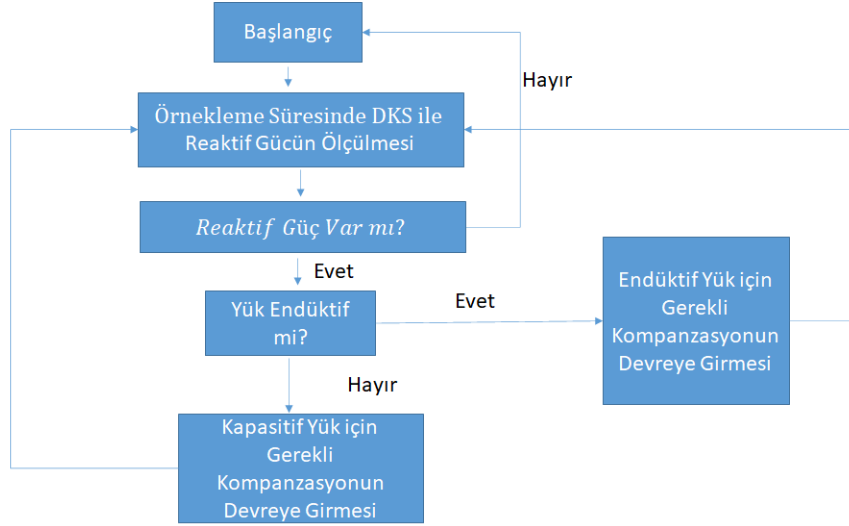
Yük açısı ise aktif gücün görünür güce oranı ile hesaplanmakta olup bu denklem (10) ile belirtilmiştir.

$$\cos(\varphi) = P/S \quad (10)$$

(11) ile görünür gücün aktif ve reaktif güce bağlı olarak elde edilişi verilmektedir.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (11)$$

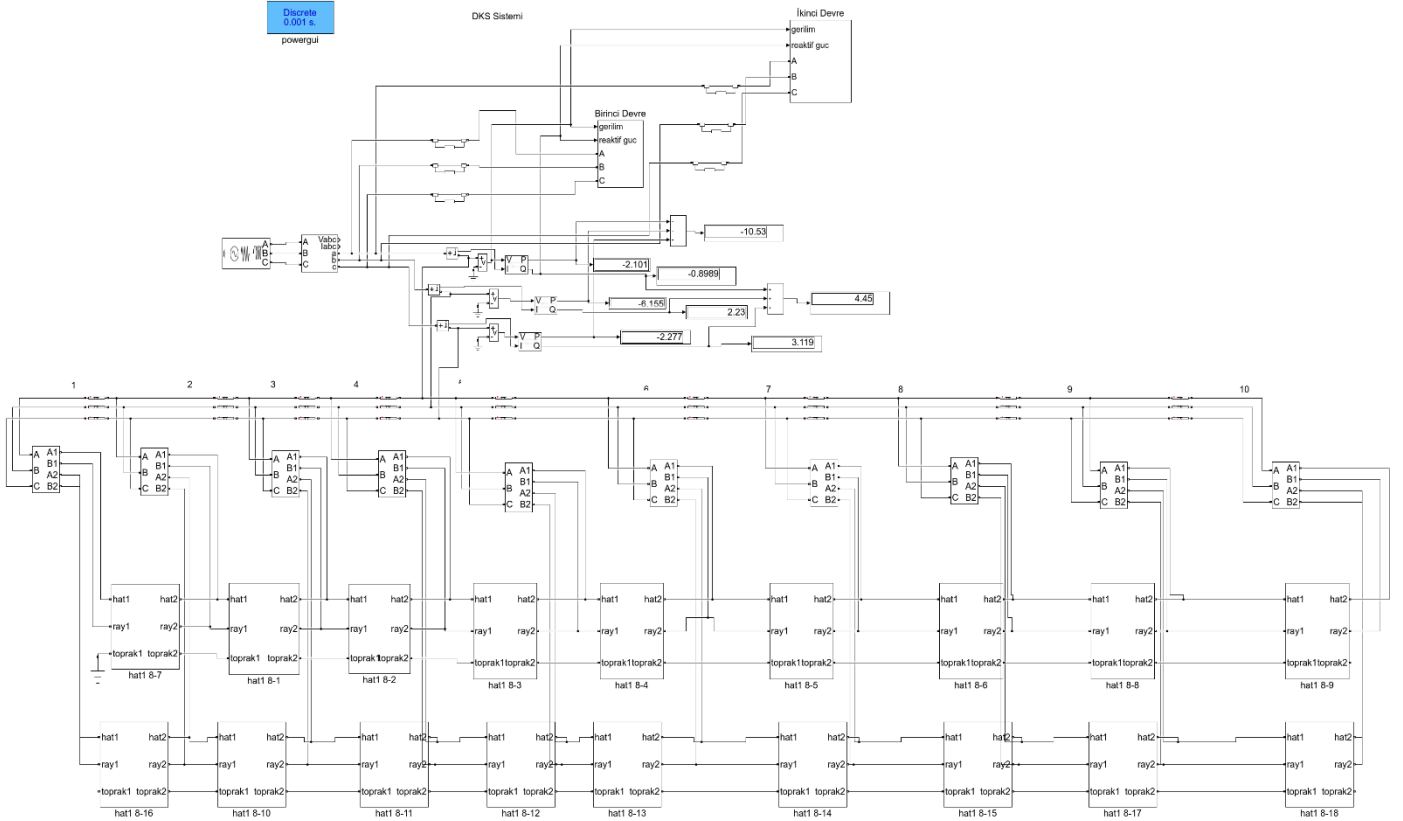
Ekipman bağlantısı için en hızlı tepki verebilecek nokta tercih edilerek sistemin performansının artırılması hedeflenmiştir. Şekil 4 ile tasarım için geliştirilen algoritma verilmektedir.



Şekil 4. DKS Çalışma Algoritması

3. Bulgular

Bu çalışmada raylı sistem elektrifikasyonunda reaktif güç kompanzasyonu için DKS sisteminin benzetimi yapılmıştır. Benzetim için Matlab/Simulink kullanılmıştır. Şekil 3’de benzetim ekranına ait görüntü gösterilmektedir. Sistem dinamik koşullara uygun olarak tasarlandığı için DKS sistemi belirli periyotlarla elektrifikasyon sisteminden ölçümler alarak reaktif güç koşullarına göre devreye girmektedir. Bu şekilde sistem optimize edilerek ihtiyacın fazlası olan enerji tüketimi ortadan kaldırılmaktadır.



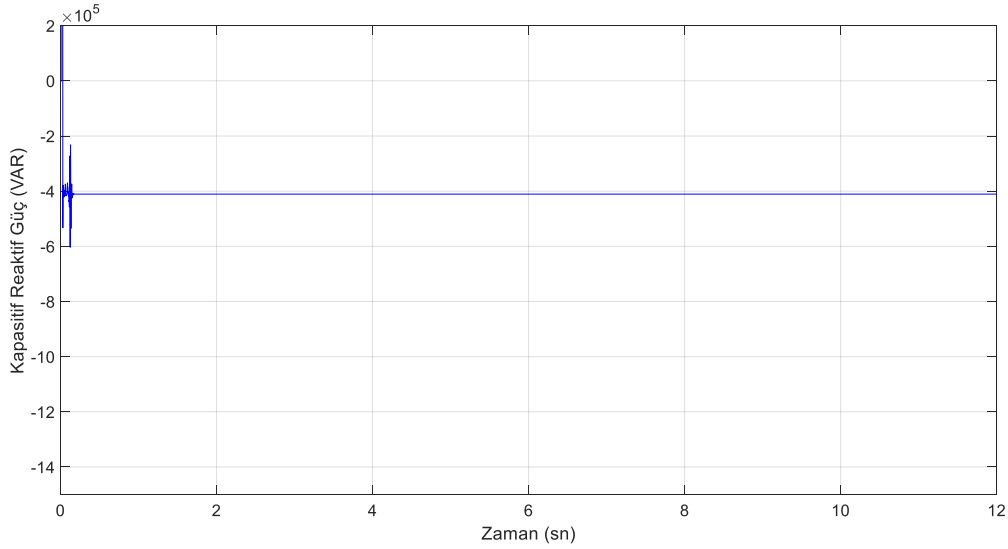
Şekil 5. DKS Benzetimine ait Ekran Görüntüsü

Sistemin dinamik davranışa sahip olması işletme için operasyon kolaylığı sağlarken reaktif güç tüketimini de minimize etmektedir. Benzetim için 33 kV kaynak gerilimi, cer merkezi için 33 kV/1.22 kV cer transformatörü, iletim hattı, DKS sistemine ait blok ve bağlantılar ile ölçüm blokları kullanılmıştır. Örnekleme zamanı için sistemin hassasiyetine uygun bir değer seçilerek tasarım doğruluğu artırılmıştır.

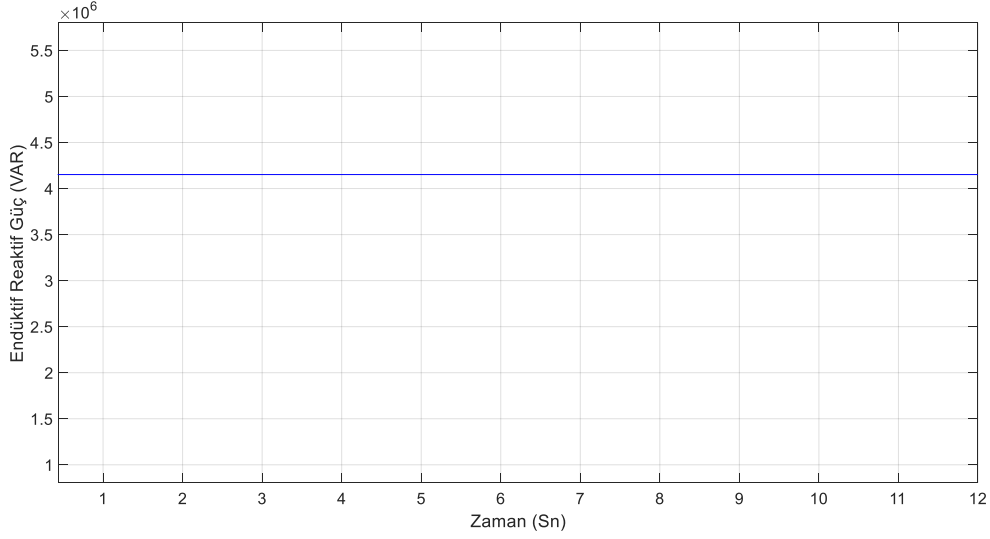
Tablo 1. DKS İçin Tasarım Parametreleri

Parametre	Değer
Kaynak Gerilimi V_k	34.5 kV V_{rms} Faz-Faz
Kaynak Frekansı	50 Hz
Kaynak Empedansı (X/R)	7
Üç Faz Kısa Devre Gücü (VA)	7560e6
Cer Transformatörü Çevirme Oranı	28.27
DKS İç Direnci (R_i)	1e-2 Ω
DKS Değişken Reaktans Solver	Backward Euler Yöntemi
DKS Örnekleme Frekansı	1000 Hz

Benzetim için 18 km uzunluğuna sahip 10 istasyon ve 10 cer besleme merkezinin bulunduğu bir raylı sistem hattından yararlanılmıştır. İstasyonlar arası mesafe 1-2 km arasında değişmekte olup her istasyon bölgesinde bir cer merkezi bulunmaktadır. Tasarım için sefer sıklığı frekansı 3 dakika seçilerek iki istasyon arasına bir raylı sistem aracının bulunması durumu göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışma kapsamında araçların maksimum kapasite 3 dk sefer sıklığında seyir halinde olması durumu ile istasyon başlarında harekete hazır bir şekilde konumlandırıldığı durumlara ait benzetim yapılmıştır. Şekil 6 ile DKS devreye girmeden araçlar yerinde konumlandırılmış durumda iken sisteme ait reaktif güç durumu gösterilmektedir. Bu durumda araçlar iç ihtiyaç ekipmanları için gerekli enerji için akım sağlamakta olup yüksek bir enerji tüketimi gerçekleştirilmemektedir.

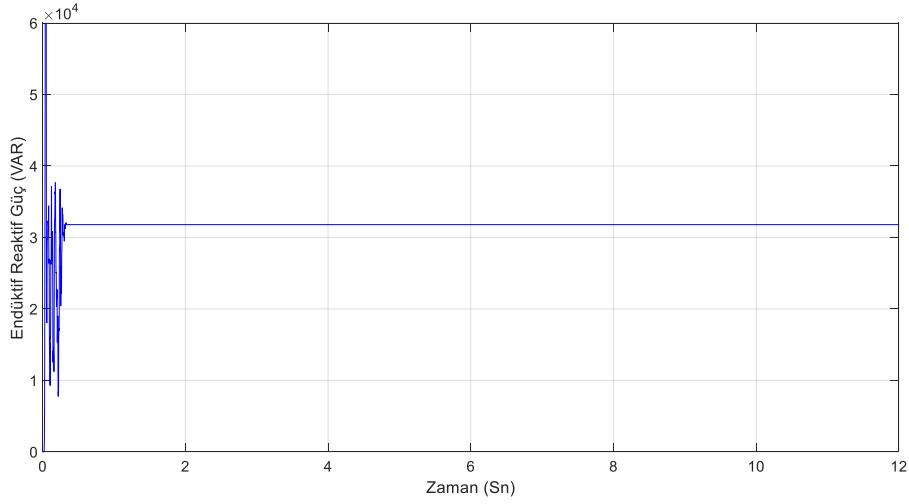
**Şekil 6.** Araçlar Hareketsizken Reaktif Güç Tüketimi (DKS Devre Dışı)

Şekilde görüldüğü üzere bu durumda orta gerilim kablolarından kaynaklı olarak kapasitif reaktif güç tüketimi gerçekleşmektedir. Reaktif güç tüketimi sürekli durumda 400 kVAR civarında gerçekleşmektedir. Şekil 7 ile araçlar 3 dakika sefer sıklığında seyir halinde maksimum güç tüketimindeyken gerçekleşen reaktif güç tüketimine ait gösterim verilmektedir. Bu durumda DKS sistemi henüz devreye girmediği koşullarda gerçekleşen tüketime ait kayıtlar alınmıştır.



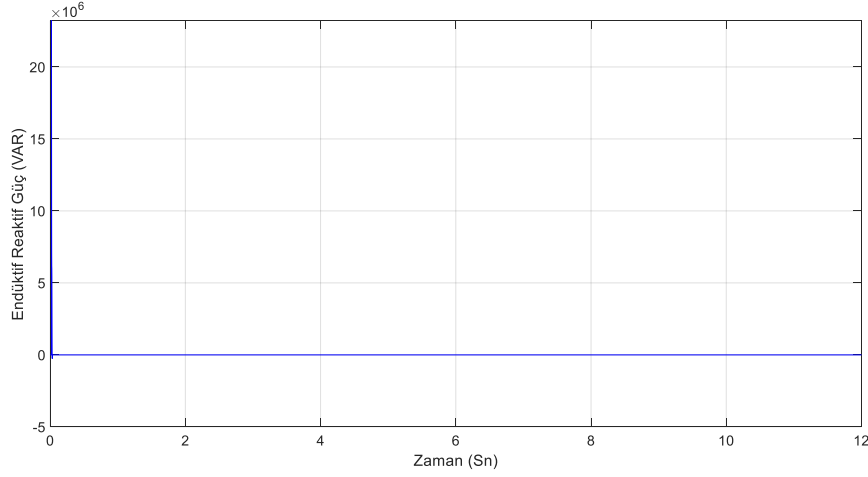
Şekil 7. Tam Kapasite İşletme Durumunda Reaktif Güç Tüketimi (DKS Devre Dışı)

Bu durumda sistem tam kapasite ile çalıştırıldığı için reaktif güç tüketimi endüktif olurken tüketim yüksek mertebelere ulaşmaktadır. Sürekli halde endüktif güç tüketimi şeklinde görüldüğü üzere 4.15 MVAR olarak ölçülmüştür. Şekil 8 ile DKS sistemi devreye girdiği duruma ait sonuçlar gösterilmektedir. Bu durumda araçlar hareketsiz halde beklerken gerçekleşen tüketim DKS devredeyken ölçülmüş ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır.



Şekil 8. Araçlar Hareketsizken Reaktif Güç Tüketimi (DKS Devrede)

Şekilde görüldüğü üzere DKS ile sürekli halde reaktif güç tüketimi 32 kVAR civarında değerler alarak iyileştirme sağlanmıştır. Örnekleme zamanı hassas seçildiği için analizde reaktif güç tüketimi net bir şekilde görülmektedir. Şekil 9 ile tam kapasite durumunda DKS'nin devreye girmesiyle gerçekleşen duruma ait datalar verilmiştir. Bu durumda reaktif güçte sağlanan iyileştirme ortaya konulmuştur.



Şekil 9. Tam Kapasite İşletme Durumunda Reaktif Güç Tüketimi (DKS Devrede)

Grafikte görüldüğü üzere tam kapasite durumunda DKS ile çok iyi bir başarı elde edilmiştir. Bu durumda reaktif güç değeri 1 kVAR değerine kadar düşürülmüştür. DKS'li durumlarla DKS kullanılmadan gerçekleşen durumlara ait sonuçlar ve aradaki iyileştirme grafiklerde net bir şekilde görülmektedir. Tablo 2'de DKS'li ve DKS'siz durumlara ait reaktif güç bilgileri özet tablo ile verilmektedir.

Tablo 2. DKS Devrede ve DKS Devrede Olmadan Gerçekleşen Durumlara Ait Özet Durum

İşletme Durumu	DKS'nin Bağlı Olmadığı Durumda Sürekli Hal Reaktif Güç Miktarı (kVAR)	DKS'nin Bağlı Olduğu Durumda Sürekli Hal Reaktif Güç (kVAR)	DKS ile Sağlanan İyileştirme Yüzdesi (%)
Araçlar sabit konumda iken	400 kVAR	32 kVAR	% 92
Araçlar Maksimum Kapasite ile 3 dk sefer sıklığında seyir halinde	4.15 MVAR	1 kVAR	% 99

DKS devreye girdiği zaman sağlanan iyileştirme bu tabloda net bir şekilde anlaşılmaktadır. DKS ile sağlanan iyileştirme yüzdesi hesaplanırken DKS bağlı iken elde edilen değerler ile bağlı değilken elde edilen reaktif güç değerlerinin oransal ifadesinden yararlanılmıştır. İşletme sürekliliği ve enerji kalitesi performansı için reaktif güç değerinin belirli sınırlar içinde olması gerekmektedir. Raylı sistemler yüksek güç tüketimini bünyesinde barındırdığı için reaktif tüketimler de yüksek mertebelere ulaşabilmektedir. Sistemin dinamik davranışından dolayı kurulan kompanzasyon sisteminin anlık değişimlere hızlı bir şekilde cevap verebilmesi gerekmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada 1500 V DC beslemeli bir raylı sistem hattının reaktif güç probleminin geliştirilen bir algoritma yardımıyla DKS sistemiyle çözülmesi yapılmıştır. Elektrifikasyon sistemi tüm alt sistemlerle birlikte benzetim yoluyla modellenerek sistem analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında araçların maksimum ve minimum yükte ayrı ayrı çalıştırılması test edilerek elde edilen durum ortaya konularak sağlanan iyileştirme tablo 2'de ortaya konulmuştur. DKS devredeyken elde edilen sonuçlar ile DKS olmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. DKS raylı sistem araçları sabit konumda iken sistemde DKS sistemi ile reaktif güç değeri 400 kVAR'dan 32 kVAR değerine kadar düşürülmüştür. Araçlar seyir halinde iken bu iyileştirme 4.15 MVAR'dan 1 kVAR'a kadar düşürülerek çok yüksek bir başarı elde edilmiştir. İki durumda da iyileştirme sağlanırken araçlar sabitken sağlanan iyileştirme yüzdesi %92 olarak kaydedilirken araçlar seyir halinde iken bu değer % 99 mertebelerine ulaşmaktadır. DKS ile sağlanan başarı ve elde edilen yüksek performans net bir şekilde ortaya çıkmıştır. DKS sistemi ile dinamik elektrifikasyon yüklerini yapısında bulunduran raylı sistem gibi kompleks işletmeler için çözüm geliştirilmiştir.

Elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesi ve çekilen gücün aktif miktarının mümkün olduğunca yüksek olması sistemlerin verimliliği ve performansı için çok önemlidir. Bu nedenle reaktif güç miktarının minimize edilerek güç faktörünün 1'e yaklaştırılması gerekmektedir. Raylı sistemler yatırımları her geçen gün artmakla birlikte bu durumun şebekeye etkileri çok kritik olduğu için reaktif güç kompanzasyonu daha önemli hale gelmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte sistemlerin sürekli optimize edildiği ve kalitesinin artırıldığı günümüzde bu tip yeni ve efektif çözümlere her geçen gün yenisi eklenerek şebekenin ve iletim hattının kayıpları azaltılmalıdır.

Referanslar

- Akçay, M., Kocaarslan, İ. (2019). 750 V DC Beslemeli Bir Demiryolu Cer Merkezinde Güç Kalitesi Probleminin UVDGM Bazlı DSTATKOM İle Çözülmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11 (2), 620-626.
- Arunprasanth, S., Atputharajah, A., Prabath, B., Manjula, F., Sunil, A. (2013). Dynamic reactive power compensator (DRPC) for unbalance load reactive power compensation.
- Ay, M., Göncüoğlu, Y., İris, N. (2003). Bir Fazlı Seri Kompanzasyonlu Tesis Tasarımı ve Analizleri. *Sakarya University Journal of Science*, 7 (2), 37-43.
- Bayındır, R., Sağıroğlu, Ş., Çolak, İ. (2007). Yapay Sinir Ağları Tabanlı Reaktif Güç Kompanzasyonu. *Politeknik Dergisi*, 10 (2), 129-135.
- Çötel, R., Aydoğmuş, Z. (2007). DGM-Statcom ile Reaktif Güç Kompanzasyonu. *Politeknik Dergisi*, 10 (2), 123-128.
- Doğruer, Ö., Kuşdoğan, Ş., Yörükeren, N. (2019). Elektrikli Demiryolu Hatlarında Kompanzasyon Sistemi . *Demiryolu Mühendisliği*, (9), 28-37.
- Fidan, P., Akdemir, H., Kekezoğlu, B., Adiyıl, İ. (2018). İstanbul'da Bir Raylı Sistem Tesisi'ne Ait Harmonik Analizi ve Çözüm Önerileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 215-221.
- Gani, A., Keçecioglu, Ö., Açıkgoz, H., Şekkeli, M. (2015). Uyarlamalı Bulanık-PI Denetim Esaslı Dinamik Senkron Kompanzator ile Reaktif Güç Kompanzasyonu Benzetim Çalışması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (2), 72-76.
- Güngüneş, R., Ateş, V., Lüy, M., Eke, İ. (2019). Doğrusal Olmayan Yüklerde Sürekli Zaman Karınca Kolonisi Algoritması İle Optimal Değerli Kondansatör Seçimi ve Güç Kontrolü. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11 (3), 780-792.
- Kaleybar, H., Farshad, S. (2016). A comprehensive control strategy of railway power quality compensator for AC traction power supply systems. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 24 (6), 4582-4603.
- Kürker, F., Taşaltın, R., Karadağ, K. (2018). Elektrik Tesisinde Harmonik İncelemesi ve Harmonik Filtreli Kompanzasyon. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3 (3), 43-51.
- Liudvinavičius, L. (2017). Compensation of Reactive Power of AC Catenary System. *Procedia Engineering*, 187, 185-197.
- Pavleka, J., Nikolovski, S., Marušić, A. (2019). Using a FACTS Device as a Power Conditioner Suitable for Dynamic Reactive Power Compensation in Railway Application. *Tehnicki Vjesnik*, 26, 201-211.
- Raimondo, G., Ladoux, P., Lowinsky, A., Caron, H., Marino, P. (2012). Reactive power compensation in railways based on AC boost choppers. *Electrical Systems in Transportation, IET*. 2. 169-177.
- Sezer, Ö., Daldal, N., Yücedağ, İ. (2020). Toplu Konutlarda Reaktif Güç Kompanzasyonunun Uygulanabilirliğinin Analizi . *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (1), 702-710.
- Tunçalp, K., Sucu, M. (2006). Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinde Pasif Filtre ve Filtreli Kompanzasyonun Kullanımı ve Simülasyon Örnekleri. *Politeknik Dergisi*, 9 (4), 263-271.
- Vardar, T., Çam, E., Yalçın, E. (2010). Reaktif Güç Kompanzasyonu ile Enerji Verimliliği ve Kamu Kurumlarında Reaktif Güç Kompanzasyonu . *International Journal of Engineering Research and Development*, 2 (2), 20-24.