

DAĞITIM SİSTEMİNDE YER ALAN STATİK VAR KOMPANZASYONU SİSTEMLERİNİN DENGESİZ YÜK KOŞULLARINDA GERİLİM REGÜLASYONA KATKISININ İNCELENMESİ

Mohammad BARGHI LATRAN, Deniz PARLAK, H. Bilge MUTLUER

Hacettepe Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Bölümü
elbarghi@hacettepe.edu.tr

ÖZET

Bu makale 'de dağıtım sistemlerindeki gerilim regülasyonu ve gerilim kararlılığının sağlanması için kurulan statik tabanlı reaktif güç kompanzatörlerinin fider uzunlukları ve dengesiz yükler ile değişen performansı incelenmektedir. Özellikle zayıf baralarda, sıfır ve ters birleşen akımlarının yoğun olduğu yüklerde güç kalitesi problemleri artmakta ve konvansiyonel sistemler ile çözülemez hale gelmektedir. Bu amaçla, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS) çözümlerinden biri olan tristör kontrollü reaktör (TKR) tabanlı Statik VAR Kompanzatör (SVK) sisteminin uzun ve ağır yük koşullarında çalışan dağıtım fiderlerindeki çalışması "EMTDC/PSCAD" benzetim programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortak bağlantı noktasına şönt bağlı SVK sisteminin ürettiği reaktif güç ya da SVK empedansı ayarlanarak reaktif güç akışı değiştirilmek sureti ile gerilim regülasyonu sağlanmaktadır. Benzetim çalışmaları ile değişik uzunlukta ve çeşitli yük koşullarında SVK sisteminin başarımı incelenerek güç kalitesi ile ilgili yürürlükte olan standart ve düzenlemelere uyumluluk sağlanılabileceği doğrulanmıştır.

GİRİŞ

Güç kalitesi ile ilgili problemler eskiden beri süregelmekle beraber, son yıllarda tüketicilerin bu konudaki taleplerinin artmasının bir sonucu olarak güç kalitesi sorunları ve çözüm yolları çok daha fazla tartışılmaya başlanmıştır. Bu durum, güç kalitesi için eskiye göre daha üst düzey kalite standartlarının ve katı sınırların ortaya çıkmasını sağlamıştır. 2007 yılında; doğrudan bağlı müşteriler kullandıkları aktif enerji miktarının yüzde otuz üçünü aşan endüktif reaktif enerji tüketimleri, ya da yüzde yirmisini aşan şekilde sisteme kapasitif reaktif güç vermeleri halinde; dağıtım şirketleri ise kullandıkları aktif enerji miktarının yüzde ellisini aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketimleri durumunda cezai yükümlülükle karşı karşıya kalmaktaydılar. 2008 yılında ise bu sınırlar doğrudan bağlı müşteriler için sırası ile yüzde yirmi ve yüzde on beşe, dağıtım şirketleri için ise yüzde otuz üç ve yüzde yirmiye kadar daraltıldı. Şu anda yürürlükte olan Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri

Yönetmeliğine göre; kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olanlar çektikleri aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketimleri veya aktif enerji miktarının yüzde onbeşini aşan şekilde sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür [1].

Son yıllarda güç talebinde sürekli artış meydana gelmektedir. TEİAŞ tarafından yayınlanan verilere göre 2000 yılında 19390 MW olan puant güç talebi 2009 yılında 29870 MW düzeyine yükselmiştir[2]. Güç talebinde gözlenen artışlar enerji piyasasında radikal değişmelere yol açmaktadır. Dolayısı ile enerji sanayii için yeni ve zorlu şartlar ortaya çıkmıştır. Güç talebinin bu kadar artması iletim ve dağıtım sistemlerinde aşırı yüklenmeye, gerilim kararlılığının kaybolmasına ve yüksek güç kayıplarına yol açmaktadır. Bu durum sistemdeki yüklerin performanslarının düşmesine, zarar görmelerine veya tamamen sistem dışı kalmalarına sebep olabilir. İletim ve dağıtım sisteminin voltaj ve güç parametrelerinin

iyileştirilmesinin iki yolu vardır. Bu yollardan ilki artan güç talebinin karşılanması için yeni elektrik enerjisi üretim santralleri yapılmasıdır. Diğerisi ise kompensasyon sistemlerinin devreye alınmasıdır. İlk çözüm yolu hem pahalı hem de zaman alan bir yöntem olduğu için ikinci alternatif daha makul bir seçimdir.[3]

Sistemde gerilimi ayarlamamanın ve kararlı hale getirmenin bir kaç yöntemi vardır;

- 1) İletim hatlarının ve dağıtım baralarının gerilim seviyesini arttırmak,
- 2) Hatların sayısını paralel olarak arttırmak,
- 3) Kademe değiştirici trafo kullanmak,
- 4) Şönt kapasitans kullanmak,
- 5) Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS) cihazları kullanmak.

Bu çözümlerden "FACTS" cihazları uygun fiyatlarda bulunmaları, sistemdeki değişikliklere tepki gösterme ve ayrıca sistem bozulmalarına karşı koyabilmeleri özelliklerine sahip olmaları sebebiyle dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yükün voltaj seviyesi üretim barasındaki voltaj, hatlardaki gerilim düşümü, trafonun kademesi ve dağıtım şebekesindeki gerilim düşümü tarafından belirlenir. Bu anlamda en zayıf baraya yapılan reaktif güç desteği gerilim seviyelerinin iyileştirilmesine yardımcı olur. Statik Var Kompanzatorü normalde şebeke geriliminin uzun süre değişimine sebep olabilecek istenmeyen durumlarda hızlı tepki veren, dinamik reaktif güç kompanzasyonu sağlayan bir "FACTS" sistemidir. SVK ayrıca güç salınımlarının bastırılmasında ve sistem kayıplarının azaltılmasında etkilidir. SVK en zayıf baraya bağlanıp sisteme ilave akım sağlayarak, gerilim profilinin korunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

SVK Akım-Gerilim Karakteristiği:

SVK iki farklı modda kullanılabilir; gerilim regülasyon modu ve reaktif güç (var) kontrol modu. SVK gerilim regülasyonu modunda kullanıldığında Şekil 1'de görülen karakteristiği sergilemektedir.

SVK'nın sanal geçirisi (B), kapasitör veya reaktör kümelerinin belirlediği maksimum ve minimum sanal geçiri değerlerinin (B_{max} ve B_{min}) arasında kaldığı sürece, gerilim " V_{ref} " değerinde regüle edilir. Ancak, normalde bir gerilim farkı vardır (genelde maksimum reaktif güç durumunda %1 ile %4 arasında olacak şekilde) ve bu yüzden V-A karakteristiği Şekil 1'de görüldüğü gibi eğimlidir[4].

-SVK regülasyon sınırlarında iken

$$(-B_{max} < B < B_{Lmax})$$

$$V = V_{ref} + X_s \cdot I \quad (1)$$

$$V = \frac{I}{B_{cmax}} \quad (2)$$

SVK tamamen kapasitif iken ($B=B_{cmax}$)

$$V = \frac{I}{B_{lmax}} \quad (3)$$

SVK tamamen endüktif iken ($B=B_{lmax}$)

V = Gerilimin pozitif bileşeni (p.u.)

I = Reaktif akım (p.u./ P_{base})

($I > 0$ olduğunda akım endüktif olur)

X_s = Eğim veya droop reactance (p.u./ P_{base})

B_{cmax} = Maximum kapasitif süseptans (p.u./ P_{base}) tüm tristör anahtarlamalı kapasitörler aktif, tristör anahtarlamalı reaktörler ile tristör kontrollü reaktörler devre dışı iken

B_{lmax} = Maximum endüktif süseptans (p.u./ P_{base}) tüm tristör anahtarlamalı reaktörler aktif veya tristör kontrollü reaktörler tam iletimde iken, tristör anahtarlamalı kapasitör devre dışı iken

P_{base} = 3 faz baz gücü

Modelde SVK paralel bağılı değişken sanal geçiri ile ifade edilmiştir, SVK'nın sanal geçirisi gerilim kontrolünü sağlamak için otomatik olarak adapte edilmektedir. Eşdeğer sanal geçiri, B_{eq} , ateşleme açısı tarafından belirlenir. Ateşleme açısı kapasitör geriliminin maksimum değerinin ateşleme anına göre gecikmesidir. Temel frekansta, akım harmonikleri yok sayılırsa[5,6];

$$B_{eq} = B_L(\alpha) + B_c \quad (4)$$

$$B_L(\alpha) = -\frac{1}{\omega L} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{\sin(2\alpha)}{\pi} \right), \quad B_c = \omega C \quad (5)$$

ve

$$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \quad (6)$$

Eğer SVK'nın gerçek güç tüketimi sıfır kabul edilirse (V: Bara geriliminin genliği);

$$P_{SVC} = 0$$

$$Q_{SVC} = -V^2 B_{SVC} \quad (7)$$

Baradaki reaktif güç talebi değiştikçe sanal geçiri yukarıda belirtilen limitler içinde kalmak şartıyla değişmektedir. Ancak, reaktif güç bara geriliminin karesinin bir fonksiyonu olduğu için voltaj düştüğünde üretilen reaktif güç de düşecektir. Tristör elemanlarının ateşleme açılarının kontrol edilmesi ile, SVK reaktif güç üretimi ya da tüketimi gerçekleştirebilir [7]. Böylelikle bara geriliminin sabit kalması sağlanır.

Dengesiz Yüklerin Benzetimi:

İncelediğimiz sistem 50 km uzunluğunda, 34.5 kV besleme voltajına sahip olan ve 3 fazlı "Hawk" tipinde iletkenler içeren bir sistemdir. Sistemin kısa devre gücü 200 MW olup sahip olduğu yük 10MW değerinde, güç faktörü 0.95 (endüktif) olan bir yüküdür. Oluşturulan sistemin şeması Şekil 2'de görülmektedir. Uzun dağıtım fiderlerinde iletkenlerin belirli aralıklarla çaprazlanmaması sonucu üç fazda farklı empedanslar gözlenmektedir. Benzetim

faaliyetleri her iki durum için de tekrarlanmıştır. Şekil 3'te sistemin dengeli yük altında iletken çaprazlaması yapılmamış ve kompanzasyon uygulanmamış durumu için elde edilen sonuçlar görülmektedir. Şekil 4'te SVK'nın eklenmesi sonucu gerilim profilindeki düzelme görülmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6 sırası ile dengeli yük altında uygun çaprazlama yapılmış, kompanzasyon uygulanmamış ve dengeli yük altında uygun çaprazlama yapılmış, SVK kullanılmış durumlar için sonuçları ifade etmektedir. Gerilimin genliğindeki düzelme rahatlıkla görülebilmektedir. Dengesiz yüklenen ve çaprazlama ya da kompanzasyonun kullanılmadığı sistem için sonuçlar Şekil 7'de hatlar gerilimi arasındaki fark en az 1kV olarak tespit edilmiş, aynı sistemde SVK kullanıldığında hatlar gerilimi arasındaki farklar 0.1kV'dan az olmuş ve ayrıca gerilim regülasyonu da gerçekleşmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 9 dengesiz yük altında uygun çaprazlama yapılmış fakat kompanzasyondan yoksun sistemin, Şekil 10 ise aynı durumda olup SVK'nın kullanıldığı sistemin sonuçlarını yansıtmaktadır. Şekil 8 ve Şekil 10 da SVK kullanımının gerilim regülasyonuna olumlu etkilerini göstermektedir. Akımlarda sıfır bileşen tamamen yok olmamaktadır.

SONUÇLAR

Uzun dağıtım hatları içeren zayıf baralarda, sıfır ve ters birleşen akımların yoğun olduğu dengesiz yüklerde güç kalitesi problemleri artmakta ve konvansiyonel sistemler ile çözülemez hale gelmektedir. Bu amaçla, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri(FACTS) çözümlerinden biri olan tristör kontrollü reaktör (TKR) tabanlı Statik VAr Kompanzatör(SVK) sisteminin uzun ve ağır yük koşullarında çalışan dağıtım fiderlerindeki çalışması EMTDC/PSCAD benzetim programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortak bağlantı noktasına şönt bağlı SVK sisteminin ürettiği reaktif güç ya da SVK empedansı ayarlanarak reaktif güç

akışı değiştirilmek sureti ile gerilim regülasyonu sağlanmaktadır. Benzetim çalışmaları ile değişik uzunlukta ve çeşitli yük koşullarında SVK sisteminin başarımlı incelenmiştir. Buna göre:

1- SVK Sistemleri dengesiz yük koşullarında gerilimleri dengeli hale getirerek limitler içerisinde tutmayı başarmaktadır.

2- Uzun hatlarda uygun çaprazlama yapılmadığı koşullarda dahi gerilimdeki ters bileşen SVK tarafından giderilebilmektedir. Bu işlem için SVK'nın gerilim regülasyonu modunda çalıştırılması ve kurulu gücünün yeterli olması gerekmektedir.

3- Ters bileşenin yok edilmesi için SVK yeterli olmaktadır. Akımdaki sıfır bileşenin yok edilmesi için ek önlemler alınması gerekebilir.

KAYNAKLAR

[1] Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliği, EPDK, Ocak 2009

[2] Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2010-2019), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı, Ekim 2010,

<http://www.teias.gov.tr/projeksiyon/KAPASITE%20PROJEKSIYONU%202010.pdf>

[3] K.Porate, K.L.Thakre, G.L.Bodhe "Voltage Stability Enhancement of Low Voltage Radial Distribution Network Using Static VAR Compensator: A Case Study", Wseas Trans. Power Syst., Volume 4, January 2009

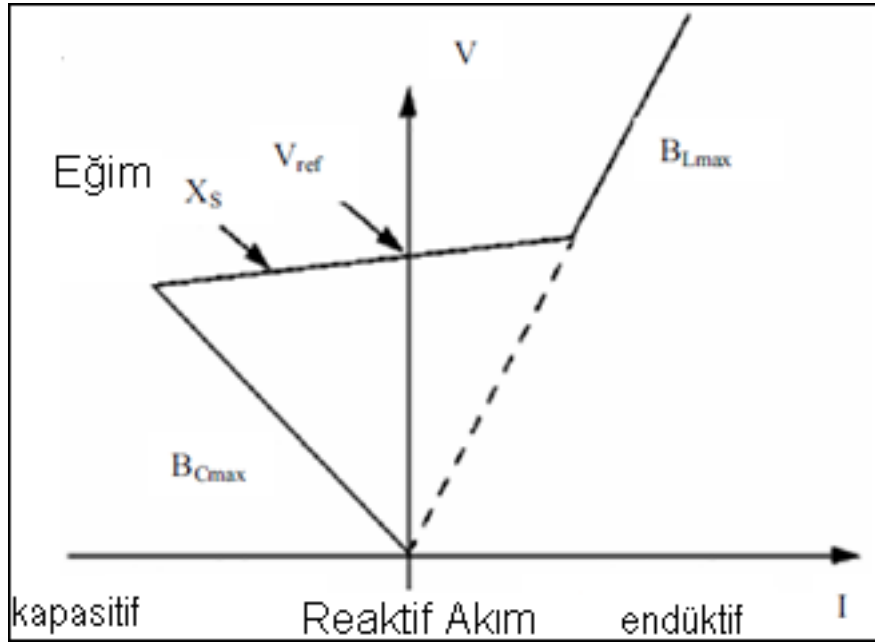
[4] N. Sabai, H. N. Maung, T. Win, "Voltage Control and Dynamic Performance of Power Transmission System Using Static Var Compensator", World Academy of Science, Engineering and Technology, 42, 2008,

[5] M. N. NWOHU, "Voltage Stability Improvement using Static Var Compensator in Power Systems", Leonardo Journal of Sciences, Issue 14, January-June 2009, p.167-172

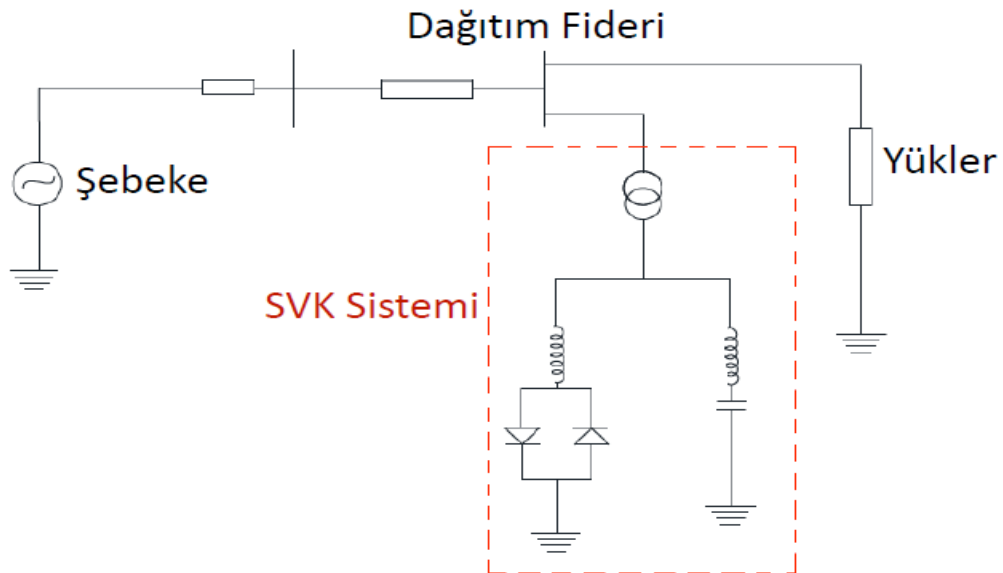
[6] T.J.E. Miller, "Reactive Power Control In Electric Systems", John Wiley&Sons, 1982.

[7] B. Mutluer, I. Çadırcı, M.Ermiş, A. Çetin, B. Gültekin, N. Özay, N. Köse, C. Ermiş, M. İnan, Ö.Ünver, V. Ünal, 'A Unified Relocatable SVC for

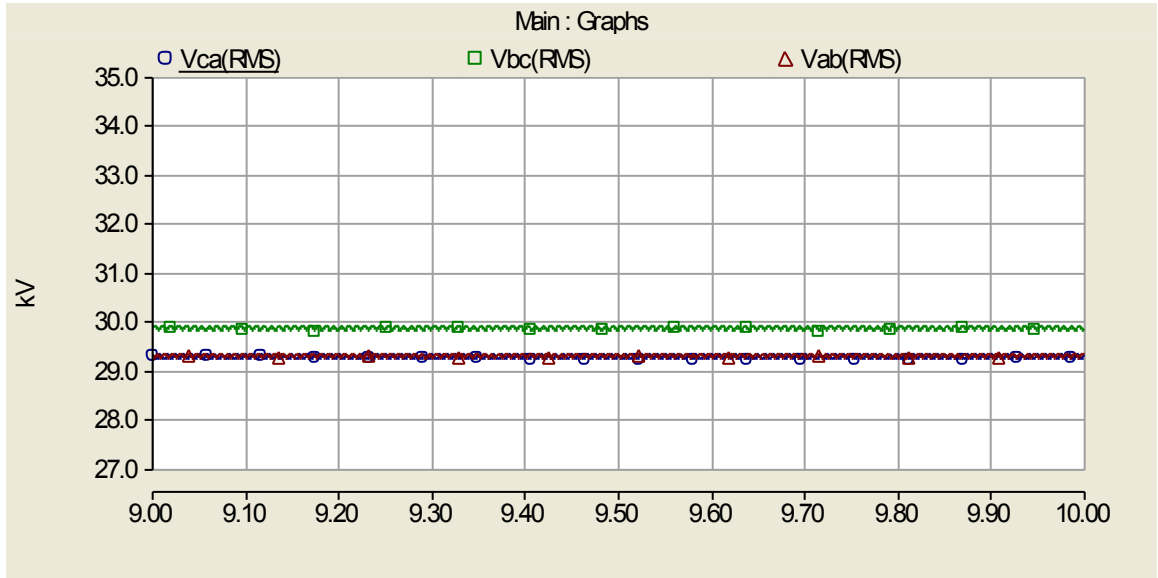
Open-Cast Lignite Mining in Turkey', IEEE Transactions on Industry Applications Vol. 40, no.2, March/April 2004, pp.650-663



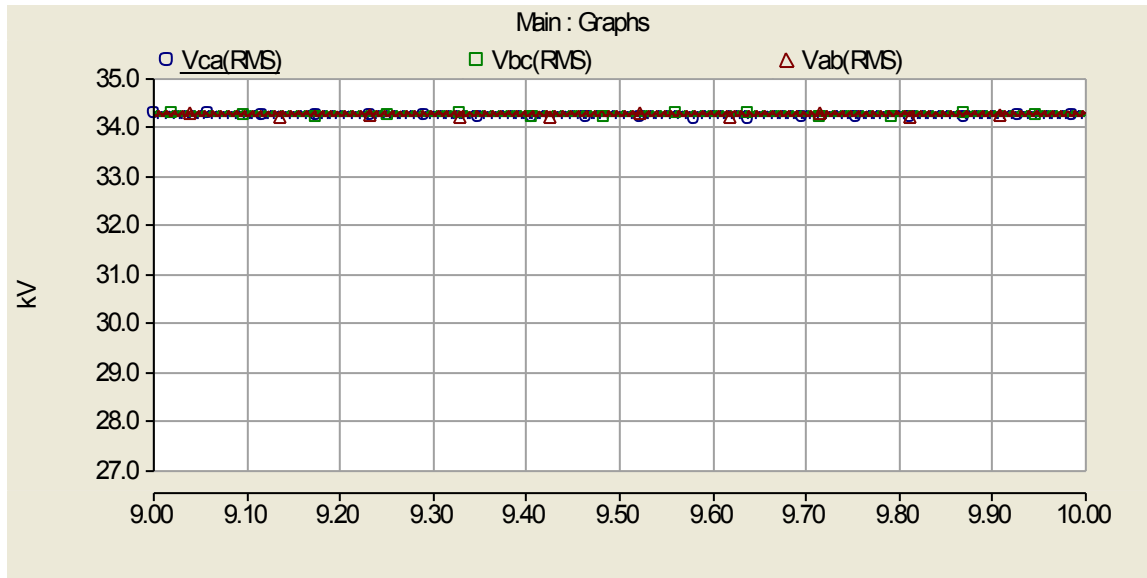
Şekil 1: SVK Gerilim-Akım karakteristiği



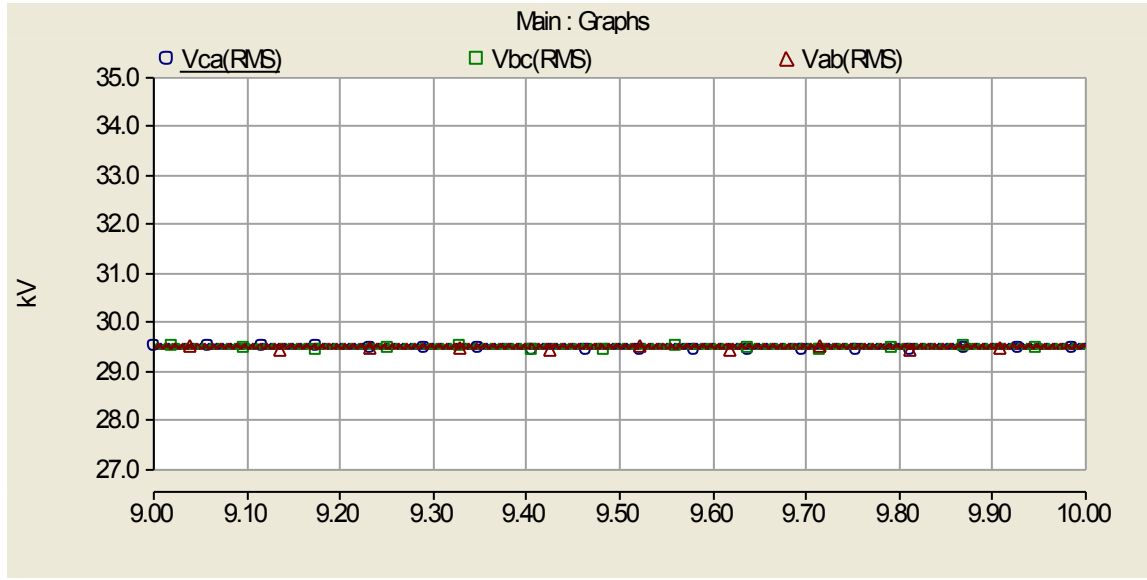
Şekil 2: Önerilen sistemin tek hat şeması



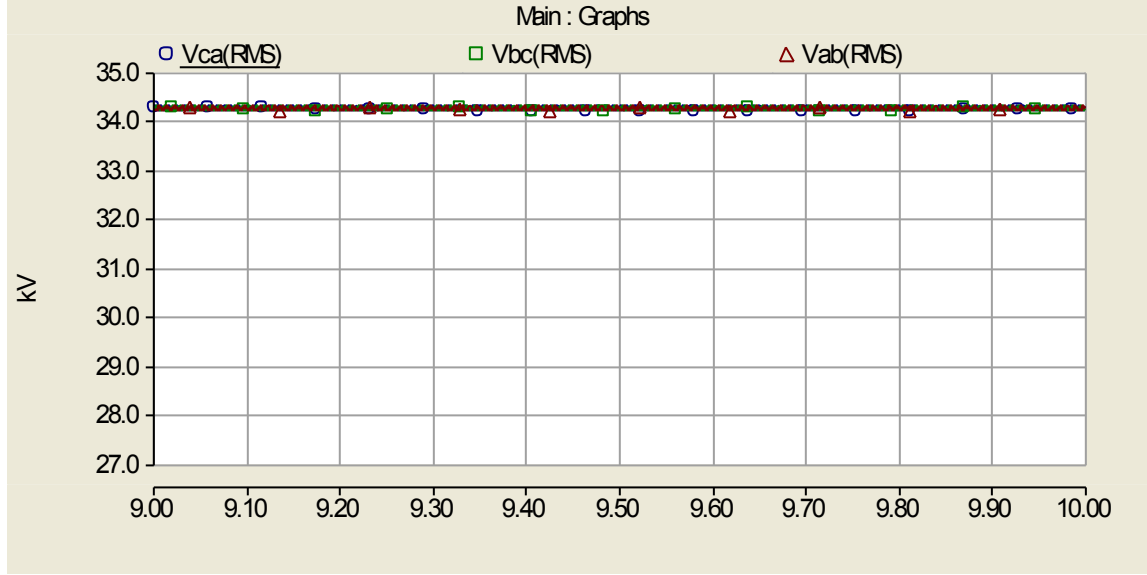
Şekil 3: Uygun çaprazlama yapılmamış uzun dağıtım fiderinin sonundaki gerilimlerin etkin değerleri



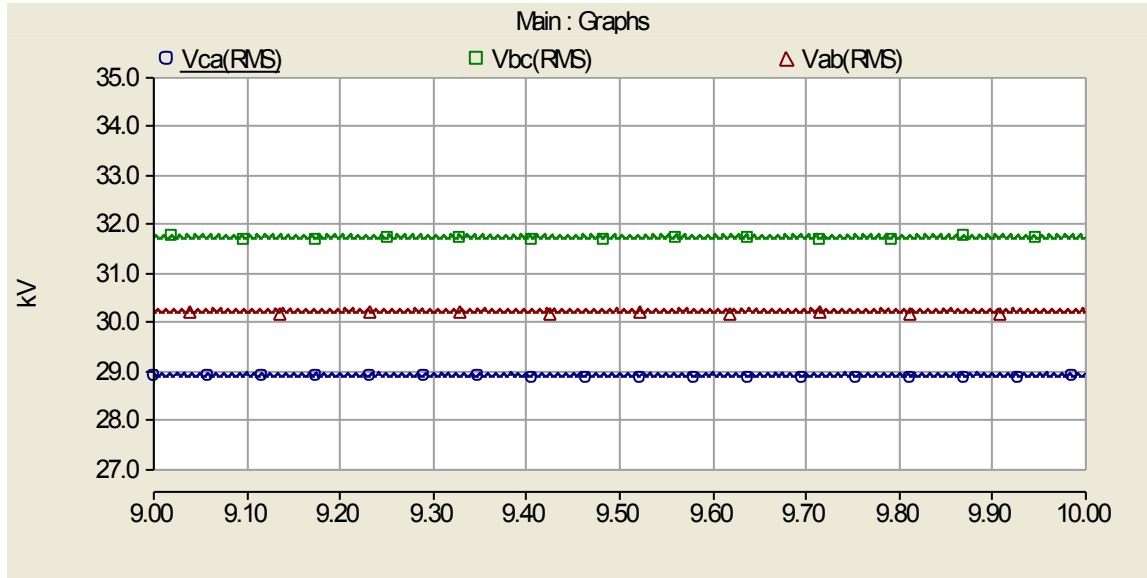
Şekil 4: Uygun çaprazlama yapılmamış uzun dağıtım fiderinin sonundaki gerilimlerin SVK kullanılarak düzeltildikten sonraki etkin değerleri



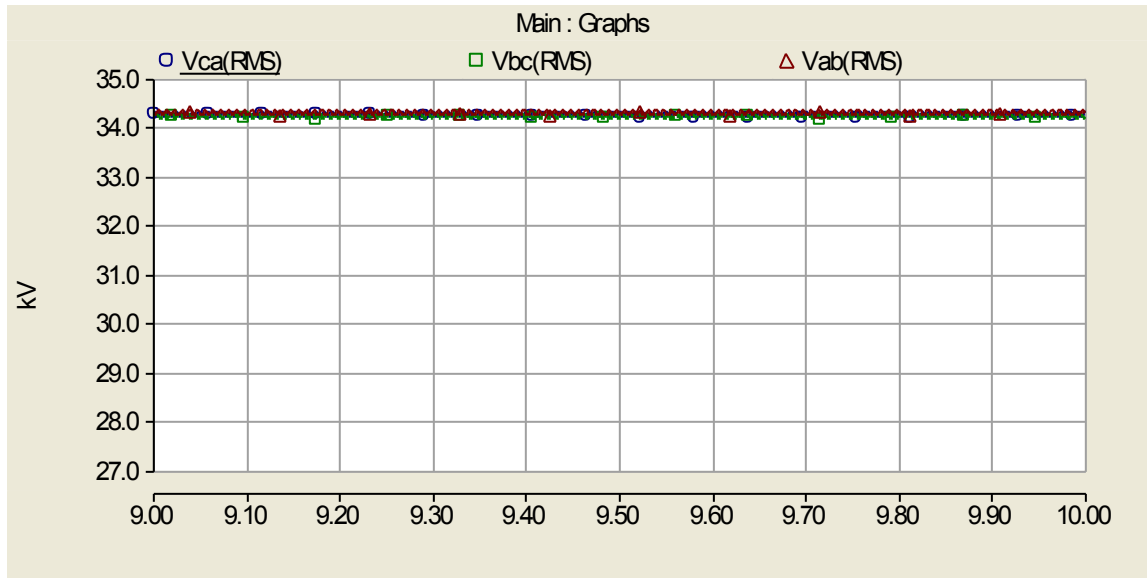
Şekil 5: Uygun çaprazlama yapılmış uzun dağıtım fiderinin sonundaki gerilimlerin etkin değerleri



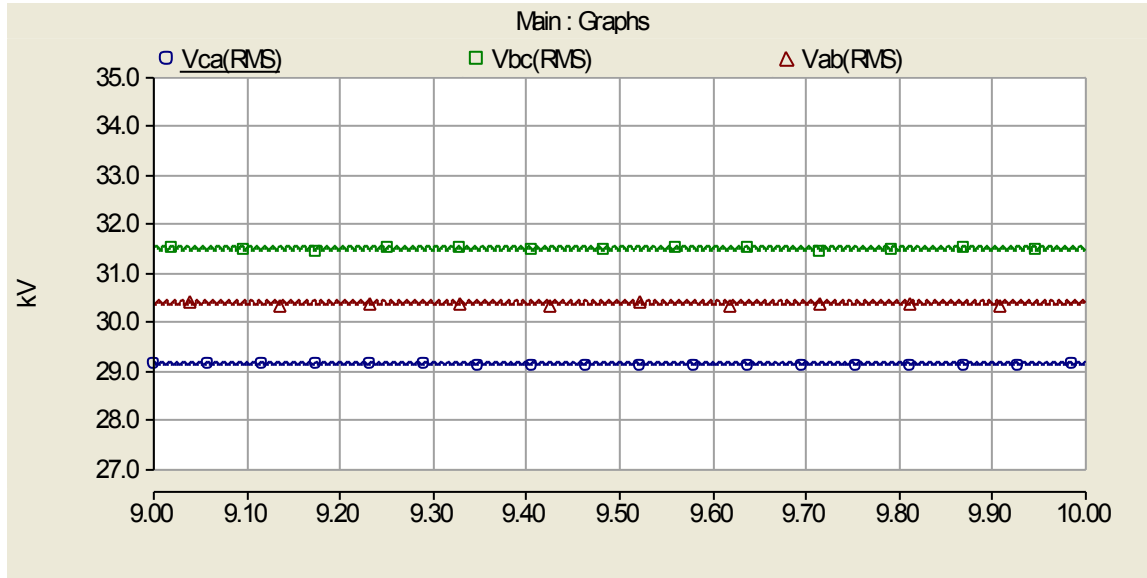
Şekil 6: Uygun çaprazlama yapılmış uzun dağıtım fiderinin sonundaki gerilimlerin SVK kullanılarak düzeltildikten sonraki etkin değerleri



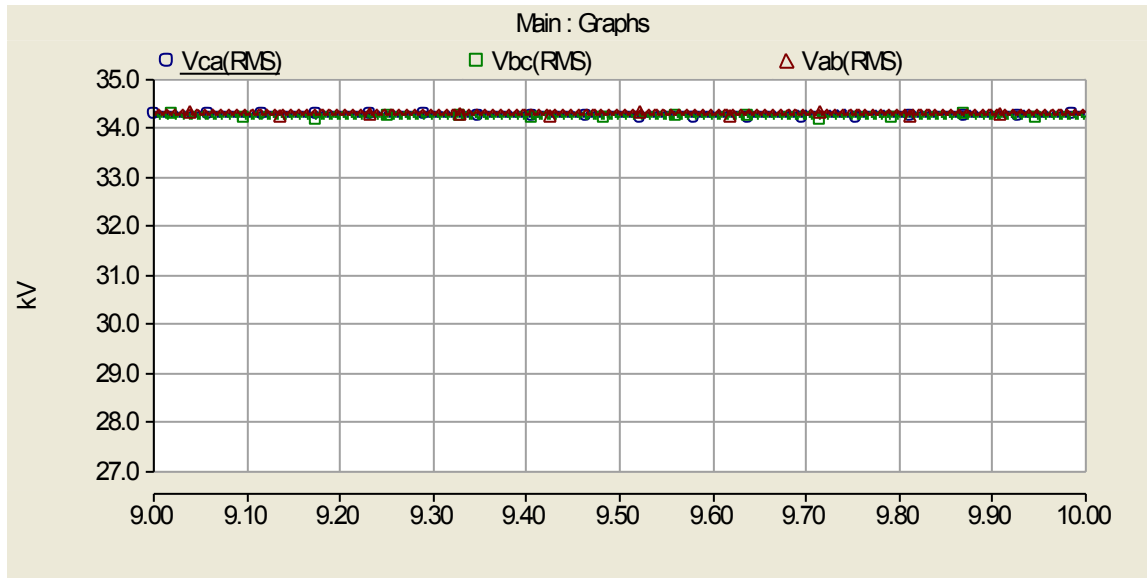
Şekil 7: Uygun çaprazlama yapılmamış ve dengesiz yüklenmiş uzun dağıtım fiderinin sonundaki gerilimlerin etkin değerleri



Şekil 8: Uygun çaprazlama yapılmamış ve dengesiz yüklenmiş uzun dağıtım fiderinin sonundaki gerilimlerin SVK kullanılarak düzeltildikten sonraki etkin değerleri



Şekil 9: Uygun çaprazlama yapılmış ve dengesiz yüklenmiş uzun dağıtım fiderinin sonundaki gerilimlerin etkin değerleri



Şekil 10: Uygun çaprazlama yapılmış ve dengesiz yüklenmiş uzun dağıtım fiderinin sonundaki gerilimlerin SVK kullanılarak düzeltildikten sonraki etkin değerleri