

TRİSTÖR KONTROLLÜ SERİ KOMPANZASYON METODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Mustafa BAYSAL

Celal KOCATEPE

Mehmet UZUNOĞLU

Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

Yıldız Teknik Üniversitesi, 34349, Beşiktaş, İstanbul

e-posta: baysal@yildiz.edu.tr

e-posta: kocatepe@yildiz.edu.tr

e-posta: uzunoglu@yildiz.edu.tr

Anahtar sözcükler: Seri Kompanzasyon, Tristör, ASC, TCRSC, SIMULINK

ÖZET

Bu çalışmada tristör kontrollü iki farklı seri kompanzasyon yönteminin çeşitli kriterlere göre genel bir karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı zamanda bu devrelerin çalışma prensipleri ile akım ve gerilim dalga şekilleri incelenmiştir. Gelişmiş Seri Kompanzasyon (ASC) ve Seri Kapasitörlü Tristör Kontrollü Reaktör (TCRSC) devreleri, bilgisayar ortamında Matlab SIMULINK programı kullanılarak kompanzasyon aralığı, iletilen güç ve toplam harmonik distorsiyonu (THD) kriterlerine göre incelenerek bir karşılaştırma yapılmıştır.

1. GİRİŞ

Uygarlığın gelişmesine bağlı olarak, elektrik enerjisine olan gereksinim gün geçtikçe artmaktadır. Ekonomik ve çevresel sebeplerden dolayı yeni hat inşasındaki kısıtlamalar nedeniyle iletim hatlarının güç transferindeki kapasitelerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji iletim sistemlerinde güç kapasitesini artırmanın en etkili yollarından biri seri kompanzasyondur.

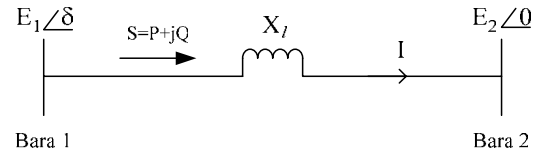
İletim hatlarında seri kompanzasyonun yararları ve uygulanması uzun yıllardır bilinmektedir. Elli yıldan daha fazla bir süre önce uzun iletim hatlarında ilk seri kompanzasyon sistemi önerilmiştir [1]. Anahtarlamalı seri kapasitörlerin kullanılması ile sistemin kararlılığının artırıldığı gösterilmiştir [2]. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucu 1980'lerde Gelişmiş Seri Kompanzasyon (ASC) olarak adlandırılan, ayarlanabilen ilk seri kompanzasyon devresi önerilmiştir [3]. Önerilen bu devre tristör kontrollü bir endüktans ve paralel bağlı bir kapasitörden oluşmaktadır. Sonraki yıllarda ASC ile ilgili çok sayıda detaylı çalışma yapılmıştır. Örneğin Kaynak [4]'de ASC devresinin çeşitli yönlerden ayrıntılı analizi ile ilgili çalışma yapılmıştır. ASC uygulamaları çok sık kullanılmasına rağmen bazı yönlerden eksikliklerinin olması seri kompanzasyonda uygulanmak üzere Seri Kapasitörlü Tristör Kontrollü Reaktörün (TCRSC) alternatif olarak önerilmesine neden olmuştur [5].

Literatürde tristör kontrollü seri kompanzasyon devrelerin ayrıntılı analizleri yapılmasına rağmen genel bir karşılaştırma yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı iki farklı tristör kontrollü seri kompanzasyon devresini, (ASC ve TCRSC), kompanzasyon aralığı, iletilen güç ve toplam harmonik distorsiyonu (THD) açısından kıyaslamaktır.

2. SERİ KOMPANZASYON

Günümüzde kullanılan elektrik enerjisinin neredeyse tamamı üç fazlı alternatif akım şeklinde üretilmekte ve yüksek gerilim iletim sistemleriyle iletilmektedir. Ekonomik sebeplerden dolayı üretim ve tüketim merkezleri birbirinden çok farklı yerlerde ve bu merkezleri birbirine bağlamak için çok sayıda iletim hattı mevcuttur [6].

Taşıma hatlarında iletilen güç miktarını bulmak için güç akış yönteminden yararlanılır. Şekil-1'de iki baralı bir iletim sistemi görülmektedir.



Şekil-1. İki Baralı İletim Sistemi

Hattın kayıpsız olduğu ve baralardaki gerilimlerin sabit olduğu kabul edilirse hattan akan akım değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$I = \frac{E_1 \angle \delta - E_2}{jX_l} \quad (1)$$

$$I = \frac{E_1 \cdot \sin \delta - E_2}{X_l} + j \left(\frac{E_2 - E_1 \cdot \cos \delta}{X_l} \right) \quad (2)$$

(2) bağıntısı yardımıyla 2. baradaki aktif ve reaktif güçler aşağıdaki gibi elde edilir:

$$S = E_2 \cdot I^* \quad (3)$$

$$S = \frac{E_1 \cdot E_2 \cdot \sin \delta}{X_l} + j \left(\frac{E_1 \cdot E_2 \cdot \cos \delta - E_2^2}{X_l} \right) \quad (4)$$

$$P = \frac{E_1 \cdot E_2 \cdot \sin \delta}{X_l} \quad (5)$$

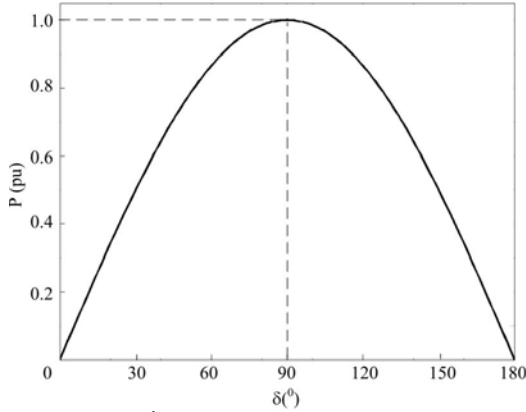
$$Q = \frac{E_1 \cdot E_2 \cdot \cos \delta - E_2^2}{X_l} \quad (6)$$

Burada,

X_l = Hattın endüktif reaktansı

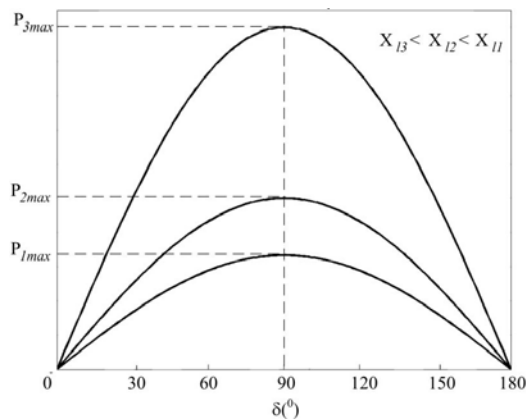
δ = İki bara gerilimi arasındaki güç açısı

P gücünün δ açısına göre değişimi Şekil-2’de gösterilmiştir.



Şekil-2. İletim Hattının Güç-Açı Eğrisi

Bağıntı (5)’den de görüldüğü gibi bara gerilimleri yükseltilecek, güç açısı artırılarak veya hattın endüktansı azaltılarak iletim hattı üzerinden iletilen aktif güç P artırılabilir. Ancak gerilim değerini arttırmak pratik açıdan zordur. Güç açısı ise kararlılık sorunu nedeniyle belli bir değerden fazla yükseltilememektedir. Bu nedenle iletilen gücü arttırmak için en iyi yol hattın reaktansını azaltmaktır. İletim hattının endüktif karakteristikli reaktansını azaltmak için seri kompanzasyon yöntemi kullanılır. Şekil-3 farklı hat reaktansları için iletilen gücün açığa göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil-3. Hattının Reaktansına Bağlı Güç-Açı Eğrisi

Seri kompanzasyon sadece iletilen güç miktarını arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda belli bir güç iletim değeri için δ açısını azaltacağından sistemin

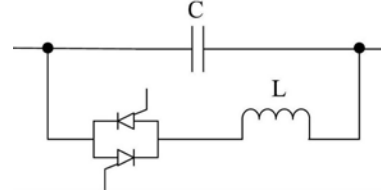
geçici ve sürekli hal kararlılıklarını da arttıracaktır [7].

3. SİSTEMİN YAPISI

Bu çalışmada gelişmiş seri kompanzasyon devresi ve seri kapasitörlü tristör kontrollü reaktör devreleri incelenmiş ve çeşitli kriterlere göre kıyaslanmıştır. Ortalama kompanzasyon seviyesini düzenlemek için parametre olarak tristörlerin tetikleme açısı (α) kullanılmıştır.

a) Gelişmiş Seri Kompanzasyon (ASC)

Ters paralel tristörler ile seri bağlı bir endüktans grubunun bir kapasitör ile paralel bağlanmasından oluşan Gelişmiş Seri Kompanzasyon (ASC) devresi Şekil-4’de gösterilmiştir.



Şekil-4. Gelişmiş Seri Kompanzasyon Devresi

Hat akımının sıfır geçişi referans alınarak tristörler tetikleme açısı α kadar bir gecikme ile iletme sokulur. Tristörlerin iletme sokulması kapasitörler ile paralel bağlı bir endüktans devresi meydana getirir. Meydana gelen paralel L-C devresinin α açısının fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi elde edilir.

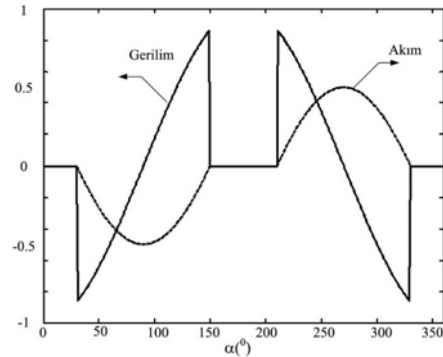
$$X(\alpha) = \frac{\pi \cdot X_L}{(\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha) - \frac{\pi \cdot X_L}{X_C}} \quad (7)$$

Burada,

X_L = Endüktansın reaktansı

X_C = Kapasitörün reaktansını belirtmektedir.

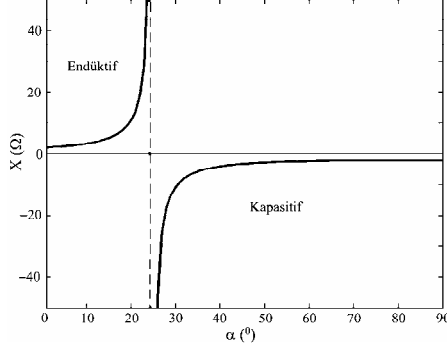
Sürekli halde α açısına bağlı olarak ASC devresinin endüktansına ait akım-gerilim dalga değişimi Şekil-5’de gösterilmiştir.



Şekil -5. ASC Devresinin Endüktansına Ait Akım-Gerilim Değişimi

$X_L / X_C = 1/2$ için ASC devresinin $X(\alpha)$ empedansı Şekil-6’da görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi belli bir α değerinin yakınında empedans

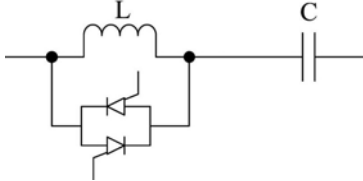
sonsuz kapasitif veya endüktif değerler almaktadır. Tetikleme açısındaki çok küçük bir değişikliğin hat akımında büyük salınımlara yol açtığı bu bölgede (quasi rezonans bölgesi) çalışılmak istenmediği için tetikleme açısının kontrolünde bu durum göz önüne alınmalıdır.



Şekil-6. ASC Devresinin Açılı-Empedans Eğrisi

b) Seri Kapasitörlü Tristör Kontrollü Reaktör (TCRSC)

Bir endüktansa paralel bağlı ters paralel tristörlerin oluşturduğu kombinasyonun bir kapasitöre seri bağlanması ile meydana gelen seri kapasitörlü tristör kontrollü reaktör devresi Şekil-7'de görülmektedir.



Şekil-7. Seri Kapasitörlü Tristör Kontrollü Reaktör

Tristörlerin hat akımının sıfır geçiş noktasını referans alan α tetikleme açısında iletme sokulmasından önce hat akımı endüktans içerisinde geçmektedir. Tristörler anahtarlendiğinde endüktans kısa devre olur. Endüktans üzerindeki gerilim sıfır olduğundan içerisinde geçen akım sabit ve hat akımı ile endüktans akımı arasındaki fark tristörden geçer. Endüktans ve tristörlerin oluşturduğu Tristör Kontrollü Reaktör (TCR) devresinin α açısına göre eşdeğer reaktansı aşağıdaki gibi hesaplanır.

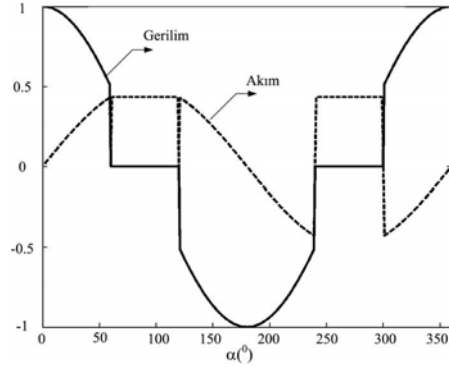
$$X_L(\alpha) = X_L \frac{2\alpha + \sin 2\alpha}{\pi} \quad (8)$$

TCR ile kapasitörün seri bağlanmasından oluşan TCRSC devresine ait eşdeğer reaktans $X(\alpha)$ şöyledir:

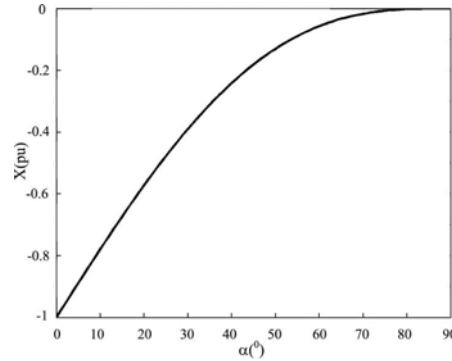
$$X(\alpha) = X_L \frac{2\alpha + \sin 2\alpha}{\pi} - X_C \quad (9)$$

Sürekli hal durumu için α açısına bağlı olarak TCRSC devresinin endüktansına ait akım-gerilim değişimi Şekil-8'de gösterilmiştir.

$X_L = X_C$ için Bağıntı (9)'a ait değişim Şekil-9'da görülmektedir.



Şekil-8. TCRSC Devresinin Endüktansına Ait Akım-Gerilim Eğrisi

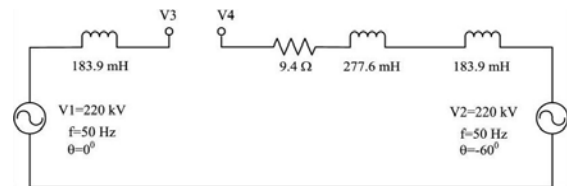


Şekil-9. TCRSC Devresinin Empedans Değişimi

Şekil-9'dan görüldüğü gibi α açısı kontrol edilerek eşdeğer reaktans $0 < X(\alpha) < X_C$ arasındaki kapasitif bölgede kesintisiz olarak ayarlanabilmektedir.

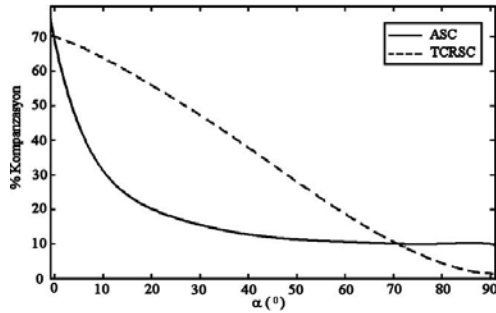
4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Gelişmiş Seri Kompanzasyon (ASC) ve Seri Kapasitörlü Tristör Kontrollü Reaktör (TCRSC) devrelerinin karakteristiklerini kıyaslamak için Matlab SIMULINK simülasyon programında bir iletim hattı modellenmiştir. Simülasyonda kullanılan Gölbaşı iletim hattı 271 km uzununda, kısa devre gücü 2500 MVA ve aralarında 60° faz farkı olan 380 kV'luk iki generatör grubu olarak modellenmiştir. İletim hattının parametreleri 8 nolu referansdan alınmıştır. Hattın admitansları meydana gelebilecek osilasyonları önlemek için ihmal edilmiştir. İletim hattının tek faz eşdeğer devresi ve parametre değerleri Şekil-10'da gösterilmiştir. Simülasyonda her bir kompanzasyon devresi V3 ve V4 uçları arasında yerleştirilmiştir. Devrelere ait maksimum kompanzasyon oranları %70 olarak kabul edilmiştir.



Şekil-10. İletim Hattının Tek Faz Eşdeğer Devresi

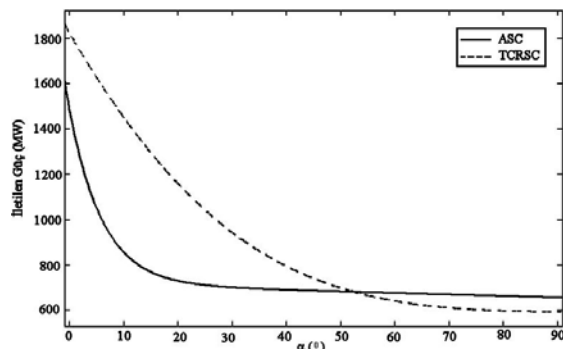
Şekil-11'de ASC ve TCRSC devrelerine ait kompanzasyon oranı değişimleri gösterilmiştir.



Şekil -11. Kompanzasyon Oranı Değişimleri

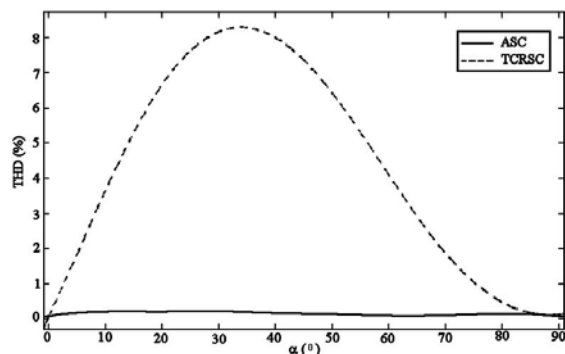
Şekil-11'den görüldüğü gibi ASC devresine ait kompanzasyon değişimi 0-30° arasında yaklaşık doğrusal iken TCRSC devresine ait değişim ise 0-90° arasında doğrusaldır. Yani TCRSC tipi devre ile istenilen kompanzasyon seviyesi kolay bir şekilde elde edilebilmektedir.

İletim hattının alıcı ucuna aktarılan aktif güç miktarının iletim açısına göre değişimi Şekil-12'de görülmektedir. Eğrilere bakıldığında ASC ve TCRSC devreleri için doğrusal değişimin sırasıyla 0-10° ve 0-60° arasında olduğu görülmektedir. ASC devresinin iletilen güç miktarını düzenleme açısından zayıf olduğu görülmektedir.



Şekil -12. İletilen Güç Değerlerine Ait Değişimler

İletim hattındaki akımın THD değişimleri Şekil-13'de görülmektedir. Şekilden de açıkça görülmektedir ki TCRSC devresi THD açısından çok kötü bir performansa sahiptir.



Şekil -13. Hat Akımına Ait THD Değişimleri

Simülasyondan elde edilen sonuçlar dikkate alındığında iletilen güç miktarı ve kompanzasyon kontrolü açısından TCRS üstün performansa sahip iken, harmonik bozulma açısından ise ASC çok daha iyidir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada iletim hatlarının iyileştirilmesi için kullanılan tristör kontrollü seri kompanzasyon metodlarından olan ASC ve TCRSC devrelerinin çalışma prensipleri açıklanmıştır. Devrelerin performansını kıyaslamak amacıyla kompanzasyon aralığı, iletilen güç miktarı ve THD kriterleri dikkate alınmıştır. Bu amaçla Türkiye'de bulunan bir uzun iletim hattı Matlab SIMULINK programı ile modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde:

- Kompanzasyon oranı ayar imkanının kolaylığı açısından TCRSC sisteminin, daha uygun olduğu ve değişimin daha geniş bir aralıkta yapılabildiği,
- İletilen gücün kontrol edilebilirliğine göre yine TCRSC sisteminin daha üstün olduğu,
- Hat akımına ait toplam harmonik distorsiyonu açısından ASC sisteminin daha iyi sonuç verdiği, akımda çok küçük bozulmalara neden olduğu, tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] G. Janchke, K.F. Akerstrom, The Series Capacitor with Special Reference to Its Application in Swedish 220 kV Network, CIGRE, Report 332, 1950 Paris.
- [2] E.W. Kimbark, Improvement of System Stability by Switched Series Capacitors, IEEE TRANS.PSA-85,pp.180-188, Feb.1966
- [3] J.J. Vithayathil, C.W. Taylor, M. Klinger, W.A. Mittelsad, Case Studies of Conventional and Novel Methods of Reactive Power Control on an AC Transmission System, INT. CONF. ON LARGE HIGH VOLTAGE ELECTRIC SYSTEMS(CIGRE),Report38-02,Aug. 1986
- [4] S.G. Helbing, G.G. Karady, Investigations of an Advanced Form of Series Compensation, IEEE TRAN. POWER DELIVERY, vol.9,No.2,pp.939-947, Apr.1994
- [5] P. Parihar, G.G. Karady, Characterization of a Thyristor Controlled Reactor, ELECTRIC POWER SYSTEMS RESEARCH, 41, pp. 141-149, 1997.
- [6] N.G. Hingorani, L. Gyugyi, Understanding FACTS,IEEE Press, 2000
- [7] T.J.E. Miller, Reactive Power Control in Electrical Systems,Wiley-InterScience, 1982
- [8] TEİAŞ, Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların, Trafoların ve Generatörlerin Elektriki Karakteristikleri, SA-2004/1