

# TRİSTÖR KONTROLLÜ SERİ KAPASİTÖR KULLANILARAK DEĞİŞKEN YÜKLÜ GÜÇ SİSTEMLERİNDE GERİLİMİ KONTROLÜ

Ulaş EMİNOĞLU

Tankut YALÇINÖZ

Saadetdin HERDEM

Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,

Niğde 51200 / Türkiye

e-posta:ulas41@hotmail.com

tyalcinoz@nigde.edu.tr

sherdem@nigde.edu.tr

Anahtar sözcükler:FACTS, TCR, TCSC, Seri Kompanzasyon,, Enerji İletim Sistemleri

## ÖZET

Bu çalışmada Tristör Kontrollü Reaktör (TCR) temelli FACTS cihazlarından Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC) ile güç sistemlerinde hat empedansının kontrol edilmesi durumunda sistem gerilimine olan etkisi incelenmiştir. Sistem geriliminden bağımsız anahtarlama ile zamanla basaklı olarak değişen simetrik yük modeli Matlab/Simulink programı kullanılarak oluşturulmuştur. Endüktif karakterli dağıtık parametrelili iki baralı bir iletim hattında TCSC ile hat empedansı kompanze edilmiş ve yük (hat sonu) geriliminin değişimi kompanzasyonsuz durum ile birlikte verilmiştir. Yapılan kontrolde TCSC'nin gerilim kararlılığı ve anahtarlama ile sisteme aktarılan harmonik bileşenlerin az olduğu gözlenmiştir.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde güç sistemleri oldukça karmaşık yapıya sahip olup binlerce bara ve yüzlerce generatörden oluşabilmektedir. Değişen enerji talebine bağlı olarak bu sistemlerde kontrol edilebilirlik ve sistem kapasitesinin artırılması ile birlikte güç sistemlerinde hızlı güç akışı kontrolü sistem güvenliği ve yük açısından son derece önemlidir. Yük değişimi sistem geriliminin değişimine, iletim hatlarının aşırı yüklenmesine ve sistemde dengesiz yük akışına neden olabilmektedir [1].

FACTS (Esnek AC İletim Sistemleri) teknolojisini yüksek akım ve gerilim kapasitesine sahip güç elektroniği elemanları kullanılarak geliştirilmiş olup hat empedansı kontrolü, faz açısı kontrolü ve reaktif güç kompanzasyonu yapılarak güç sistemlerinde gerilim/akım kontrolüne imkan sağlamaktadır.

FACTS cihazları Tristör Kontrollü Reaktör temelli Statik VAR Kompanzator (SVC), Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC) ve invertör temelli Statik Kompanzator (Statcom), Statik Senkron Seri Kapasitör (SSSC), Faz kaydırıcısı (TCPAR), Birleşik Güç Akışı Kontrolörü (UPFC) olmak üzere iki ana guruba ayrılmaktadır [2,3].

Tristör Kontrollü Seri Kapasitör güç sistemlerinde faz açısı kararlılığının artırılması ve alt senkronizasyon rezonansının azaltılması, hat empedansının kontrolü ile iletim hatlarında gerilim düşümünün kontrolü ve hattın güç transferi kapasitesinin artırılması gibi bir çok uygulamalarda kullanılmaktadır [4,5].

Bu çalışmada iki kaynak ve endüktif yükten oluşan iki baralı güç sisteminde TCSC kullanılarak hattın endüktif empedansı belirli limitlerde kontrol edilmesi sonucunda yük (hat sonu) gerilimi kontrol edilmiştir. Matlab/Simulink programı kullanılarak 34.5 kV'lık dağıtık parametrelili 70 km uzunluğunda ki bir iletim hattında belirli adımlarla kademeli (basamaklı) olarak değişen endüktif yüklü bir güç sistemi oluşturulmuştur. Basamak şeklinde simetrik olarak değişen yük modeli, güçleri birbirinden farklı 5 adet statik yükün anahtarlama ile devreye alınıp çıkartılmasıyla elde edilmiştir. Kullanılan bütün yükler için reaktif güç endüktif olarak alınmıştır. Yük akımı ve geriliminin kompanzasyonsuz ve kompanzasyonlu durumlar için değişimi karşılaştırılarak verilmiştir.

## 2. TRİSTÖR KONTROLLÜ SERİ KAPASİTÖR (TCSC)

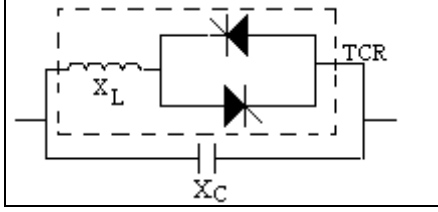
Seri kompanzasyon yapılarak hat empedansının kontrolü ile gerilim büyüklüğü, faz açısı ve hat akımının kontrolünün yanısıra güç faktörünün ve güç transferinin artırılması da mümkündür [7]. Hat kapasitansı ve direncinin ihmal edilmesi durumunda hattan aktarılan aktif ve reaktif güç,

$$P = \frac{V_s V_r}{X_L} \sin \delta \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{X_L} (V_s V_r \cos \delta - V_s^2) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $V_s$ ,  $V_r$  sırasıyla hattın başlangıç ve hat sonu gerilimlerinin etkin değeri,  $X_L$  hattın endüktif reaktansı ve  $\delta$  gerilimler arasındaki faz farkıdır.

Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC) güç sistemine seri olarak bağlanmaktadır. TCSC'nin endüktif veya kapasitif olarak çalıştırılması ile hat empedansının geniş aralıkta kontrolü yapılmaktadır. TCSC, TCR ve buna paralel bir kondansatörden oluşur. TCSC'ye ait temel devre şeması Şekil-1'de verilmiştir.

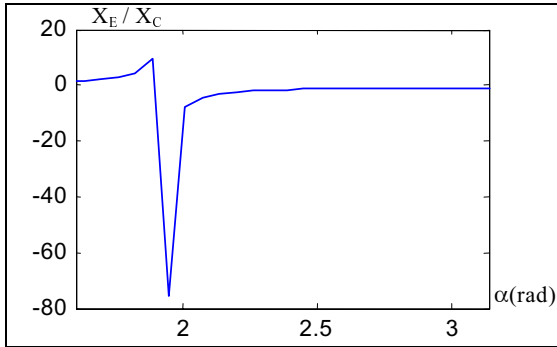


Şekil 1. TCSC devre şeması

Tristörler simetrik olarak  $90^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında tetiklenerek TCSC reaktansı  $X_L$  ile  $X_C$  arasında değiştirilmektedir. TCR reaktansının kondansatör reaktansından büyük değerleri için TCSC kapasitif, küçük değerlerinde ise TCSC endüktif olarak çalışmaktadır. Eşit olması durumunda paralel rezonans oluşmakta, TCSC akımı sıfır olmaktadır. Rezonans durumu  $X_C/X_L$  oranına bağlı olup bu oran TCSC'nin endüktif ve kapasitif olarak çalışma aralığına bağlı olarak değişmektedir. TCSC eşdeğer reaktansı TCR reaktansı ile Kapasitör reaktansının paralel eşdeğerinden elde edilir

$$X_E = X_C \frac{\pi / r_x}{\sin 2\alpha - 2\alpha + \pi(2 - 1/r_x)} \quad (3)$$

Burada  $r_x = X_c/X_L$  ye eşit olup kompanzatorün endüktif ve kapasitif çalışma aralığına göre belirlenir [8]. Rezonans tetikleme açısında TCSC empedansı sonsuz olmaktadır. Bu çalışmada TCSC kapasitif olarak çalıştırıldığından  $X_C/X_L=1.68$  olarak alınmıştır. Bu oran için rezonans tetikleme açısı  $\sigma_{rez}=112^\circ$  olup eşdeğer reaktansının tetikleme açısına göre değişimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. TCSC eşdeğer reaktansının tetikleme açısına göre değişimi

TCSC tasarımında kapasitif TCSC reaktansı minimum olarak kapasitör reaktansına, maksimum olarak %100'lük hat kompanzasyonu için hattın seri eşdeğer reaktansına eşit değerde alınır. Tasarımda

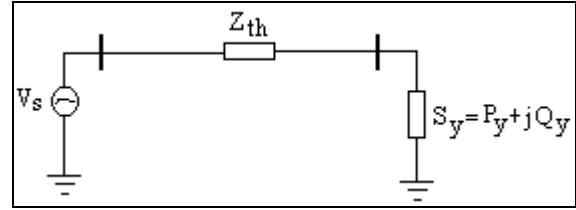
hat reaktansı kompanzatorün maksimum kapasitif reaktansı olarak alınır.

$$X_{E_{max}} = X_{Hat} \quad (4)$$

TCSC'nin kapasitif çalışma aralığı için eşdeğer reaktans karakteristiğinden  $X_C$  değeri belirlenerek  $X_C/X_L$  oranından TCR endüktansının değeri belirlenir. Bu çalışmada hat empedansı maksimum olarak %120 oranında kompanze edildiğinden  $X_{E_{max}}=1.2X_{Hat}$  olarak alınmıştır.

### 3. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Kaynak gerilimi 34.5 kV'olan dağınık parametrelili 70 km'lik iki baralı sistemde hattın eşdeğer reaktansı  $X_{th}=21.2\Omega$  ve  $R_{th}=0.9\Omega$  olup hat kapasitansı ihmal edilmiştir. TCSC ile hattın endüktif reaktansı maksimum %120 oranında kompanze edilerek yü (hat sonu) gerilimi kontrol edilmiştir. Tetikleme açısı  $150^\circ \leq \alpha_{TCSC} \leq 180^\circ$  sınırlarında tutularak TCSC'nin kapasitif reaktansı  $21.2 \leq X_{TCSC} \leq 25.4$  aralığında kontrol edilmiştir. Kompanzasyonsuz durum için sistemin tek faz devre şeması Şekil 3'te verilmiştir.

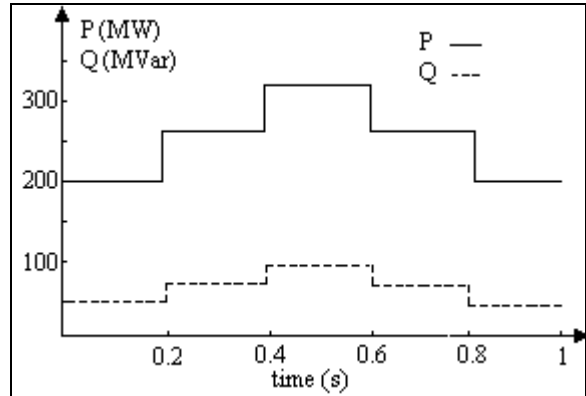


Şekil 3. Güç sisteminin tek fazı için devre şeması

Hattın sonuna bağlanan yük için toplam aktif ve reaktif gücün belirli zaman aralıklarındaki değerleri Tablo 1'de ve grafiksel olarak değişimi Şekil 4'de verilmiştir.

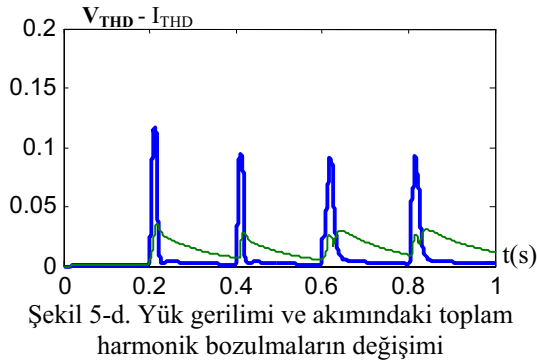
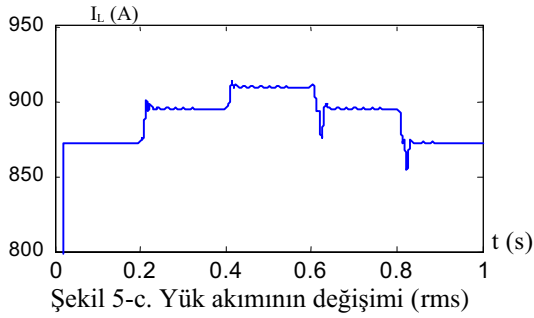
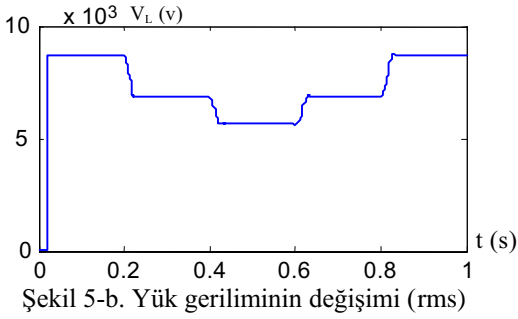
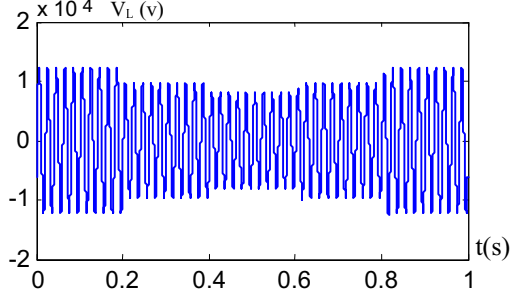
Tablo 1. Aktif ve reaktif gücün değişimi

Güç/Zaman(s)	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
P (MW)	200	260	320	260	200
Q (MVar)	50	70	90	70	50



Şekil 4. Aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi

Sistemde kontrolün yapılmadığı durum için hat sonu (yük) geriliminin tek fazının değişimi, etkin değerinin değişimi, hat sonu akımının etkin değerinin değişimi, gerilim ve akımdaki toplam harmonik bozulmalar sırasıyla Şekil 5'de verilmiştir.



Sistemdeki Aktif ve reaktif güçteki artış hat akımının, hat üzerindeki gerilim düşümünün ve hattaki aktif ve reaktif güç kayıplarının artmasına neden olmaktadır. TCSC ile hat empedansının kontrol edilmesi durumunda elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 6 da kontrol devresinin tek fazına ait devre şeması Şekil 7'de verilmiştir.

