

# AÇ-KAPA KONTROLLÜ FACTS CİHAZLARI İLE YÜK KOMPANZASYONU

Ayetül KARA<sup>1</sup>

Tankut YALÇINÖZ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Niğde Üniversitesi, 51245, Niğde

<sup>1</sup> e-posta: ayetulkara@nigde.edu.tr <sup>2</sup> e-posta: tyalcinoz@nigde.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Kompanzasyon, FACTS, AÇ-KAPA Kontrol, Gerilim Regülasyonu, Matlab/Simulink*

## ABSTRACT

*Flexible AC Transmission System (FACTS), that is the use of power electronics, is a very attractive research area of power engineers in the last decade. FACTS devices are used for compensation and voltage stability. In this paper, ON-OFF controlled FACTS devices, which are Thyristor Switched Capacitor (TSC) and Thyristor Switched Reactor (TSR) are investigated theoretically and experimentally. Firstly, the behaviors of TSC and TSR are simulated for controlling RL load voltage at the end of two buses with a long transmission line in Matlab/Simulink environment. Then, this simulated system is realized by means of an experimental set. In this study; the optimum load compensation has been obtained by using of TSC and TSR.*

## 1. GİRİŞ

Büyüyen ve karmaşıklaşan elektrik sistemlerinin üretim, iletim ve dağıtım kapasitelerinin artırılması, reaktif güç akışının neden olduğu kayıpların en alt düzeye indirilmesi ve kullanıma sunulan elektrik enerjisinin daha kaliteli hale getirilmesi amaçlarıyla reaktif güç kompanzasyonu gün geçtikçe daha yaygın bir biçimde uygulanmaktadır [1].

Son yıllarda tristör denetimli reaktif güç kompanzasyonu düzenekleri hem endüstriyel sistemlerin güç katsayılarını dinamik olarak düzenlemede hem de terminal geriliminin kararlılığını sağlamada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [1].

Uygulamalarda karşılaşılan kompanzasyon problemlerinden biri reaktif güç istemi hızlı bir biçimde dalgalanan büyük endüstriyel yüklerin bu istemlerini karşılamaya yönelik yük kompanzasyonudur. Yük kompanzasyonu amacıyla alışılmış yöntemler yerine modern kompanzasyon yöntemlerinin kullanımı en uygun çözüm olmaktadır. Modern kompanzasyon

yöntemlerini oluşturan Tristörlü Statik Reaktif Güç Kompanzatorlarının diğer bir ifadeyle FACTS cihazlarının çok kısa zamanda tepki gösterme yeteneği (yarım çevrim), her fazın ayrı ayrı denetlenebilirliği özelliği ve dolayısıyla dengesiz yükleri kompanze etme yeteneği göz önüne alındığında FACTS cihazlarının kullanımı gün geçtikçe daha fazla yaygınlaşacaktır [1].

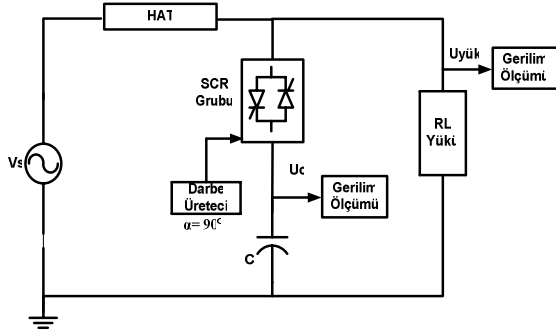
En genel tanımıyla FACTS'ler; şebekenin yüksek gerilim kısmı ile güç elektroniği elemanlarını ve yöntemlerini birleştiren elektronik denetleyici yapılarıdır. FACTS teknolojisinin enerji sistemindeki uygulamalarında gerekli standartlaşmanın oluşması için ve FACTS cihazlarının tasarımında, işletmesinde ve projelendirilmesinde dikkat edilecek hususların belirlenmesi için 1980'lerde Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü (Electric Power Research Institute) ve CIGRE (Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques) olmak üzere birçok kuruluş çalışmalar yapmaktadır [1-2].

Bu bildiriye ilk önce FACTS cihazlarından olan TSC ve TSR'nin davranışı iki baralı bir uzun iletim hattının sonunda bulunan RL yükünün gerilim kontrolü ve reaktif güç kompanzasyonu için Matlab/Simulink ortamında incelenmiştir. Benzetim sonuçlarının ışığında aynı sistem bir deney düzeneği vasıtasıyla oluşturulmuştur.

## 2. TSC ve TSR'İN ÇALIŞMA PRENSİBİ

**2.1. TSC'nin Çalışma Prensibi:** Tristör valfinin tam veya sıfır iletim kontrolü ile etkin reaktansı adımı olarak değiştirilen paralel bağlı tristör anahtarlama bir kapasitördür. TSC, alternatif akım kıyıcı ile buna seri bağlı bir kapasitörden meydana gelmektedir. Birden fazla TSC yapısı (güçleri birbirlerine yaklaşık olarak eşit seçilerek) aynı yük barasına paralel olarak bağlanırlar. Reaktif güç talebi arttıkça tristörler tetiklenerek ihtiyaç duyulan sayıda TSC devreye alınır [3-4].

TSC ile gerilim kontrolünü ve reaktif güç kompanzasyonunu incelemek için oluşturulan sistemin blok diyagramı Şekil-1'de verilmiştir. Sistem; tek fazlı olarak 220 Vrms'lik, şebeke gerilimi ve 50 Hz'lik şebeke frekansında çalışmaktadır. Sistem iki baralı omik-endüktif yüklü uzun bir enerji nakil hattından oluşmaktadır.



Şekil-1. TSC Blok Diyagramı

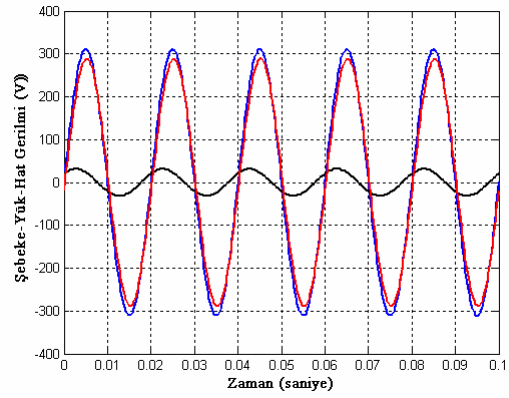
**2.2. TSR'nin Çalışma Prensibi:** Enerji iletim sistemlerindeki yüklerin ihtiyaç duyduğu hızda reaktör elemanlarını devreye alıp çıkarmak için tristörlerden yararlanır. Tristörler, bir senkron anahtar gibi çalışırlar. Bunların kumanda devresine uygun tetikleme (ateşleme) işaretleri verilerek devreye uygulanan alternatif gerilimin efektif değeri ve buna bağlı olarak ta devreden geçen akım kayıpsız olarak istenildiği gibi ayarlanabilir. Bağlama aşırı gerilimlerine ve geçici olaylara yol açmamak için reaktör elemanları sisteme uygulanan alternatif gerilimin pozitif ve negatif tepe

değerlerinde devreye alınır ve çıkarılırlar [3-5].

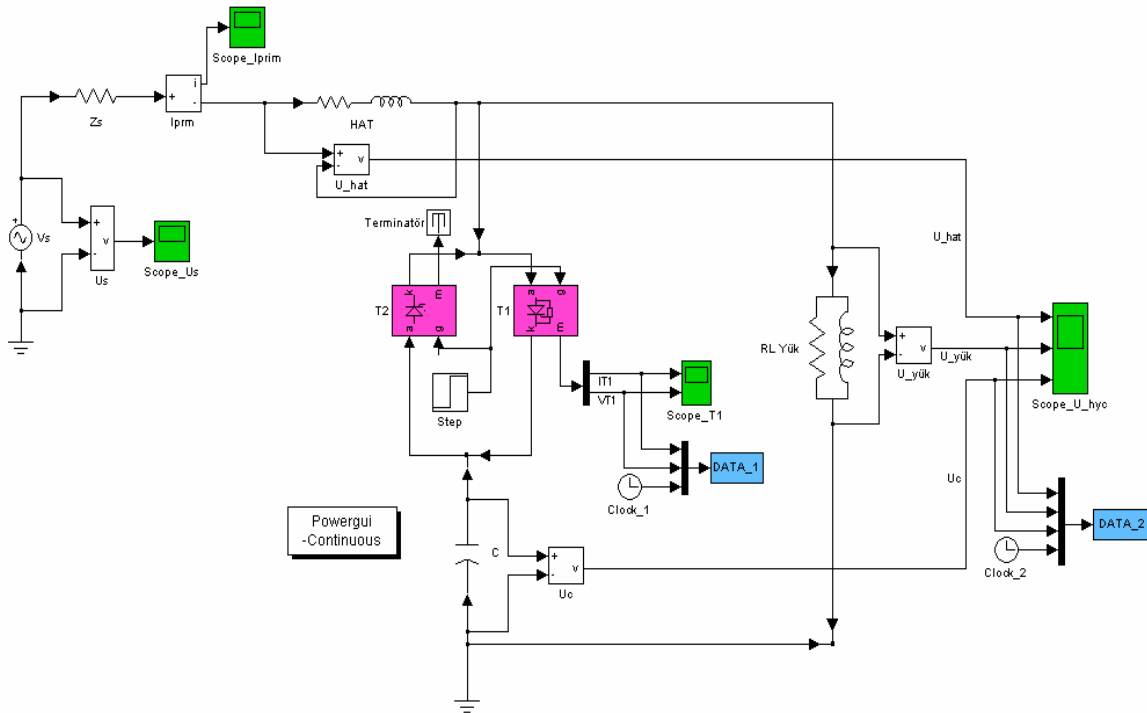
TSR'ye ait blok diyagram Şekil-1'de verilen diyagrama yaklaşık olarak benzerdir. Temel fark devreye kapasitör yerine reaktör bağlanmasıdır.

### 3. TSC ve TSR'İN BENZETİMİ

İlk olarak kompanzasyonsuz bir sistemdeki yükün davranışı yapılan benzetimlerle incelenmiştir. Bu sistem için kullanılacak devre Şekil-1'de verilen devreden TSC bloğunun çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Matlab/simulink modeli de aynı şekilde oluşturulmuştur. Kompanzasyonsuz çalışan sistem için benzetimlerle elde edilen grafiksel sonuçlar Şekil-2'de verilmiştir.



Şekil-2. Kompanzasyonsuz Sistemde Şebeke-Yük-Hat Gerilimi



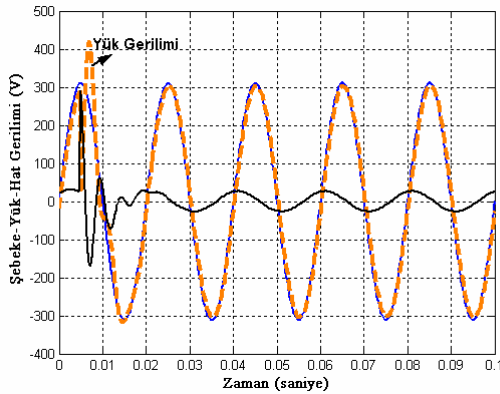
Şekil-3. TSC Matlab/Simulink Modeli

Şekil-2'den de görüleceği üzere şebeke geriliminin tepe değeri 311.11 V'tur. Yük geriliminin tepe değeri ise 288.28 volt'tur. Buradan da anlaşılacağı üzere sistemde 22.83 V'luk bir gerilim kaybı vardır. Bu kaybın büyük bir kısmı hat üzerinde meydana gelmektedir. Bundan dolayı sistemde bulunan RL yükünün ihtiyacı olan reaktif güç paralel kompanzatorler olan TSC ve TSR ile sağlanır ise sistemde daha az gerilim düşümleri olacaktır. Böylece gerilim kontrolü ve güç kalitesi artışı sağlanacaktır.

Üzerinde çalışılan sistem için oluşturulan TSC'li Matlab/Simulink modeli Şekil-3'te gösterilmiştir. Sistem parametreleri aşağıdaki gibidir.

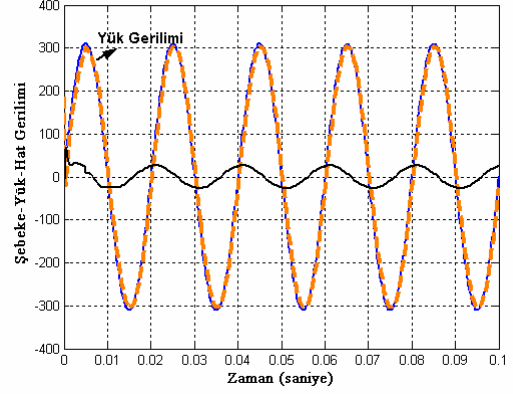
Gerilim: 220 Vrms      Frekans: 50 Hz  
 Hat R: 13  $\Omega$       Hat L: 290 mH  
 Yük aktif güç: 46 W      Yük reaktif güç: 36 VAR  
 TSC kapasitörü: 30 VAR, 2  $\mu$ F

TSC'li sistem için yapılan simülasyonlardan elde edilen grafiksel sonuçlar Şekil-4 ve Şekil-5'te gösterilmiştir. Bu uygulamada da  $\alpha = 90^\circ$ 'dir. TSC; şebeke geriliminin tepe değerine denk gelen açıda tetiklenmektedir. Şekil-4'e göre tristörler tetiklenene kadar yük üzerinde şebeke gerilimi görülmektedir. Bu ana kadar geçen sürede ise geçici olayların sisteme olan etkisi, hem hat hem de yük üzerinde açık bir şekilde görülmektedir. Kompanzasyon çalışmaları geçici hal için yapılmamaktadır. Bizim için önemli olan "Sürekli hal çalışması" dir.



Şekil-4. TSC'li Sistemde Şebeke-Yük-Hat Gerilimi

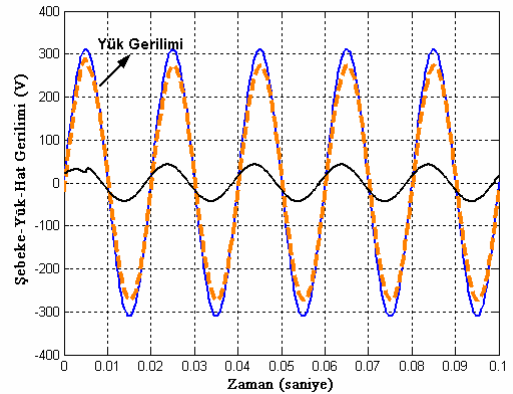
Kapasitörlerin devreye alınması küçük yada büyük geçici dalgalanmalara yol açar. Bu dalgalanmalar kapasite ile dış sistem arasındaki rezonans frekansına bağlı olarak değişir. Devreye alınırken aşırı gerilimlerin meydana gelmemesi için kapasitörler şebeke geriliminin tepe değerine eşit değerde doğru gerilimle doldurulurlar. Matlab ortamında bulunan sürekli hal kapasitör maksimum genlik değeri 304.01 V'tur. Bu değer başlangıç değeri olarak sisteme verildiği zaman elde edilen grafiksel sonuçlar Şekil-5'te gösterilmiştir.



Şekil-5. TSC'li Sistemde Şebeke-Yük-Hat Gerilimi

Burada sistem geçici rejimden çıkartılmış ve sürekli hal rejimine uydurulmuştur. Gerilim dalga şeklinin sinüzoidal formdan uzaklaşmamış olması bu sistemin de harmonikler içermediğini göstermektedir. Yük geriliminin tepe değeri TSC'li sistemde 300 V'a kadar yükseltilmiştir. Böylece AÇ-KAPA kontrollü kapasitör ile yapılan kompanzasyon kayıpları azaltarak yük için optimum çalışmayı sağlamıştır. Bu sistemin reaksiyon zamanı bir periyottur ve tek dezavantajı da budur.

Üzerinde çalışılan sistem için oluşturulan TSR'li Matlab/Simulink modeli de Şekil-3'tekine benzemektedir. Sistem parametreleri ve çalışma koşulları aynıdır. Tek fark olarak devredeki kapasitör yerine reaktör bağlanacak ve tristörler  $\pm 90^\circ$ 'de tetiklenecektir. TSR'li sistem için yapılan simülasyonlardan elde edilen grafiksel sonuçlar da Şekil-6'da gösterilmiştir.



Şekil-6. TSR'li Sistemde Şebeke-Yük-Hat Gerilimi

Bu şekle göre; yükün geçici olaylardan yani tristörlerin tam tetikleme anında oluşan istenmeyen olaylardan aşırı bir şekilde etkilenmediği görülmektedir. Yük üzerindeki dalga şeklinin sinüzoidal formdan uzaklaşmamış olması da bu sistemin harmonikler içermediğini göstermektedir. Matlab ortamında bulunan sürekli hal reaktör maksimum genlik tepe değeri 272.44 V'tur. Büyük bir gerilim düşümü olduğu görülmektedir. Bunun

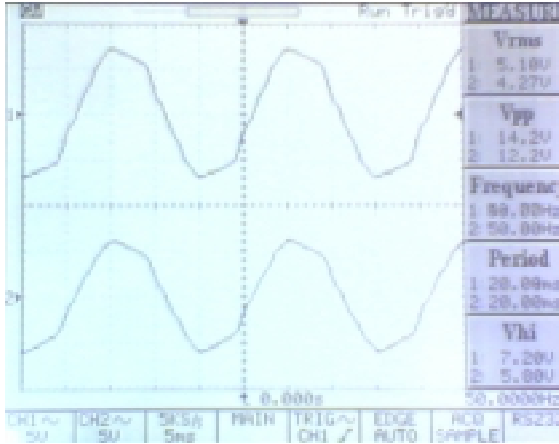
sebebi ise aynı devrenin uygulamasında kullanılacak en küçük rektör gücünün 30 VAR ile sınırlı olmasıdır. Daha küçük reaktör değerlerinde en az kayıpla kaliteli bir yük kompanzasyonu yapılabilmektedir. Örneğin 5 VAR'lık bir reaktörün 15 VAR'lık bir yük için kullanılması durumunda gerilim 300 V'a kadar çıkmaktadır.

Sonuç olarak benzetim sonuçları; kuramsal bilgileri desteklemekte ve istenilen bir sistemin tasarım aşamasında oluşabilecek hatalar, çıkabilecek problemler ve sonuçlar hakkında araştırmacılara fikirler vermektedir.

#### 4. UYGULAMA SONUÇLARI

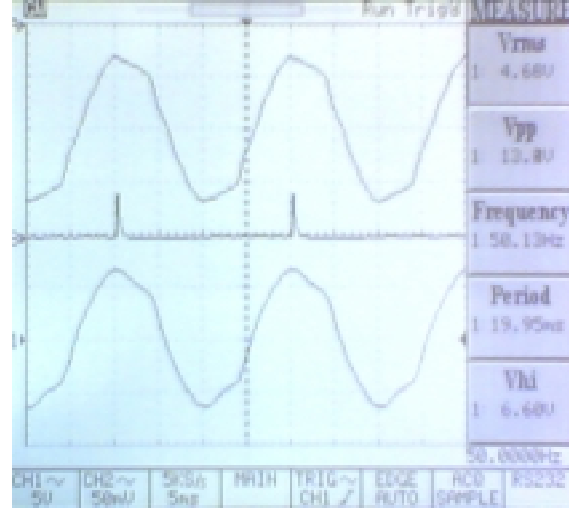
Aynı devre bir deney düzeneği vasıtasıyla oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde kullanılan tristörlerin çalışma aralığı 0-90 Vrms gerilim değerleri ile sınırlı olduğu için değerlerde farklılık olacaktır. Biz bu uygulamada şebeke gerilimini 50 Vrms (70,71 V tepe değeri) olarak belirledik. Ancak aynı analiz sonuçları elde edilecektir. Kurulan uygulama düzeneğine ait resim Şekil-7'de gösterilmiştir.

İlk önce kompanzasyonsuz sistemde çalışma yapılmıştır. Bu durumda yük üzerinde ki gerilimin dijital osiloskop görüntüsü Şekil-8'de verilmiştir.



Şekil-8. Kompanzasyonsuz Sistemde Şebeke ve Yük Gerilimi Dalga Formu

Şekil-8'in üst kısmında bulunan dalga formu şebekeye aittir. Altındaki dalga formu ise yük üzerindeki gerilim dalga formudur. Şeklin sağ tarafında yer alan ölçüm sonuçlarına göre yük üzerindeki gerilimin rms değeri 42,7 V (osiloskop probunun çarpanı x10 kademesinde iken ölçümler yapılmıştır) olarak okunmaktadır. Ciddi bir gerilim düşümü bulunmaktadır. Bu gerilim düşümünü azaltmak için benzetimlerde uygulanan aynı mantık ışığında sisteme sırasıyla paralel kompanzatorler olan TSC ve TSR eklenecektir. TSC'li sistemde bulunan yük üzerindeki gerilimin dalga formu Şekil-9'da verilmiştir.



Şekil-9. TSC'li Sistemde Şebeke ve Yük Gerilimi Dalga Formu

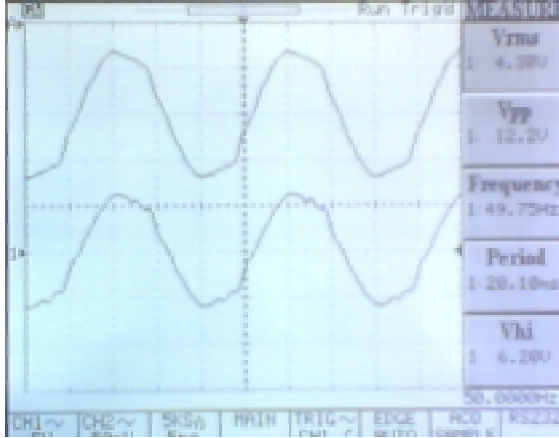
Şekil-9'un üst kısmındaki dalga formu şebeke gerilimini göstermektedir. Şebeke geriliminin pozitif tepe değerlerinde tetikleme yapılacağından tetikleme işareti +90° olarak deney setinde bulunan altı darbeleri kontrol ünitesi tarafından elde edilmiştir. Tetikleme işaretleri de şeklin ikinci satırında görülmektedir. Bu işaretlerin isteme uygulanması ile elde edilen yük üzerindeki gerilimin dalga formu Şekil-9'un alt kısmında görülmektedir. Şeklin sağ tarafında yer alan ölçüm sonuçlarına göre yük üzerindeki gerilimin rms değeri 46,8 V (osiloskop probunun çarpanı x10 kademesinde iken ölçümler yapılmıştır) olarak okunmaktadır. Bu sonuçtan da anlaşılacağı üzere kompanzasyonsuz sisteme göre daha az gerilim kaybı olmaktadır ve bu yöntemle yapılan yük kompanzasyonu güç kalitesini arttırmıştır.

Son olarak TSR'li sistemde bulunan yük üzerindeki gerilimin dalga formu incelenmiştir. Şekil-10'da şebeke geriliminin pozitif ve negatif tepe değerlerinde altı darbeleri kontrol ünitesi vasıtasıyla elde edilen tetikleme işaretleri verilmiştir.



Şekil-10. TSR'li Sistem İçin Üretilen Tetikleme İşaretleri

Bu tetikleme işaretlerinin TSR'li sistemdeki tristörlere uygulanması ile yük üzerinde elde edilen gerilim dalga formunun dijital osiloskop görüntüsü Şekil-11'de verilmiştir.



Şekil-11. TSR'li Sistemde Şebeke ve Yük Gerilimi Dalga Formu

Şekil-11'in üst kısmındaki dalga formu şebeke gerilimini göstermektedir. Yük üzerindeki gerilimin dalga formu Şekil-11'in alt kısmında görülmektedir. Şeklin sağ tarafında yer alan ölçüm sonuçlarına göre yük üzerindeki gerilimin rms değeri 43,2 V olarak okunmaktadır. Bu sonuç kompanzasyonsuz sistemden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığı zaman daha az bir gerilim düşümü olduğu görülmektedir. Eğer uygulama düzeneği 34 VAr'lık reaktörden daha düşük değerlerde reaktör elemanları içermiş olsaydı daha az kayıplı sonuçlar elde edilecektir. Böylece yük üzerindeki gerilim kontrolü AÇ-KAPA kontrollü reaktör ile yapılmıştır. Kayıplar imkanlar dahilinde en aza indirilmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada FACTS cihazlarından AÇ-KAPA kontrollü olarak çalışan Tristör Anahtarlamalı Kapasitör ve Tristör Anahtarlamalı Reaktör ile

gerilim kontrolü ve yük kompanzasyonu gerçekleştirilmiştir. TSC ve TSR cihazları Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiş ve yük kompanzasyonu hızlı bir şekilde yapılmıştır. Benzetim sonuçları kuramsal bilgileri desteklemektedir ve aynı işlem deneysel olarak ta kanıtlanmıştır. Deney düzeneğindeki tristörlerin çalışma gerilimindeki kısıtlamalardan dolayı çalışma gerilimi 50 Vrms (70,71 V tepe değeri) olarak alınmıştır. Tristörler altı darbeli kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmiş ve tetikleme darbeleri üretilmiştir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi TSC ve TSR yük geriliminde bir artış ve kayıplarda bir azaltma özelliği göstermektedir. Böylece güç kalitesi sağlanmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 104M235 TÜBİTAK KARIYER projesi çerçevesinde desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] TMMOB, "TMMOB Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları", İstanbul, EMO, 1999.
- [2] Acha E., Fuerte-Esquivel C. R., Ambriz Perez H., Angales-Camacho C., "FACTS: Modelling And Simulation In Power Networks", John Wiley&Sons LTD, 2004.
- [3] Hingorani N. G., Gyugyi L., "UnderstandingFACTS: Concepts and Technology Flexible AC Transmission Systems", IEEE Press, New York, 1999.
- [4] Jianhua Z., Guangping D., Gang X., Jie Z., Hui Z., Shuying W., "Design Of The Control System For Thyristor Switched Capacitor Devices", IEEE Power Engineering Society, pp. 606-610, 2003.
- [5] Mathur R. M., Varma R. K., "Thyristor-Based FACTS Controllers For Electrical Transmission Systems", IEEE Press, USA, 2002.



Şekil-7. Deney Düzeneğinin Resmi