

# GÜÇ SİSTEMLERİNDE FACTS UYGULAMALARI

Muhammed Mustafa ERTAY\*, Zafer AYDOĞMUŞ

## Özet

Artan enerji talebi, yeni hatların yapılmasındaki kısıtlamalar ve geleneksel kompanzasyon cihazlarının dezavantajları gibi birçok sebepten dolayı, mevcut enerji iletim sistemlerinin verimliliğinin maksimuma çıkarılması zorunlu hale gelmiştir. Mevcut enerji iletim sistemlerinin kullanımını maksimize etmek için mümkün olan seçenekler analiz edildiğinde, yüksek seviyeli güvenilirlik ve kararlılık ile güç elektroniği çözüm olarak görülmektedir. Güç elektroniği teknolojisinin hızlı gelişimi, güç sistemlerinin kontrolü için yeni bir teknoloji olan, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS, Flexible Alternating Current Transmission Systems) teknolojisine olanak tanımıştır. Bu çalışmada geleneksel tristör tabanlı FACTS cihazları ve konverter tabanlı FACTS cihazları devre konfigürasyonları, güç sistemine etkileri ve kullanım amaçlarına karşın karşılaştırılmış ve incelenmiştir. Ayrıca Türkiye ve Dünyadaki FACTS uygulamalarından örnekler verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** FACTS, Tristör tabanlı FACTS, Konverter tabanlı FACTS, Güç sistemleri.

## FACTS APPLICATIONS IN POWER SYSTEMS

### Abstract

Due to many reasons such as, an increasing demand for energy, the constraints in the building of new transmission lines and the disadvantages of the conventional compensation devices, it has been necessary to maximize the efficiency of existing energy transmission systems. The analysis of the choices available for maximizing the existing energy transmission systems, solution has seen as the power electronics with high level of trustability and stability. The rapid development of the power electronics technology makes it possible the development of a new technology for the control of the power systems, called "Flexible Alternating Current Transmission Systems (FACTS)". In this study conventional thyristor based FACTS devices and converter based FACTS devices are investigated and compared against their configurations, their effects and aim of usage on power systems. In addition example of FACTS applications in real World are presented.

**Key Words:** FACTS, Thyristor based FACTS, Converter based FACTS, Power systems.

## 1. GİRİŞ

Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS) 1980 'lerin sonunda Amerika 'daki Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü (EPRI) tarafından tanıtılmıştır. FACTS terimi 1988 yılında EPRI Elektriksel Sistemler Bölümü Başkan Yardımcısı Dr. Narain Hingorani tarafından ortaya atılmıştır (Cigre, 1993). IEEE 'ye göre FACTS; denetlenebilirliği ve güç transfer kapasitesini arttırmak için bir veya daha fazla AC akım iletim sistemi parametresinin kontrolünü sağlayan güç elektroniği tabanlı bir sistem ve diğer statik donanımdır (Cigre, 1993).

\* Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi, Enerji Tesisleri Eğitimi. Eposta: [mustafaertay@duzce.edu.tr](mailto:mustafaertay@duzce.edu.tr)

FACTS kavramının arkasındaki temel düşünce mekanik kontrolörlerin yerini güvenli ve hızlı olan güç elektroniği elemanlarının alması, böylece var olan güç sistemi kapasitesinin kullanımını optimize etme ve denetlenebilirliği artırmaktır. FACTS aygıtları güç akış kontrolü ve gerilim kontrolü için kullanılan geleneksel donanımın yerini güç elektroniği tabanlı eşdeğer donanım ile almaktadır (Hasanoviç, 2000). FACTS kontrolörleri güç elektroniği tabanlı bir uygulama olduğu için geleneksel mekanik kontrolörlere (şönt kapasitör, seri kapasitör, faz kaydırıcı vb.) göre daha hızlıdır. Bu kontrolörler uygun bir şekilde ayarlandığı zaman iletim sistemlerinin kararlı çalışma limitlerini artırır. Bu cihazlar iletim hattının seri empedansı, akımı, gerilimi ve aktif ve reaktif gücü gibi şebeke parametrelerinin uygun kompanzasyonu yoluyla güç sisteminin kontrolünü sağlar (Maram, 2003).

FACTS cihazlarının iki ana amacı vardır:

- İletim sistemlerinin güç transfer kapasitesini artırmak.
- Tanımlanan iletim rotaları üzerinde güç akışının kontrolünü sağlamak.

Buradaki ilk amaç, belirli bir hatta güç akışının iletim hattının termal limitlerine kadar artabilmesini hedefler. Aynı zamanda sistem hataları esnasında ve sonrasında güç akışının gerçek zamanlı uygun kontrolü yoluyla sistem kararlılığı korunmalıdır. İkinci amaç ise; bir hatta akımı kontrol ederek güç akışını seçilen iletim koridorlarına yönlendirir. Aynı zamanda bu amaç içerisinde, birincil güç akışı, beklenmeyen koşullar altında sistemde istenen tüm güç iletimini sağlamak için hızlı bir şekilde kullanılabilir ikincil bir güzergâha değişebilir. Bu iki temel amacın başarımının iletim sistemlerinin kullanımını önemli bir şekilde arttıracacağı ve yeni iletim hatları için minimal gereksinimler ile özelleştirmeyi kolaylaştırmada başlıca bir rol oynayacağı söylenebilir (Vural, 2001).

Son yıllarda güç elektroniği teknolojisindeki gelişmelerden dolayı FACTS cihazlarına olan ilgi artmıştır. Bu cihazlar, temel olarak gerilim regülasyonu, güç akış kontrolü ve iletim kapasitesi artırımı gibi çok çeşitli sürekli durum kontrol problemlerini çözmek amacıyla kullanılmaktadır. Buna ek olarak güç sistemlerinde meydana gelen dalgalanmaları sönmülemeye ve güç sistemi kararlılığını artırmada FACTS cihazlarının kullanımı literatürde geniş olarak araştırılmış ve incelenmiştir (Abido, 2008; Natesan ve Radman, 2004; Kamarposhti vd., 2008; Acha vd.,2004).

Bu çalışmada, geleneksel tristör tabanlı ve konverter tabanlı FACTS cihazları incelenmiştir. Cihazların donanım yapıları, güç sistemlerinde kullanım amaçları, performans karşılaştırmaları ve ekonomik açıdan değerlendirilmeleri yapılmıştır. Ayrıca Türkiye ve Dünyadaki FACTS uygulamalarından çeşitli örnekler verilmiştir.

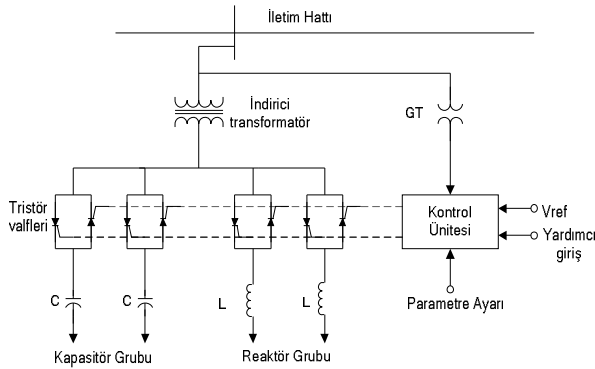
## 2. FACTS Teknolojileri

FACTS cihazlarını, geleneksel tristör tabanlı kontrolörler ve gelişmiş konverter tabanlı kontrolörler olarak iki şekilde incelemek mümkündür. Tristör tabanlı kontrolörler anahtarlama ve düzenleme cihazı olarak geleneksel tristörleri kullanmaktadırlar. Tristör tabanlı cihazlar mekanik olarak çalışan geleneksel cihazların (kesici anahtarlama kapasitör ve reaktör, faz kaydırıcı, transformatör kademe değiştiricisi vb.) devre düzenlerine benzer devre yapılarına sahip olmalarına karşın bu cihazlardan son derece hızlı çalışırlar (Abido, 2008; Song ve Johns, 1999; Hingorani ve Gyugyi, 1999).

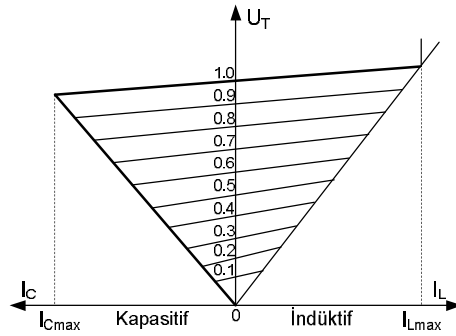
Gelişmiş FACTS cihazları ise SGK (Senkron Gerilim Kaynağı) prensibine göre çalışan anahtarlamalı konverterler kullanılır. Bu konverterler yapıtaşı olarak GTO gibi kendinden denetimli yarı iletken elemanlar kullanır. Konverter tabanlı cihazlar, geleneksel tristör tabanlı FACTS cihazları ile karşılaştırıldıklarında gerilim, hat empedansı ve faz açısı kontrolü için tekdüze uygulanabilme ve üstün performans karakteristikleri sağlarlar. SGK yaklaşımı, konverter eğer yeterli büyüklükte bir enerji depolama cihazı ile bağlanmışsa AC sistemle aktif gücü direkt olarak değiştirebilme ve bağımsız, kontrol edilebilir reaktif güç kompanzasyonu sağlama özelliklerini sunmuştur (Gyugyi vd., 1994; Song ve Johns, 1999). Bu çalışmada, tristör tabanlı cihazlardan TCVSC, TCSC ve TCPAR, konverter tabanlı cihazlardan ise STATCOM, SSSC, UPFC ve IPFC üzerinde durulacaktır.

## 2.1. Tristör Kontrollü Statik Var Kompanzatör (TCSVC)

TCSVC ilk uygulanan FACTS cihazıdır. 1970'lerin başlarında ark fırını kompanzasyonu için geliştirilen TCSVC daha sonraları enerji iletim uygulamaları için kullanılmıştır. Tipik şönt bağlı bir TCSVC Şekil 1'de görüldüğü gibi tristör anahtarlamalı kapasitörler (TSC) ve tristör kontrollü reaktörlerden (TCR) oluşmaktadır. TCSVC şönt bağlı reaktör ve/veya kapasitörleri hızlı bir şekilde sisteme dahil etmek veya kaldırmak için tristör valfi olarak ifade edilen arka arkaya bağlı tristörler kullanır. Bu kapasitörlerin ve reaktörlerin uygun bir şekilde koordinasyonlu çalışması sonucunda, reaktif güç çıkışı elemanların kapasitif ve endüktif oranlarına bağlı olarak sürekli değiştirilebilir (Hingorani, 1993).



Şekil 1. TCSVC devre yapısı



Şekil 2. TCSVC'nin V-I karakteristiği

TCSVC normal olarak iletim hattının seçili terminalindeki gerilimi ayarlamak için kullanılır. Buna ek olarak TCSVC geçici ve dinamik kararlılığı sağlamada da kullanılır (Hingorani, 1993). Şekil 2'de TCSVC'nin V-I karakteristiği görülmektedir. Bu karakteristiğe göre TCSVC'nin gerilim sağlama kapasitesi azalan sistem gerilimi ile azalmaktadır. Bu, kapasitör ve reaktörlerin azalan sistem gerilimi ile azalan çıkış akımı sağladığı anlamına gelir.

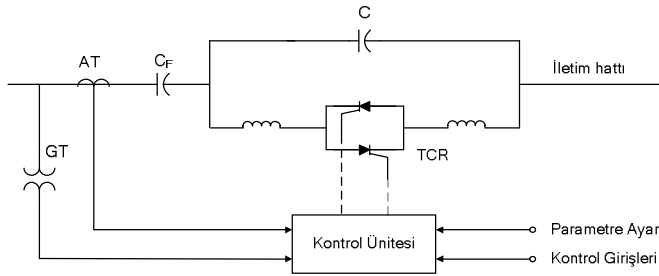
## 2.2. Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC)

TCSC tipik seri bir FACTS cihazıdır. TCSC konfigürasyonları Şekil 3'te de görüldüğü gibi sabit kapasitör yanında ( $C_F$ ), Tristör kontrollü reaktörler (TCR) ve bunlara paralel bağlı bir kapasitör (C) kullanır. TCR-C kombinasyonu temel frekans kapasitif reaktansının geniş bir aralık üzerinde düzgün bir şekilde kontrol edilmesine izin verir (Cigre, 1993). Aşırı gerilim seviyelerinden korumak üzere C kapasitörüne paralel bir metal oksit varistör (MOV) yerleştirilir (Cigre, 1993).

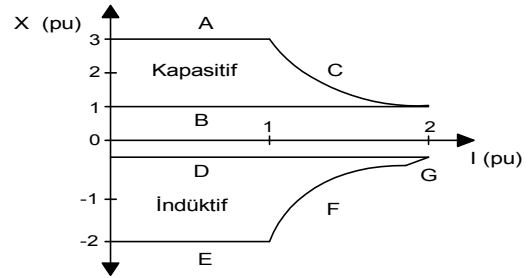
TCSC üç temel çalışma moduna sahiptir;

- a) Tristörlerin tam iletimde olduğu durum (By-pass modu): Bu modda hat akımının büyük bir kısmı TCR üzerinden akar ve TCSC, küçük net bir indüktif empedansa sahiptir.
- b) Tristörlerin bloke olduğu durum: TCSC empedansı sadece kapasitör reaktansına eşit olmaktadır.
- c) Vernier modu (tristörlerin kısmi olarak iletimde olduğu durum) olarak ifade edilir.

Burada TCSC kapasitif veya indüktif bölgede çalışabilir. Bu mod tristör tetikleme açılarının sürekli değişimi ile TCSC 'nin dinamik çalışmasının sağlandığı bir çalışma modudur. Bu mod SSR 'yi önlemede kullanılmaktadır (Larsen vd., 1993; Bowler vd., 1992; Medina vd., 2003). TCSC, tristörlerin tetikleme açılarının kontrolü ile reaktansını düzgün ve hızlı bir şekilde değiştirebilir. TCSC istenen yollar boyunca güç akışını direkt olarak düzenleyebilir ve sistemin hat sınırlarına daha yakın çalışmasına izin verir. Hızlı ve esnek düzenleme yeteneğinden dolayı güç sisteminin dinamik performansı ve geçici kararlılığını iyileştirebilir. Bununla beraber SSR ve güç salınımlarının söndürülmesinde de kullanılır. Şekil 4'te TCSC'nin X-I karakteristiği görülmektedir. Kararlılık ve sönmüleme kontrolü için genel olarak TCSC kapasitif bölgede yani Şekil 4'te görülen ABC alanı içerisinde çalışır (Larsen vd., 1993; Bowler vd., 1992; Medina vd., 2003).



Şekil 3. TCSC devre yapısı

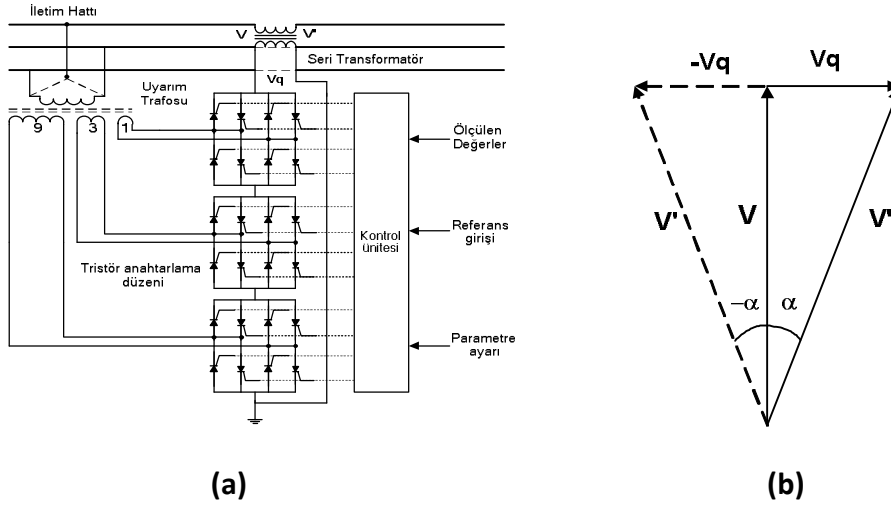


Şekil 4. TCSC'nin X-I karakteristiği

Şekil 4 üzerinde harflerle belirtilen sınırlar aşağıda verilmiştir:

- A: Ateşleme açısı limiti,
- B: Tristörlerin bloke olduğu durum,
- C: Maksimum gerilim limiti,
- D: Tristörlerin tam iletimde olduğu durum.
- E: Ateşleme açısı limiti.
- F: Harmonik ısınma limiti.
- G: Tristör akım limiti (maks.).

### 2.3. Tristör Kontrollü Faz Açısı Düzenleyicisi (TCPAR)

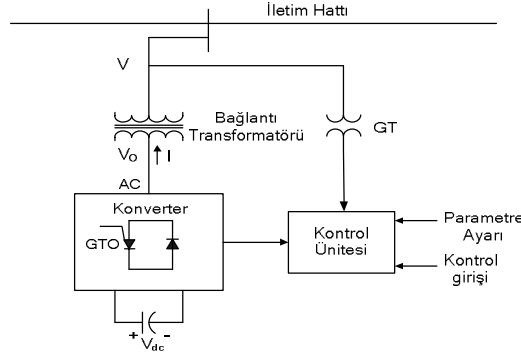


Şekil 5. (a) TCPAR Devre Konfigürasyonu (b) Faz kayması

Faz kayması hattın gerilim fazörüne dik fazlı ve değişken bir gerilim bileşeni ekleyerek veya çıkararak elde edilir. Böyle bir gerilim yukarıda devre konfigürasyonu görülen TCPAR ile elde edilebilir. TCPAR şekil 5 (a)'da görüldüğü gibi özdeş olmayan, 1:3:9 sarım oranına sahip üç sekonder sargısı bulunan bir uyarım transformatörü kullanır (Hingorani, 1993). Tristör anahtarlama düzeni her bir sargıyı pozitif veya negatif yönde devreye almaya veya devreden çıkarmaya izin verir. Böylece anahtarlanabilir bir gerilim aralığı oluşur. Elde edilen gerilim seri transformatör yoluyla iletim hattına enjekte edilir. Her bir ünite basamağı ile ilgili gerilim meydana gelen faz kaymasını belirler. Enjekte edilen gerilimin büyüklüğü tristör tetikleme açısı kontrolü ile devamlı ve hızlı bir şekilde değiştirilebilir. Bu şekilde TCPAR sürekli durumda hat boyunca etkin faz açısını kontrol ederek güç akışını düzenler ve sistemin geçici ve dinamik kararlılığını artırır (Hingorani, 1993; Gyugyi, 1991; Hingorani ve Gyugyi, 1999).

### 2.4. Statik Senkron Kompanzator (STATCOM)

STATCOM, iletim hattına şönt olarak bağlanan bir FACTS cihazıdır. Literatürde STATCON veya ASVC (Gelişmiş Statik Var Kompanzator) olarak da adlandırılır. Şekil 6 'da STATCOM devre yapısı gösterilmektedir (Hingorani ve Gyugyi, 1999). Basit olarak STATCOM bağlantı transformatörü, konverter ve bir DC kapasitörden ibarettir. Burada  $V_c$ , AC sistem gerilimini  $V_o$  ise STATCOM çıkış gerilimini ifade etmektedir. TCSVC gibi reaktif şönt kompanzasyon için kullanılabilir. Bağlı bulunduğu bara gerilimini düzenlemek için iletim hattına reaktif güç sağlayabilir veya iletim hattından reaktif güç tüketebilir (Uzunoviç vd., 1997; Eminoğlu vd., 2002).

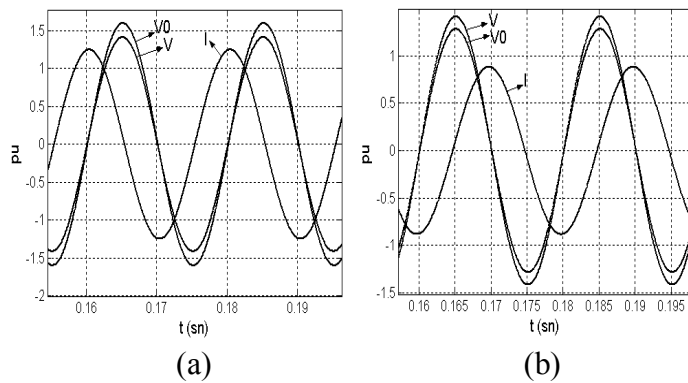


Şekil 6. STATCOM devre yapısı.

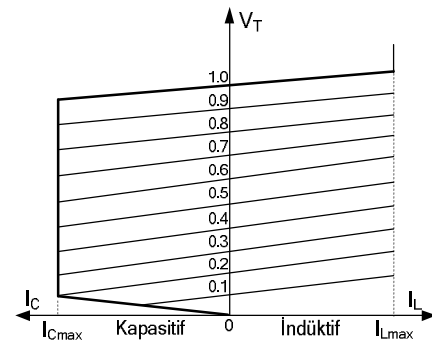
Kapasitör, konverter için gerekli DC gerilimi sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Konverter çıkış gerilimi ile AC sistem gerilimi arasındaki faz farkına bağlı olarak kapasitör şarj veya deşarj olmaktadır. Sürekli durumda konverter çıkış gerilimi AC sistem geriliminden geri fazda tutularak sistemden çekilen aktif güç (küçük miktarda) transformatör ve konverter kayıplarını karşılamaktadır (Uzunoviç vd., 1997; Eminoğlu vd., 2002).

STATCOM çıkışında, temel frekansta kontrol edilebilir genlikte dengeli üç faz gerilimleri elde edilir. Bu düzenlemede AC sistem ile cihaz arasındaki sürekli durum güç alışverişi genel olarak reaktiftir. STATCOM ve AC sistem arasındaki reaktif güç alış verişi konverter çıkış geriliminin büyüklüğünü düzenleyerek kontrol edilir (Uzunoviç vd., 1997).

Eğer STATCOM çıkış geriliminin büyüklüğü, AC sistem gerilimini geçerse ( $V_0 > V$ ), I akımı transformatör reaktansı yolu ile STATCOM 'dan AC sisteme akar ve cihaz iletim hattı için reaktif güç üretir. STATCOM sadece reaktif güç alışverişi yaptığından dolayı devre kayıpları ihmal edildiğinde, konverter çıkış gerilimi AC sistem gerilimi ile aynı fazdadır. Bu nedenle konverter çıkış akımı iletim hattı geriliminden  $90^\circ$  ileridedir. Bu durumda cihaz kapasitif modda çalışmış olur. Şekil 7 (a) 'da bu durum gösterilmektedir. Eğer STATCOM çıkış gerilimi, AC sistem geriliminden küçük olursa ( $V_0 < V$ ) akım transformatör reaktansı yolu ile AC sistemden STATCOM 'a akar ve cihaz iletim hattından reaktif güç tüketir. Konverter akımı iletim hattı geriliminden  $90^\circ$  geridedir (kayıplar ihmal edildiğinde). Bu durumda cihaz indüktif modda çalışmış olur. Şekil 7 (b) 'de bu durum gösterilmektedir. Eğer konverter çıkış gerilimi ile iletim hattı gerilimlerinin büyüklükleri eşit ise ( $V_0 = V$ ), AC sistem ile cihaz arasında herhangi bir reaktif güç alışverişi olmaz (Uzunoviç vd., 1997; Eminoğlu vd., 2002).



Şekil 7. STATCOM Reaktif güç alışveriş durumları  
(a) Reaktif güç üretimi (Kapasitif mod)  
(b) Reaktif güç tüketimi (İndüktif mod)

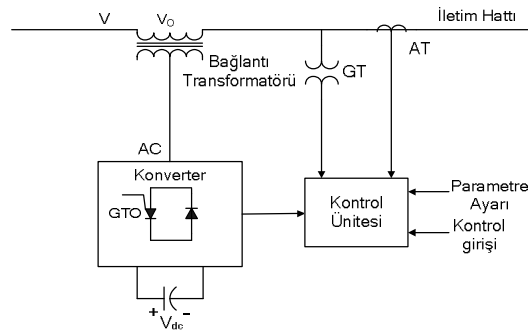


Şekil 8. STATCOM V-I karakteristiği

Şekil 2 'de TCSVC ve Şekil 8 'de STATCOM V-I karakteristikleri verilmiştir. Düşük gerilimlerde STATCOM 'un akım sağlama kapasitesi TCSVC 'den çok daha iyidir. Şekil 8 STATCOM'un tipik olarak yaklaşık 0.2 pu, hatta çok düşük (teorik olarak sıfır) sistem gerilimi düzeylerinde tam çıkış akımı aralığı üzerinde çalışabildiğini gösterir. Bir başka deyişle STATCOM herhangi bir sistem gerilimi değerinde maksimum kapasitif veya maksimum indüktif çıkış akımını AC sistem geriliminden bağımsız olarak sağlayabilir. Aynı zamanda STATCOM'un maksimum reaktif güç üretimi veya tüketimi AC sistem gerilimi ile lineer olarak ( $Q=V.I$ ) değişir. Şekil 2 ise TCSVC'nin maksimum elde edilebilir kompanzasyon akımının AC sistem gerilimi ile doğrusal olarak azaldığını gösterir. Ayrıca maksimum kapasitif akım, kapasitör boyutu ve sistem geriliminin genliğine bağlıdır. Şekil 2 ve Şekil 8'de 0.4 pu gerilim değeri için çıkış akımlarına bakıldığında STATCOM'un daha fazla çıkış akımı sağladığı açıktır. TCSVC'nin maksimum reaktif güç çıkışı ise AC sistem geriliminin karesiyle ( $Q=V^2/X$ ) azalmaktadır. Bu nedenle STATCOM lineer çalışma aralığından dolayı büyük sistem bozunumları altında gerilim desteği sağlamada TCSVC'den üstündür (Hingorani ve Gyugyi, 1999; Hingorani, 1993).

## 2.5. Statik Senkron Seri Kompanzator (SSSC)

STATCOM ile devre özellikleri aynı olmakla beraber, SSSC Şekil 9 'da görüldüğü gibi iletim hattına seri olarak bağlanmaktadır (Hingorani ve Gyugyi, 1999). SSSC büyüklüğü ve faz açısı yarı iletken aygıtlar tarafından hızlı bir şekilde ayarlanabilen, hat akımına dik olan, dengeli üç fazlı bir gerilim üretir ve bunu hatta seri olarak enjekte eder. SSSC ile aktif ve reaktif güç kontrolü mümkündür. STATCOM 'da olduğu gibi yeterli büyüklükte bir DC depolama aygıtı ile bağlanırsa SSSC ile aktif güç kontrolü yapılabilir. Sadece reaktif güç kontrolü için küçük bir DC kapasitör yeterlidir. SSSC, iletim hattına eklediği gerilimin etkisine göre seri kapasitör veya reaktör olarak görülebilir. Kapasitif çalışma durumlarında iletilen aktif güç artmaktadır. İndüktif çalışma durumlarında ise iletilen aktif güç aynı oranda azalmaktadır. Aynı görevi yapan TCSC 'ye göre daha geniş bir kontrol aralığına sahip olduğu söylenebilir (Gyugyi vd., 1997).



Şekil 9. SSSC Devre yapısı

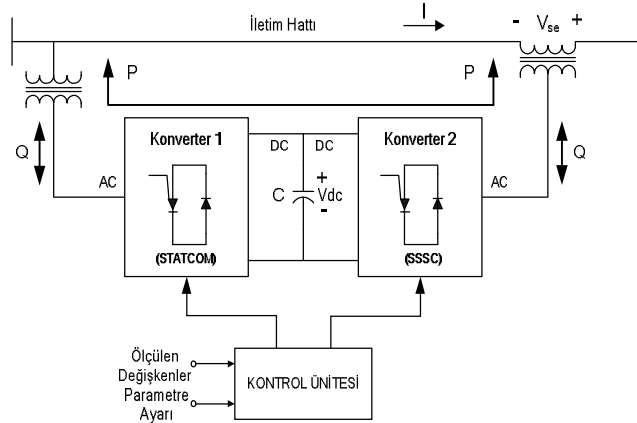
TCSC ile karşılaştırıldığında SSSC 'de seri gerilim enjeksiyonu kontrol edilir. TCSC 'de ise empedans kontrol edilir. İletim hattının aktif gücünün artırımında SSSC daha başarılıdır. Bir başka deyişle SSSC gerilim kaynağı tipi, TCSC ise değişken empedans tipinde seri kompanzatorlardır. Ayrıca, SSSC'nin cevap zamanı daha hızlıdır. Kontrol aralığı karşılaştırıldığında, SSSC, kapasitif moddan indüktif moda düzgün bir geçiş sağlar, fakat TCSC rezonans probleminden dolayı bunu yapamaz (Hingorani ve Gyugyi, 1999; Qing vd., 2008).

SSSC, hat akımından bağımsız bir şekilde kapasitif ve indüktif aralıkta kompanzasyon gerilimi üretme yeteneğine sahiptir. TCSC'nin kompanzasyon gerilimi ise verilen kontrol aralığı üzerinde hat akımına orantılıdır. Harici DC güç kaynağı ile bağlandığında SSSC, etkin X/R oranını yüksek tutmak için seri kompanzasyon derecesinden bağımsız olarak hat reaktansına sağladığı kompanzasyon gibi hat rezistansı içinde kompanzasyon (aktif güç enjeksiyonu ile) sağlayabilir. Fakat TCSC sadece reaktif kompanzasyon sağlayabilir (Hingorani ve Gyugyi, 1999; Gyugyi vd., 1997).

## 2.6. Birleşik Güç Akış Denetleyicisi (UPFC)

1991'de Laszlo Gyugyi tarafından önerilen UPFC, çok yönlü ve etkili bir FACTS cihazıdır. UPFC AC iletim sistemlerinin gerçek-zamanlı kontrolü ve dinamik kompanzasyonu için önerilmiştir. Şekil 10'dan da görüldüğü gibi UPFC, ortak bir dc kapasitörden çalışan bir STATCOM ve bir SSSC'nin birleşiminden meydana gelir. Burada, STATCOM Konverter 1, SSSC ise Konverter 2 olarak adlandırılmıştır. Bu yapı, aktif gücün, iki konverterin AC terminalleri arasında serbestçe çift yönlü akışına izin veren ideal bir AC-AC güç konverteri olarak çalışır. Ayrıca her bir konverter kendi AC çıkış terminalinde bağımsız olarak reaktif güç üretebilir veya tüketebilir (Gyugyi vd., 1994).

UPFC, birbirinden tamamıyla bağımsız olarak iletim hattı üzerindeki aktif ve reaktif güç akış denetimi, gerilim regülasyonu, seri ve şönt kompanzasyon, faz kaydırma gibi bir çok işleve sahiptir. UPFC'nin aşırı yüklenmiş hatlar, paralel hatlar arasındaki yük paylaşımı (load-sharing), döngü akış (loop-flow) denetimi, sistemlerin dinamik ve geçici rejim koşullarında kararlılık denetimi gibi farklı problemlerin çözümünde de kullanılması amaçlanmıştır. UPFC'de bir denetim modundan diğerine mekanik olarak bir geçiş söz konusu değildir. Gelişmiş güç elektroniği tekniği sayesinde elektronik olarak kip değiştirebilmektedir. Bu avantaj güç sistemindeki değişen koşullara karşı oldukça esnek bir çalışma olanağı sunmaktadır (Vural, 2002).



Şekil 10. UPFC'nin şematik diyagramı

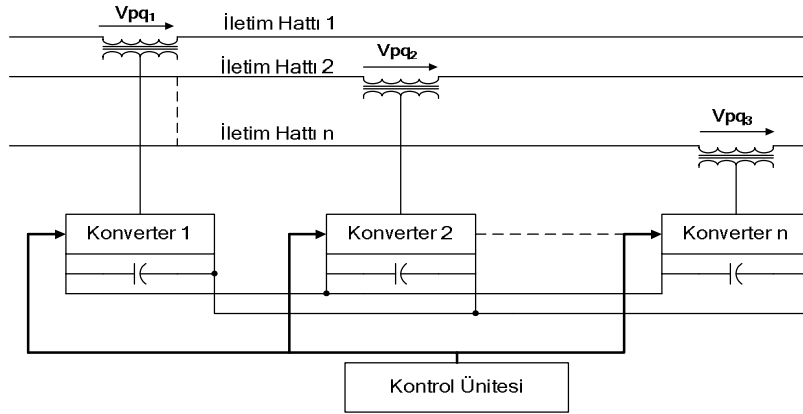
UPFC geleneksel tristör kontrollü yaklaşımların başlıca kusurlarının üstesinden gelebilecek potansiyele sahiptir. Teknik açıdan pratik bir şekilde iletim hattı kompanzasyon problemlerini ve bütün güç akış kontrolünü tek düze bir şekilde idare etmeyi mümkün kılar. Anahtarlamalı kapasitörler ve reaktörler veya kademe değiştirici transformatörler yerine yalnızca senkron gerilim kaynakları kullanır (Gyugyi vd., 1994). Evrensel olarak uygulanabilir bir tek kompanzatör/kontrolör cihazı olmasının genel çekiciliği dışında, gerilim kaynağı tabanlı



evrensel güç akışı yaklaşımı fonksiyonel esneklik sağlar ve çalışma performansına geleneksel tristör kontrollü sistemler ile genel de ulaşamaz (Gyugyi, 1991).

UPFC eşzamanlı olarak (çok-fonksiyonlu) veya seçime bağlı olarak hat empedansı, gerilim ve faz açısını tek bir seri gerilim kaynağı enjeksiyonu ile değiştirebilir veya düzenleyebilir. Geleneksel yaklaşım bunları yapmak için farklı bağımsız donanımlar gerektirir. Tristör kontrollü bir faz açısı düzenleyicisi (faz açısı için) ve statik var kompanzator (reaktif güç kontrolü için) gibi geleneksel FACTS cihazları ancak kombine bir şekilde kullanılırsa bunları gerçekleştirebilir (Gyugyi, 1991).

## 2.7. Hat Arası Güç Akış Denetleyicisi (IPFC)



Şekil 11. IPFC Konfigürasyonu

1998 yılında önerilen IPFC, belirli bir istasyonda birçok sayıda iletim hattının kompanzasyon problemini hedef alır. Şekil 11'de görüldüğü gibi IPFC farklı iletim hatlarına bağlanan, DC terminalleri birbirine bağlanmış iki veya daha fazla SSSC'den oluşmaktadır. DC kapasitörlerin birbirine bağlanması konverterler arasında aktif gücün çift yönlü dolaşımına olanak tanır. Yani IPFC her bir tek hattın bağımsız kontrol edilebilir seri kompanzasyonu ile birlikte, kompanze edilen hatlar arasında direkt olarak aktif güç transferi kapasitesi sağlar (Hingorani ve Gyugyi, 1999). Bu kapasite aşağıdaki ifadeleri mümkün kılar;

- Hatlar arasında hem aktif hem de reaktif güç akışını eşitler,
- Aktif güç transferi yoluyla aşırı yüklü hatların yükünü azaltır,
- Dinamik bozucu etkiler için tüm kompanzasyon sisteminin etkinliğini artırır,
- Rezistif gerilim düşümlerine karşın ve reaktif güç talebine ilişkin kompanzasyon sağlar.

Şekil 11'deki temel IPFC şemasında konverterlerin her biri farklı bir iletim hattı için seri kompanzasyon sağlamaktadır. Bu konverterler seri reaktif kompanzasyonun yanı sıra kendi iletim hattından ortak DC-link bağlantısına aktif güç sağlamak için kontrol edilmektedir. Ek olarak IPFC yapısı SSSC'lerin aktif güç talebi açığını karşılamak ve şönt reaktif kompanzasyon sağlamak için ortak DC-link'e bağlanmış bir STATCOM içerebilir (Glanzmann, 2005; Hingorani ve Gyugyi, 1999).

### 3. İletim Sistemlerinin Sınırlamaları ve FACTS Teknolojisi

Belirli bir güç sisteminin karakteristikleri, yük büyüdükçe ve üretim arttıkça zaman ile değişir. Eğer iletim olanakları yeterli bir şekilde geliştirilmezse, güç sistemi sürekli durum ve geçici durum problemlerine karşı zayıf bir hale gelir ve kararlılık sınırları daralır (Acha vd., 2004). İletim sistemi sınırlamaları aşağıdaki bir veya daha fazla karakteristikleri içerebilir; Sürekli durum güç transfer limiti, gerilim kararlılık limiti, dinamik gerilim limiti, geçici kararlılık limiti, güç sistemi dalgalanma sönümleme limiti, döngü akış limiti, termal limit, kısa devre akım limiti. Her bir iletim engeli veya bölgesel kısıtlama bu bir veya daha fazla sistem seviye problemine sahiptir (Paserba, 2003).

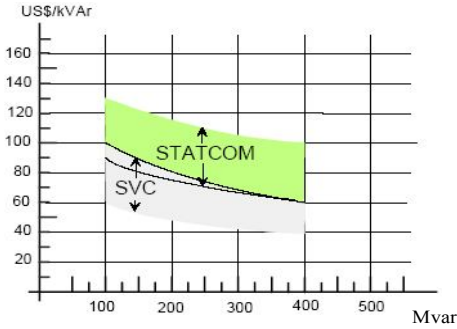
Her bir uygulamada bir FACTS kontrolörü belirli iletim sınırlamalarını hafifletmek, üretimin dağıtımını kolaylaştırmak için kullanılır ve yeterli sistem güvenilirliği sağlar. Her bir cihazın gerilim, empedans veya iletim açısını kontrol etmedeki yeteneği, her bir aygıtın güç iletimini kontrol etmek için bağlı kapasitesini belirler. Daha önce sıralanan sistem sınırlamalarının bazıları ve FACTS cihazlarının bu problemlerde kullanımı, geleneksel çözümlerle karşılaştırmalı olarak Tablo 1’de verilmiştir (Habur, 2000).

**Tablo 1.** FACTS cihazlarının sürekli durum uygulamaları.

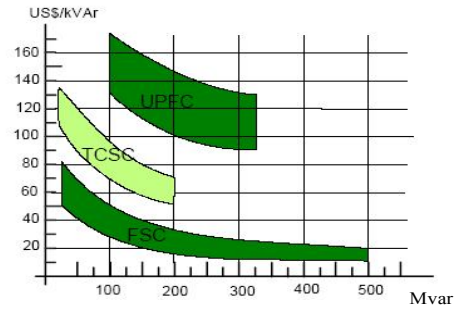
Sınırlama	Problem	Düzeltilici eylem	Geleneksel çözüm	FACTS cihazları
<b>Gerilim limiti</b>	Ağır yükte düşük gerilim	Reaktif güç sağlamak	Şönt kapasitör, Seri kapasitör	TCSVC, TCSC, STATCOM
	Hafif yükte yüksek gerilim	Reaktif güç tüketmek	Şönt reaktörün anahtarlama	TCSVC, STATCOM
	Kesintileri takiben yüksek gerilim	Reaktif güç tüketmek	Şönt reaktör eklenmesi	TCSVC, STATCOM
<b>Termal limit</b>	Hat veya transformatörün aşırı yüklenmesi	Aşırı yükü azaltmak	Hat veya transformatör eklemek	TCSC, UPFC, TCPAR
			Seri reaktör eklenmesi	TCSVC, TCSC
<b>Döngü akış limiti</b>	Paralel geçitler arasında yük paylaşımı	Seri reaktansı veya faz açısını ayarlamak	Seri reaktör/kapasitör eklenmesi veya PAR eklenmesi	UPFC, TCSC TCPAR
<b>Kısa devre akım limiti</b>	Yüksek kısa devre akımı	Kısa devre akımını sınırlamak	Seri reaktör eklenmesi	UPFC, TCSC
<b>Kararlılık</b>	Sınırlı iletim gücü	Hat reaktansının azaltılması	Seri reaktör veya kapasitör eklenmesi	TCSC, SSSC

#### 4. FACTS Cihazlarının Yatırım Maliyetleri

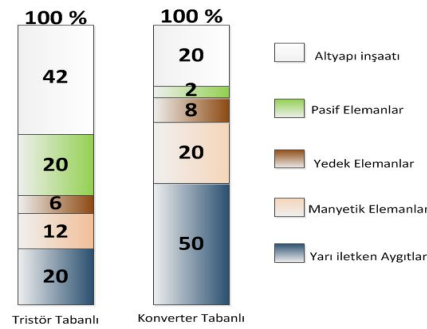
FACTS cihazlarının yatırım maliyetleri iki kategoride incelenebilir; bunlar donanım maliyetleri ve gerekli alt yapı maliyetleridir. Donanım maliyetleri sadece kurulum sınıfına bağlı değildir. Kontrol ve koruma sistemlerinin veya kapasitörler, reaktörler veya transformatörler gibi ana elemanların fazlalığı, sismik koşullar, çevre koşulları, dağıtım istasyonu kontrol sistemi veya bölgesel veya ulusal kontrol merkezi ile iletişim gibi özel gereksinimlere de bağlıdır. Altyapı maliyetleri FACTS cihazının kurulacağı dağıtım istasyonunun yerine bağlıdır. Altyapı maliyetleri şunları içerebilir; yer kazanımı (Eğer mevcut dağıtım istasyonunda alan yetersizliği var ise), mevcut dağıtım istasyonunun da modifikasyonlar (örneğin; yeni anahtarlama tesisleri gerekli ise), bina içi donanımı (kontrol, koruma, tristör valfi gibi) için bina yapımı, mevcut iletişim bağlantısı, alt yapı. Tipik cihaz güçleri için Şekil 12 ve Şekil 13'deki maliyet alanlarının alt limiti donanım maliyetlerini, üst limiti ise alt yapı maliyetlerini de içeren toplam yatırım maliyetlerini göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi çok düşük güçlerde maliyet daha yüksek ve yüksek güç değerlerinde ise maliyet daha düşük olabilmektedir. Görüldüğü gibi FACTS cihazları geleneksel donanıma göre oldukça maliyetlidir. Fakat geleneksel donanımında dinamik davranışları sınırlıdır. Bu nedenle iletim planlayıcıları en ekonomik çözümleri bulmak zorundadırlar (Habur, 2000).



Şekil 12. SVC ve STATCOM için yatırım maliyetleri (Habur, 2000).



Şekil 13. FSC, TCSC ve UPFC için yatırım maliyetleri (Habur, 2000).

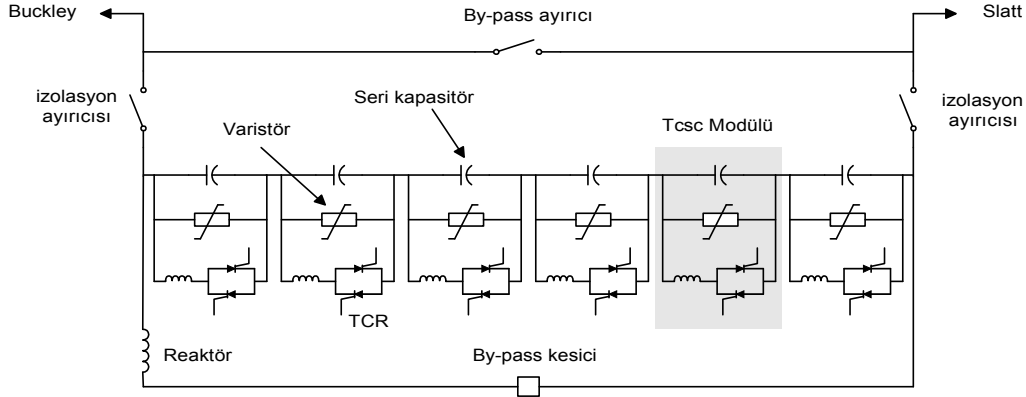


Şekil 14. FACTS Cihazlarının maliyet dağılımı (Tolbert, 2005)

FACTS uygulamalarında başlıca sınırlama maliyettir. Şekil 14 tipik FACTS kurulumlarında tristör ve konverter tabanlı sistemler için maliyet dağılımını göstermektedir. Konverter tabanlı kurulumlarda cihaz maliyetinin toplam maliyetin %50'sinden fazla olduğu görülmektedir (Tolbert, 2005).

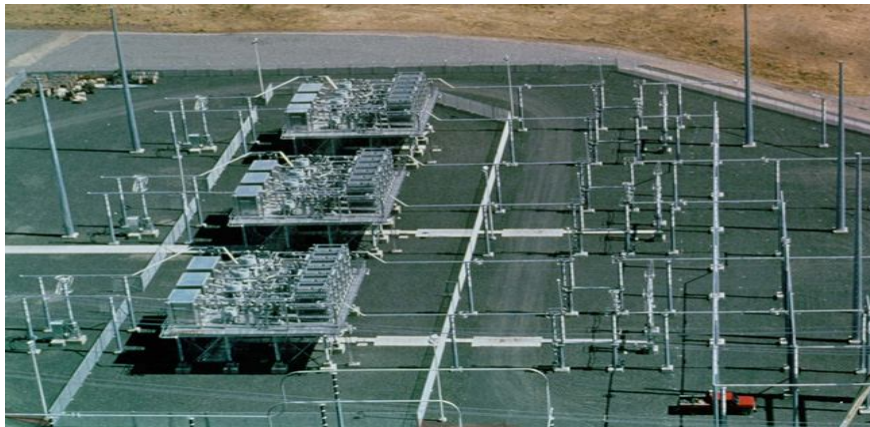
## 5. Türkiye ve Dünyadaki Uygulamalar

### 5.1. Slatt TCSC



Şekil 15. Slatt TCSC tek hat diyagramı (Hingorani ve Gyugyi, 1999).

1993'te ABD'nin Oregon eyaletinde BPA (Bonneville Güç İdaresi) tarafından 500 kv'luk Slatt dağıtım istasyonunda kurulan TCSC, şekil 15'de görüldüğü gibi Slatt-Buckley iletim hattı ile seridir (Hingorani ve Gyugyi, 1999). Kurulum için seçilen yer TCSC'yi ağır çalışma koşullarına maruz bırakmak, yeterli çalışma faydaları ve deneyimi için seçilmiştir. Dünya'daki ilk çok modüllü TCSC'dir (Cai, 2004). Şekil 15'de görüldüğü gibi Slatt dağıtım istasyonunda her bir faza bağlı özdeş altı adet TCSC modülü bulunmaktadır (Hingorani ve Gyugyi, 1999). Her bir modül kapasitör, varistör, ve TCR'den oluşmaktadır. Şekil 16 Slatt TCSC'yi göstermektedir (Hingorani ve Gyugyi, 1999). Şekil 15'de görülen kapasitörler, akım sınırlama reaktörleri, tristör anahtarları ve koruyucu varistörler Şekil 16'daki her üç platformda yerleştirilmiştir. Her bir fazda TCSC 'yi Slatt-Buckley iletim hattından biri by-pass diğer ikisi izole eden üç ayırıcı anahtar bulunmaktadır. By-pass kesici, koruyucu ve işlemsel fonksiyonları yerine getirir. TCSC Kapasitif reaktansının dinamik aralığı  $24\Omega$  ve nominal üç faz kompanzasyon kapasitesi 202 Mvar'dır. Bu projenin sonuçları göstermiştir ki TCSC sadece empedans ve akım kontrolünün etkin bir aracı olmakla kalmayıp aynı zamanda güç sistemi kararlılığını artırmak için güçlü bir araç olmuştur. Ayrıca TCSC SSR'ye karşı güçlü bir sönümlenme sağlar (Cai, 2004).



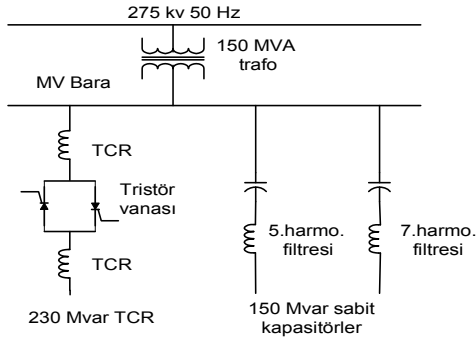
Şekil 16. BPA Slatt TCSC (Hingorani ve Gyugyi, 1999).

## 5.2. Ross TCSVC

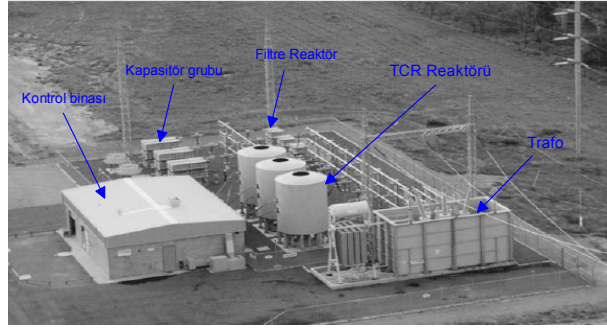
Artan yük ve güç güvenliği için ihtiyaçtan dolayı 1998 yılında Avustralya'nın North Queensland bölgesindeki 275 kv'luk Ross dağıtım istasyonunda kurulmuş ve faaliyete alınmıştır. Şekil 17'de Ross TCSVC tek hat diyagramı görülmektedir. Şekil 18'de Ross dağıtım istasyonu ve Şekil 19'da ise TCR tristör valfleri görülmektedir (Mitsubishi, 2006). Buradaki TCSVC'nin amaçları;

- 275 kV AC sistem gerilimini düzenlemek ve kontrol etmek
- Beklenmeyen sistem durumlarında dinamik ve hızlı cevaplı reaktif güç sağlamak
- 275 kV'luk iletim sisteminde güç osilasyonlarını kontrol etmek, böylece sistem sönümlenmesini artırmak
- Büyük bozucu etkilerde sistem gerilimlerini devam ettirerek ilk salınım kararlılığını artırmaktır.

Bu TCSVC'nin kapasitesi 230 MVar (-80 MVAR (indüktif), +150 MVar (kapasitif) ) olan Dünya'daki en büyük TCR'lerden birini kullanmaktadır (Mitsubishi, 2006).



Şekil 17. Ross TCSVC tek hat devre Konfigürasyonu (Mitsubishi, 2006).



Şekil 18. Ross dağıtım istasyonu ve TCSVC (Mitsubishi, 2006).



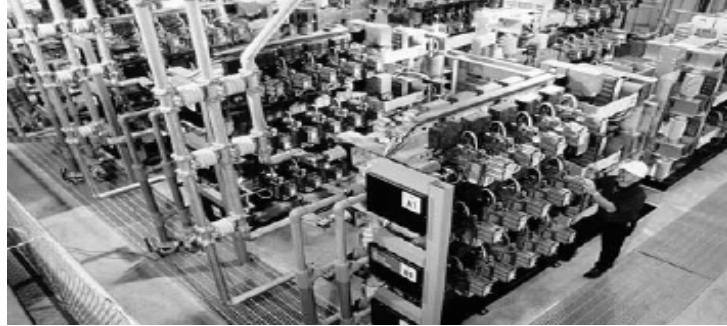
Şekil 19. Ross TCSVC'de TCR için kullanılan tristör valfleri (Mitsubishi, 2006).

## 5.3. Sullivan STATCOM

ABD'deki ilk yüksek güç STATCOM projesidir (Hingorani ve Gyugyi, 1999).1995 yılında Tennessee Valley Güç idaresi (TVA) tarafından Sullivan dağıtım istasyonunda iletim hattı kompanzasyonu için faaliyete alınmıştır. STATCOM burada günlük yük takviyesi esnasında 161 Kv'luk bara gerilimini düzenlemek için kullanılmaktadır. Böylece 161 kV/ 500 kV

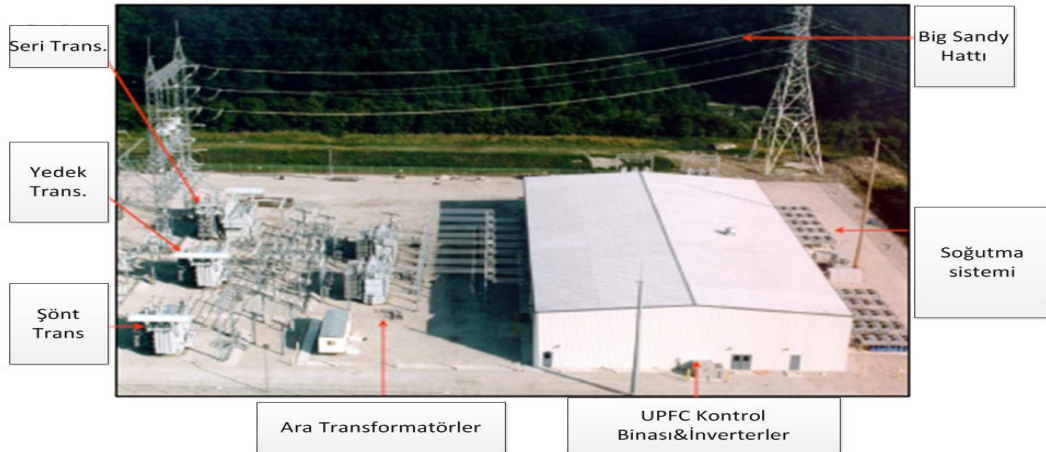


kademe değiştirici transformatörün kullanımı azalacaktır. STATCOM' un nominal kapasitesi  $\pm 100$  MVAR 'dır. Bu uygulama göstermiştir ki üstün dinamik kapasitesi ile çok yönlü bir donanım olan STATCOM güç sistemlerinde artan bir uygulama alanı bulacaktır. Şekil 20'de Sullivan STATCOM GTO valfleri görülmektedir. (Cai, 2004).



Şekil 20. Sullivan STATCOM GTO valfleri (Hingorani ve Gyugyi,1999).

#### 5.4. Inez UPFC



Şekil 21. Inez UPFC (Hingorani ve Gyugyi,1999).

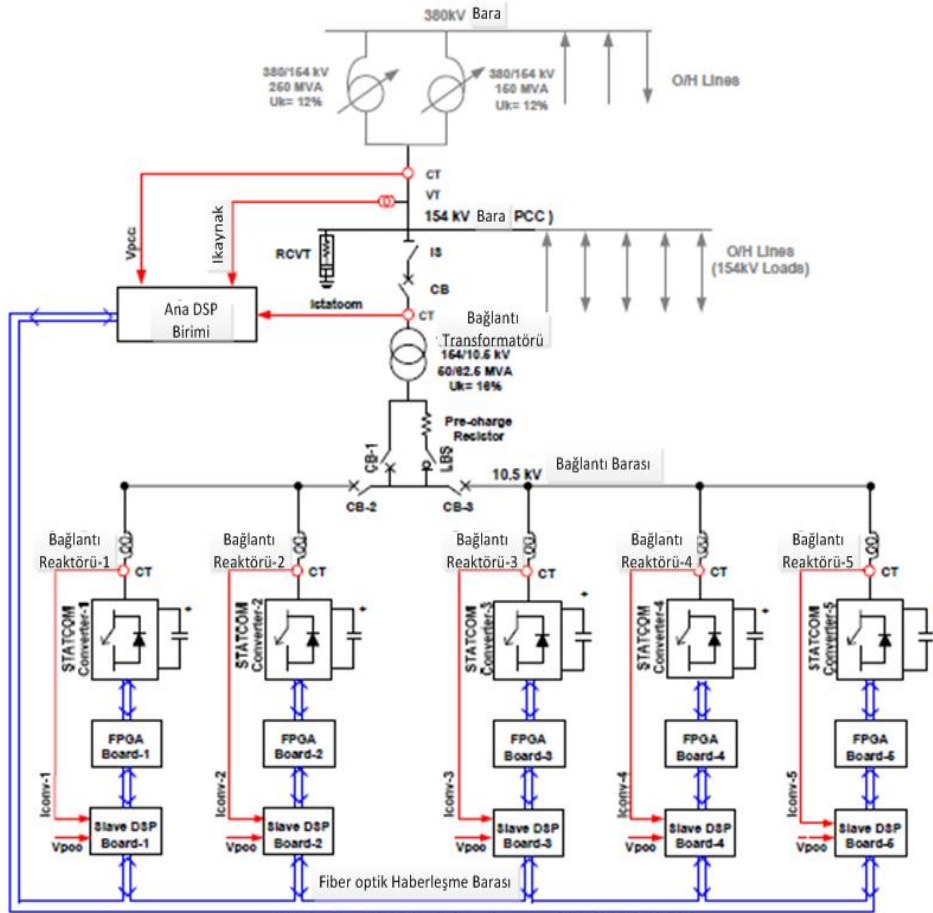
Dünya'daki ilk UPFC uygulaması 1998'de Amerika Birleşik Devletleri'nin Kentucky eyaletinin, Inez dağıtım istasyonunda gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan UPFC,  $\pm 160$  MVA (şönt ve seri) kapasitesinde olup, uygulamanın ilk ayağında gelişmiş statik var kompanzatörü (ASVC) olarak çalıştırılmış, daha sonra ise bütünüyle devreye alınmıştır. UPFC toplam  $\pm 320$  MVar kontrol aralığı ile hızlı şönt reaktif kompanzasyon sağlamak ve 138 kV'luk yüksek kapasiteli iletim hattında güç akışını kontrol etmek için dizayn edilmiştir. Ayrıca beklenmedik koşullar altında 950 MVA'ya kadar iletilen gücü zorlamak için uygulanabilir. Uygulama ispatlamıştır ki UPFC bara geriliminin regülasyonunda olduğu gibi aktif ve reaktif hat güç akışı için bağımsız ve eşzamanlı benzersiz kontrol sağlama kapasitesine sahiptir (Cai, 2004; Hingorani ve Gyugyi, 1999).

#### 5.5. Sincan T-STATCOM

2006 yılında çalışmalarına başlanan "Güç Kalitesi Milli Projesi" kapsamında 31.12.2009 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında geliştirilen  $\pm 50$  MVAR T-STATCOM 380 kV/154 kV Sincan TM'de, hizmete alınmıştır (Akkaya, 2010).

STATCOM Prototipi TÜBİTAK-UZAY Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Güç Elektronikleri Grubu tarafından dizayn ve imal edilmiş, özgün, yenilik içeren ve dünyada sadece belli başlı büyük firmalar tarafından imal edilebilen ileri teknolojik bilgi gerektiren bir üründür (Akkaya, 2010).

Şekil 22 'de görülen T-STATCOM hava çekirdekli reaktörler yoluyla paralel bağlı olan 5 adet  $10.5 \text{ kV} \pm 12 \text{ MVar}$  gücünde çok seviyeli kaskat konverter modüllerinden oluşmaktadır. Bu beş statcom modülü kombinasyonu daha sonra  $154 \text{ kV}/10.5 \text{ kV}$   $62.5 \text{ MVA}$  YNyn bağlı bağlantı transformatörü yoluyla  $154 \text{ kV}$  luk baraya bağlanmaktadır. T-STATCOM 21 seviyeli çok seviyeli kaskat konverter tabanlıdır ve öncelikli olarak reaktif güç kompanzasyonu ve terminal gerilim regülasyonu için ikincil olarak da güç sistemi kararlılığı için kullanılmaktadır. Analog arabirim ve koruma devreleri dışında dijital kontrol sistemi ile donatılmıştır (Gültekin vd., 2010). Şekil 23'te Sincan T-STATCOM görülmektedir (Gültekin vd., 2010).



Şekil 22. Sincan T-STATCOM tek hat diyagramı (Gültekin vd., 2010)



Şekil 23. T-STATCOM genel görünümü (Gültekin vd., 2010)

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada tristör tabanlı ve konverter tabanlı FACTS cihazları donanım yapıları, güç sistemlerinde yerine getirdiği işlevler ve ekonomik açıdan incelenmiştir. Ayrıca Türkiye ve Dünyadaki FACTS uygulamalarından örnekler verilmiştir. Geleneksel kompanzasyon cihazlarının dezavantajları, artan enerji talebi, yeni hatların yapılmasındaki kısıtlamalar gibi birçok sebepten dolayı elektrik kuruluşları FACTS teknolojisine büyük bir ilgi göstermektedirler. FACTS cihazlarının maliyetleri, geleneksel kompanzasyon cihazlarına göre oldukça yüksektir. Fakat bu cihazların kurulumu ile elde edilecek faydalar yeni hatların kurulumu ile elde edilecek faydalara eşdeğer olabilir. Dolayısıyla bu cihazların kurulumu yeni hatların yapımını imkanlar dahilinde erteleyebilir. Bundan dolayı iletim sistemi problemlerini en uygun maliyetli ve koordineli bir biçimde çözmek için derinlemesine sistem analizi gereklidir. Bu, geleneksel donanım ve FACTS cihazlarının sisteme olan faydalarını karşılaştırmayı içerir. İletim sistemi planlayıcıları sistem analizi ile en uygun çözümü bulmalıdır.

FACTS cihazlarının maliyetinin gelişen yarı iletken teknolojisi ile birlikte azalması beklenmektedir. Yeni bir uygulama olan FACTS teknolojisinin enerji iletim sistemlerinde uygulamalarının artması ile enerji iletimi daha kaliteli ve etkin bir şekilde gerçekleşebilecek ve enerjinin kontrolü daha da kolaylaşacaktır.

Dünyada ki FACTS uygulamaları her geçen gün artmaktadır. Bu cihazlar enerji ihtiyacının her geçen gün arttığı günümüzde enerji verimliliği bakımından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle enerji planlamalarında FACTS uygulamaları dikkate alınmalıdır. Ülkemizde de bir T-STATCOM uygulaması yapılmış olup halen bu uygulama devam etmektedir.

Şurası açıktır ki konverter tabanlı cihazlar tristör tabanlı cihazlardan çok daha iyi çalışma özellikleri, işlevsel performans ve uygulama esnekliği göstermektedir. UPFC kontrol edilebilir büyüklükte ve faz açısında kısıtlamasız gerilim enjekte etme özelliğine sahiptir. Bu özellik sadece gerilim kontrolü, seri kompanzasyon ve faz açısı düzenleme gibi kombine uygulamalara imkân tanımakla kalmaz, aynı zamanda beklenmedik sistem koşullarında seçili kompanzasyon modundan bir diğerine gerçek zamanlı geçişi sağlar. Bu nedenle UPFC çok yönlü ve en güçlü FACTS cihazı olarak tanımlanabilir. Bu özelliklerinden dolayı güç sistemi uygulamaları için tek düze kullanılabilir.



## 7. Kaynaklar

Abido M. A., (2008), Power System Stability Enhancement Using Facts Controllers: A Review, The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 34, Number 1B, 153-172.

Acha E., Fuerte-Esquivel C., Ambriz-Pérez R., Angeles-Camacho H., C., (2004), FACTS Modelling and Simulation in Power Networks, John Wiley & Sons LTD.

Akkaya Y., (2010), [http://www.teias.gov.tr/ebulten/makaleler/2010/yenerakkaya%20ar-ge/Untitled\\_1.htm](http://www.teias.gov.tr/ebulten/makaleler/2010/yenerakkaya%20ar-ge/Untitled_1.htm), Ziyaret tarihi : 12.12.2011.

Bowler C., Larsen E., Damsky B., Nilsson S., (1992), "Benefits of thyristor controlled series compensation", CIGRE paper No 14/37/38-04.

Cai L., (2004), Robust Coordinated Control of FACTS Devices in Large Power Systems, Phd thesis, University Duisburg, 172.

Cigre Study committee 14 working Group 14.14, (1993), FACTS Tutorial Draft 1.

Eminoğlu U., Herdem S. (2002), Yalçınöz T., İntertör temelli facts cihazları kullanarak Reaktif güç kompanzasyonu ile gerilim kontrolü, Elekt. –elektro.- bilg. Müh. 10. Ulusal kongresi, 152-155.

Glanzmann G., (2005), FACTS Flexible Alternating Current Transmission Systems, Report, EEH - Power Systems Laboratory ETH Zürich 14. January.

Gültekin, B.; Gerçek, C.O.; Atalık, T.; Deniz, M.; Biçer, N.; Ermis, M.; Kose, N.; Ermis, C.; Koç, E.; Cadirci, I.; Açık, A.; Akkaya, Y.; Toygar, H.; Bideci, S.; (2010), Design and implementation of a 154 kV,  $\pm 50$  MVAR Transmission STATCOM based on 21-level Cascaded Multilevel Converter Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), IEEE ; s:3936 – 3948.

Gyugyi L, (1991), A unified Power Flow Control Concept For Flexible AC Transmission Systems, Presented at the fifth International Con.on AC and DC Power Trans., IEE, London september 17-20.

Gyugyi L.; Schauder C.D., Sen K.K.; (1997) , Static synchronous series compensator: a solid-state approach to the series compen. of transmission lines, Power Delivery, IEEE Trans. on Vol.: 12 , Issue:1 , 406– 417.

Gyugyi L., C., Schauder, D., Williams, S., L., Rietman, T., R., Torgerson, D., R., Edris, E., (1994), The Unified Power Flow Controller: A New Approach to Power Transmission Control, IEEE/PES 1994 Summer meeting, San Francisco, CA July 24-28.

Gyugyi L., (1994), Dynamic Compensation of AC Transmission Lines by Solid-state Synchronous Voltage Sources IEEE Transactrons on Power Delivery, Vol 9, No 2, April.

Hasanovic, A., (2000), Modeling and Control of the Unified Power Flow Controller (UPFC), Master Thesis , West Virginia University, 1p.

Habur, K., (2000), K. Habur, D. O'Leary, FACTS-Flexible Alternating Current Transmission Systems-For Cost Effective and Reliable Transmission of Electrical Energy, Siemens–World Bank document [http://www.worldbank.org/html/fpd/em/transmission/facts\\_siemens.pdf](http://www.worldbank.org/html/fpd/em/transmission/facts_siemens.pdf). Ziyaret tarihi: 12.12.2011.

Hingorani N.G., Gyugyi L., (1999), Understanding FACTS:concepts and techn. of flexible ac transmission systems, IEEEPres. NewYork.

Hingorani N.,G., (1993), Flexible AC transmission, IEEE reprinted from IEEE Spectrum,Volume 30, No.4 , 40-45.

Kamarposhti M. A., Alinezhad M., Lesani H., Talebi N., (2008), Comparison of SVC, STATCOM, TCSC, and UPFC Controllers for Static Voltage Stability Evaluated by Continuation Power Flow Method, Elec. Power Con., 1-8.

Larsen E., V., Clark K., Miske S., A., Urbanek J.,( 1993), Characteristics and rating considerations of thyristor controlled series compensation , , IEEE/PES Summer meeting, paper no 93 SM 433-3 PWRD, Vancouver Canada, july 18-22.

Maram S., (2003) “Hierarchical Fuzzy Control of the UPFC and SVC located in AEP's Inez Area”, Msc. Thesis ,Dep. of Elec.and Comp. Engin. of the Virginia Pol. Inst.State University.

Medina A., Ramos-Paz A., Fuerte-Esquivel C.R., (2003) ,Swift computation of the periodic steady state solution of power systems containing TCSCs” Elsevier, Electrical Power and Energy Systems 25, 689–694.

Mitsubishi Electric Corporation (2006), Ross 230 Mvar SVC, 30616-103-09E20,P rinted in Japan,<http://www.meppi.com/Products/FACTS/Documents/Ross%20230%20Mvar%20SVC.pdf>, Ziyaret tarihi: 12.12.2011.

Natesan R., Radman G., (2004), Effects of STATCOM, SSSC and UPFC on Voltage Stability,Proc.of the Thirty Sixth Southeastern Symposium on System Theory Georgia Institute of Technology Atlanta,546–550.

Paserba J., (2003), How FACTS Controllers Benefit AC Transmission System, Trans. and Dist. Con. and Exp., IEEE PES Volume 3, 7-12 Sept. vol.3 949 - 956

Qing L., Zheng Zhenhua W., Z; (2008), Study and Simulation of SSSC and TCSC Transient Control Performance,Joint International Conference on 1 - 6.

Song Y., H., Johns A. T., (1999), Flexible AC Transmission Systems (FACTS). London, UK: IEE Press,

Tolbert L. M.; King T. J.; Ozpineci B.; Campbell J. B.; Muralidharan G.; Rizy D. T.; Sabau A., Zhang S.;H.;Zhang W.; Xu Y.; Huq H. F.; Liu H.; (2005), Power Electronics For Distributed Energy Systems And Transmission And Distribution Applications; Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge, Tennessee 37831 man. by Ut-Battelle, USA

Uzunovic E., Canizares A., Reeve J., (1997), Fundamental Frequency Model of Static Synchronous Compensator, North American Power Symposium (NAPS), Laramie, Wyoming, 49-54.

Vural A.,M., Tümay M.,( 2002), Gelişmiş Güç Akış Denetleyicileri İle Donatılmış Güç Sistemlerinin Newton-Raphson Metodu İle Analizi, Elekt.-elektro.-bilg. Müh. 10. Ulusal kongresi,63-66.

Vural A. M., (2001), Flexible AC Transmission a Unified Power Flow Controller, Master Thesis ,Gaziantep Üniv.