



# ELEKTRİKLİ DEMİRYOLU KATENER HATLARININ KOMPANZASYONUNDA STATİK VAR KOMPANZATÖRLERİNİN KULLANILMASI

Bekir MUMYAKMAZ\*

## ÖZET:

*Alternatif akımla beslenen elektrikli demiryolu katener hattının güç faktörü; tren geçmesi esnasında, çok kısa sürelerde çok büyük değerlere varan değişimler gösterir ve güç faktörü oldukça düşüktür. Aylık enerji tüketim miktarları göz önüne alındığında; bir demiryolu istasyonu trafo merkezinin aylık reaktif enerji tüketimi, aktif enerji tüketiminden fazla olabilmektedir. Bu sebeple reaktif enerjiye karşılık gelen paranın ödenmemesi için kompanzasyon yapılması zorunludur.*

*Demiryolu katener hattı için en uygun kompanzasyon, statik var kompanzatorü kullanımı ile sağlanabilir. Bu makalede katener hatları için kullanılacak statik var kompanzatorü tipleri anlatılmaktadır ve bu tiplerin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:**Demiryolu katener hattı kompanzasyonu, Statik VAR Kompanzatoru

## 1. GİRİŞ

Ulaştırma ve taşımacılıkta önemi giderek artan demiryollarında elektriğin kullanımı yirminci yüzyılın başlarına dayanır. Demiryollarında başlangıçta doğru akım hatları ve 1930' lu yıllardan itibaren de alternatif akım hatları kullanılmaya

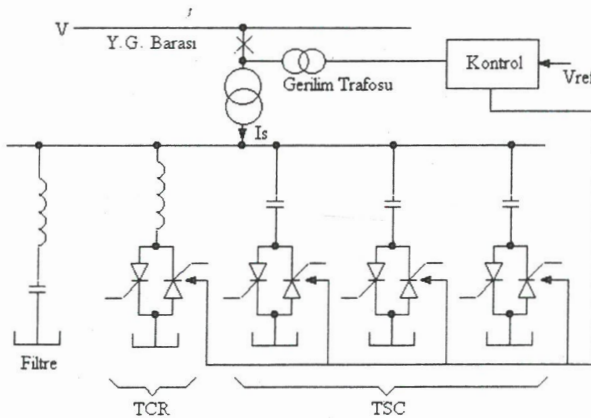
\* Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü Dumlupınar Üniversitesi Kütahya E-mail: [mumyakmaz@hotmail.com](mailto:mumyakmaz@hotmail.com)

başlanılmıştır. Elektrikli demiryolu lokomotifleri; alternatif akım katener hattından aldıkları enerjiyi kullandıkları cer sistemine uygun olan doğru akım veya alternatif akım seviyesine indirirler. Bu çevrim yarı iletken elemanlarla yapıldığı için katener hattının güç faktörü sürekli olarak değişmekte ve düşük değerler almakta; ayrıca hat harmonikleri ihtiva etmektedir. Katener hattının güç faktörünü istenilen seviyede tutmak ve harmonikleri belirli sınırlar içerisinde çekmek amacıyla kompanzasyon yapılması gereklidir. Güç faktörünün çok kısa süreler içerisinde büyük değişiklikler göstermesi statik var kompanzatorü kullanımını gündeme getirmiştir.

## 2. STATİK VAR KOMPANZATÖRLERİ

Statik var kompanzatorler; elektrik güç sisteminin belirli parametrelerini kontrol etmek için çıkış değerleri değiştirilen, paralel bağlı, statik reaktif üretici ve/veya tüketicileridir. En genel halde bir statik var sistemi çıkış değerleri birbirleriyle koordineli bir şekilde değiştirilen ve mekanik olarak devreye sokulup çıkarılan kapasitörler (MSC) veya reaktörler (MSR) ile statik var kompanzatorlerinin bir araya getirilmiş halidir. Bir statik var sistemi doymuş reaktör (SR), tristör kontrollü reaktör (TCR), tristör anahtarlamalı kapasitör (TSC), tristör anahtarlamalı reaktör (TSR), tristör kontrollü transformator (TCT) ve kendinden veya hat komütasyonlu konverter (SCC/LCC) kullanılarak oluşturulabilir.[4]

Şekil 1 de bir tristör kontrollü reaktör (TCR); üç üniteli tristör anahtarlamalı kapasitör (TSC) ve TCR kaynaklı harmonikleri süzmek için filtreden oluşan tipik bir statik var sistemi görülmektedir. Sistemdeki kapasitör grupları tristörlerle devreye alınıp çıkarılmaktadır. Her kapasitör grubuna şebeke ile rezonansa girmemesini sağlamak ve anahtarlama esnasında oluşacak transienleri önlemek amacıyla küçük değerlikli seri endüktanslar bağlanır. Kapasitör grupları üç fazlı uygulamalarda üçgen olarak bağlanır. Tristör anahtarlamalı kapasitörlerin (TSC) devreye alınmaları bara geriliminin maksimum değere ulaştığı ve kapasitör gerilimi ile aynı polaritede olduğu anda yapılır, devreden çıkarılmaları ise kapasitör akımının sıfırdan geçişi esnasında olur.



Şekil 1. Tipik bir statik var kompanzatorü

Tristör anahtarlamalı kapasitör (TSC) kullanılarak reaktif güç kompanzasyonu ancak kademeli bir şekilde kompanzasyon sağlar ve cevap süresi minimum 1 periyot (50 Hz de 20 ms) kadardır. Reaktif enerji ihtiyacı sürekli değişen ve değişim miktarı çok fazla olan yüklerin reaktif enerji kompanzasyonunda sadece TSC'lerden oluşan bir kompanzasyon kullanılabilmesi için ünite sayısının çok olması gerekmektedir. Bu dezavantajı gidermek amacıyla bir TCR ve ona paralel bağlı iki-üç üniteli TSC kullanılabilir. Tristör kontrollü reaktör, çift yönlü tristör grubuna seri bağlı reaktörden oluşur. Bara geriliminin sıfırdan geçişinden 90° sonra tristörlerin tetiklenmesiyle tristör kontrollü reaktörden tam iletim elde edilir. Bu durumda akımın dalga şekli sinüsoidaldır. 90° ile 180° arasındaki tetiklemelerde kısmi iletim söz konusudur ve akım dalga şekli sinüsoidalden uzaklaşır, akımın temel bileşenin ifadesi şu şekilde olur;

$$I_1 = \frac{V[2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha]}{\pi X_L} \dots\dots\dots(1)$$

Bu formülde  $I_1$  ve  $V$  remenans değerler olup;  $X_L$  temel frekansta reaktörün reaktansdır. Tetikleme açısı  $\alpha$ 'ya bağlı olarak suseptansın değişimi ise;

$$B(\alpha) = \frac{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha}{\pi X_L} \dots\dots\dots(2)$$

olacaktır. Tam iletimin elde edildiği  $\alpha=90^\circ$  de suseptans maksimum olup,  $\alpha=180^\circ$  de ise suseptans sıfırdır.

Dengeli şartlar altında tristör kontrollü reaktör sadece tek harmonikler üretir. Üç fazlı uygulamalarda üçgen bağlantı kullanılarak 6 darbeli TCR yapılır. Böylece üç ve üçün katı harmonikler yok edilir. İndirici trafonun sekonder tarafındaki sargılarından birisine yıldız diğerine üçgen bağlantı yapmak suretiyle 12 darbeli TCR bağlantısı elde edildiği durum için ise en düşük harmonikler 11. ve 13. dür. Bu harmoniklerde sistemin sabit kapasitör gruplarına seri reaktör bağlanarak kolayca yok edilebilir. Bir fazlı uygulamalar için Şekil 1 de görüldüğü gibi filtreler kullanılması şarttır. Filtreler şebeke frekansında reaktif enerjinin %10-30 unu üretecek şekilde dizayn edilirler. Bir TCR in cevap süresi 5 ila 10 ms arasındadır ama ölçme ve kontrol devreleri gecikmeye sebep olabilir. Ayrıca kontrol stabilitesini sağlamak amacıyla cevap süresi 1 ila 5 periyot arasında geciktirilebilir.

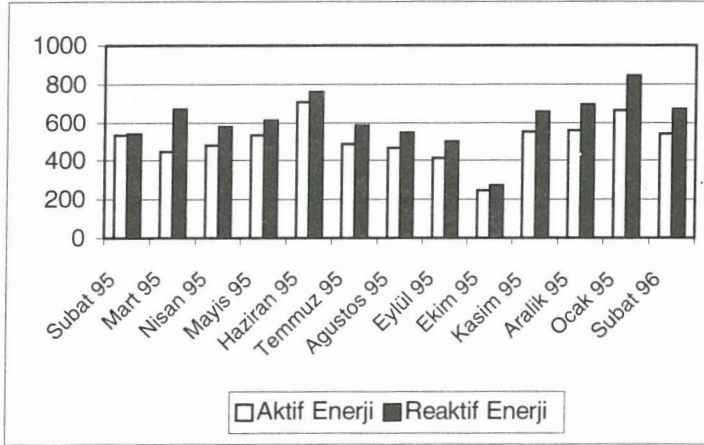
### 3. ELEKTRİKLİ DEMİRYOLU HATLARINDA KOMPANZASYON

Elektrikli demiryollarında ilk önceleri 1500 ve 3000 V luk doğru akım hatları kullanılıyordu.1945 ten itibaren merkezi avrupa ve iskandinav ülkelerinde 15kV, 16 2/3Hz ve 25 kV, 50 Hz lik bir fazlı alternatif akım hatları kullanılmaya başlandı.[1] Türkiye'nin elektrikli demiryolu hatlarında da 25 kV , 50 Hz lik bir fazlı katener hattı kullanılmaktadır.

Katener hattından alınan elektrik, kullanılan tahrik sisteminin ihtiyacına göre doğrultucu–inverter grupları yardımı ile doğru akım veya üç fazlı alternatif akıma çevrilir.[2] Bu çevrilme sebebiyle katener hattından çekilen akım büyük miktarda

harmonikler içerir. Ayrıca; bu tahrik sistemleri, değişen çalışma koşullarına bağlı olarak katener hattından bazen aktif güçle aynı miktarda, bazende daha fazla olabilen reaktif akım çekerler. Bu sürekli biçimde değişen enerji ihtiyacı, hattın güç faktörünü çok düşük değerlere indirebilmektedir. Diğer yandan katener hattından çekilen akım, trenin besleme noktasına olan uzaklığına bağlı olarak katener hattı gerilimini de sürekli değiştirmektedir. Hattaki düşük güç faktörü ve harmonik akımlar, enerji kaybını arttırmakta ve ayrıca reaktif enerji tüketimine karşılık gelen paranın ödenmesini gerektirmektedir. Bu durumda reaktif güç kompanzasyonu zorunlu olmaktadır.

TCDD (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları) trafo merkezlerinde güç faktörünün değişimi aylık ortalama 0.7 ila 0.82 arasındadır.[3] Bu durumda reaktif güç tüketimi bazen aktif güçle aynı değere bile ulaşabilmektedir. Şekil 2 de Eskişehir-Karagözler trafo merkezinin Şubat 95-Şubat 96 dönemi için aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri görülmektedir. Oysaki TEAŞ (Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi); aylık reaktif enerji tüketiminin, aktif enerji tüketiminin %50 sini aşmamasını şart koşmakta aksi durumda reaktif enerji parası almaktadır. TCDD; Şekil 2 de gösterilen dönemde TEAŞ' a aktif güç harcaması için 22 milyon lira öderken, reaktif enerji tüketimi için de 13 milyon lira ödemiştir. Trafo merkezleri reaktif enerji bedelleri toplamları göz önüne alındığında, trafo merkezleri için yapılacak kompanzasyon ünitelerinin maliyeti altı ay ila bir sene içinde amorti edilebilir.



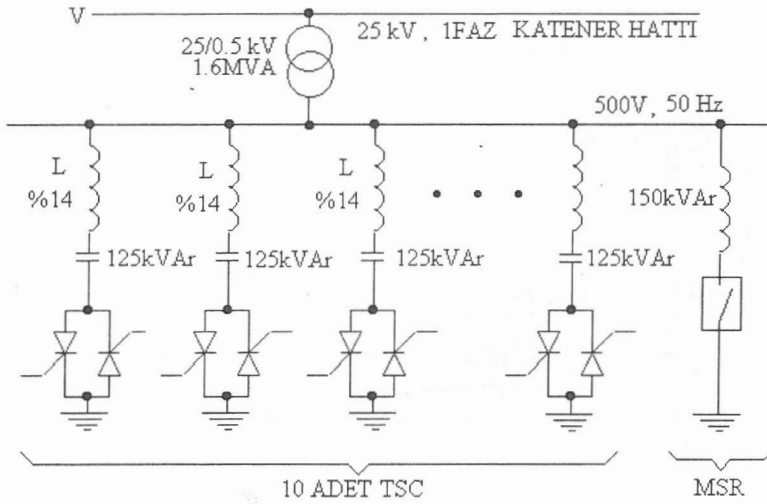
Şekil 2. Karagözler trafo merkezi yıllık enerji tüketiminin değişimi

Diğer bir durum da katener hattının yüksüz olduğu yani tren geçmediği anlar için sözkonusudur. Katener hattı, yüksüz durum için hattın kapasitif reaktansı sebebiyle kapasitif akım çekmektedir. Yine TEAŞ, sistemine verilebilecek reaktif (kapasitif akım) enerji miktarını aylık aktif enerji tüketiminin %25' i ile sınırlamakta, aksi durumda çekilen aktif enerjinin %90' ı kadar reaktif enerji tüketim bedeli almaktadır.

Bu hususlar dikkate alınarak şimdiye kadar trafo merkezlerinin kompanzasyonunda sabit kapasitör grupları (MSC) ve tristör anahtarlamalı kapasitör grupları (TSC) olmak üzere iki tip kompanzasyon kullanılmıştır. Sabit kapasitör

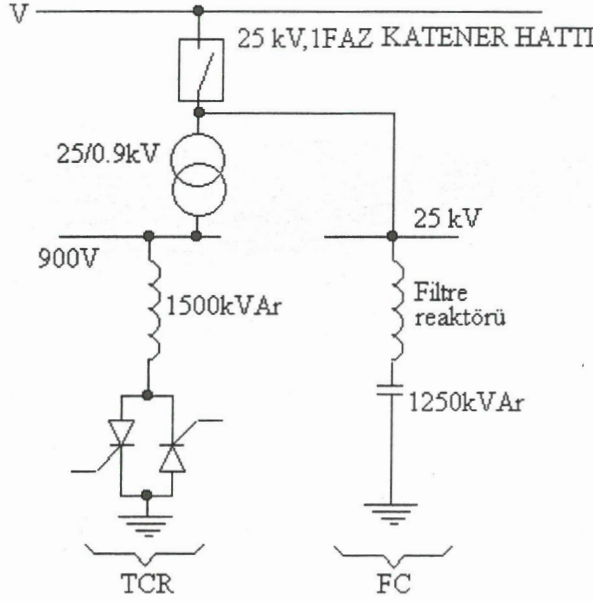
grubu ile kompanzasyon şehirler arası tren ve banliyöların birlikte bulunduğu büyük şehirlerde yeterli görülmüş, tren trafiğinin daha az olduğu şehirler arası hatların trafo merkezlerinde TSC grupları tercih edilmiştir.

Şekil 2 de aktif ve reaktif güç tüketim miktarları verilen Eskişehir – Karagözler trafo merkezinde, bir günde geçen tren sayısı azdır. Tren geçişleri esnasında katener hattından çekilen akım büyük oranda 3, 5 ve 7. harmonikleri içermekte ve toplam harmonik bozulma (THD) %30 seviyelerine ulaşmaktadır. Ayrıca; katener hattından çekilen aktif ve reaktif güçler şebeke geriliminin her periyodunda bile büyük miktarlarda değişmektedir. Bu durumda mekanik yolla kondansatör gruplarının devreye alınarak çıkarılmaları yeterli olmamakta, tristörlerle kontrolü gerekmektedir. Öte yandan harmonik akımlarını azaltıcı düzenlemeler de zorunludur. Bu sebeplerle trafo merkezinde Şekil 3 te görülen kompanzasyon kullanılmıştır.



**Şekil 3. Karagözler Trafo Merkezi Kompanzasyon Sistemi**

Sistemde, katener hattından alınan 25kV luk enerji bir fazlı trafo yardımıyla 500V seviyesine indirilmekte ve kondansatör gruplarına (TSC) bağlanmaktadır. Kondansatörlere seri bağlanan reaktörler aracılığıyla 3. harmonik filtrelenmesi sağlanmaktadır. Katener hattında reaktif enerji miktarı bir periyottan diğerine bile büyük değişiklikler gösterdiğinden çok kademeli TSC kullanımı zorunlu olmuştur ve herbiri 125kVAr lık 10 tane TSC kullanılmıştır. Sistemde ayrıca bir adet kesici ile devreye alınıp çıkarılan 150kVAr lık reaktör bulunmaktadır. Bu reaktör tren geçmediği durumlar için devreye alınarak katener hattının çektiği kapasitif akımı kompanse etmektedir. Sistemin kontrolü gerçek zaman kontrol ve analiz cihazı (RTPF) ile yapılmaktadır. Bu kontrol ile TSC'lerin cevap zamanı en az bir periyottur. Dolayısıyla reaktif enerji üretimi her periyotta bir ayarlanabilmekte; ancak kompanzasyon miktarının değişimi kademeli olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu yönüyle; sistem, ancak aylık ortalama reaktif güç tüketimini aktif güç tüketiminin %50 si seviyesinin altında tutabilir. Güç faktörünü gerçek zamanda sürekli belirli bir seviyede tutamaz.



**Şekil 4. Bir Sabit Kapasitör ve Bir TCR'dan oluşmuş kompanzasyon sistemi**

Daha değişik bir kompanzasyon bir sabit kapasitör (FC) ve bir de TCR dan oluşan sistem kullanmaktır. Bu sistemde güç faktörü gerçek zamanda istenilen seviyede tutulabilir, istenirse trafo merkezinin gerilimi de belirli bir seviyede sabit tutulabilir. Tek hat şeması Şekil 4 te verilen sistemde, kondansatör grubu 25 kV luk katener hattına paralel bağlıdır. Kapasitör grubuna seri bağlı reaktör 3. harmonik bileşeni filtrelemek için ayarlanmıştır. TCR ise 25 kV u, 900 V seviyesine indiren trafo çıkışına bağlanmıştır. Oluşturulan sistemin cevap süresi yarım peryot olduğundan, sürekli olarak değişen bir kompanzasyon sağlayarak güç faktörünü sürekli bire yakın tutabilir ve böylece kayıplar minimum seviyede kalır.

Sistemin dezavantajı TCR'nin kendisinin harmonik üretmesidir. Bu harmonik üretimi katener hattında mevcut harmoniklerden daha küçüktür. Teknik yönden daha uygun bir kompanzasyon için hem TSC ve hem de TCR içeren Şekil 1 de görülen karma sistemler tercih edilir. Bu sistemlerde iki veya üç adet TSC ve bir adet TCR bulunur. TCR nin reaktif gücü bir TSC ünitesinin reaktif gücünden büyük seçilir. Elde edilen sistemin kayıpları daha azdır ve daha az harmonik oluşturur.

#### 4. SONUÇ

Elektrikli demiryolu katener hattının güç faktörünü iyileştirmek ve harmonik miktarını azaltmak amacıyla yapılacak kompanzasyon tesisinde iki faktörün göz önünde tutulması gerekmektedir. Bunlardan ilki güç faktörünün tren

geçiş esnasında çok kısa zaman aralıklarında büyük değişimler göstermesi, diğeri de tren geçmediği zamanlarda katener hattının kapasitif akım çekmesidir. Güç faktörünün sürekli değişmesi ve kompanzasyon ünitesinin hem kapasitif hem de endüktif bölgede çalışabilmesi zorunluluğu, statik var kompanzatorü kullanımını gerektirir. Demiryolu istasyonu trafo merkezinde yapılacak ölçümler sonucu ve kurulacak sistemin maliyeti göz önünde tutularak kullanılacak statik var sisteminin tipi belirlenmelidir.

#### REFERANSLAR:

1. Heinz KURZ, "**Rolling Across Europe's Vanishing Frontiers**", IEEE Spectrum, Feb. 1999, PP 45-49
2. KASAPOGLU, A. , ÇATIKKAŞ, M. S., "**Elektrikli Kent İçi Ulaşım Taşıtları İçin 3-Faz İndüksiyon Motorlu Dönüştürücülü Tahrik Sistemleri**", Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, Eylül 1993.
3. **TCDD Reaktif Güç Kompanzasyonu Teknik Şartnamesi**, 1996
4. KUNDUR, P. , **Power System Stability and Control**, McGraw-Hill, Inc., 1993

