

REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNDA MODERN YÖNTEMLER

Doç. Dr. Cemil ARI KAN
ASELSAN

Dr. Muammer ERMiŞ
ODTÜ

ÖZET

Son yıllarda tiristör denetimli güç kompanzasyon düzenleri gerek endüstriyel sistemlerin güç katsayılarını dinamik olarak düzenlemede gerekse de terminal geriliminin kararlılığını sağlamada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu makalede ilk olarak genel olabilmesi için dengesez yüklerin reaktif güç kompanzasyonunun matematik temeli verilecektir. Daha sonra kompanzasyon gayesi ile kullanılan tristörlü sistemler tanıtılacak ve karşılaştırılacaktır. Ayrıca alışlagelmiş sistemlere göre olumlu ve olumsuz yönleri tartışılacaktır. Çeşitli uygulamalarda kullanılan tristörlü kompanzasyon sistemlerinden önemli görülenlerden örnek sunulacaktır.

I - 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 nitelikli hale getirilmesi amaçlarıyla reaktif güç akışının neden olduğu kayıpların en alt düzeye indirilmesi amaçlarıyla reaktif güç kompanzasyonu gün geçtikçe daha yaygın bir biçimde uygulanmaktadır.

Uygulamalarda başlıca iki tür kompanzasyon problemi ile karşılaşmaktadır. Bunlardan ilki reaktif güç istemi hızlı bir biçimde dalgalanan büyük endüstriyel yüklerin (ark ocakları, hadde makinaları, vb.) bu istemlerini karşılamaya yönelik yük kompanzasyonudur. Yük kompanzasyonu probleminin çözümünde kullanılan alışlagelmiş yöntemler şunlardır :

- Senkron kapasitör kullanmak,
- Elektrik sisteminin kısa devre MVA gücünü artırmak,
- Mekanik olarak anahtarlanan şönt kapasitör grupları kullanmak,
- Sabit kapasitör grupları kullanmak,
- Yük ile bara arasına reaktörler bağlamak.

Yük kompanzasyonu amacıyla alışlagelmiş yöntemler yerine modern kompanzasyon yöntemlerini kullanımı en uygun çözüm olmaktadır. Modern kompanzasyon yöntemlerini oluşturan Tristörlü Statik Reaktif Güç Kompansatörlerinin çok kısa zamanda tepki gösterme yeteneği (yarım çevrim) her fazın ayrı ayrı denetlenebilirliği özelliği ve dolayısıyla dengesiz yükleri kompanse etme yeteneği göz önüne alındığında yukarıdaki ayırım anlaşılır olmaktadır.

Uygun bir yük kompanzasyonu ile şu yararlar sağlanabilir :

- Ark ocakları ve hadde makinalarının neden olduğu düşük sıklıktaki gerilim oynamalarının (filiker) azaltılması
- Endüksiyon ocakları gibi tek fazlı yüklerin veya ark ocaklarının neden olduğu dengesizliklerin en alt düzeye indirilmesi.
- Reaktif yüklerin güç faktörlerinin iyileştirilmesi.

İkinci kompanzasyon türü ise hem yük hem de generatör tarafından bozucu etmenlerle karşılaşan iletim hatlarındaki gerilimin düzenlenmesi ve kararlılığının sağlanması amaçlarına yöneliktir. Bu tür kompanzasyon uygulamalarında kullanılan alışlagelmiş yöntemler şöyle özetlenebilir :

- Senkron kapasitör kullanmak,
- Mekanik olarak anahtarlanan Şönt kapasitör grupları kullanmak,
- Mekanik olarak anahtarlanan Şönt reaktör grupları kullanmak,
- Şönt kapasitörlerinin kullanımı,
- Transformatör kademelerini değiştirmek,
- Generatörlerinin gerilim düzenleyicilerinin veya sistem kararlıcılarının ayarlarını değiştirmek.

Statik Reaktif güç kompansatörlerinin iletim sistemlerinde kullanılmasıyla şu yararlar sağlanabilecektir.

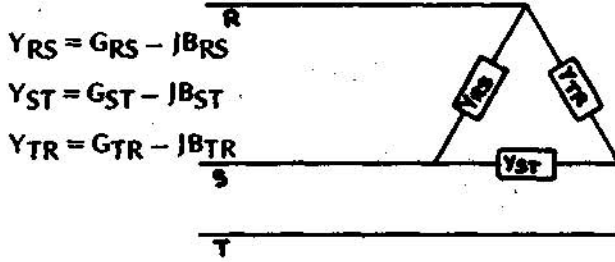
- İletim hatlarının kararlı durumda aktif güç iletim kapasitelerini artırmak,
- İletim hattının geçici durum kararlılığını iyileştirmek (kısa devre, yükün devre dışı kalması, hattın devreye alınması vb.-geçici durumlarda);
- Değişken yük, az yük, hattın devreye alınması, gibi çalışma koşullarında gerilim düzenlemesini sağlamak.

Bu çalışmada yük kompanzasyonunun kurumsal temelleri ve tristörlü statik güç kondansatörlerinin çalışma ilkeleri ve alışlagelmiş yöntemlerle kıyaslanmaları verilecektir.

II - YOK KOMPANZASYONU

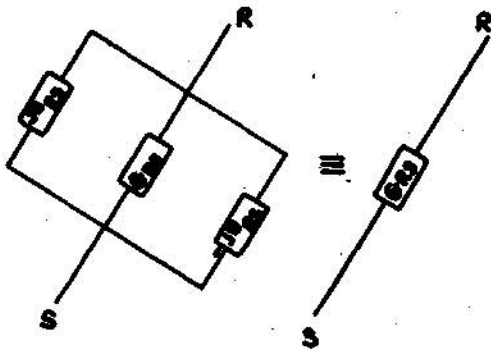
Büyük ve değişken yüklerin kompanzasyonunun genellikle iki temel nedeni vardır. Bunlardan birincisi sistemin büyük yük değişmelerini kaldırarak kapasitede, olmaması, ikincisi ise reaktif gücün şebekeden çekilmesi yerine yük noktalarında sağlanmasıdır. Burada hedeflenen tek tek yüklerin şebekeye olan kötü etkilerinin en aza indirilmesidir.

Şimdi yük kompanzasyonunun kurumsal temellerini tartışalım. Herhangi üç fazlı bir sisteme bağlanan yük Y ve A bağlanmış olabilir, incelememize kolaylık sağlayacağı için yükün şekil 1 de gösterildiği gibi A bağlı olduğunu varsayalım.



Şekil 1. Üç fazlı bir yükün admittans olarak gösterimi.

Böyle bir yük için reaktif gücün kompanzasyonu $Y_{RS} > Y_{ST}$ ve Y_{TR} admittanslarının sanal kısımlarını oluş-

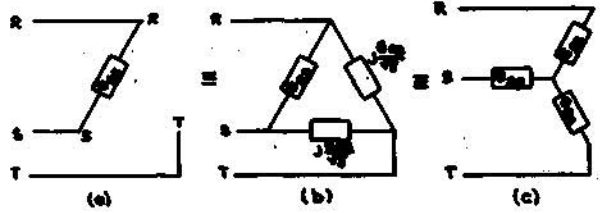


Şekil 2. Y_{RS} admittansının sanal kısmının yok edilmesi.

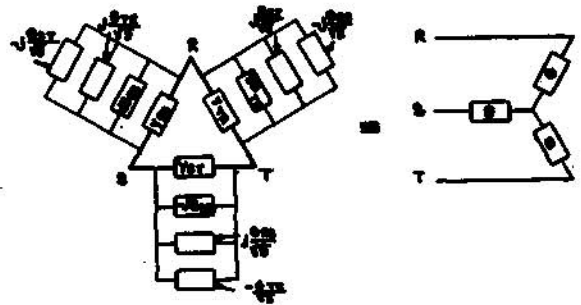
turan $B_{j_{st}}$, B_{sj} ve B_{jr} Suseptanslarının yok edilmesiyle gerçekleştirilir. Örneğin R ve S fazları arasında bağlanan admittansın kompanzasyona uğramış hali Şekil 2 de gösterilmiştir. Dengeli üç fazlı bir yük için tek faz da uygulanan bu yöntem, her fazda eşit olarak uygulanır.

Biindiği gibi endüstriyel uygulamalarda dengesiz, büyük yükler, gerek kompanzasyon yönünden gerekse de şebekede oluşturdukları dengesizlikler nedeniyle sorun yaratırlar.

Yazımızın başında da belirttiğimiz gibi temel isteklerimizden bir tanesi yükün reaktif güç istemini karşılamak olduğu gibi diğer bir isteğimiz de üç fazlı sistemin dengeli olarak yüklenmesidir. Bunu gerçekleştirebilmek için de yüzyılımızın başında steinmetz tarafından önerilen Şekil 3 de özetlenen yöntem kullanılarak, dengesiz bir yükün dengeli hale getirilmesi olanaklı hale gelmektedir, şekil 3 (a) da tek faza bağlı



Şekil 3. Tek fazlı bir rezistif yükün Üç fazda dengelenmesi.



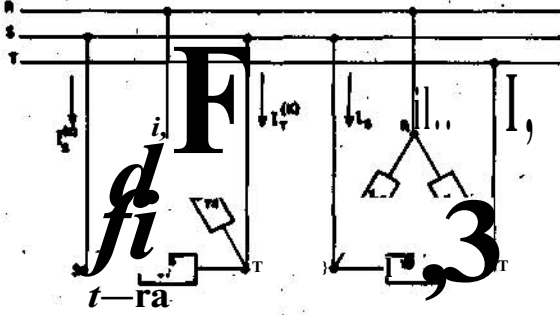
Şekil 4. 3-fazlı dengesiz bir yükün kompanzasyonu.

denge bir yük gösterilmiştir. Şekil 3 (b) de dengeleme için yapılan ekler ve Şekil 3 (c) de 3 fazlı sistemin son hali gösterilmiştir.

Bu durumda A bağı bir yükün hem reaktif gücünün karşılanması hem de dengelenmesi için yapılan kompanzasyon işlemi şekil 4 de özetlenmiştir.

Dengesiz bir yükün kompanzasyonu simetrik bileşenler yöntemi ile incelenebilir.

Şekil 5 de dengesiz A bağı bir yük ve A bağı bir kompanzasyon göz önüne alınmıştır.



Şekil 5. Dengesiz A bağı 3-fazlı yük ve A bağı kompanzasyon.

Giriş geriliminin dengeli olduğu varsayılırsa, $V_R = V$, $V_s = a^2V$, $V_T = aV$ eşitlikleri yazılabilir. Burada $a = e^{-j2\pi/3}$ yük tarafından çekilen akımlar ve simetrik bileşenler aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$I_R = [Y_{RS}(1-a^2) - Y_{TR}(a-1)] V$$

$$I_S = [Y_{ST}(a^2-a) - Y_{RS}(1-a^2)] V$$

$$I_T = [Y_{TR}(a-1) - Y_{ST}(a^2-a)] V$$

$$I_{R0} = 0$$

$$I_{R1} = (Y_{RS} - Y_{TR}) V$$

$$I_{R2} = -(a^2 Y_{RS} - Y_{ST} - Y_{TR}) V$$

Burada gayenin I_{R1} in sanal bölümü ile I_{R2} nin tümünün yok edilmesi olduğunu söyleyebiliriz. Kompanzasyon devresine ait akımların simetrik bileşenlerini de aşağıdaki gibiyazabiliriz.

$$I_{R0}^{(k)} = 0$$

$$I_{R1}^{(k)} = I (B_{RS} - B_{ST} - B_{TR}) V$$

$$I_{R2}^{(k)} = -I (a^2 B_{RS} - B_{ST} - a B_{TR}) V$$

Bu durumda kompanzasyonu sağlayacak koşullar aşağıdaki biçimde belirlenir.

$$I_{R2}^{(k)} - I_{R2}^{(k)} = 0$$

$$\text{Im}(I_{R1}^{(k)} - I_{R1}^{(k)}) = 0$$

Yukardaki eşitliklerden yararlanılarak kompanzasyon için gerekli suseptanslar aşağıdaki gibi elde edilir.

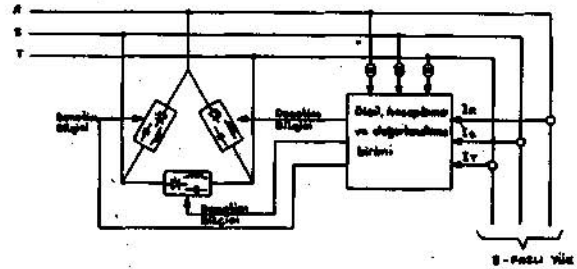
$$B_{RS}^{(k)} = -\frac{1}{3V} \text{Im}(I_{R1}^{(k)}) - \frac{1}{3V} \text{Im}(I_{R2}^{(k)}) - \text{Re}(I_{R2}^{(k)})$$

$$B_{ST}^{(k)} = -\frac{1}{3V} \text{Im}(I_{R1}^{(k)}) - \frac{2}{3V} \text{Im}(I_{R2}^{(k)})$$

$$B_{TR}^{(k)} = -\frac{1}{3V} \text{Im}(I_{R1}^{(k)}) - \frac{1}{3V} \text{Im}(I_{R2}^{(k)}) - \text{Re}(I_{R2}^{(k)})$$

Böylece, kompanzasyon için gerekli olan suseptanslar yük akımının simetrik bileşenleri cinsinden belirlenmişlerdir. Bu yaklaşım uygulamada gerekli denetim düzeninin oluşturulmasında bize ışık tutmaktadır. Bu anlayış içinde bir kompanzasyon devresine ait denetim öbek çizimi şekil 6 da verilmiştir.

Şekil 6 da görüldüğü gibi suseptansın değiştirilmesi için tiristörlü sistemler kullanılmaktadır. Bu aşamada modern, kompanzasyon birimlerinde kullanılan tiristör denetimli statik paralel kompanzasyon devresine bir göz atalım.



Şekil 6. Denetim devresi öbek çizimi.

III - TİRİSTÖRLÜ STATİK VAR KOMPANSATÖRLERİ

Bir statik VAR kompanzasyonu (SVK), kapasitör, reaktör, transformatör ve statik anahtarlar gibi elemanla-

rn hızlı, sürekli ve denetlenebilir iştir şönt reaktif güç kompanzasyonu sağlamak amacıyla bir araya getirilmesinden oluşan bir sistemdir. Çok çeşitli statik VAR kompensatörü olmasına karşın bunların en yaygın kullanılan belli başlıları şöyle sıralanabilir.

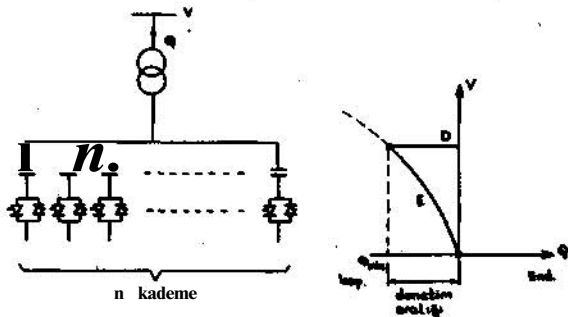
1. Tiristör anahtarlama kapasitörler (TAK)
2. Tiristör anahtarlama reaktörler (TAR)
3. Tiristör denetimli reaktör (TDR)
4. Sabit kapasitör-tiristör denetimli reaktör (SK/TDR)
5. Tiristör anahtarlama kapasitörler - tiristör denetimli reaktör (TAK/TDR)

6. Tiristör anahtarlama kapasitörler- tiristör anahtarlama reaktörler-tiristör denetimli reaktör (TAK/TAR/TDR)

Aşağıdaki bölümde bu kompensatörlerle ilgili kısa bilgiler verilmiştir.

1 - Tiristör anahtarlama kapasitörler :

Böyle bir sistemin şematik gösterimi şekil 7 de verilmiştir. Kapasitörlerin devreye girip çıkmaları kontaktörler, ayırıcılar veya keçiler yerine tiristörlerle sağlanmaktadır. Tiristörlerin anahtarlama elemanı olarak kullanılmasında sayısız yararlar vardır.



Şekil 7. Tiristör anahtarlama kapasitörlerden oluşan kompanzasyonun şematik gösterimi ve V/Q karakteristiği.

Böyle bir sistem otomatik olarak çalışacak ve geri besleme mekanizması için gereken sinyal yükün terminal geriliminden, reaktif gücünden veya güç faktörlerinden alınabilecektir. Her bir ünitenin devreye girişi gerilimin tepe değerinde iken olacak, diğer taraftan transient akımı yok etmek için devre dışında olan üniteler zaman zaman kısa süreler için ateşlenerek gerilimin tepe değerine kadar şarj etmeleri ve bu değerde kalmaları sağlanacaktır.

Bu kompensatörün reaktif güç karakteristiği şekil 7 de gösterilmiştir. (E) eğrisi tüm kapasitörler devreye alındığında kompensatörün kapasitif reaktif güç üretimini ($Q = YV^2$) göstermektedir. (D) doğru parçası

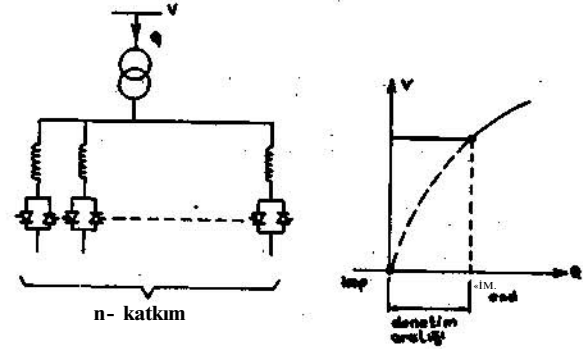
ise kompensatörün denetim aralığını simgelemektedir. Bu doğru parçasının sol uç noktasında tüm kapasitörler devrede, sağ uç noktasında ise tümü devre dışındadır. Kompensatörün V/Q karakteristiği şekilde koyu ve kesintisiz çizgi ile gösterilmiştir.

Bu tip kompensatörlerin temel özellikleri şöyle sıralanabilir :

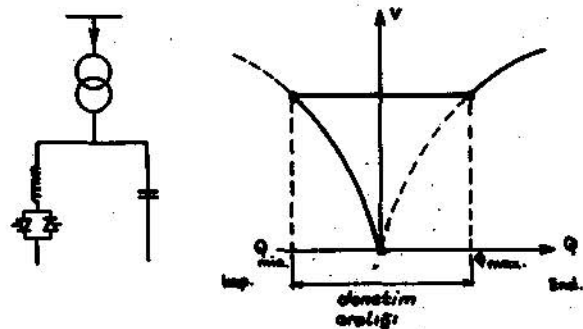
- Kademeli denetim yapılacaktır.
- En fazla 10 msn de sistemde olan reaktif güç değişmelerine tepki gösterebilecektir,
- Pratikte transient meydana gelmeyecektir,
- Harmonik üretmeyecektir,
- Kayıplar az olacaktır,
- Denetimde ve işletmede esneklik sağlanacaktır,
- Sadece kapasitif, reaktif güç üretilebilecektir.

2 - Tiristör anahtarlama reaktörler :

Böyle bir sistemin şematik gösterimi ve reaktif güç karakteristiği şekil 8 de verilmiştir.



Şekil 8. Tiristör anahtarlama reaktörlerden oluşan kompanzasyonun şematik gösterimi ve V/Q karakteristiği.



Şekil 9. Sabit kapasitör/tiristör denetimli reaktörden oluşan kompanzasyonun şematik gösterimi ve V/Q karakteristiği.

Bu tip bir kondansatör, çalışma ilkeleri ve temel özellikleri açısından, yukarıda anlatılan TAK'a benzerlik gösterir. Başlıca ayırım, tiristör anahtarlamalı reaktörlerin sadece endüktif reaktif güç üretebilmeleridir.

3 - Sabit kapasitörler - tiristör denetimli reaktör:

Böyle bir sistemin şematik gösterimi ve reaktif güç karakteristiği şekil 9 da verilmiştir. Bir yandan sabit kapasitörler reaktif güç üretirken diğer yandan tiristör denetimli reaktör reaktif güç tüketecektir. Belirli bir gerilim seviyesinde kapasitör grubunun reaktif güç üretimi sabit olduğundan, sistemin reaktif güç üretimi tiristörlerin ateşleme açılarının değiştirilmesiyle sağlanmaktadır. Tiristörlerin ateşleme açılarının değiştirilmesi reaktif reaktör akımının ana bileşenine dolayısıyla üretilen endüktif var in büyüklüğünü denetleyecektir.

Bu tip kompansatörlerin temel özellikleri şöyle sıralanabilir.

- Sürekli, kesintisiz denetim,
- En fazla 10 msn. de sistemde olan değişmelere tepki gösterilebilecektir,
- Pratikte transient meydana gelmeyecektir,
- Harmonik üretecektir,
- Kayıplar daha yüksek olacaktır (özellikle düşük seviyelerde reaktif güç üretirken veya tüketirken),
- Hem kapasitif hem de endüktif reaktif güç üretebilecektir.

4 - Tiristör anahtarlamalı kapasitörler - tiristör denetimli reaktör:

Bu tip bir kompansatörün çalışma ilkeleri ve özellikleri yukarıda anlatılan SK/TDR tipi kompansatöre çok yakındır. Sabit kapasitör grubu yerine tiristör anahtarlamalı kapasitörlerin kullanılması ile sağlanabilecek yararlar şöyle sıralanabilir:

- 1- Endüktif bölgede denetim aralığı genişleyecektir,
- 2- Kayıplar azalacaktır.

Bu yararlarına karşın, böyle bir sistemin daha yüksek bir ilk yatırım bedeli isteyeceği açıktır.

5 - Tiristör anahtarlamalı kapasitörler - tiristör anahtarlamalı reaktörler - tiristör denetimli reaktör :

SK/TDR ve TAK/TDR tipi kompansatörlerin ürettikleri harmoniklerin büyüklüklerini azaltmak amacıyla TAK/TAR/TDR tipi bir kompansatör tasarlanabilir. Bu kompansatörlerdeki TDR grubunun kvar gücü oldukça düşük olacağı gibi, toplam kayıplar düşük bir düzeyde gerçekleşecek ve geniş bir denetim aralığı sağlanabilecektir.

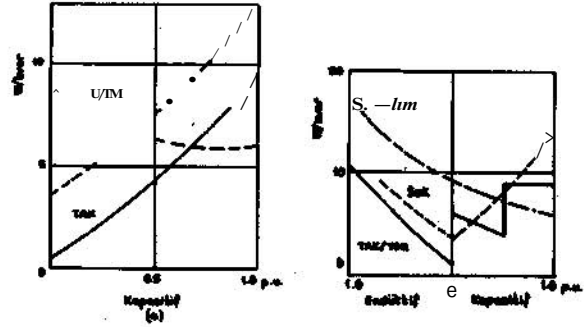
Yukarıda özellikleri sıralanan statik kompansatörlerden birinin tüm uygulamalar için en iyi çözüm olduğu söylenemez. Pek çoğu denetim aralığı, denetim biçimi, kayıplar açısından değişik özellikler gösterdiğinden, kompanzasyon probleminin niteliğine en uygun olanının seçilmesi gerekmektedir.

Belirli bir uygulamaya en yakın statik kompansatörün seçilmesi için aşağıda sıralanan aşamalardan geçmesi gerekecektir:

- Problemin tanımlanması
- Denetim aralığının belirlenmesi
- Teknik açıdan değişik sistemlerin olumlu ve olumsuz yanlarının sıralanması
- Kompansatörün gücünün ve tipinin seçimi
- Güvenilirliğinin ve yatırım bedelinin saptanması
- Kompansatörün kararlı ve geçici durumlarda başarisinin kuramsal olarak saptanması.

Bu aşamalar tamamlandığında, problemin niteliğine en uygun olan kompansatöre ilişkin veriler ortaya çıkmış olacaktır.

Aşağıdaki bölümde statik kompansatörler, senkron kapasitör (SEK) ile değişik açılardan karşılaştırılmıştır. Kayıplar açısından statik kompansatörler ve senkron kompansatörler Şekil 10 a ve b de karşılaştırılmıştır.



Şeki 110. Reaktif güç komparisatörfermde elektriksel kayıplar.

Statik kompansatörlerin senkron kapasitöre olaı üstünlükleri ise şöyle sıralanabilir :

- Genellikle daha düşük yatırım maliye*tij
- **Genellikle daha az kayıp,**
- Daha düşük bakım ve onarım giderleri,
- Eşit ya da daha yüksek güvenilirlik,
- Daha kısa zamanda tepki gösterme yeteneği,
- Her faz ayrı ayrı denetlenebilir,
- Eylemsizlik momenti yoktur,
- Kendinden uyarım olmaz.

Senkron kapasitörün ise şu üstünlükleri sıralanabilir :

- Bağlandığı noktadaki kısa devre kapasitesini artırır,
- Kısa süreler için anma gücünün üzerinde reaktif güç üretebilir.

Son yirmi yıl içerisinde güç elektroniğinde olan gelişmeler sonucu statik kompansatörler yaygın bir kullanım, düzeyine erişmişlerdir. Ark ocakları ve hadde motorları gibi darbeleri yüklerin elektrik sistemine olan olumsuz etkilerinin giderilmesinde en uygun seçenek

olan SK'lerin uygulamalarından bahsetmek yararlı olacaktır.

IV • UYGULAMALAR

IV.1. Ark Ocaklarında Reaktif Güç Kompanzasyonu Ocağın ve Arkın Özellikleri:

Ark ocakları yoğun elektrik enerjisi tüketen yüklerdir. Bu özelliğinin yanısıra darbeli ve dengesiz güç çekmeleri elektrik iletim ve dağıtım sisteminde çeşitli problemlerin doğmasına neden olabilir. Ark ocaklarına uygulanacak reaktif güç kompanzasyonu; reaktif enerji bedeli ödemekten kurtulmak, kayıpları azaltmak, sistemin iletim ve dağıtım kapasitesini artırmak gibi doğal yararlarının yanısıra elektrik sisteminde doğabilecek problemlerin çözümünde de etkili olacaktır.

Ocak transformatörleri sekonder gerilimleri geniş bir aralıkta değişebilecek biçimde tasarlanırlar. Böylece, yüksek kademelerde yoğun bir enerji tüketimi düşük kademelerde ise ayırtmaya veya beklemeye alınan ocağın enerji tüketimini karşılamak mümkün olur. Gerilim kademelerine ek olarak ark boyunu ayarlayan kademelerin değiştirilmesiyle ark akımı denetlenmektedir. Diğer bir deyişle ark ocağının elektriksel davranışı uygulanan gerilim ve akım kademelerine bağlı olacak ve değişik işletme koşullarının (eritme, arıtma, bekletme vb.) gerektirdiği elektriksel çalışma koşulları bu kademelerin değiştirilmesiyle gerçekleştirilebilecektir.

Bir gaz ortamında elektriksel bir boşalma olan ark ancak akımın doğal sınırında sönebilir. Bunun takibeden sürede elektrot uçları ile metal parçacıkları arasındaki gerilim transformatörün sekonder gerilimine eşit olacaktır. Arkın tekrar başlayacağı an bu gerilim tarafından belirlenmektedir. Belirli bir elektrot açıklığı için, arkın tekrar başlatılabilmesi ancak gerilimin belirli bir değere ulaşmasıyla mümkün olacaktır. Bu nedenle transformatör sekonder gerilimi ile ark akımı arasında bir faz farkı olacak ve ark ocağı kaynaktan aktif güç ile birlikte reaktif güç isteminde de bulunacaktır.

Ark ocağının aktif ve reaktif güç istemi arkın özellikleri dolayısı ile belirli çalışma koşulundaki gerilim ve akım kademeleri ile, ilintili olacaktır. Bu nedenle ocağın aktif ve reaktif güç istemi zaman ile değişecektir. Ark akımı doğal sınırına eriştiği zaman, sekonder gerilimi arkın yeniden başlamasına yeterli olmayan bir düzeyde ise akım kesikli bir yapı gösterecek ve bu durum yüksek güç faktörünü, simgeleyecektir. Kararlı bir ark elde edebilmek için akımın sınırında gerilimin yeterli düzeyde olması istenir. Bu koşul düşük güç faktörlerinde çalışmayı simgelemektedir. Bu nedenlerle, özellikle eritme periyodunun başlarında (ocağın en kararsız olduğu durum), güç faktörünün düşük tutulması uygun olacaktır. Aktif gücün en yüksek değere ulaştığı yerde güç faktörü $\cos \theta = 0.707$ değerine ulaşmakta ve bu nokta ocağın en uygun çalışma koşullarından birini oluşturmaktadır.

Ark Ocağının Reaktif Güç İstemi:

Bir ark ocağının eritme süresince ortalama reaktif güç ihtiyacı, güç faktörü 0.7 dolayında olduğunda, aktif güç istemine eşit kabul edilebilir. Arkları kararlı hale getirmek için güç faktörünün 0.7 dolaylarında seçilmesine rağmen her bir fazdaki akım sabit olmayacaktır, dolayısıyla her bir fazın reaktif güç istemi değişik zamanlarda çok çabuk değişim göstererek elektrik sistemi için dengesiz bir yük oluşturacaktır. Ocağın reaktif gücünün çok hızlı değişen karakterine rağmen; ortalama reaktif güç ve değişiminin alt ve üst sınırlarından söz etmek mümkündür. Eritme süresinde 0.7 güç faktörü ile çalışan bir ocak için reaktif güç değişimleri şu eşitlikte verilebilir.

$$Q = Q_{kd}(1 \pm 0.7)$$

Bu eşitlikte Q ocağının belli bir andaki reaktif güç istemi, Q_{kd} te kararlı durum çalışma koşullarındaki ortalama reaktif güç istemi olup Q_{kd} ocağın ortalama aktif güç tüketimine eşit alınmalıdır. Buradan, ocağın max. reaktif güç istemi $Q_m = 1.7 Q_{kd}$ ve eraktif güç dalgalanmaları $Q = 1.4 Q_{kd}$ olarak bulunur. Bu kuramsal bilgilerden, kullanılması gereken reaktif güç kompanzatorü ile ilgili şu sonuçlara ulaşmak mümkündür.

1. Ocağın dengesiz elektriksel özellikleri göz önüne alınarak her faz ayrı ayrı denetlenmelidir.
2. Reaktif güç istemlerinin sabit ve değişken kısımları ayrı ayrı kompanse edilebilir.
3. Reaktif güç değişimleri çok hızlı olduğunda, bu değişimlere çok kısa zamanda tepki gösterilebilecek kompanzatorler seçilmelidir.

Bu tür özellikleri gösteren bir kompanzatorün devreye alınmasıyla ark ocaklarına özgü şu ek yararlar sağlanabilecektir :

1. Eritme süresinde ark ocaklarının özelliği sık sık elektrotlarla metal arasında olan kısa devrelerdir. Bu olayı takibeden sürede elektrotlar uzaklaştırılmakta ve ark temizlenmektedir. Genellikle bu kısa devreler iki elektrot arasında olmakta, diğer elektrot ise açık devre özelliği göstermektedir. Bu nedenlerle elektrik sistemi sık sık simetrik olmayan darbelere maruz kalmaktadır. Bu büyük akım dalgalanlarının sonucu olarak, gerilim dalgalanmaları gözlenecektir. Elektrik sisteminde, ark ocaklarının ve diğer kullanıcıların belli bir noktaya beraberce bağlandıkları düşünülürse bu gerilim dalgalanmalarının diğer kullanıcıları etkileyebileceği söylenebilir. Bu aşamada eklenmesi gereken özellik, bu ortak noktanın kısa devre MVA gücünün ne boyutlarda olduğudur. Yüksek kısa devre-MVA gücü gerilim dalgalanmalarının düşük boyutlarda kalmasına neden olacak ve ark ocaklarının diğer yüklere etkileri azalacaktır. Diğer taraftan düşük bir kısa devre MVA gücü gerilim dalgalanmalarının büyümesine, dolayısıyla 4-10 Hz frekans aralığında akkor filamalı lambaların filiker olayına, 20 Hz in üzerinde floresant lambaların etkilenmesine ve TV alıcılarının resim kaliteleri-

nin bozulmasına neden olacaktır. Bu tür olaylarla karşılaşmamak için gerilim dalgalanmalarının % 2 sınırının altında kalması gerektiği genel kabul gören bir gerçektir. Reaktif güç kompensatörünün devreye alınmasıyla gerilim dalgalanmaları azaltılarak olumsuz etkileri yok edilebilecektir.

II. Ark ocaklarının bir diğer özelliği ise elektrik sistemine harmonik üretmeleridir. Bu harmonikler sistem elemanlarında kayıplara neden olacak, onların başarımlarını etkileyecek ve hatta rezonans olayına yol açabilecektir. Reaktif güç kompensatörünün devreye alınması ile harmonik üretimi azalacak, ek bir dizi önlemlerle de rezonans olaylarının önüne geçilebilecektir.

Elektriksel ark ocaklarının yukarıda sıralanan olumsuz etkilerinin giderilebilmesi için kesin çözüm : çok kısa zamanda tepki gösterebilen, her fazın ayrı ayrı denetlenebildiği, filtrelerle donatılmış bir statik kompensatör kullanmaktır. Sabit kapasitör, senkron kapasitörler ya da doyumlu reaktörler kısmi ve geçici çözümler olmaktan öteye geçemezler.

Ark Ocaklarında Kullanılan Kompansatörlerin Karşılaştırılması :

Bu bölümde ilk önce ark ocaklarında alışılmış ve modern kompanzasyon yöntemleri karşılaştırılacak, daha sonra bir örnek çalışılacaktır. Sıralanan tüm olasılıklar için kompanzasyonun ocak transformatörünün pirimerinin bağlı olduğu ana barada yapıldığı varsayılmıştır.

Sabit Kapasitörler - Sabit kapasitörler en sık uygulanan, en ucuz seçenektir. Kapasitörler; ocağı eritme sürecinde kısmen kompanse edecek biçimde seçilir. Reaktif gücün kompanse edilmeyen bölümü kaynaktan çekilecektir. Ocak düşük güçte çalışırken ya da ocak devreden çıkarıldığında aşırı kompanzasyon durumu doğacak ve şönt kapasitörler sisteme reaktif güç vereceklerdir. Bu nedenle bu kapasitörlerin sürekli devrede bırakılmaları sistem yüksüz iken ciddi gerilim yükselmelerine neden olabilecektir. Bu tip bir kompanzasyonun ark ocağından kaynaklanan gerilim titreşimleri, harmonikler ve ters bileşen akımı problemlerine çözüm olmadığı açıktır.

Senkron Kapasitör - Ana baraya bağlanan bir senkron kapasitör ocağın reaktif güç ihtiyacını karşılar, ana haradaki kısa devre MVA gücünü de artıracaktır. Ocağın aktif gücü salınacağından, senkron makinanın yük açısı dolayısıyla ürettiği reaktif güç te salınacaktır. Bu olgu alan akımı denetleyicisi yavaş tepki gösteren makinalarda gözlenecek ve senkron kapasitörden beklenen yarar tam olarak sağlanamayacaktır. Bu nedenle ark ocaklarının kompanzasyonunda kullanılan senkron kapasitörlerin alan sargısı akımını denetleyen sistemler, tiristörlerin kullanıldığı hızla uyarıcılardan seçilmelidir. Böylece gerilim oynamalarını % 50 oranında (yavaş denetim mekanizmalarına oranla) düşürmek mümkündür. Ark ocağı dengesiz bir

yük olduğundan, bu tip bir kompensatör, alan sargısı akımının denetlenmesiyle her bir fazı eşit bir biçimde etkilemeyecektir. Bu durum senkron kapasitörün en önemli dezavantajını oluşturur.

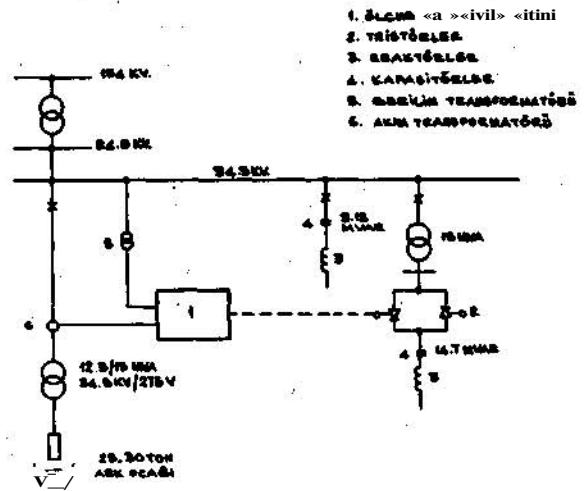
Sabit kapasitör - doyumlu reaktör - Ara baraya bağlanan sabit bir kapasitör ve doyumlu reaktörden oluşan sistem Ark ocağının reaktif güç ihtiyacını karşılamakta kullanılabilir. Bu tip kompensatör için ölçme ve denetim düzeneklerine gereksinim duyulmayacaktır. Reaktif güç değişmelerine 1-2 çevrim içerisinde tepki gösterebilecektir.

öte yandan, denetim hassas olmayacak; kayıplar yüksek olacak; harmonik üretecek ve gürültüye neden olacaktır.

Sabit kapasitör - tiristör anahtarlamalı reaktörler - Ocağın maximum reaktif güç isteme ana baraya bağlanan sabit kapasitörlerle karşılanmakta, ocağın reaktif güç istemi düştüğünde ise gerekli sayıda reaktör tiristörlerle anahtarlanarak devreye alınmakta; böylece ocak, reaktörler ve kapasitörler arasındaki reaktif güç dengesi kurulmaktadır. Bu dolaylı kompanzasyon yönteminin ancak kademeli bir denetim sağlayabileceği açıktır.

Tiristör anahtarlamalı kapasitörler - Bu tip bir kompensatör ana baraya bağlanarak, ocağın reaktif güç isteminin değişken kısmı karşılanabilir. Reaktif güç isteminin değişmeyen kısmının karşılanabilmesi için aynı baraya sabit bir kapasitör bağlanacaktır. Uygun büyüklükte reaktörlerin kapasitörlerle seri bağlanmasıyla hem rezonans problemi çözülebilmekte hem de sistemdeki harmoniklerin süzülmesi sağlanabilmektedir. Ark ocaklarının dengesiz davranışlarını azaltmakta etkin olan bu tip kompensatörlerin mevcut çözümlerin en uygunlarından biri olduğu söylenebilir.

Sabit kapasitörler - Tiristör denetimli reaktör - Ark ocaklarının en yakın sistemlerden biri olup ateşleme açılarının değiştirilmesiyle reaktif gücün sürekli dene-



Şekil 11. Ark ocağı kompanzasyonuna bir örnek.

timi mümkündür. Yatırım maliyeti yüksektir. Sisteme harmonik üretirler. Harmonik etkilerinin yok edilebilmesi için filtre düzeneklerine gereksinim vardır. Ark ocaklarından kaynaklanan problemleri en alt düzeye indirebildiklerinden mevcut çözümlerin en uygunlarından biri olduğu söylenebilir. Bu sistem, tiristör anahtarlamalı kapasitör ve, veya reaktör gruplarının eklenmesiyle çeşitlendirilebilir.

Şekil 11 de 25-30 tonluk bir ark ocağı için bir kompanzasyon örneği verilmiştir.

Kompanzasyonun SK - TAK tipi bir kompansatörle ark ocağı trafosunun pirimer tarafında yapılması düşünülmüştür. Ark ocağının eaktif güç gereksiniminin değişmez kısmı 3.15 MVAR gücündeki sabit kapasitör grupları ile karşılanmaktadır. Değişen var gereksiniminin ise toplam gücü 14.7 MVAR olan kapasitör gruplarının kademeli bir biçimde tiristörlerle anahtarlanarak karşılanacağı düşünülmüştür. Burada vurgulanması gereken nokta her fazın ayrı ayrı denetlenerek ark ocağının yarattığı dengesizliklerin giderilebilmesidir.

IV. 2; Tiristörlü Sistemlerin Kompanzasyonu :

Endüstriyel uygulamalarda kesikli çalıştırılan cihazlar ve doğrusal olmayan yükler güç sistemine harmonik gönderirler. Büyük güçlerde çalışabilecek tiristörlerin geliştirilmesi ile harmonik akımların nereden karşılanacağı sorunu ve sistem üzerindeki olumsuz etkileri konu üzerine ciddiyle eğilmesini kaçınılmaz hale getirmiştir.

3-Fazlı tiristörlü bir köprü ile sürülen bir yükte 5, 7, 11 ve 13 üncü harmonikler üzerinde durulmaya geçecek büyüklükte olacaklardır. Oluşan harmonikler ya güç sistemi tarafından yutulacaklardır ya da yük barasında filtre edileceklerdir. Bu tür yükün oluşturacağı harmoniklerin sisteme etkisi aşağıda tanımlanan kısa devre oranına bakılarak tahmin edilebilir. Eğer kısa devre oranı 20 veya üstünde olursa harmonik problemi çoğunlukla yoktur.

$$KDO = \frac{\text{Kısa devre MVA}}{\text{Çevirgeç MW}}$$

Şebeke endüktansı ile kompanzasyon kondansatörünün oluşturduğu devrenin doğal frekansı ile harmonik akımlardan birisinin frekansı yakın iseler büyük bir olasılıkla akım, salınımları ve yüksek gerilimler oluşur. Bu büyük akım ve gerilim değerleri gereksiz sigorta atmalarına ve bazı hallerde diğer devre elemanlarının bozulmasına neden olabilir.

Devrenin doğal frekansı aşağıdaki denklem gereği hesaplanabilir.

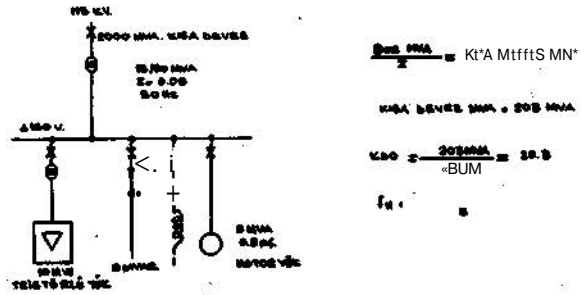
$$f_H = \frac{\text{Kısa Devre MVA}}{7 \cdot \text{Kondansatör MVA}}$$

f_H = Devrenin doğal frekansı

f = Kaynaç frekansı

Elde edilen frekansın kritik olması durumunda yük barasında ilgili harmonik akımın kolayca akabileceği bir yolun sağlanması sorunu çözecektir. Bu yol bu frekansa ayarlanmış bir LC filtresi ile gerçekleştirilebilir. Kondansatörün bir bölümü "eğer sözü edilen harmonik akımları akıtmaya uygun ise" ilgili filtreyi oluşturmada kullanılabilir. Farklı çalışma durumlarında birden fazla harmoniğin kritik olacağı saptanırsa her harmonik için ayrı bir filtre tasarımı yapılır.

Şekil 12 de 5 inci harmoniğin sorun olduğu bir sistem gösterilmiştir.



Şekil 12. Harmonik sorunu olan bir sistem.

V. SONUÇLAR

Bu makalede statik var kompanzasyonu yüzeysel olarak incelenmiş ve modern kompanzasyon yöntemlerinin çalışma ilkeleri öz olarak anlatılmış ve bazı uygulama örnekleri sunulmuştur.

Bu kısa değerlendirmeden anlaşılacağı üzere, reaktif güç kompanzasyonuna yeni bir anlayışla bakılması ile, kısıtlı olan elektrik enerjisi kaynağımız daha verimli bir biçimde kullanılabilmesi gibi kullanıma sunulan elektrik enerjisinin niteliğinde de önemli gelişmeler sağlanabilecektir.

VI. KAYNAKLAR

- (1)- Gyugyi, L., otto. İLA. Putman, T.H., "Principles and applicatioiu of static thristor-controlled shunt compen-sators", IEE, Vol-PAS-97, No 5, Sept/Oct 1978
- (2) Endberg, K., Frank, H., Torseng, S., "Reactors and çapacitors controlled by Thyristor» for Optimum Power System VAR COntrol", APRI Seminar önTransmission Static VAR System, MinesoU, October, October 1978
- (S) Frank, H., Landstrom, M., "Power Factor Correction With Thyristor Controlled Capadtors", ASEA Journal No 6, 1971, pp 180-184
- (4) Frank, H., Ivner, S., "Thyristor Switced Capacitori for the Power Factor Correction of Arc Furnaces", ASEA Info. No 200-104E, 1975
- (5) Sundberg, Y., "The Arc Furnace as a Load on the Network", ASEA Journal VoL 49, No 4, 1976, pp 75-87
- (6) Smith, R.L, Stratford, R.P., "Application Considerations in handling effects of SCR generated harmonics in cement plant", IEE, Vol IA-17. No 1, Jan/Feb 1981.