

SSSC VE STATCOM İLE BİR İLETİM HATTININ KOMPANZASYONUNDA GÜÇ AKIŞININ VE GERİLİM DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Muammer ÖZDEMİR¹ Hasan DİRİK² Çağrı KOCAMAN³

^{1,2,3}Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü,
55139, Kurupelit – SAMSUN – TURKEY

¹ozdemirm@omu.edu.tr, ²hasan_dirik@hotmail.com, ³ckocaman@omu.edu.tr

Anahtar sözcükler: FACTS, STATCOM, SSSC, güç akışı, gerilim kararlılığı, enerji sistemleri

ÖZET

Bu bildiride STATCOM ve SSSC'nin bir iletim hattına gerilim ve güç açısından etkisi incelenmiştir. SSSC ve STATCOM enerji iletim sistemlerinin hızlı ve etkin bir biçimde denetimine olanak sağlayan FACTS denetleyicileridir. Bu denetleyiciler son 20 yılda oldukça hızlı bir gelişme göstermiş ve yavaş yavaş uygulamada yerini almaya başlamıştır. Bu denetleyici yapıları özellikle güç akışının denetimi ve gerilim kararlılığının sağlanmasında oldukça yararlıdırlar.

Bu çalışmada bu iki denetleyicinin iletim hattından taşınan güce etkisini denetleyici gerilimine bağlı olarak anlayabilmek amacıyla önce güç akış denklemleri türetilmiştir. Ayrıca hattaki gerilimin hat boyunca nasıl değiştiğini anlayabilmek amacıyla uygun denklemler türetilerek bulunan denklemlerle çeşitli değişim eğrileri çizilmiştir. Sonuç kısmında bulunan sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

1. GİRİŞ

Geleneksel güç sistemlerinde güç iletim sisteminin parametrelerinin (güç ve gerilimler gibi) denetimi için kullanılan yöntemler dinamik sistem koşullarında bazen yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden dinamik koşullar altında güç sistemine oldukça hızlı ve etkin bir şekilde müdahale edilerek sistemin yeni koşullara uyumunun sağlanması amacıyla özellikle 1980'li yıllarda denetim sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler esnek alternatif akım iletim sistemleri (FACTS) olarak adlandırılmaktadır.

Genel olarak FACTS: enerji iletim sisteminde daha hızlı ve etkin denetim yapmak, iletim sisteminin güç taşıma kapasitesini arttırmak ve sistemde meydana gelebilecek anormal çalışma koşullarına müdahale etmek amacıyla geliştirilmiş güç elektroniği tabanlı denetleyici ve sistemler bütünüdür [1, 2, 3].

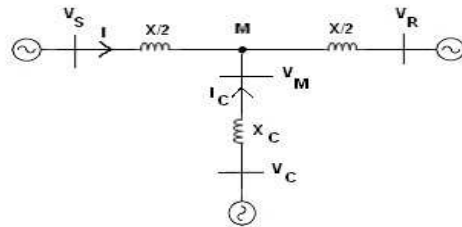
Bu çalışmada, seri bağlı FACTS denetleyicilerden statik senkron seri kompanzatorün (SSSC) ve paralel bağlı denetleyicilerden statik senkron kompanzatorün

(STATCOM) bir iletim hattından taşınan etkin güce ve hat boyunca gerilim dağılımına etkileri incelenmiştir.

2. STATCOM

STATCOM şönt bağlantılı tepkin güç kompanzatorü olup bağlı olduğu güç sistemine tepkin güç vererek ya da sistemden tepkin güç çekerek güç sisteminin bazı parametrelerini değiştirebilmektedir [1, 2, 3].

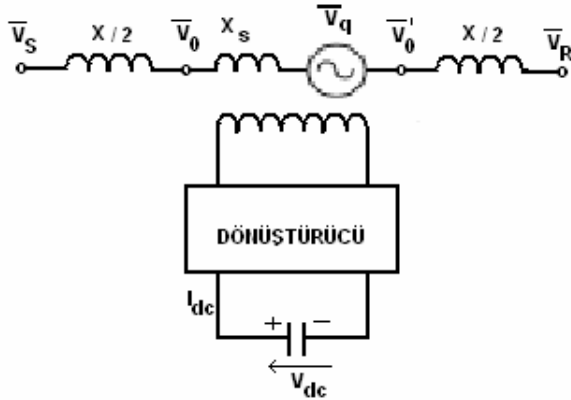
STATCOM, bir dönüştürücünün bir transformator üzerinden iletim hattına şönt bağlantısıyla oluşturulan bir yapıdır. Aşağıda orta noktasına STATCOM bağlı hattın eşdeğer devresi görülmektedir. STATCOM'da, güç sistemi ile dönüştürücü arasındaki tepkin güç alışverişi STATCOM gerilimi (V_C)'nin genliği (V_M ile aynı fazda olmak üzere) değiştirilerek ayarlanır. Eğer V_C gerilimi, hat gerilimi (V_M)'nin üzerinde tutulursa dönüştürücüden bir reaktans üzerinden hatta bir akım akacaktır. Böylelikle dönüştürücü a.c. sistem için bir kapasitif güç üretmiş olacaktır. Eğer dönüştürücünün çıkış gerilimi (V_C), a.c. sistemin V_M geriliminden küçük tutulursa bu durumda dönüştürücüye bir akım akacak ve dönüştürücü endüktif tepkin bir güç çekilmiş olacaktır. Eğer çıkış gerilimi a.c sistem gerilimine eşit olursa tepkin güç alışverişi sıfır olacaktır.



Şekil 1: Orta noktasına STATCOM bağlı hattın eşdeğer devresi

3. SSSC

SSSC bir seri bağlı senkron gerilim kaynağı olup iletim hattına uygun faz açısında gerilim enjekte ederek iletim hattının etkin empedansını değiştirebilmektedir. SSSC iletim hattı ile hem etkin hem de tepkin güç alışverişi yapabilme kabiliyetine sahiptir. Eğer hatta enjekte edilen gerilim hat akımı ile 90° faz farklı ise bu durumda hatta tepkin güç verilir veya hattan tepkin güç çekilir. Bir SSSC bir dönüştürücü ve bir d.c. sığacından meydana gelir [1]. Bir iletim hattına bağlı bir SSSC'ye ait trafonun hat tarafı bir endüktif reaktans ve genliği ve faz açısı denetlenebilen bir gerilim kaynağına karşılık gelir. Bu durum aşağıdaki eşdeğer devre ile gösterilebilir.



Şekil 3: Orta noktasına SSSC bağlı hattın eşdeğer devre modeli

Bir hatta seri bağlı bir kapasite hat akımına göre 90° geride bir gerilim oluşturur. Hat endüktansı ise hat akımına göre 90° ileride bir gerilim oluşturur. Dolayısıyla hatta seri bağlı bir sığaç hat endüktansının oluşturduğu gerilimin etkisini azaltacaktır.

SSSC'nin çalışması ise böyle bir sığaçın hat akımına göre 90° geri fazda bir gerilimi oluşturulmasına dayanır. Normalde SSSC'nin çıkış gerilimi hat akımına göre 90° geride olup etkin seri kompanzasyon sağlanır.

4. SSSC BAĞLI HATTAKİ GERİLİM DAĞILIMI DEĞİŞİMİ VE GÜÇ AKIŞI

Aşağıda toplam uzunluğu l olan bir hattın tam ortasında bir SSSC bulunması durumunda gerilim dağılımı ve güç akışı denklemleri elde edilmiştir.

$$V_S = V e^{j\delta/2} \quad (4.1)$$

$$V_R = V e^{-j\delta/2} \quad (4.2)$$

$$X_{lx} = X \frac{lx}{l} \quad (4.3)$$

$$k = \frac{X_C}{X} \text{ alınırsa } (0 < k < 1)$$

hattın toplam empedansı

$$X_{eff} = (1-k)X \quad (4.4)$$

Bu durumda hattan akan akım (I) ve hattan taşınan güç:

$$I = \frac{2V}{(1-k)X} \sin \frac{\delta}{2} \quad (4.5)$$

$$P = \frac{V^2}{(1-k)X} \sin \delta \quad (4.6)$$

bulunur.

Şimdi de seri kompanzatör gerilimi olan V_q gerilimini bulalım.

$$Q_C = I^2 \cdot X_C = \frac{2V^2}{X} \cdot \frac{k}{(1-k)^2} (1 - \cos \delta) \quad (4.7)$$

$$V_q = \frac{Q_C}{I} = \frac{2 \cdot k}{1-k} \sin\left(\frac{\delta}{2}\right) \cdot V \quad (4.8)$$

bulunur.

V_q geriliminin genliğini $V_q = mV$ şeklinde düşünelim. Bu durumda

$$m = \frac{2k}{1-k} \sin\left(\frac{\delta}{2}\right) \quad (4.9)$$

olacaktır. Buradan

$$k = \frac{m}{m + 2 \cdot \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)} \quad (4.10)$$

bulunur.

Bulunan bu k değeri I, P'de yerlerine konulursa,

$$I = (m + 2 \cdot \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)) \cdot \frac{V}{X} \quad (4.11)$$

$$P = (m + 2 \cdot \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)) \cdot \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \cdot \frac{V^2}{X} \quad (4.12)$$

bulunur.

Hat boyunca gerilim genliğinin değişimi aşağıdaki gibi bulunabilir. Burada $u_1(lx)$ orta noktanın solundaki gerilimin değişimini ve $u_2(lx)$ de orta noktanın sağındaki gerilimin değişimini ifade etmektedir.

$$u_1(lx) = V_s - jX_{lx} I \quad (4.13)$$

$$u_1(lx) = V \left(\cos \frac{\delta}{2} + j \sin \frac{\delta}{2} - j \frac{lx}{l} \left(m + 2 \sin \frac{\delta}{2} \right) \right) \quad (4.14)$$

$lx=l/2$ konulursa V_0 bulunur.

$$V_0 = V \left(\cos \frac{\delta}{2} + j \sin \frac{\delta}{2} - j \frac{1}{2} \left(m + 2 \sin \frac{\delta}{2} \right) \right) \quad (4.15)$$

$$V_0' = V_0 - V_q \quad (4.16)$$

(Burada V_q seri kapasitif gerilimdir.)

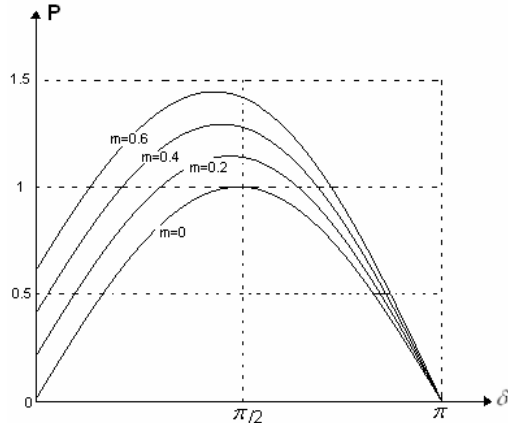
$$V_q = -jmV \quad (4.17)$$

$$V_0' = V \begin{pmatrix} \cos \frac{\delta}{2} + j \sin \frac{\delta}{2} \\ -j \frac{1}{2} \left(m + 2 \sin \frac{\delta}{2} \right) + jm \end{pmatrix} \quad (4.18)$$

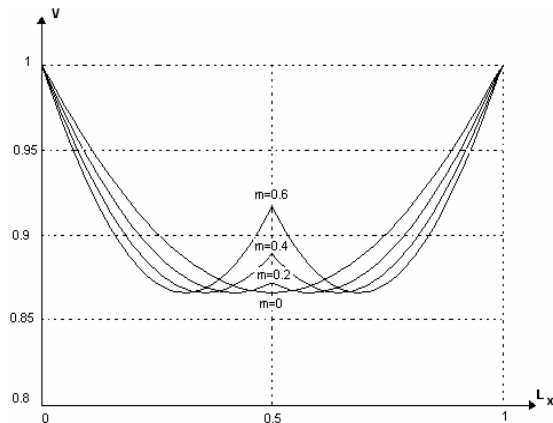
$$u_2(lx) = V_0' - jX_{lx}I \quad (4.19)$$

$$u_2(lx) = V \begin{pmatrix} \cos \frac{\delta}{2} + j \sin \frac{\delta}{2} \\ -j \frac{1}{2} \left(m + 2 \sin \frac{\delta}{2} \right) + jm - j \frac{lx}{l} \left(m + 2 \sin \frac{\delta}{2} \right) \end{pmatrix} \quad (4.20)$$

Bulunan güç akışı ve gerilim genliğinin hat boyunca değişimi denklemlerinin iletim açısına göre değişimi çizilirse aşağıdaki grafiklerin elde edildiği görülür.



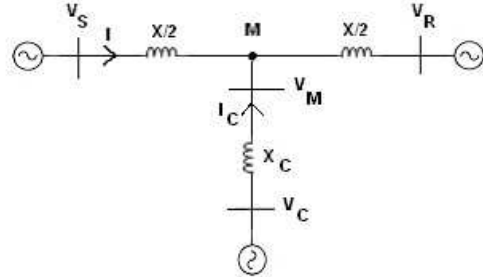
Şekil 4: SSSC ile iletim hattının farklı sabit seri gerilimlerle kompanzasyonunda güç akışının iletim açısına göre değişimleri



Şekil 5: SSSC ile iletim hattının farklı sabit seri gerilimlerle kompanzasyonunda gerilim genliğinin hat boyunca değişimleri

5. STATCOM BAĞLI HATTAKİ GERİLİM DAĞILIMI DEĞİŞİMİ VE GÜÇ AKIŞI

Aşağıdaki tek hat şeması orta noktasından kompanze edilmiş bir iletim hattının devre eşdeğer yapısını göstermektedir.



Şekil 6: STATCOM bağlı iletim hattının eşdeğer devre yapısı

Hat boyunca gerilimin değişimi aşağıdaki gibi bulunabilir. Burada $u_1(lx)$ orta noktanın solundaki gerilimin değişimini ve $u_2(lx)$ de orta noktanın sağındaki gerilimin değişimini ifade etmektedir.

$V_R = Ve^{-j\delta/2}$, $V_S = Ve^{j\delta/2}$ ve $X_C = nX$ alınıp M düğümüne göre Kirchoff'un akımlar kanunu yazılırsa M noktası gerilimi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$V_M = \left(\frac{4n \cos \frac{\delta}{2} + m}{4n + 1} \right) V \quad (5.1)$$

$$I_{SM} = \frac{V_S - V_M}{j \frac{X}{2}} \quad (5.2)$$

$$I_{SM} = \frac{2V}{X} \sin \frac{\delta}{2} + j \frac{2V}{X} \left(\frac{m - \cos \frac{\delta}{2}}{4n + 1} \right) \quad (5.3)$$

$$u_1(lx) = V_s - jX_{lx}I_{SM} \quad \text{ve} \quad X_{lx} = X \frac{lx}{l} \quad (5.4)$$

kullanılarak;

$$u_1(lx) = V \cos \frac{\delta}{2} + 2V \frac{lx}{l} \left(\frac{m - \cos \frac{\delta}{2}}{4n + 1} \right) + j \left(V \sin \frac{\delta}{2} - \frac{lx}{l} 2V \sin \frac{\delta}{2} \right) \quad (5.5)$$

olarak bulunur.

$$I_{MR} = \frac{V_M - V_R}{j \frac{X}{2}} \quad (5.6)$$

denklemden

$$I_{MR} = \frac{2V}{X} \sin \frac{\delta}{2} + j \frac{2V}{X} \left(\frac{\cos \frac{\delta}{2} - m}{4n+1} \right) \quad (5.7)$$

bulunur.

$$u_2(lx) = V_M - jX \cdot lx \cdot I_{MR} \quad (5.8)$$

denklemden

$$u_2(lx) = \frac{4nVl \cos \frac{\delta}{2} + mlV + 2Vlx \cos \frac{\delta}{2} - 2mVlx}{(4n+1)l} - j \frac{lx}{l} 2V \sin \frac{\delta}{2} \quad (5.9)$$

bulunur.

Hattan taşınan etkin güç ise

$$P = \text{Re}[V_S I^*] \quad (5.10)$$

denkleminde

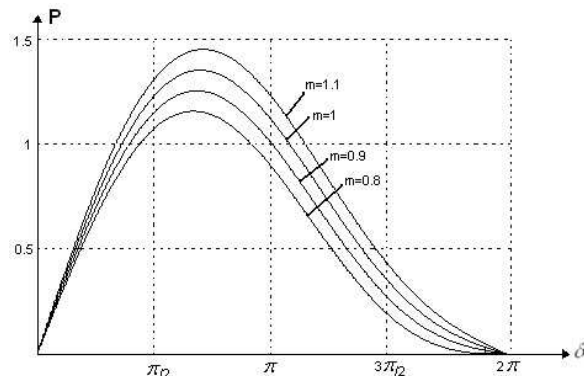
$$I^* = \frac{2V}{X} \left[\sin \frac{\delta}{2} - j \left(\frac{4n \cos \frac{\delta}{2} + m}{4n+1} - \cos \frac{\delta}{2} \right) \right] \quad (5.11)$$

alınarak

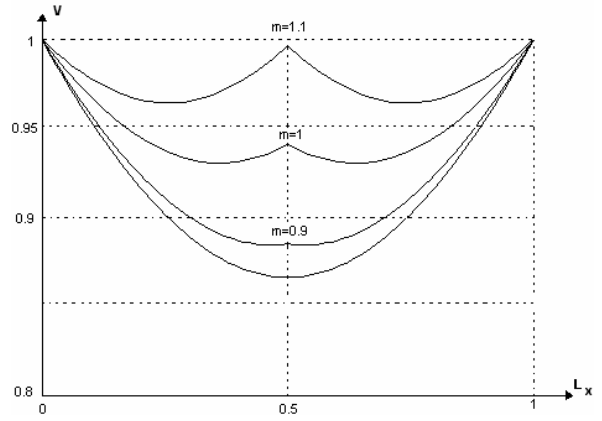
$$P = \frac{2V^2}{X} \sin \frac{\delta}{2} \frac{4n \cos \frac{\delta}{2} + m}{4n+1} \quad (5.12)$$

olarak bulunur.

Bulunan güç akışı ve gerilim genliğinin hat boyunca değişimi denklemlerinin iletim açısına göre değişimi Şekil 7 ve Şekil 8 de gösterilmiştir.



Şekil 7: STATCOM ile iletim hattının farklı sabit şönt gerilimlerle kompanzasyonunda güç akışının iletim açısına göre değişimleri



Şekil 8: STATCOM ile iletim hattının farklı sabit şönt gerilimlerle kompanzasyonunda gerilim genliğinin hat boyunca değişimleri

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir iletim hattını orta noktasından seri tepkin kompanzasyonunu yapan SSSC ile şönt tepkin kompanzasyonunu yapan STATCOMun iletim hattından akan etkin güce ve bütün hat boyunca gerilim dağılımına etkisi incelenmiştir. Bunun için öncelikle etkin güç ve gerilim dağılımlarının m (m aşlında kompanzasyon gerilimini temsil eder) ve lx (lx aşlında hat üzerindeki herhangi bir noktayı gösterir.) değişkenlerine bağlı denklemleri türetilmiş ve bu denklemlerden yararlanılarak 4 farklı m değerleri için güç ve gerilim değişim eğrileri çizilmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde her iki durum için kompanzasyonun derecesi arttıkça güç akışının aynı iletim açısı için arttığı görülür. Ayrıca şönt kompanzasyonda hat boyunca daha düzgün bir gerilim dağılımının elde edildiği görülür. Fakat seri kompanzasyonda hattaki maksimum gerilim düşümünün aynı kaldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca kararsızlık sınırı olan 90° nin seri kompanzasyonda azda olsa küçüldüğü fakat şönt kompanzasyonda bu sınırın büyüdüğü görülmüştür.

7. KAYNAKLAR

- [1] Narain G. Hingorani, Lazlo Gyugyi, "Understanding Facts: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems": November 1999, John Wiley & Sons, Incorporated .
- [2] Yong Hua Song (Editor), A. T. Johns , "Flexible AC Transmission Systems (Facts)" January 1999 , IEE Publication Series.
- [3] R. Mohan Mathur, Rajiv K. Varma, "Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems, " February 2002, John Wiley & Sons, Incorporated, IEEE Press Series on Power Engineering