

Statik Senkron Kompanzator (StatCom) ve Süperiletken Manyetik Enerji Saklanması (SMES) Sisteminin Entegre Edilmesi

Ayşen (BASA) ARSOY, Gül (AKALIN) KURT, Şule KUŞDOĞAN
Kocaeli Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

Email: aysend@ixir.com, gul_kurt70@hotmail.com, s.kusdogan@superonline.com.

Anahtar Sözcükler: Statik Senkron Kompanzator, Süperiletken Manyetik Enerji Saklanması

ABSTRACT

A static synchronous compensator (StatCom), one of the flexible AC transmission devices, consists of inverters that can change voltage and phase angle at the point of connection to an AC system, and provide reactive power/voltage control. It can inject and/or absorb reactive power, and can also exchange real power with the line. The addition of energy storage allows the StatCom to inject/absorb both real and reactive power simultaneously, and therefore provides additional benefits and improvements in the system. This paper first summarizes a StatCom and an energy storage device, SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage), then discusses the incorporation of a SMES coil into a voltage source inverter based StatCom in damping power systems dynamic oscillations. The modeling and simulation results are given for the integrated compensator of a 100 MJ, 96MW (peak) SMES coil and a ± 160 MVA StatCom via a DC-DC chopper.

1. GİRİŞ

Her geçen gün elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bununla beraber üretim kaynaklarının kısıtlı olması ya da planlanmamış bir enerji talebi, hali hazırda var olan iletim hatlarının çalışmada limitlerine yakın olarak kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu koşullar altında esnek AC iletim sistemi (FACTS) aygıtları bağlandıkları noktada voltaj, faz açısı ve empedans kontrolü yaparak daha fazla güç akışı sağlayabilmekte, ve böylece sistemin geçici ve dinamik kararlılığını arttırmaktadır. Bu aygıtlardan biri olan statik senkron kompanzatorlar (StatCom) reaktif güç kompanzasyonu sağlamakla birlikte, DC ucuna enerji depolayan bir sistem bulunması durumunda iletim hattına aktif güçte enjekte edebilmektedirler [1-3].

Enerji depolayan sistemler içerisinde bateriler, süperiletken manyetik enerji saklayan (SMES) sistemler, volanlar (flywheel), pompalı su hazneleri, ve sıkıştırılmış hava sistemleri yer alabilir [4]. Bunlar içerisinde SMES yüksek güçte kullanılabilirliği, yüksek verim ve hızlı bir şekilde enerji depolama ve

boşaltma özelliğine sahip olması [4-5] nedeniyle iletim hatlarında StatCom'a entegre edilebilecek en uygun enerji kaynağı olarak görülür.

Bu makalede StatCom'ın enerji iletim hatlarında kullanımı ve SMES hakkında açıklayıcı bilgilerden sonra bunların entegrasyonu, modellenmesi ve simülasyon sonuçları verilecektir.

2. STATİK SENKRON KOMPANZATÖR (STATCOM)

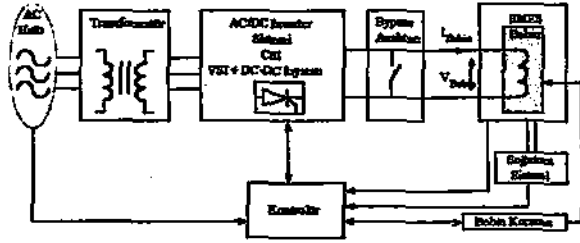
Statik senkron kompanzatorlar kendi kendine komutasyon yapan yarı iletken anahtarlardan oluşmuş inverterlere dayanan, AC iletim hattına paralel bağlanarak reaktif güç akışı kontrolü sağlayan aygıtlardır [1]. Bu sayede bağlandığı noktada iletim hattı gerilimini düzenlemeye yardımcı olurlar. Inverter anahtarları GTO (Gate Turn-off Thyristor) tristörleri olabileceği gibi IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor) tristörleri ve IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) transistörler'ide artık iletim hatları güç mertebesinde kullanılması önerilmektedir. Şu aşamada yapılmış StatCom inverterleri GTO tristörlerine dayanmaktadır [3]. İletim hattına bağlı GTO'ya dayalı inverterler bağlandığı noktadaki hat gerilimi ile aynı fazda alternatif voltaj kaynağı olarak davranış gösterirler. Inverter tarafından elde edilen voltaja göre endüktif ya da kapasitif çalışma modu elde edilebilir.

Çok darbeli StatCom inverterlerinde DC voltaj darbesinin genliğini değiştirerek AC çıkış gerilimi kontrol edilebilir. PWM (Pulse Width Modulation) tekniği ise altı darbeli inverterlerde oluşabilecek harmonik içeriğini azaltmak için uygulanabilir, fakat yüksek güçlerde bu tekniğin uygulanması anahtarlama kayıplarına yol açmaktadır [3].

3. SÜPERİLETKEN MANYETİK ENERJİ SAKLANIMI (SMES)

Süperiletken bir bobin üzerinde DC akımın sirkülasyonu ile manyetik alanda enerji depolanabilir. Bu özelliği ile SMES teknolojisinin güç sistemlerinde uygulanma önerisi 1970'li yılların başında olmuştur

[5]. SMES sistemi Şekil 1'de görüleceği üzere bir bobin, AC/DC inverteri, transformatör, koruma ve kontrol bileşenlerinden oluşur. AC/DC inverter sistemi akım kaynaklı inverter olabileceği gibi bir DC-DC kıyıcısı ile birlikte voltaj kaynaklı inverter de olabilir.



Şekil 1: Tipik bir SMES Sisteminin Bileşenleri

CSI: Akım Kaynaklı Inverter
VSI: Voltaj Kaynaklı Inverter

SMES %90 ve üzeri verimle enerji depolama özelliğine sahiptir. Aynı zamanda diğer enerji depolama kaynaklarına göre depolama ve boşaltma işlevini daha hızlı yapabilmektedir. SMES güvenilir, uygun dizayn edildiğinde çevre yönünden temiz ve uzun ömürlü bir enerji kaynağıdır.

Diğer enerji kaynaklarına kıyasla bu nadir karakteristikleri sayesinde SMES teknolojisi dünyanın sayılı ülkelerinde elektrik işletmeleri tarafından büyük bir ilgi görmüş, gerekli çalışmalar yapılmış ve hala da devam etmektedir. SMES'in gelişme sürecinde potansiyel uygulama alanları saptanmış, ve maliyet/yararlılık analizleri yapılmıştır [6]. Bu uygulama alanları şöyle sıralanabilir [4-11].

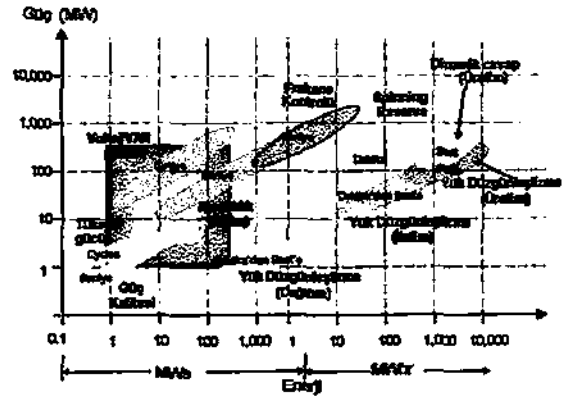
- ◆ Dinamik ve geçici hal kararlılığı
- ◆ Voltaj/VAR düzenlemesi
- ◆ Frekans kontrolü
- ◆ İletim kapasitesi düzenlemesi
- ◆ Güç kalitesi artırılması

Bu uygulama alanlarının güç ve enerji gerekliliği Şekil 2'de verilmiştir [4]. Karese olarak işaretlenmiş bölgede SMES diğer uygulama alanlarına nispeten maliyet olarak daha caziptir.

SMES sisteminde SMES bobini uçları arasındaki gerilim (V_{bobin}) pozitif bir değer olduğunda enerji bobin üzerinde depolanır, negatif bir değer olduğunda depolanan enerji AC sistemine doğru boşaltılır, ve ortalama gerilim sıfır olduğu durumda ise, bobin akım sirküle eder, herhangi bir enerji alışverişisi olmaz. V_{bobin} ya akım kaynaklı inverter tarafından ayarlanır, ya da voltaj kaynaklı inverter kullanma durumunda DC-DC kıyıcısı tarafından kontrol edilir.

4. StatCom ve SMES ENTEGRASYONU

[7]'de belirtildiği üzere güç salınımlarının sönümlenmesinde aktif güç modülasyonu reaktif gücüne göre daha etkindir. Çok miktarda depolanmış enerji olmasa bile hem aktif hem de reaktif güç kontrol yeteneği olan kompanzatorler iletim hattının performansını arttıracaktır [12]. Bu görüşten yola çıkarak sadece reaktif güç kontrol sağlayabilen StatCom'a aktif güç kontrol yeteneği de SMES tarafından kazandırılarak, bağlanmış olduğu enerji iletim sisteminin performansını artırılacağı önerilmiştir. Bir SMES sistemi de AC/DC inverteri gerektireceğinden, StatCom inverter'ine bir DC-DC kıyıcısı ile bağlanması aynı zamanda StatCom 'ın da çalışmasını geliştirecektir. Bu entegre edilmiş kompanzatorün iletim hatlarında herhangi bir hatadan oluşabilecek dinamik salınımların sönümlenmesinde olan etkisi aşağıda sunulacaktır.



Şekil 2: SMES Uygulama Alanlarında Güç ve Enerji Gerekliliği

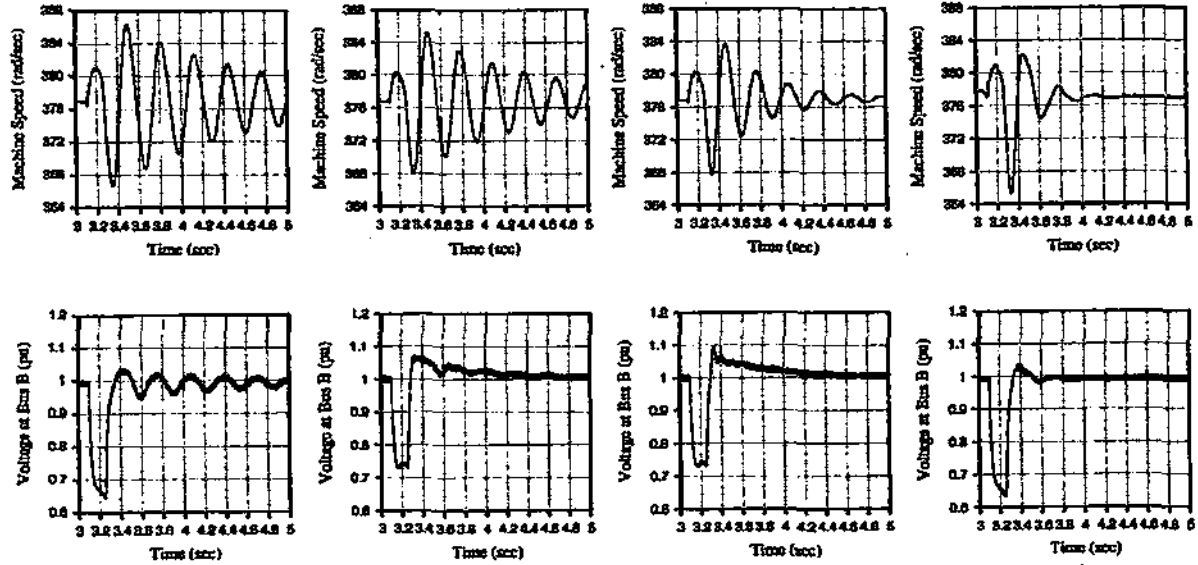
4.1. Entegrasyon Modellemesi

±160 MVAR StatCom ve 96 MW max güçte 100MJ enerji depolayabilen SMES bobinden oluşan entegre kompanzator Şekil 3'de gösterilen tipik bir AC sistemine eşdeğer bir devreye bağlanmıştır. AC sisteminde elektrik üretim merkezlerinden biri dinamik olarak modellenmiştir. Dinamik salınımlar bu iki üretim merkezi arasında olan D barasında meydana getirilecek olan 3 fazlı bir hata ile oluşturulacaktır.

Şekil 4'te StatCom-SMES entegre devresi gösterilmiştir. StatCom iki tane, GTO'ya dayalı altı darbeli voltaj kaynaklı inverter'den oluşur. StatCom AC iletim hattına iki 80 MW lik transformatörle bağlanırken SMES bobinine de DC-DC kıyıcısı üzerinden 10mF lik bir kapasitörle bağlanmıştır. SMES bobini uçları arasındaki gerilim bu kıyıcı tarafından düzenlenir. Kıyıcı 3 fazlı iki quadrant, GTO'ya dayalı, SMES bobini uçları

kompanzatrörün olmaması durumunda oluşan salınımlar generatör hızı olarak kaydedilmiş ve Şekil 5.(a) da gösterilmiştir. İlk kolondaki ikinci satırda *B* barasındaki voltajı göstermektedir. Bu salınımlar karşısında, sisteme reaktif güç kompanzasyonu sağlayan StatCom bağlanır, ve sistemin cevabı yine generatör hızı ve *B* barasındaki voltaj olarak kaydedildi. Bu Şekil 5.(b) de gösterilmiştir.

Daha sonra entegre kompanzatrör (StatCom+SMES) önce *B* barasına sonra *A* barasına bağlanarak bütün sistemin cevabı sırası ile Şekil 5.(c) ve 5.(d) 'de gözlenebilir.



(a) Kompanzatrörsüz (b) Sadece StatCom *B* barasında (c) StatCom-SMES *B* barasında (d) StatCom-SMES *A* barasında
Şekil 5: AC sistem Salınımlarına Sistem Cevabı

5. SONUÇ

Bu bildiriye önce esnek AC iletim sistemi aygıtlarından biri olan StatCom ve enerji depolayabilen sistemler içerisinde olan SMES sistemleri hakkında kısa, öz bir bilgi verilmiştir. SMES bobinin StatCom'a entegre edilmesi durumunda dinamik salınımların sönümlenmesinde etkin bir rol alacağı modelleme ve simülasyon çalışması ile gösterilmiştir.

Reaktif güç alıp verme yeteneği ile bağlanmış olduğu noktada gerilimi düzenleyebilecek StatCom, DC ucuna bağlanan SMES enerji kaynağı ile kompanzatrör fonksiyonları artırılmakla beraber, bağlanmış oldukları iletim hattının dinamik performansını artırır.

Bu şekilde görüleceği üzere, sistemde sadece StatCom'un olması bir voltaj düzenleyici olarak algılanabilir, fakat dinamik salınımların sönümlenmesinde pek bir rolü olmaz. Sisteme StatCom ile birlikte SMES'inde eklenme durumunda aktif güç alışverişi sayesinde bu salınımlar çok kısa sürede sönümlenebileceklerdir. Ayrıca entegre kompanzatrörün jeneratör sistemine yakın bağlanması salınım sönümlenmesinde daha etkin bir rol aldığı sonucu çıkarılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] K.K. Sen, "STATCOM - STATIC synchronous COMPensator: Theory, Modeling and Applications," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 2, Feb. 1999, pp.1177-1183.
- [2] L. Gyugyi, "Dynamic Compensation of AC Transmission Lines by Solid-State Synchronous Voltage Sources," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, no. 2, April 1994, pp. 904-911.
- [3] N. G. Hingorani, L. Gyugyi, *Understanding Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*, IEEE Press New York, 2000.
- [4] R.F. Giese, *Progress Toward High Temperature Superconducting Magnetic energy Storage (SMES) - A Second Look*, A

- Report by Argonne National Laboratory, December 1998.
- [5] W. V. Hassenzehl, "Superconducting Magnetic Energy Storage," *Proceedings of the IEEE*, Vol.71, No.9, Sept 1983, pp.1089-1098.
- [6] J.G. Steese, J.E. Dagle, K.L. Kaustad, D.J. Trudnowski, "Electric Utility Benefits of Superconducting Magnetic Energy Storage," Pacific Northwest Laboratory, 1992.
- [7] J. D. Rogers, R.L. Schermer, R.L. Miller and J.F. Hauer, "30 MJ Superconducting Magnetic Energy Storage System for Electric Utility Transmission Stabilization," *Proceedings of IEEE*, vol. 71, 1983, pp. 1099-1107.
- [8] Y. Mitani, K. Tsuji, Y. Murakami, "Application of Superconducting Magnetic Energy Storage to Improve Power System Dynamic Performance," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.3, No.4, pp.1418-1425, Nov. 1988.
- [9] S. Bonerjee, J. K. Chatterjee, S. C. Tripathy, "Application of Magnetic Energy Storage Unit as Load Frequency Stabilizer," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol.5, No.1, March 1990, pp.46-51.
- [10] R.H. Lasseter, S.G. Jalali, "Dynamic Response of Power Conditioning Systems for Superconductive Magnetic Energy Storage," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 6, no. 3, September 1991, pp. 388-393.
- [11] S. F. Kral, M. Aslam, P. F. Ribeiro, X. Huang, M. Xu, "Superconducting Power Delivery Systems for Transmission and Distribution Applications," presented at the 57th American Power Conference, Chicago, April 1995.
- [12] V. Karasik, K. Dixon, C. Weber, b. Batchelder, P. Ribeiro, "SMES for Power Utility Applications: A Review of Technical and Cost Considerations," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 9, no. 2, pp.541-546, June 1999.
- [13] Manitoba HVDC Research Center, "PSCADTM/EMTDCTM User's Manual", 1988.
- [14] A.B. Arsoy, "Electromagnetic Transient and Dynamic Modeling and Simulation of a StatCom-SMES Compensator in Power Systems" *Ph.D. Dissertation, Virginia Tech, Blacksburg, VA, May 2000.*