

Bölgeler Arası Düşük Frekanslı Generatör Salınımlarını Sönümleyici Faktörler ve Türkiye ENTSO-E CESA Enterkonneksiyonu için Çözümler

Damping Measures Against Low Frequency Inter Area Oscillations and Solutions for Turkey ENTSO-E CESA Interconnection

Cihangir Gençoğlu¹, Osman Bülent Tör¹, Nezih Güven²

¹TÜBİTAK-UZAY, Güç Sistemleri Bölümü, ODTÜ, Ankara
cihangir.gencoglu@uzay.tubitak.gov.tr, osman.tor@uzay.tubitak.gov.tr

²Elektrik Elektronik Mühendisliği
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
guven@metu.edu.tr

Özet

Türkiye elektrik şebekesinin Avrupa şebekesine (ENTSO-E CESA) senkron paralel bağlantısı projesi son aşamalara gelmiştir. Bilgisayar simülasyonlarına dayalı fizibilite analizlerine göre, bağlantı sonrası enterkonnekte sistemde ~0.15 Hz frekanslı bölgeler arası salınımlar beklenmektedir. Bu salınımları sönümleyici tedbirler alınmazsa, salınımlar Türkiye şebekesinin Avrupa enterkonnekte sisteminden kopmasına yol açabilecek boyutlara ulaşabilir. Bu bildiriye bu salınımların tehlikeli boyutlara ulaşmasını önleyici tedbirler bilgisayar simülasyonları ile analiz edilmiştir. Bunlar: 1) Türkiye'deki büyük güçteki hidroelektrik santrallerin hız regülatörlerinin denetleyici parametrelerinin optimizasyonu; 2) Güç sistemi dengeleyicilerinin (Power System Stabilizer; PSS) denetleyici parametrelerinin optimizasyonu; 3) Doğrudan iletim sistemine bağlı büyük güçte ark ocaklarındaki Statik Var Kompansatörlerin kontrolcülerinin modifikasyonu; 4) STATCOM kullanımı; 5) Sönümleme dirençleri kullanımı. Çalışmada anılan her bir tedbirin salınımları sönümlendirmede ne seviyede olumlu katkı yaptığı ortaya koyulmuş ve sistem işletimine yönelik öneriler getirilmiştir.

Abstract

The interconnection project between Turkish grid and the ENTSO-E CESA system is almost finished. According to feasibility analysis based on computer simulations, inter-area oscillations around ~0.15 Hz is expected once the interconnection is established. Unless countermeasures are taken, these oscillations could grow to dangerous amounts which will result in disconnection of Turkish grid from the interconnection. This paper analyzes the effect of such measures based on computer simulations. These measures are: 1) Parameter optimization of the governors of considerable size hydroelectric units in Turkey; 2) Parameter optimization of power system stabilizers (PSS), 3) Controller modification of static VAR compensators (SVC) existing in steel melting arc furnaces that are supplied directly from the transmission system, 4) Controller modification of ±50 MVAR STATCOM designed for voltage regulation, and 5) Application of breaking resistors. The results illustrate the positive contribution of each measure to the damping performance of the system. The study includes conclusive recommendations.

I. Giriş

Türkiye iletim sisteminin Avrupa iletim şebekesine (ENTSO-E CESA, eski adıyla UCTE) senkron paralel bağlantısında son

aşamalara gelinmiştir. Bu çalışmalarda amaç, Türkiye iletim şebekesinin frekans kontrol performansını ve enterkonneksiyon sonrası oluşacak sistemin dinamik kararlılığını iyileştirmek, bu sayede iki sistemin güvenli bir şekilde senkron işletilmesini mümkün kılmak olarak özetlenebilir. Bu kapsamda TEİAŞ ile UCTE üye ülkelerinin iletim kurumları tarafından oluşturulan ve TÜBİTAK UZAY Güç Sistemleri Bölümünün TEİAŞ ile birlikte dahil olduğu projelerde gerçekleştirilen bilgisayar simülasyonlarına dayalı fizibilite analizlerine göre, bağlantı sonrası enterkonnekte sistemde ~0.15 Hz frekanslı bölgeler arası salınımlar beklenmektedir [1]. Bu salınımları sönümlendirici - en azından artmalarını önleyen - tedbirler alınmazsa, bu salınımlar Türkiye şebekesinin ENTSO-E CESA şebekesinden kopmasına yol açabilecek boyutlara ulaşabilir [4].

Bu bildiriye, beklenen bölgeler arası düşük frekanslı salınımların tehlikeli boyutlara ulaşmasını önleyici tedbirler değerlendirilmiş ve bilgisayar simülasyonları ile bu tedbirlerin göreceli etkileri analiz edilmiştir. Bu önlemler:

1. Büyük güçteki hidroelektrik santrallerin hız regülatörlerinin denetleyici parametrelerinin optimizasyonu;
2. Önemli santrallerin güç sistemi dengeleyicilerinin (Power System Stabilizer; PSS) denetleyici parametrelerinin yeniden ayarlanması;
3. Doğrudan iletim sistemine bağlı büyük güçte ark ocaklarındaki Statik Var Kompansatörlerin (SVC) kontrolcülerinin modifikasyonu;
4. Gerilim kontrolü amacıyla tasarlanan bir ±50 MVAR STATCOM'un, sistem salınımlarını sönümlendirmek amacıyla denetleyici modifikasyonu;
5. İletim şebekesinde sönümleme dirençlerinin kullanımı.

2. Bölgeler Arası Düşük Frekans Salınımlar

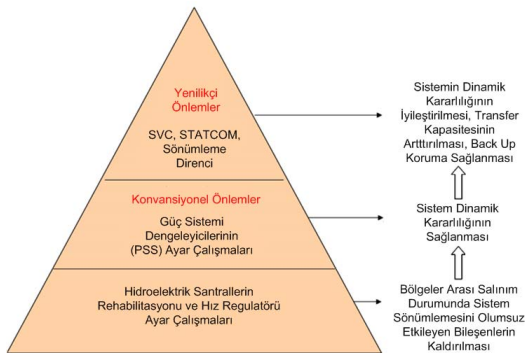
Türkiye sistemi ENTSO-E CESA sisteminden izole iken böyle bir problem görülmesi de, senkron paralel bağlantı sonrası şebeke frekansında ~7 sn periyotlu (~0.15 Hz) salınımların gözlenmesi beklenmektedir. Bahsedilen salınımların frekans ve genliği, sistem işletme şartlarına (yük akışı senaryosu) bağlı olmakla beraber, bilgisayar simülasyonlarına dayalı analizlerde gözlemlenen en düşük salınım frekansı ve bu frekansa karşılık gelen "mod şekli" (mode shape) Şekil 1'de gösterilmiştir [2]. "Mod şekli" grafiği, enterkonnekte sisteme bağlı generatörlerin rotor açısı ve rotor hızları için yapılan doğrusal (lineer) özdeğer (eigenvalue) analizleri sonucunda, sistemdeki herhangi bir "mod"a ait özvektörün (eigenvector) ilgili girdisinin (entry) fazör gösterimidir ve karşılık geldiği

“mod”un gözlelenebilirliğinin (*observability*) göstergesidir. Şekil 1’de de görüldüğü gibi, enterkonneksiyon sonrasında Türkiye iletim sistemi ve Doğu Avrupa’daki generatörlerin bir kısmının toplu halde (coherent) ENTSO-E CESA Sistemi’nin geri kalanı ile yaklaşık olarak zıt fazda salınması beklenmektedir. Ayrıca, özvektör büyüklükleri kıyaslandığında, bu salınımlara olası en fazla pozitif (ve negatif) sönümlenme etkisi, şebekenin uç noktasında bulunan Türkiye’deki santraller tarafından sağlanabilir.



Şekil 1. Enterkonneksiyon sonrası oluşması beklenen ~ 0.15 Hz bölgeler arası salınının mod şekli dağılımı [2].

Gerekli sönümlenme önlemleri alınmadığı takdirde, bu durumun iki sistemin birbirinden ayrılmasıyla sonuçlanacak yük akışı dalgalanmalarına sebep olabileceği açıktır. Bu durumun önüne geçilmesi için bir takım önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler, Şekil 2’de öncelik sırasına göre verilmiştir. Bir başka deyişle Şekil 2, enterkonneksiyon sonrası şebekenin dinamik kararlılığını iyileştirmek amacıyla yapılması gereken çalışmalar ve takip edilen yol haritasını özetlemektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, ilk önlem büyük ve uzun cebri borulu hidrolik santrallerin hız regülatörü kontrol sistemlerinin rehabilitasyonu ve denetleyici parametrelerinin optimizasyonudur [3]. Bu sonraki konvansiyonel çözüm; düşük frekans salınımlarının güç sistemi dengeleyicisi (power system stabilizer; PSS) ile, ikaz sisteminin otomatik gerilim regülatörü (Automatic Voltage Regulator, AVR) üzerinden, sönümlendirilmesidir [5], [6]. Bunları daha yeni çözümler olan SVC, STATCOM ve sönümlendirici direnç uygulamaları izler [5].



Şekil 2. Türkiye ENTSO/E CESA sisteminin enterkonneksiyonu sonrası sistemin dinamik kararlılığını artırmak için takip edilen yöntem.

3. Simülasyon Çalışmaları

3.1. Modelleme ve Baz Senaryo

Türkiye iletim sistemi ve ENTSO-E CESA sistemlerinin enterkonneksiyon projesi kapsamında kullanılan ENTSO-E CESA sisteminin dinamik modeli (75 bara, 133 iletim hattı ve

eşdeğer generatörler ile indirgenmiş sistem modeli) ile TÜBİTAK UZAY Güç Sistemleri Bölümü ve TEİAŞ tarafından geliştirilen Türkiye iletim sistemi eşdeğer dinamik sistem modeli DIGSILENT PowerFactory™ yazılımında birleştirilmiştir [7]. Yapılan analizlerde, enterkonnekte sistemin dinamik kararlılık açısından en zayıf senaryosu olarak aşağıda belirtilen yüklenme koşulları ele alınmıştır.

Minimum Yüklenme Koşulları (bahar dönemi):

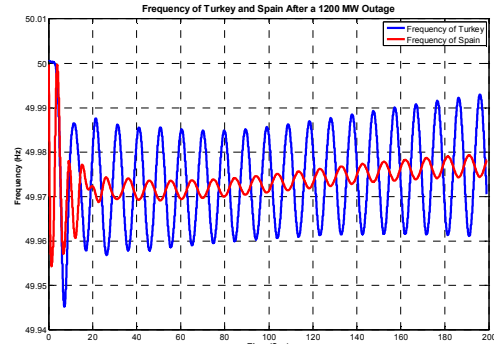
- ENTSO-E CESA Sistemi yükü: 235 GW,
- Türkiye iletim sistemi yükü: 19 GW,
- Türkiye’den ENTSO-E CESA Sistemi’ne 900 MW ihraç (küçük sistemden büyük sisteme ihraç)

Bu koşullarda, sistemde yapılan *doğrusal* (linear) özdeğer (eigenvalue) analizlerinin sonucu olarak, en az sönümlenme katsayısına (damping factor) sahip olan “mod”lar Tablo 1’de listelenmektedir. Tablo 1’den görüleceği üzere, sistemdeki kararsız modun frekansı ~ 0.122 Hz olarak hesaplanmış olup, bu değer 0.15 Hz’e çok yakındır.

Tablo 1. En kötü sistem konfigürasyonunda rotor açısına ait özdeğerler.

	Reel Değer	İmajiner Değer	Sönümlenme Frekansı (Hz)	Sönümlenme Oranı
Mod 1	-0,087	0,810	0,129	0,107
Mod 2	0,255	0,767	0,122	-0,315
Mod 3	-0,258	0,793	0,126	0,309
Mod 4	-0,200	0,600	0,095	0,316
...

Doğrusal olmayan nümerik simülasyonlar sonucunda ise, Minimum yüklenme koşullarında ENTSO-E CESA sisteminde 1200 MW üretim kaybı sonrasında (Baz Senaryo), sistem frekansı Şekil 3’te gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Baz Senaryo => Şebeke frekansı [5]. (Mavi: Türkiye şebeke frekansı, Kırmızı: İspanya şebeke frekansı.)

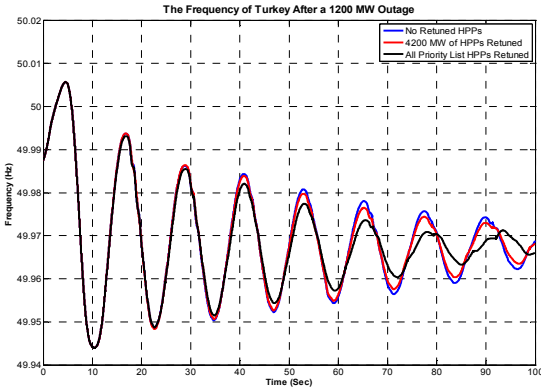
Şekil 3’te gösterilen simülasyon sonuçları, *doğrusal* özdeğer analizlerini destekler nitelikte olup, (n-1) kısıtlılık durumunda dinamik kararlılık bakımından sakıncalı durumlara işaret etmektedir.

3.2. Konvansiyonel Çözümler

3.2.1. Hidrolik Santrallerin Hız Regülatörlerinin Denetleyici Parametrelerinin Optimizasyonu

Türkiye elektrik sisteminde puant (maksimum) yüklenme koşullarında anlık talebin $\sim 30\%$ ’u hidroelektrik santrallerden karşılanmaktadır. Dolayısıyla, Türkiye iletim sisteminin dinamik davranışı hidroelektrik santrallerin dinamik davranışı ile kuvvetle ilişkilidir. Özellikle su zaman sabiti yüksek hidroelektrik ünitelerin hız regülatörlerinin bahsedilen düşük

frekanslı (~0.15 Hz) bölgeler arası salınımlara olumsuz yönde (frekans yükselirken ünitenin çıkış gücünün de artması, frekans düşerken ünitenin çıkış gücünün de azalması) tepki vermesinin, salınımların genliğinin artmasına ve iki sistemin birbirinden ayrılmasıyla sonuçlanacak yük akışı dalgalanmalarına sebep olacağı, başka bir deyişle sistemin sönümleme performansını olumsuz etkileyeceği [4]'de detayları ile açıklanmıştır. Bu olumsuz tepkinin minimize edilmesi için Türkiye'deki tüm büyük hidroelektrik santrallerin hız regülatörü ayarları değerlendirilmiş ve gerekli optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Böylece, hidrolik santrallerin hız regülatörünün ayar değerleri hem bölgeler arası salınımlara pozitif sönümlendirme sağlayacak hem de izole besleme koşullarında kararlı çalışacak şekilde revize edilmiştir [3],[5]. Yapılan bu çalışmanın pozitif etkisinin bilgisayar simülasyonları ile gösterimi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Senaryo 1 => Sebeye frekansı [3].(Hidroelektrik santrallerin hız regülatörü ayarlarının optimizasyonunun etkisi.)

Maksimum Yükleme Koşulları:

- ENTSO-E CESA Sistemi yükü: 329 GW,
- Türkiye iletim sistemi yükü: 30 GW,
- Türkiye'den 1000 MW ihraç,
- ENTSO-E CESA sisteminde 1200 MW üretim kaybı (Senaryo 1).

Şekil 4'te:

- Mavi trend: hidroelektrik santrallerin tümünün mevcut hız regülatörü (revizyon öncesi) ayarlarıyla çalıştığı senaryo,
- Kırmızı trend: sadece Atatürk ve Karakaya Hidroelektrik Santralleri'ndeki ünitelerin (toplam 4200 MW kurulu güç; Türkiye'deki anlık puntanın ~%14'ü) hız regülatörü ayarlarının yeniden yapıldığı senaryo,
- Siyah trend: Türkiye'deki bütün büyük güçteki hidroelektrik santrallerin hız regülatörü ayarlarının revize edildiği senaryo.

3.2.2. Güç Sistemi Dengeleyicilerinin (Power System Stabilizer; PSS) Parametrelerinin Optimizasyonu

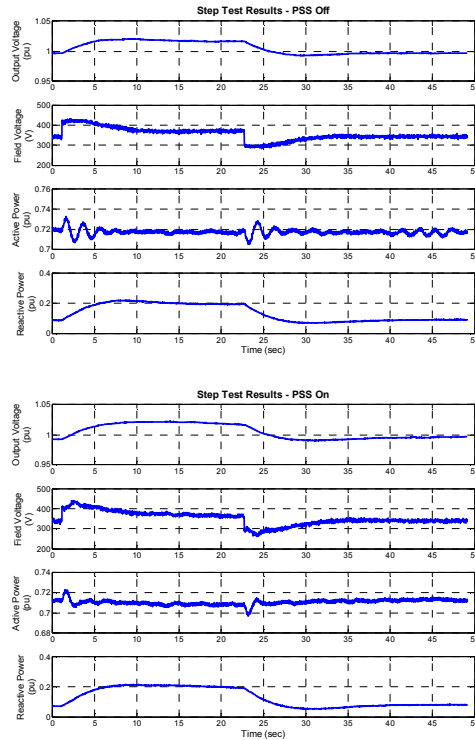
Şimdiye kadar Türkiye'de bölgeler arası salınım problemi söz konusu olmadığından, mevcut santrallerin kabul testleri sırasında PSS ayarları yapılırken sadece türbin-generatörlerin çeşitli frekanslı lokal salınımlarını (~1 Hz) sönümleyici ayar çalışmaları yapılmıştır. Diğer yandan, ENTSO-E CESA sistemi ile enterkonneksiyon projesi kapsamında gerçekleştirilen PSS ayar çalışmalarında esas olarak iki performans kriteri göz önüne alınmıştır:

- Bölgesel salınımların sönümlendirilmesi,

- Bölgeler arası salınımları *arttırıcı* tepki verilmemesi.

Bölgesel Salınımların Sönümlendirilmesi

Güç sistemine bağlı her generatör sistemin geri kalanına göre salınmaktadır. Bu salınımların sebebi hat açması, gerilim ayar değeri değişiklikleri, yüksek gerilim transformatör kademe değiştirmesi gibi olağan güç sistemi olaylarıdır [9]. Genellikle, generatörlerin bu salınımları sönümlendirme performansını analiz etmek amacıyla, AVR çevriminin girişine gerilim ayar değerinin ~%2'sine karşılık gelen adım değişiklik uygulanır (*step-response test*). Bu test PSS'in aktif olmadığı ve aktif olduğu durumlar için tekrarlanır ve iletim sistemine bağlı bir makine için lokal salınım frekans etrafında aktif güç salınımlarının PSS devrede iken daha iyi sönümlenmesi beklenir. Bu kapsamda Temelli DGKÇS'de gerçekleştirilen testlerin sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir.

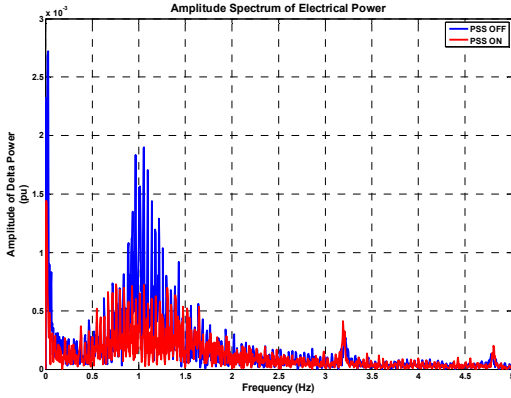


Şekil 5. PSS'in lokal salınımları sönümleyici etkisi [14].

Bölgeler Arası Salınımlara Arttırıcı Tepki Verilmemesi

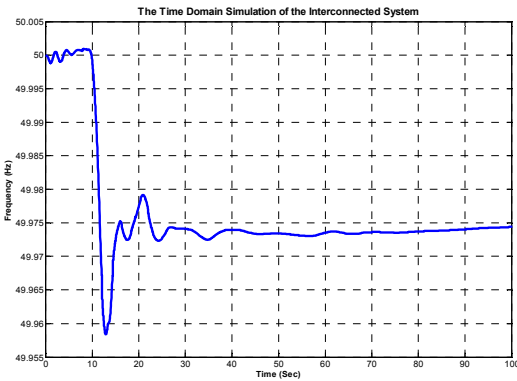
Yukarıda da belirtildiği gibi, ENTSO-E CESA sistemi ile senkronizasyon sonrası, frekansı ~0.1 Hz'e kadar düşebilen bölgeler arası salınım problemi muhtemeldir. Elektrik makinelerinin sönümleme karakteristiğinin damper sargılarının zaman sabitleriyle sıkı ilişkili olduğu düşünüldüğünde ve ~0.1 Hz'lik salınımların bu zaman sabitlerine göre göreceli uzun oldukları göz önüne alındığında, PSS'lerin bu denli düşük frekanslarda, bölgesel salınımlarda oldukları kadar aktif olmaları söz konusu değildir [6]. Ancak bu noktada temel beklenti, en azından PSS'in ikaz sistemi aracılığıyla, makinenin doğal sönümleme karakteristiğini olumsuz etkilememesidir. Bu durumun test edilmesi amacıyla, AVR çevriminin girişine çıkış gerilimini ~%2 civarında değiştirecek şiddette sinusoidal değişiklik uygulanır (frequency response test). Test sonuçları değerlendirilirken, 0.1 Hz ile 10 Hz arasındaki frekans spektrumundaki salınımlar analiz edilir ve 0.5 Hz'in üstündeki salınımlar için aktif güç sinyalindeki salınımların, 0.5Hz'in altındaki salınımlar için de terminal

gerilimi sinyalindeki salınımların PSS devrede iken daha iyi sönümlenmiş olması beklenmektedir. Böylece, bölgeler arası salınımlar için PSS'de yapılan parametre değişikliğinin, PSS'nin lokal salınımlardaki olumlu etkisine zarar vermediği gözlemlenir. Temelli DGKÇS'de gerçekleştirilen testlerin sonuçları Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, Fast Fourier Transform (FFT) analizi sonucunda geniş bir frekans bandında (0.1 Hz – 5 Hz) PSS'in olumlu etkisi görülmektedir.



Şekil 6. Tipik PSS performans test sonuçları –FFT analiz [14]

Baz Senaryoda yalnızca güç sistemi dengeleyicilerinin mevcut parametre değerlerinin [9]-[15]'te önerilen değerlerle değiştirilmesinin ardından yapılan simülasyonlar sonucunda, maksimum yüklenme koşullarında sistem frekansı Şekil 7'de gösterildiği gibi bulunmuştur (Senaryo 2). Şekil 7'de gösterilen durumdaki sistem frekansı Şekil 3 (Baz Senaryo) ve Şekil 4'de (Senaryo 1) gösterilenler ile kıyaslandığında, parametre optimizasyonu sonrası güç sistemi dengeleyicilerinin bölgeler arası salınımlar açısından çok önemli bir iyileştirme sağladığı gözlenmektedir.



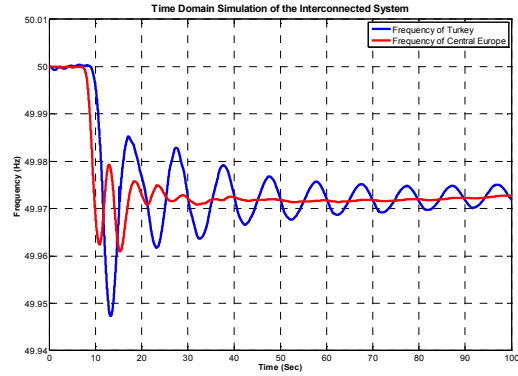
Şekil 7. Senaryo 2 => Sebeke frekansı [5]. (PSS ayarlarının optimizasyonunun sistem dinamik performansına olumlu etkisi.)

3.3. Yenilikçi Önlemler

3.3.1. STATCOM Denetleyici Modifikasyonu

STATCOM'un çok hızlı reaktif güç verme/çekme özelliği dolayısıyla iletim şebekelerinde çok hızlı bir şekilde gerilim/reaktif güç regülasyonu sağladığı bilinmektedir [9]. Bu analizde Türkiye iletim şebekesi için TÜBİTAK UZAY Güç Elektronikliği Bölümü tarafından gerilim regülasyonu amacıyla modüler olarak geliştirilen ± 50 MVAR STATCOM'un kontrolcüsünde yapılacak modifikasyonların bölgeler arası salınımlara etkisi analiz edilmiştir.

Baz Senaryoda Sincan 380 kV barasına (kısa devre gücü minimum yük koşullarında 19700 MVA) transformator ile bağlı ± 50 MVAR kapasitesindeki STATCOM'un denetleyici modifikasyonunun ardından yapılan simülasyonlar sonucunda, ENTSO-E CESA sisteminde 1200 MW üretim kaybı sonrasında, sistem frekansı Şekil 8'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır (Senaryo 3). Şekil 8'de gösterilen durumdaki sistem frekansı Baz Senaryonun sonucu ile kıyaslandığında, gerilim kontrollü STATCOM gibi statik güç sistemi elemanlarının sönümlendirme amacıyla kullanılmasının da sistem dinamik kararlılığını önemli ölçüde iyileştirdiği gözlenmektedir.



Şekil 8. Senaryo 3 => Sebeke frekansı [5] (± 50 MVAR STATCOM'un denetleyici modifikasyonu sonrası sistem dinamik performansına etkisi).

3.3.2. Statik VAR Kompansator (Static Var Compansator, SVC) Denetleyici Modifikasyonu

Şebekeye iletim seviyesinden bağlı olan darbeleri yüklerin (ark ocaqları) reaktif güç kompanzasyonu için SVC kullandıkları bilinmektedir. Bu analizde SVC'lerin kontrolcülerinin bölgeler arası salınımları sönümlenici biçimde revize edilmesinin etkisi analiz edilmiştir.

Baz Senaryoda enterkonneksiyon projesi kapsamında SVC modifikasyonu yapılması öngörülen Türkiye'deki 4 büyük ark ocağından herhangi bir anda aşağıda özellikleri verilen 3 tanesinin aktif olduğu varsayılmıştır:

- SVC 1 - 310 MVAR kapasite - 3093 MVA busbar,
- SVC 2 - 300 MVAR kapasite - 4942 MVA busbar,
- SVC 3 - 330 MVAR kapasite - 7623 MVA busbar.

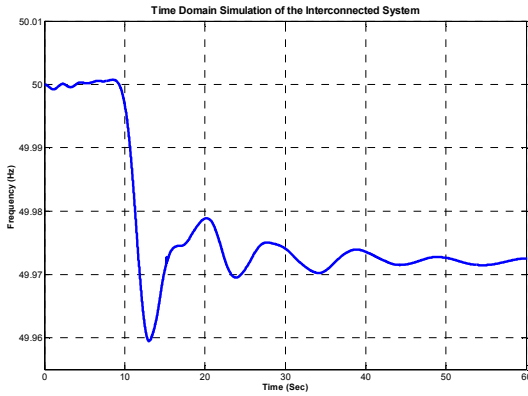
Yapılan simülasyonlar sonucunda, ENTSO-E CESA sisteminde 1200 MW üretim kaybı sonrasında, sistem frekansı Şekil 9'da gösterildiği gibi bulunmuştur (Senaryo 4). Şekil 9'da gösterilen durumdaki sistem frekansı Şekil 3 ile kıyaslandığında, SVC gibi statik güç sistemi elemanlarının sönümlendirme amacıyla kullanılmasının sistem dinamik kararlılığını önemli ölçüde iyileştirdiği gözlenmektedir.

3.3.3. Sönümlenme Direnci Uygulanması

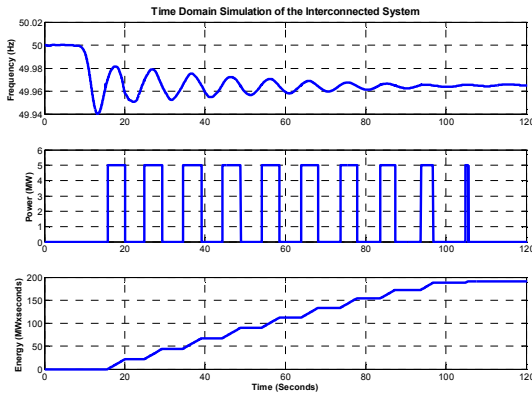
Son olarak, bölgeler arası salınımları sönümlendirmek için sadece salınım zamanı devreye girecek sönümlenme dirençlerinin etkisi analiz edilmiştir. Sönümlenme dirençleri Baz Senaryoda, Sincan barasına bağlı 5 MW kapasitesindeki sönümlenme direncinin, sistem salınımlarını sönümlendirmeyi amaçlayan bir denetleyici tarafından, salınım esnasında frekansın yükseldiği anlarda devreye alınıp frekansın düştüğü anlarda devreden çıkartılması şeklinde modellenmiştir. Simülasyonlar sonucunda, ENTSO-E CESA sisteminde 1200 MW üretim kaybı sonrasında, sistem frekansı ve sönümlenme

direnci tarafından çekilen güç Şekil 10'de gösterildiği gibi simüle edilmiştir (Senaryo 5). Şekil 10'da gösterilen durumdaki sistem frekansı Şekil 3 ile kıyaslandığında, genelde topraklama ya da deşarj amacıyla kullanılan direncin sistem salınımlarını sönümlendirme amacıyla kullanılmasının, beklendiği gibi sistem dinamik kararlılığını önemli ölçüde iyileştirdiği gözlenmektedir.

Şekil 10'da, aynı olay için, sistem frekansı ile birlikte sönümleme direnci tarafından harcanan enerjinin zaman ekseninde değişimi görülmektedir. Sönümleme direncinin tipik bir olay başına yaklaşık olarak 0,056 MWhr enerji harcadığı hesaplanmıştır. Şekilde de görüldüğü üzere, sönümleme direnci sadece bölgeler arası salınım nedeniyle frekansın yükseldiği anlarda devreye girmek suretiyle sistemdeki generatörlerin ivmelenmelerini engellemektedir.



Şekil 9. Senaryo 4 => Sebeke frekansı [5] (SVC'lerin denetleyici modifikasyonlarının sistem dinamik performansına olumlu etkisi).



Şekil 10. Senaryo 5 => Sönümleme direnci tarafından çekilen güç ve enerji [5] (Sönümleme direncinin sistem dinamik performansına olumlu etkisi).

4. Sonuç ve Öneriler

Bilgisayar simülasyonlarına dayalı analizlere göre, ENTSO-E CESA Sistemi ve Türkiye iletim sistemlerinin enterkonneksiyonu sonrası beklenen düşük frekanslı bölgeler arası salınımları sönümlendirmek için en etkili önlemin, santrallerin PSS parametre ayarlarının yeniden optimize edilmesi olduğu anlaşılmıştır. Diğer yandan, uzun cebri borulu hidrolik santrallerin bu salınımları artırıcı etkilerinin olabilmesi ve Türkiye'de bu tür hidrolik santrallerin ağırlığının görece fazla olması, hidrolik santrallerin hız regülatörü denetleyici

parametrelerinin optimize edilmesinin önemini göstermektedir.

Bu konvansiyonel önlemlerin yanı sıra, STATCOM, SVC ve sönümleme direnci gibi statik güç sistemi elemanlarının sistem salınımlarının sönümlendirilmesi amacıyla kullanılmasının, beklendiği üzere sistem sönümlendirme performansını iyileştireceği, dolayısıyla gerek sistem kararlılığını ve bağlantının sürekliliğini sağlamak, gerekse de iletim sistemleri arasındaki net transfer kapasitesini (başka bir deyişle elektrik ticaret hacmini) arttırmak için alternatif yöntemler olarak değerlendirilebileceği öngörülmüştür.

TEİAŞ ve TÜBİTAK UZAY Güç Sistemleri Bölümü önderliğinde büyük santrallerin hemen hepsi için her iki konvansiyonel yöntemin uygulanması tamamlanmıştır. Ayrıca, TÜBİTAK UZAY Güç Elektronikleri Bölümünün geliştirdiği STATCOM'un kontrolcüsü amaca yönelik modifiye edilmiştir. SVC denetleyici modifikasyonu çalışmaları devam etmekte olup, sönümlendirici direnç uygulaması için ilk önce enterkonneksiyon sonrası deneme sürecindeki salınımların gözlenmesi önerilmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] "Preventive Measures for Effective Damping of Inter-area Oscillations after the Synchronous Interconnection of the Turkish Power System with the UCTE Power System", UCTE, Mayıs 2009.
- [2] H. Breulmann, E. Grebe, M. Lösing, et. al., "Analysis and Damping of Inter-Area Oscillations in the UCTE/CENTREL Power system", in *CIGRE session 2000, 2000, paper 38-113*.
- [3] C. Gencoglu, "Assessment of the Effect of Hydroelectric Power Plants' Governor Settings on Low Frequency Inter Area Oscillations," Ms Thesis, Middle East Technical University, Tem. 2010.
- [4] "Complementary Studies for the Synchronization of the Turkish Power System with the UCTE Power System", UCTE, Mayıs 2007.
- [5] O. B. Tor, C. Gencoglu, O. Yilmaz, E. Cebeci, A.N. Guven, "Damping Measures against Prospective Inter Area Oscillations between Turkish Grid and ENTSO-E CESA System," (*IEEE PowerCON 2010 konferansında basılmak üzere kabul edilmi tir*)
- [6] IEEE Tutorial Course, "Power System Stabilization via Excitation Control," in *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2007.
- [7] DİGSILENT Company, <http://www.digsilent.de/>, [Erişim: 3 Eylül 2010].
- [8] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, New York: McGraw-Hill, 1994.
- [9] J. Taborda, "Elbistan B AVR & PSS Settings Analysis," JT Systems, Nussbaumen, Switzerland, Aralık 2008.
- [10] J. Taborda, "Proposal for AVR and PSS Settings: Karakaya HPS," ABB, Zurich, Switzerland, Temmuz 2008.
- [11] F. Riegger, "Ataturk Unit 1 PSS Test Results," ABB, Zurich, Switzerland, Kasım 2008.
- [12] J. Taborda, "PSS Tuning and Testing Report: Oymapınar HPP," JT Systems, Nussbaumen, Switzerland, Ocak 2010.
- [13] J. Taborda, "PSS Testing Report: ENKA CCPP UN TS 21X (GT) and 21A (ST)," JT Systems, Nussbaumen, Switzerland, Nisan 2010.
- [14] C. Gencoglu, O. B. Tor, "PSS Retuning Site Tests for Gas Turbines of Ankara (Baymina) NGCCPP: Observer Report", TUBITAK UZAY Güç Sistemleri Bölümü, Ankara, Türkiye, Nisan 2010.
- [15] C. Gencoglu, O. B. Tor, "PSS Retuning Site Tests for Gas & Steam Turbines of Izmir (Aliaga) NGCCPP: Observer Report", TUBITAK UZAY Güç Sistemleri Bölümü, Ankara, Türkiye, Mayıs 2010.