

AC ve STATİK TİP UYARTIM SİSTEMLERİNDE GÜÇ SİSTEM STABİLİZERLERİNİN KARARLILIĞA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Kadir ABACI¹, M. Atay TUGAL², Volkan YAMAÇLI³,

^{1,3}Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Çiftlikköy Kampüsü, Mersin

²Enerjisa Enerji Üretim A.Ş – Adana Doğal Gaz Kapalı Çevrim Santrali Adana

kabaci@mersin.edu.tr¹, atay.tugal@enerjisa.com², vyamacli@mersin.edu.tr³

ÖZET

Son zamanlarda artan güç talebinden ve kesintisiz güç ihtiyacından dolayı güç sistemlerinin enterkonnekte bağlantıları genişlemektedir. Yeni teknolojilerin kullanımından dolayı güç sistemlerinin karmaşıklıkları artmaktadır. Güç sistemlerinin enterkonnekte bağlantısında güç üretimi ve talebi arasındaki dengesizlikler generatörlerin senkronizasyonunu ve kararlılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Güç sistemlerinde görülen bu salınımların sönümlenmesi ve sistemin dinamik kararlılığının iyileştirilmesi için uyarım sistemine destekleyici bir işareti uygulanması gerekir. Güç sistem stabilizerleri (PSS) otomatik gerilim regülatörleri (AVR) ile birlikte güç sistem kararlılığını iyileştirebilmektedirler. Bu çalışma tek makineli sonsuz güçlü baraya bağlı senkron generatörün çeşitli tip uyarım sistemlerinde oluşan salınımları sönümlemede güç sistemi dengeleyicisinin performanslarını incelemektedir.

1. GİRİŞ

Elektrik enerji sistemlerinin en temel görevi, tüketicinin ihtiyaç duyduğu sabit frekans ve sabit gerilimde enerjii sağlamaktır.[1] Senkron generatörler mekanik gücü elektrik enerjisine çeviren ve senkronizmada kalarak bu görevi üstlenen en önemli elemanlarından birisidir.

Generatörün çıkış gücü uyarım gerilimi ile değiştirilebilir. Güç sistemlerinde senkron generatörlerin uyarım kontrolü çok önemli bir yer tutar [2].Uyarım sistemleri elektrik güç sisteminin dinamik performansını etkileyen önemli bir elemandır. Uyarım sistemine eklenen GSK'lar güç sistemlerinde görülen salınımların sönümlenmesinde etkili bir araç olarak kabul edilirler [3]. Turbogeneratörlerde PSS kullanılmasıyla uyarım sisteminin kontrol performansında oldukça yüksek bir iyileştirici etki sağlandığı belirtilmiştir. PSS 'ler, giderek artan hızdaki tristörlü uyarım sistemleri ve artan güçlerdeki generatörlerde kararlı hale

getirilemeyen salınımların sönümlendirilmesi amacıyla literatürde birçok kaynak tarafından gerekli görülmüştür [4,5,6].

Senkron makinelere ilişkin uyarım sistemlerinin, elektrik sistemleri içerisinde oluşan geçici olaylar üzerinde belirgin etkileri vardır. Bu nedenle literatürde güç sistemlerinin kararlılığının iyileştirilmesinde uyarım sistemlerine büyük önem verilmiştir. Başlangıçtaki uygulama ve incelemelerde güç sistemlerinin sürekli hal kararlılık sınırlarının arttırılmasında yüksek kazançlı ve sürekli çalışan gerilim regülatörlerinin uygun olduğu görülmüştür. Daha sonraları, gerilim regülatör kazanç gereksinimlerinin, yüklü ve yüksüz çalışma durumları için farklı olduğu ortaya çıkmıştır. 1950'li yıllarda konu ile ilgili mühendisler, modern gerilim regülatörlerinin oluşturduğu kararsızlıkların farkına varıp, kararlı kılıcı geribesleme devrelerini uygun bir şekilde kullanmaya başlamışlardı [7]. Rotor hız osilasyonlarında sönümleme sağlamak için

votaj kontrol döngüsünün kullanılması fikri ilk olarak 1960'ların sonunda [8] ve [9] tarafından düşünülmüştür. Bu çalışmada elde elen başarılı sonuçlar, çeşitli güç sistem stabilizatörlerinin geliştirilmesine öncülük etmiştir. Güç sistemlerinde uyarım sistemine destekleyici sönümlenme momenti üretmek amacı eklenen Güç Sistem stabilizerleri, sisteme etkiyen küçük bozucular sonrasında senkron generatörlerin rotorlarında oluşan düşük genlikli ve düşük frekanslı salınımları sönümlendirerek güç sisteminin kararlılığının iyileştirirler.

Bu çalışmada senkron generatörlerde AC ve Statik Tip uyarım sistemlerinde PSS'lerin performansları incelenmiştir. Çalışmada MATLAB/SIMULINK ortamında modellenen AC2A ve ST1A tipi uyarım sistemleri modellenmiş ve her iki uyarım sisteminde IEEE standart parametrelerinden oluşan PSS' in senkron generatörün devreye alınması ve bir üç-faz toprak hatası sonucunda güç sisteminde oluşan rotor hız salınımlarında etkileri araştırılmıştır.

2. UYARTIM SİSTEMLERİ

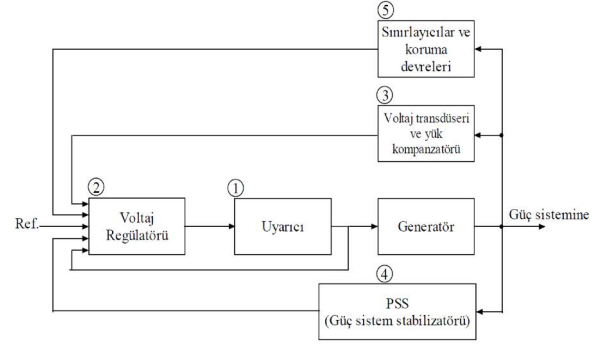
Uyarı sistemi ve gerilim regülatörünün aslı görevi, senkron makinanın alan sargılarına yeterli uyarıyı sağlamak, gerilim düşmelerinde uyarıyı artırmak ve gerilim yükselmelerinde ise uyarıyı azaltmaktır. Böylelikle, senkron generatörün diğer generatörlerle birlikte sürdürdüğü senkronizma olayını korumaktadır. Uyarım sisteminin görevini tam olarak yerine getirilebilmesi için aşağıdaki performans gereksinimlerini sağlaması gerekmektedir [5].

- Güç sisteminin kararlılığı için yeterli performansa karşılık gelen sistem tepkisine sahip olmalı
- Sınırlama ve koruma fonksiyonları generatörün ve diğer cihazların zarar

görmelerini engelleyecek özellikte olmalı

- İşletmede esneklik sağlanması için gerekli özelliklere sahip olmalı
- İstenen güvenilirlik özelliklerine sahip olmalı ve gerekli dayanıklılık, dahili hata bulma ve yalıtım kapasitesine sahip olmalıdır.[10]

Şekil 1.'de büyük bir senkron generatöre ait tipik bir uyarım kontrol sistemi fonksiyonel blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 1. Uyarım kontrol sisteminin blok diyagramı [5]

Uyarım Sistemi Çeşitleri

Uyarım sistemleri yıllar boyu çeşitli şekiller almış ve son olarak uyarım gücünün primer kaynağına göre üç grupta sınıflandırılmıştır [11,12].

DC uyarım sistemleri; uyarım gücü kaynağı olarak komitatörlü bir doğru akım generatörü kullanırlar.

AC uyarım sistemleri; senkron generatör alan sargısı için gerekli olan DC akımın üretilmesinde duran veya dönen doğrultuculu alternatör kullanırlar.

Statik uyarım sistemleri; uyarım gücü kaynağı olarak transformatörleri veya yardımcı generatör sargıları ve doğrultucuları kullanırlar.

Birinci ve ikinci sıradaki AC ve DC tip uyarıcılar dönen uyarıcılar olarak isimlendirilebilir. Generatörle aynı şaft üzerindedirler ve ana kuvvet mili (şaft, prime mover) tarafından sürülürler. DC tip uyarım sistemlerinin çoğunda primer uyarım gücü, alan sargısı senkron makine rotoruyla aynı mil üzerine yerleştirilmiş bir DC generatörden sağlanır. DC generatör ana uyarıcı işlevi görür ve bir pilot uyarıcı ile de ayrıca uyarılır. AC ve statik tip uyarım sistemleri, faz kontrolü ile kontrol edilirler. Tristör içeren kontrollü doğrultuculardan oluşan, hızlı cevaba sahip elektronik regülatörler kullanılır. Modern uyarım sistemlerinin çoğu AC dönen veya AC duran tiptedir [13].

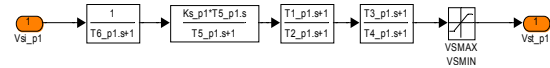
3. GÜÇ SİSTEMİ STABİLİZERLERİ (PSS)

En ekonomik elektromekanik sönüm kontrolüdür. Generatörlerde elektromekanik osilasyonlarının sönümlenmesinde ve güç sistemlerinde kararlılığının artırılmasında yaygın olarak kullanılır.

PSS, güç sistem osilasyonlarının sönümlenmesi için, regülatöre ilave giriş sinyali sağlar. PSS'in giriş sinyali olarak rotor hız değişimi yaygın olarak kullanılır. Ayrıca bara frekansı, hızlandırıcı güç (mekanik giriş gücü ile elektriksel güç arasındaki fark) ve elektriksel güç pratikte kullanılan giriş sinyalleri arasındadır [13].

Güç sistemleri karmaşık nonlinear sistemlerdir ve sık sık yetersiz sönümleme nedeniyle düşük frekanslı güç osilasyonları oluştururlar. Bazen de düşük frekans ve küçük genlikteki bu osilasyonlar uzun bir zaman periyodu için mevcuttur ve güç transfer kapasitesinde azalmaya sebep olurlar. Yüksek kazançlı AVR 'ler, güç sistemi dinamik limitlerindeki artırıcı etkisine rağmen bazen de negatif bir

sönümleme etkisi gösterebilirler. Sonuç olarak özellikle büyük birleşik sistemlerde kararsızlığa neden olurlar. Bu problemin üstesinden gelebilmek için, uyarım sistemine yardımcı, stabilize edici bir sinyal ilave edilir. PSS'ler bu ilave stabilize edici sinyali sağlarlar.



Şekil 2. PSS blok diyagramı

Şekil 2' de uyarım kontrol sistemi girişine yardımcı sinyal üreten bir sinyal temizleyici, moment filtresi, dinamik kompanzator ve sınırlayıcı bloklarından oluşan PSS'e ait blok diyagram modeli görülmektedir.

Burada sinyal temizleme devresi PSS'in giriş sinyalindeki DC bileşeni süzen bir yüksek geçiren filtredir. Bu kısmın eksikliği durumunda hızda meydana gelen kalıcı değişiklikler generatör çıkış gerilimini etkileyecektir.

Dinamik kompanzator ise (1) ifadesinde verildiği gibi iki adet faz ileri-faz geri kontrol bloğundan oluşmaktadır.

$$T(s) = \frac{K_{stab}(1+sT_1)(1+sT_3)}{(1+sT_2)(1+sT_4)} \quad (1)$$

Burada ' K_{stab} ' PSS kazancı, T_1 , T_2 , T_3 ve T_4 de zaman sabitleridir. Bu katsayılar moment sönümlemesi sağlayabilmek için faz kompanzasyonu gereksinimlerine göre belirlenir. Fakat statik tipteki uyarıcılar için tek bir faz ileri faz geri (lead-lag) kontrol bloğu daha uygun olmaktadır.

PSS içerisindeki moment filtresi bloğu ise bir band söndüren filtredir. Bu filtrenin transfer fonksiyonu da (2) ifadesiyle verilmiştir.

$$F_{iLL}(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

AVR işleyişine ters etki yapmasını diye PSS çıkışı negatif ve pozitif alt limitlerle sınırlandırılmalıdır. Bu işlem PSS modelinde çıkışa konulan bir sınırlayıcı blok ile gerçekleştirilir.

PSS'in temel fonksiyonu generatör rotor osilasyonlarına sönümleme etkisi ilave etmektir. Bu da uyarıma ilave edilen stabilize edici 'VS' sinyali ile sağlanır. Bu sinyal uyarım kontrol sisteminde gerilim hata sinyaline ilave edilir. PSS, sönümleme sağlamak için rotor hız değişimine karşın bir elektriksel moment bileşeni üretmelidir. Pratikte generatör ve uyarıcının transfer fonksiyonlarının kazanç ve faz karakteristikleri frekansa bağlıdır. PSS'in transfer fonksiyonu, uyarım girişi ve elektriksel moment arasındaki faz gecikmesini kompanse edecek uygun bir faz kompanzasyon devresi olmalıdır. Tam bir kompanzasyon sağlanabilmesi için ideal olarak PSS'in faz karakteristiği, uyarıcı ve generatörün faz karakteristiklerinin tam tersi özellikte olmalıdır. Böylece PSS tüm osilasyon frekanslarında sadece sönümleme momenti üretir. Generatörler genellikle basitlik ve sadelik açısından amortisör sargıları ihmal edilerek modellenirler. Ancak amortisör sargıları generatörün faz karakteristiklerini önemli ölçüde etkilediğinden, PSS parametrelerinin hesabında mutlaka dikkate alınmalıdır [14].

Hızlı uyarım ve yüksek gerilim değişim aralığına sahip modern uyarım sistemlerinde, PSS kullanımıyla senkronlama momenti ve sistem geçici hal cevabı üzerinde negatif sönümleme oluşmaktadır. Ancak buna rağmen sistem performansında önemli ölçüde bir artış sağlanmaktadır. PSS, hafif sönümleme

içeren sisteme, faz-ilerlemeli hız sinyali sayesinde ilave bir sönümleme sağlamaktadır. Böylece uyarım sistemi ve uyarım sistem kontrolünün, rotor açılı kararlılığı üzerinde önemli etkilere sahip olduğu görülmektedir. Modern yaklaşımlarda yüksek kazançlı ve hızlı cevaba sahip bir uyarıcı ve PSS kombinasyonu kullanılır. Hatta artık bu iki sistemi bir arada kullanmak iyi bir performans açısından zorunluluktur [15]. Bu şekilde hem geçici hal kararlılığın iyileştirilmesi sağlanmakta hem de küçük sinyal kararlılık karakteristikleri iyileştirilmektedir.

4. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Simulasyon çalışmaları esnasında IEEE tarafından sınıflandırılan iki tip uyarım sistemleri içerisinde modellemeleri yapılan AC ve Statik uyarım sistemlerine ait sırasıyla AC2A ve ST1A tip uyarım sistemleri üzerinde PSS'in performansını gözlemlemek amacıyla EK.A'da verilen güç sisteminin simülasyonları yapılmıştır. Her iki model ve PSS'e ait parametrik değerler EK B' da verilmiştir.

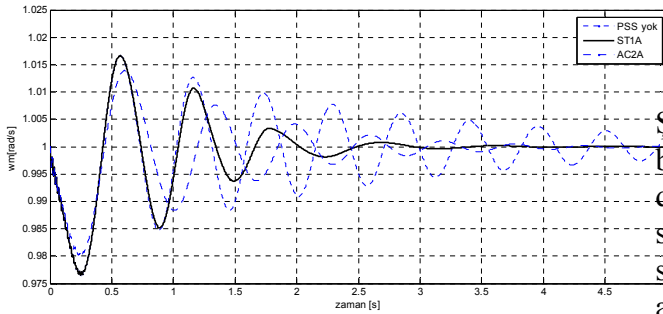
200 MVA 13.8 KV' luk çıkık kutuplu senkron generatör bir transformatör üzerinden sonsuz güçlü şebekeye bağlanmıştır. Santralin iç ihtiyacını temsil etmesi amacıyla 5 MW'lık bir yük transformatörün primerine, çıkışta ise 10 MW+j50 MVAR'lık bir yük bulunmaktadır.

Gerçekleştiren modeller ile senkron generatörün devreye alınması ve 3 faz-toprak kısa devresi sonucunda generatör hızının bozucu etki sonunda dinamik davranışı izlenmiştir.

1.Test: Senkron generatörün devreye alınması

Güç sistemine ait ilk simulasyon çalışmaları sonuçları Şekil 3'de verilmiştir. Burada

sırasıyla PSS'in olmadığı ve PSS'li durumda AC2A ve ST1A tipi uyarım sistemlerinin generatörün devreye alınmasından sonra geçen süre içerisinde tepkileri gösterilmiştir. Generatörün kararlı hale gelene kadar geçen süre içerisinde Statik tip uyarım sistemlerinin kullanıldığı durumlarda PSS'in daha kısa sürede salınımları bastırdığı görülebilir.

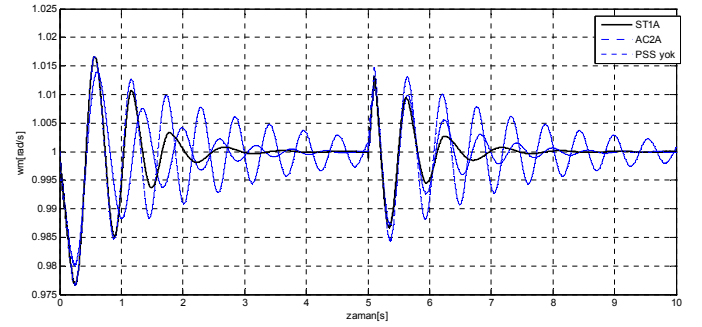


Şekil 3. PSS'in farklı tip uyarım sistemlerinde etkisi

2.Test: Üç faz-Toprak kısa devre arızası

Generatörün çıkışında bulunan transformatörün sekonderindeki iletim hattına $t=5$ ila 5.1 saniye arasında dengeli üç faz-toprak kısa devresi uygulanmıştır. Simulasyon 10 saniye süreyle gerçekleştirilmiştir.

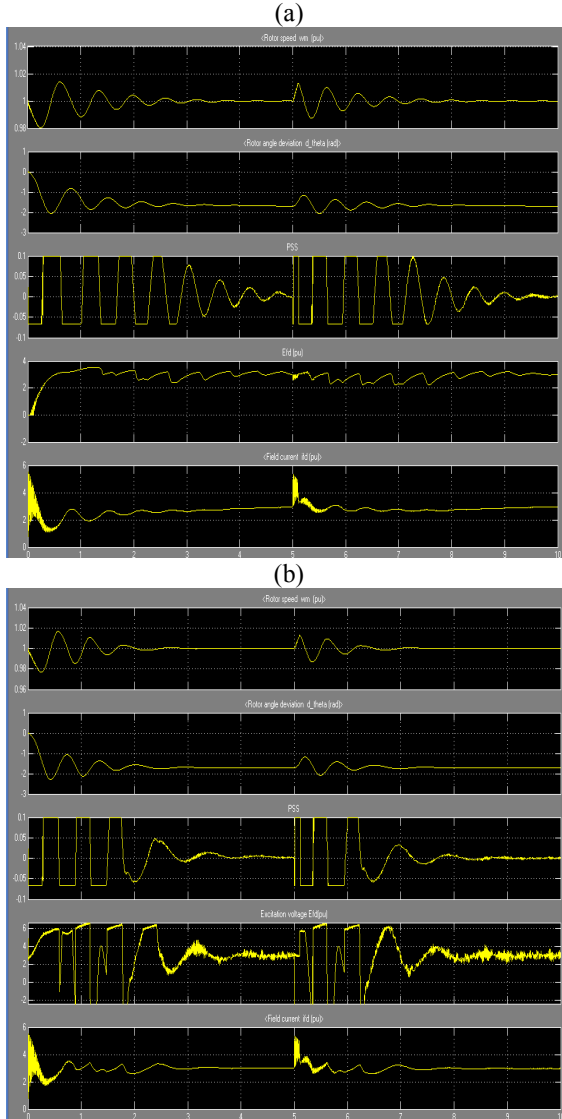
PSS ile her iki tip uyarım sisteminin bu bozucu etki sonrasında senkron generatörün rotor hızının (w_m) 1 p.u değerine en kısa sürede getirmesi arzu edilmiştir. Şekil 5'de 10 saniyelik simulasyonun 5 ila 5.1 saniyede meydana gelen hata sonrasında generatöre rotor hızının arzu edilen değerlere geldiği görülmektedir. PSS'in uyarım sistemleri üzerindeki performansları karşılaştırıldığında statik tip uyarım sisteminin daha kısa sürede hatayı azalttığı dolayısıyla salınımların daha erken sürede bastırıldığı açıkça görülmektedir.



Şekil 4. PSS'in üç faz toprak kısa devresi sonunda farklı tip uyarım sistemlerinde etkisi

Şekil 5 a ve b'de örnek güç sisteminin aynı bozucu etki sonrasında simulasyon sonuçları daha ayrıntılı olarak görülebilir. Burada sırasıyla AC2A ve ST1A tipi uyarım sistemlerinin generatörün devreye alınmasından sonra geçen süre içerisinde tepkileri gösterilmiştir.

Yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 1. ve 2 sinyal işaretleri generatörün rotor hızının (w_m) ve açısının (δ) değerlerini p.u. ve radyan olarak göstermektedir. 3. sinyal PSS sinyalini 4. ve 5. sinyaller sırasıyla p.u olarak uyarım gerilimi (E_{fd}) ve akımını (I_{fd}) göstermektedir. Simulasyonlar en iyi sonuçların Statik tip uyarım sisteminden elde edildiğini göstermiştir. Generatörün kararlı hale gelene kadar geçen süre içerisinde Statik tip uyarım sistemleri daha kısa sürede salınımlarını tamamlamıştır.



Şekil 5. PSS'in iki tip uyarıtım sistemlerinde 3 faz – toprak kısa devresi sonundaki performansları

a) AC tip uyarıtım

b) Statik tip uyarıtım sistemleri

Sinyaller:Rotor hızı [$w_m(p.u.)$], Generatör açısı [$\delta(rad)$],PSS sinyali, Uyarıtım gerilimi [$E_{fd}(p.u.)$],Uyarıtım akımı [$I_{fd}(p.u.)$]

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada senkron generatörlerde uyarıtım kontrolünü sağlayan Alternatif ve Statik tip uyarıtım sistemlerinde PSS'in performansları incelenmiştir. Bu uyarıtım sistemleri içerisinde yer alan AC2A ve ST1A

tipi uyarıtım sistemlerinin MATLAB/SIMULINK ortamında modellenmesi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan her iki model ile MATLAB/SIMPOWER paketinde oluşturulmuştur. uyarıtım sistemi modeli örnek bir güç sisteminde test edilmiştir. Bir bozucu etki olarak üç faz toprak hatası sisteme uygulanmıştır. Simülasyonlar sonucunda PSS'in rotor hızı salınımlarını bastırmada performansı araştırılmıştır. Statik tip uyarıtım sistemlerinde AC tip uyarıtım sistemlerine nazaran daha başarılı bir şekilde salınımların bastırıldığı ve senkron generatörün daha kısa sürede kararlı hale geldiği gözlemlenmiştir. PSS, Statik tip uyarıtımla uyarılmış senkron generatörde, hem geçici hal hem de sürekli hal kararlılığı açısından bakıldığında bozucu etki sonrasında en iyi cevabı verdiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] A.Serdar Yılmaz, “Güç sistem kararlayıcı ve uygulamaları” Y.Lisans Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1997
- [2] M. Caner, “Hiyerarşik Fuzzy yöntemiyle Senkron Generatörlerde Uyarıtım Kontrolü” Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006
- [3] İ.Yazıcı, A. Özdemir, “ Optimal Kazanç Tabloları Güç Sistem Karalayıcısı Tasarımı”, SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 12.Cilt, 1.sayı, 38-42 s, 2008
- [4] Kundur, P., Klein, M., Rogers, G. J., ve Zywno, M. S., (1989), “Application of power system stabilisers for enhancement of overall system stability”, IEEE Transactions on Power Systems, 4, 614-626.

- [5] Kundur, P., (1994), Power System Stability and Control, EPRI Power System Engineering Series, McGraw-Hill, Inc., New York.
- [6] Grondin, R., Kamwa, I., Soulieres, L., Potvin, J., ve Champagne, R., (1993), "An approach to PSS design for transient stability improvement through supplementary damping of the common low-frequency. IEEE Transactions on Power Systems, 8, 954-63.
- [7] Tacer, E., (1990), Enerji Sistemlerinde Kararlılık, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi.
- [8] Dandeno, P.L., Karas, A.N., McClymont, K.R., ve Watson, W., (1968), "Effect of High-speed Rectifier Excitation Systems on Generator Stability Limits", IEEE Trans. PAS, Vol. 87, pp. 190-201, Jan. 1968.
- [9] Schleif, F.R., Hunkins, H.D., Martin, G.E., ve Hattan, E.E., (1968), "Excitation Control to Improve Powerline Stability", Trans. PAS, Vol. 87, pp. 1426-1434, June 1968.
- [10] YU, Y., N., Electric Power System Dynamics", Academic Pres, New York, 1983
- [11] IEEE Committee Report, (1981), "Excitation System Models for Power System Stability Studies", IEEE Trans., Vol. PAS-100, pp.494-509, February.
- [12] IEEE Standart 421.5-1992, IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies. The Institute of Electrical and Electronics Engineering Inc., New York, USA, 1-19, 1992
- [13] Padiyar K.R., (1999), Power System Dynamics Stability and Control John Wiley & Sons; Bk&Disk Ed., April 5-1999
- [14] Rogers, G., (1999), Power System Oscillations, Kluwer Academic

Publishers, Springer; 1 edition (December 1, 1999).

- [15] Bourles H., Peres S., Margotin T., ve Houry M.P., (1998), "Analysis and Design of A Robust Coordinated AVR/PSS", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.13, No.2, pp.568-573, May 1998.

EK.A UYARTIM SİSTEMLERİ PARAMETRELERİ

Kullanılan ST1A Tipi Uyartım Parametreleri:

$K_a=190$, $T_a=0.0sn$, $T_c=1.0sn$, $T_b=10.0sn$,
 $K_f=0$, $T_f=1.0sn$, $K_{ir}=0.0$, $I_{ir}=0pu$,
 $V_{Rmax}=7.8pu$, $V_{Rmin}=-6.7pu$, $E_{fd0}=0$

Kullanılan AC2A Tipi Uyartım Parametreleri:

$K_a=1000$, $T_a=0.01sn$, $T_c=1.0sn$, $T_b=1.0sn$,
 $K_f=0.052$, $T_f=1.0sn$, $V_{Rmax}=23.91pu$, $V_{Rmin}=-23.91pu$

Kullanılan IEEE PSS Parametreleri :

$K_{s_p1} = 16.7$;
 $T1_p1 = 0.15$;
 $T2_p1 = 0.03$;
 $T3_p1 = 0.15$;
 $T4_p1 = 0.03$;
 $T5_p1 = 1.65$;
 $T6_p1 = 0.0$;
 $VSMAX_p1 = 0.10$;
 $VSMIN_p1 = -0.066$;

EK.A ÖRNEK GÜÇ SİSTEMİ

