

# DOĞRU AKIM (DC) ALTERNATİF AKIM (AC) VE STATİK (ST) TİP UYARTIM SİSTEMLERİNİN PERFORMANSLARININ ANALİZİ

Kadir ABACI<sup>1</sup> Muhammed Atay TUGAL<sup>2</sup> Volkan YAMAÇLI<sup>3</sup>

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü<sup>1,3</sup>  
Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mersin

Enerjisa Enerji Üretim A.Ş – Adana Doğal Gaz Kapalı Çevrim Santrali Adana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>e-posta [kabaci@mersin.edu.tr](mailto:kabaci@mersin.edu.tr)<sup>1</sup>, [atay.tugal@enerjisa.com](mailto:atay.tugal@enerjisa.com)<sup>2</sup>, [vyamacli@mersin.edu.tr](mailto:vyamacli@mersin.edu.tr)<sup>3</sup>

Bu çalışmada bir bozucu etki sonrasında senkron generatörün davranışını analiz etmek için kullanılan en yaygın uyarım sistemlerinin etkileri araştırılmıştır. Uyarım sistemleri IEEE komite raporuna göre Doğru Akım(DA), Alternatif Akım(AA) ve Statik Uyarım(ST) olmak üzere üç temel grupta sınıflandırılabilir. Raporda uyarım sistemlerindeki gelişmeler yansıtılmış, birçok iyileştirilmiş model yayınlanmıştır. Bu modeller içerisinde Alternatif uyarım sistemleri için AC2A ve statik uyarım sistemleri için ST1A IEEE modelleri ele alınarak incelenmiş ve MATLAB/SIMULINK ortamında gerçekleştirilmiştir. Doğru akım uyarım sistemi için MATLAB SIMPOWER SYSTEM paketinde hazırlanan model kullanılmıştır. Her üç modelin performansları incelenerek karşılaştırılmış ve sonuçları gösterilmiştir.

*Anahtar sözcükler: Senkron generatörler, DC, AC2A, ST1A, Uyarım sistemleri,*

## GİRİŞ

Senkron generatörler güç sistemlerinin en önemli elemanlarından birisidir. Generatörler mekanik gücü elektrik enerjisine çevirmek için kullanılırlar.

Güç sistemlerinde senkron generatörlerin uyarım kontrolü çok önemli bir yer tutar. Genel olarak bir uyarıcı ve bir gerilim regülatörünü içeren uyarım sisteminin ana görevi senkron generatöre DC alan akımı sağlamaktır. Buna ek olarak generatör uyarım sistemi makinanın gerilimini ve reaktif güç akışını kontrol eder, güç sisteminin kararlılığının yükselmesine yardımcı olur ve önemli koruma fonksiyonları sağlar. Uyarım sistemi her zaman uygun alan(uyarım) akımını sağlamak zorundadır [1]. Güç sistemlerinde gerilim kararlılığı çok önemlidir. İyi bir uyarım kontrolü normal işletme koşullarında senkron generatör çıkış gerilimindeki kararlılığın devamını sağlamak ve herhangi bir arıza durumu sonrasında regüle ederek gerilimin hata öncesi kararlı hal değerine çabuk ve etkili bir şekilde gelmesini sağlamaktır. Uyarım sistemleri normalde, yüksek kazanç ve küçük zaman sabitine sahip sistemlerdir.

Yani sistem işletme koşullarında çabuk kompanzasyon yapabilecek kapasiteye sahiptir.

Tarihsel olarak uyarım sistemleri güç sistemlerinin performansının artırılmasına sürekli olarak artan bir şekilde katkıda bulunmuşlardır. İlk uyarım sistemleri, generatör çıkışındaki istenen gerilim ve reaktif güç dengesini sağlamak için manuel olarak kontrol edilmiştir. Küçük sinyal kararlılığını ve geçici hal kararlılığı arttırmak için 1920'li yıllarda sürekli ve hızlı çalışan regülatörler keşfedilmiştir. Uyarım sistemlerinin değiştirilmesine olan ilgi sayesinde, kısa sürede hızlı cevaba sahip uyarıcı ve regülatörler endüstriye kazandırılmıştır. 1960'lı yıllarda uyarım sistemlerinin rolü artmıştır. 1960'ların başlarında alan gerilimi kontrolü ve sistemdeki salınımların sönümlenmesi için çıkış gerilimi hata sinyaline ilaveten yardımcı stabilize edici sinyallerin kullanılmasına başlanmıştır.

Modern uyarım sistemleri yüksek tavan gerilimleri sayesinde ani cevap verme kapasitesine sahiptir. Bu yüksek alan gücüne sahip uyarıcıların ve ilave stabilize edici sinyallerin kullanımı, tüm sistemin dinamik performansının artırılmasına tam bir katkı sağlamıştır [1]. Bu konuda yapılan çalışmalar 70'li yıllarda artarak, mil hızından ya da ivmelendirme gücünden alınan işaretler sonucu elde edilen ilave kararlayıcı işaretler ile uyarma geriliminin denetlenmesinin, sistemin kararlı kalmasında etkili bir rol oynadığı görülmüştür.

IEEE bünyesinde kurulan komiteler tarafından uyarım sistem modelleri üzerindeki standartlaşma çalışmaları 1960'ta başlamış ve ilk model setleri komite raporunda yayınlanmıştır [2]. Buna göre uyarım sistemleri uyarım gücü kaynağına göre değil, keyfi olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışma daha sonra genişletilerek pratik modeller geliştirilmiştir [3]. Bu raporlar da tekrar güncelleştirilerek yenilenmiştir [4]. 1981 yılında oluşturulan model 1992 yılında geliştirilmiş ve IEEE Std-421.5/1992 sayısında yayımlanmıştır. 2005 yılında ise bu model: reaktif diferansiyel kompanzasyon, uyarma sınırlayıcıları, güç faktörü ve var kontrolörleri, orantı kontrolörleri ve

diferansiyel kontrolörler (PID) eklemek amacıyla tekrar gözden geçirilmiştir [5].

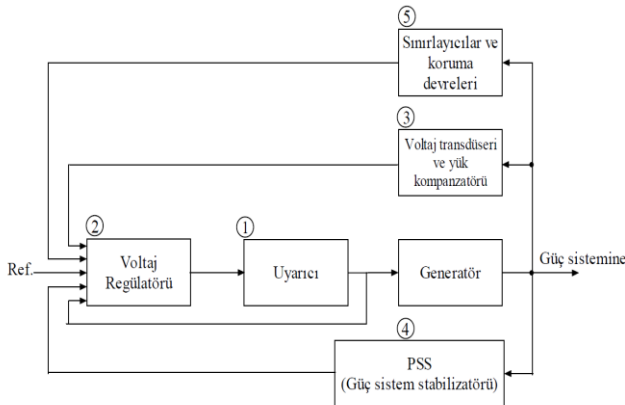
Bu çalışmada, IEEE tarafından tavsiye edilen AC2A ve ST1A tipi uyarıcılara ait modellerin MATLAB/SIMULINK ortamında tasarlanmış ve simülasyonları yapılmıştır. Modellerin doğruluğunu ve bir bozucu etki sonrası performanslarını karşılaştırmak amacıyla 3 fazlı bir kısa devre sonunda davranışları MATLAB/SIMPOWER paketinde bulunan Dinamik Uyarım (DC) kontrol sistemi ile karşılaştırılmıştır.

## 2. UYARTIM SİSTEMLERİ

Uyarı sistemi ve gerilim regülatörünün asli görevi, senkron makinanın alan sargılarına yeterli uyarıyı sağlamak, gerilim düşmelerinde uyarıyı artırmak ve gerilim yükselmelerinde ise uyarıyı azaltmaktır. Güç sistemleri açısından bakılırsa, uyarım sistemleri etkili bir gerilim kontrolü sağlamalı ve güç sisteminin kararlılığını arttırmalıdır. Geçici hal kararlılığını arttırmak için bozucu etkilere karşı hızlı cevap verebilme kabiliyeti olmalı ve küçük sinyal kararlılığını arttırmak için generatör alanını modüle etme yeteneğine sahip olmalıdır.

Böylelikle, senkron generatörün diğer generatörlerle birlikte sürdürdüğü senkronizma olayını korumaktadır. Uyarım sisteminin görevini tam olarak yerine getirilebilmesi için aşağıdaki performans gereksinimlerini sağlaması gerekmektedir [1] :

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



Şekil 1. Uyarım kontrol sisteminin blok diyagramı [1]

## Uyarım Sistemi Çeşitleri

Uyarım sistemleri yıllar boyu çeşitli şekiller almış ve son olarak uyarım gücü primer kaynağına göre üç grupta sınıflandırılmıştır [3,4].

DC uyarım sistemleri; AA/DA dönüştürücüsünün çıkışında bir döner makina vardır ve generatör, uyarım devresini bu makina üzerinden tamamlar. Uyarım gücü kaynağı olarak komitatörlü bir doğru akım generatörü kullanılır. genelde düşük uyarım akımlarında(1-200A arası) kullanılan bir sistemdir [6].

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

Statik uyarım sistemleri; uyarım gücü kaynağı olarak transformatörleri veya yardımcı generatör sargıları ve doğrultucuları kullanılır. daha büyük uyarım akımlarında(100-10000A arası) dolayısıyla daha büyük güçlerde kullanılır.

Birinci ve ikinci sıradaki DC ve AC 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 [7].

Generatörlerde, makina için gerekli uyarım sisteminin gücü, makinanın güç faktörüne, gerilimine ve kısa devre oranına göre değişimler gösterebilir. Generatör dizaynında daha iyi ve daha verimli malzeme kullanılmasına gidildikçe uyarım sisteminin güç ihtiyacı da artar. Yine de bu artış kVA olarak generatör gücünün %0,5'ni aşmaz. [8]

## 3. UYARTIM SİSTEMİ MODELLERİ

Güç sistemlerinin kararlılığı ile ilgili senkron makina simülasyon çalışmaları başladığında, uyarım sistemlerinin de modellenmesinin gerekliliği anlaşılmıştır. İlk olarak 1968 yılında IEEE komite raporunda değişik uyarım sistemi modelleri yer almıştır. Raporda uyarım sistemlerinin matematiksel modelleri ve bu modeller için hesaplanmış sistem parametreleri sunulmuştur [4].

Fiziksel parametrelerle model parametrelerinin doğrudan ilişkili olarak gösterildiği detaylı modeller bazı avantajlara sahip olmakla birlikte genel sistem çalışmaları için çok fazla ayrıntıya sahiptir. Çalışma tipine uygun olacak şekilde model basitleştirme teknikleri kullanılarak ve sistem kararlılığı üzerinde

etkili olan tüm nonlineerlikler de hesaba katılarak küçültülüp pratik hale getirilmelidir. Küçültülen modelde model parametreleri ve gerçek sistem parametreleri arasındaki doğrudan ilişki genellikle kaybolur. Küçültülen modelin yapısı uyarım sistemi tipine bağlı olarak değişir. IEEE tarafından şu anda kullanımda olan uyarım sistemi çeşitlerini tanımlayan 12 adet uyarıcı ve regülatörden oluşan uyarım sistemi modeli blok diyagram şeklinde standartlaştırmıştır (Tablo 1). Bu modeller geçici hal ve küçük sinyal kararlılık çalışmalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir [4].

Tablo 1. Standart hale getirilmiş uyarıcı modelleri [4].

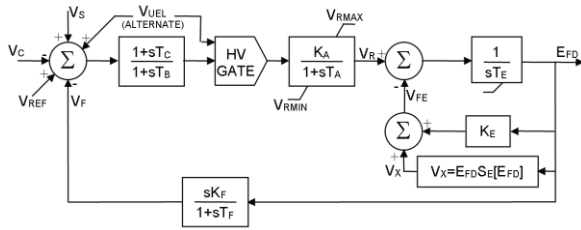
DC Modeller	Tip	Komitatörlü	DC1A, DC2A, DC3A
AC Beslemeli Modeller	Tip	Alternatör Doğrultuculu	AC1A, AC2A, AC3A, AC4A, AC5A, AC6A
ST Modelleri	Tip	Statik Uyarıcı	ST1A, ST2A, ST3A

### 3.1 DC Tip Komitatörlü modeller

Bu tip modelde uyarım sistemi güç kaynağı olarak komutatörlü DA generatör kullanılmaktadır. Bu sistemler günümüzde artık yerini AA ve Statik sistemlere terketmiştir.

#### DA1A tipi uyarım sistem modeli

Şekil 2'de gösterilen blok diyagramı ile tanımlanan bu model kesintisiz çalışan gerilim regülatörü, alan kontrollü DA makina ihtiva eden sistemleri tanımlar. Uyarım elemanı alan kontrollü bir doğru akım makinesidir ve regülatörler magnetik, döner veya reostatik şekilde olabilir.



Şekil 2. Tip DC1A—DC komütatör uyarıcısı

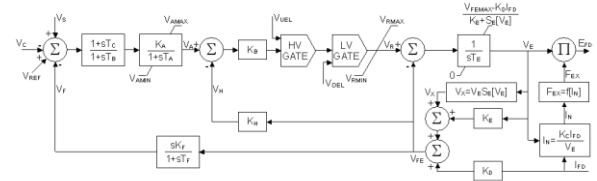
### 3.2. AC Tip Alternatör Beslemeli Doğrultuculu Modeller

Bu uyarım sistemlerinde bir AA alternatör ve generatör alanı için gerekli doğru akım üretmek için sabit veya döner doğrultucular kullanılır. Bu gibi uyarım sistemlerinde yüklenme etkileri önemlidir ve generatör uyarım akımının bu sistemlere giriş olarak kullanılması bu etkilerin tam olarak görülmesine imkan verir. [10].

#### AA2A tipi uyarım sistemi modeli

Tip AC2A olarak tasarlanan yüksek başlangıç geçiş tepkili alan kontrollü alternatör-kırpıcı uyarım sistemi modeli Şekil 3'de gösterilmiştir. Alternatör ana

uyarıcısı kontrol edilmeyen kırpıcılarla kullanılmıştır. Tip AC2A modeli uyarıcı zaman sabiti kompanzasyonu ve uyarıcı alan akımını limitleyen elemanlar haricinde tip AC1A modeline benzerdir.



Şekil 3. Tip AC2A— Kontrol Edilmeyen Kırpıcı ve Uyarım Alan Akımı Geri Beslemesi İçeren Yüksek Başlangıç Tepkisine Sahip Alternatör-Kırpıcı Sistemi

### 3.3. ST Tip Statik Uyarıcı Modelleri

Burada senkron makina, uyarım için gereken gücü bir uyarım trafosu ve tristörlü AA/DA dönüştürücüsü üzerinden alır.

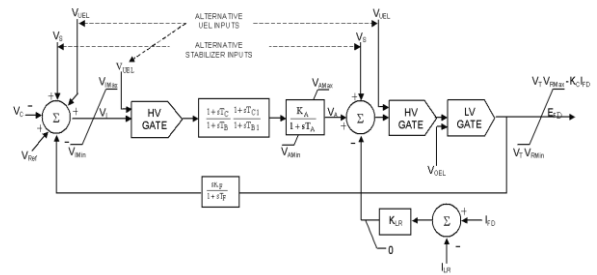
Gerilimi (bileşik sistemlerde aynı zamanda akımı), uygun bir değere dönüştürmek için bir transformatör kullanır. Doğrultucular generatör alanı için gerekli doğru akımı sağlamak üzere kontrollü veya kontrolsüz olabilirler.

Bu sistemlerin çoğundan negatif alan gerilimi elde edilebilir, buna karşılık negatif alan akımı elde edilemez. Bunun için daha detaylı modeller gerekmektedir.

Statik sistemlerin çoğunda uyarım gerilimi çok yüksek değerlere çıkabilir. Bu yüzden uyarım sistemini ve generatör rotor sargılarını korumak için ilave alan akım sınırlama devreleri kullanılır. Bu gibi ek devreler blok diyagramlarında gösterilmemiştir. [7]

#### ST1A tipi uyarım sistemi modeli

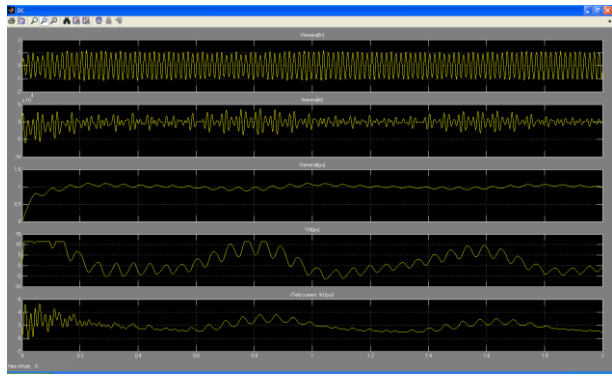
Şekil 4'de gösterilen Tip ST1A potansiyel-kaynaklı kontrollü kırpıcı içeren uyarım sistemi, uyarım gücünü kaynak generatöre bağlı bir trafodan (veya harici bir kaynaktan) alan ve kontrollü kırpıcı ile regüle edilen bir sistemi temsil etmektedir. Böyle bir sistemde maksimum uyarım gerilimi generatörün terminal gerilimini ile direkt olarak ilgilidir. Bu tip bir sistemin doğal uyarım zaman sabitleri çok küçüktür ve uyarım regülasyonuna ihtiyaç kalmayabilir. Diğer taraftan bu sistemlerde, başka nedenler sonucunda geçiş kazancını düşürme isteği oluşması mümkündür.



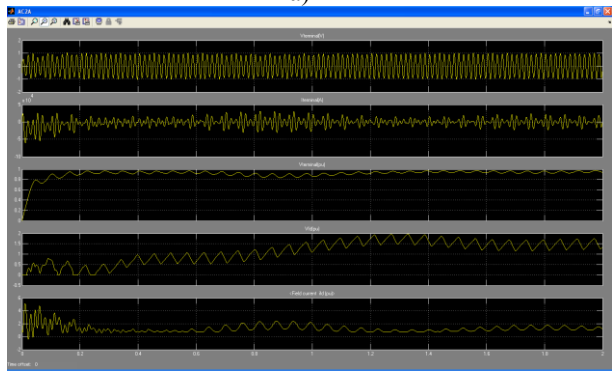
Şekil 4. Tip ST1A—Potansiyel-kaynaklı, kontrollü-kırpıcı içeren uyarım şeması

#### 4.SİMULASYON ÇALIŞMASI

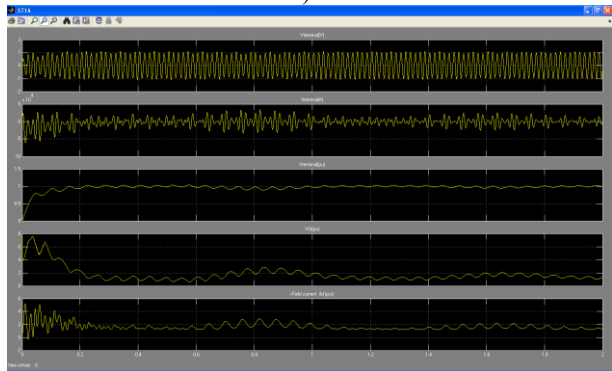
Simulasyon çalışmaları esnasında IEEE tarafından sınıflandırılan üç tip uyartım sistemleri içerisinde modellemeleri yapılan AC ve Statik uyartım sistemlerine ait sırasıyla AC2A ve ST1A tip uyartım sistemleri ile DC uyartım sistemleri içerisinde MATLAB/SIMPOWER paketinde bulunan DC1A tipi uyartım sistemi modeli incelenmiştir. Her üç modele ait parametrik değerler EK A' 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.



a)



b)



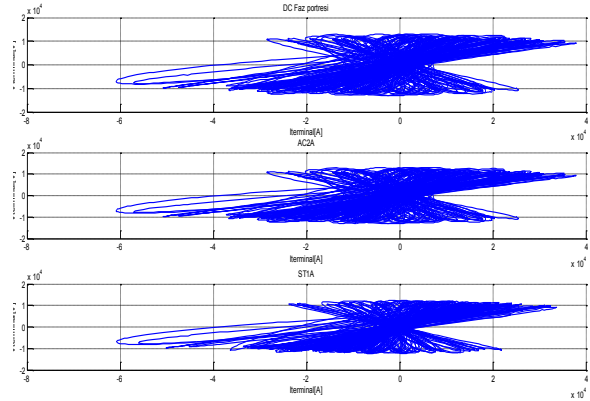
c)

Şekil 5. Uyartım sistemlerinin generatörün devreye alınmasından sonraki performansları a)DC tip uyartım b) AC tip uyartım c) Statik tip uyartım sistemleri  
Sinyaller:Generatör uç gerilimi [ $V_t(V)$ ], Generatör terminal akımı [ $I_t(A)$ ],Generatör uç gerilimi [ $V_t(p.u)$ ], Uyartım gerilimi [ $V_{fd}(p.u.)$ ],Uyartım akımı [ $I_{fd}(p.u.)$ ]

#### 1.Test :Senkron generatörün devreye alınması

Güç sistemine ait ilk simulasyon çalışmaları sonuçları Şekil 5. a, b ve c'de verilmiştir. Burada sırasıyla DC1A, AC2A ve ST1A tipi uyartım sistemlerinin generatörün devreye alınmasından sonra geçen süre içerisinde tepkileri gösterilmiştir. Yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 1. ve 3 sinyal işaretleri generatörün uç geriliminin ( $V_t$ ) gerçek ve p.u değerlerini göstermektedir. 2. sinyal terminal akımının ( $I_t$ ) gerçek değerini 4. ve 5. sinyaller sırasıyla p.u olarak uyartım gerilimi ( $V_{fd}$ ) ve akımını ( $I_{fd}$ ) göstermektedir. Simulasyonlar en iyi sonuçların Statik tip uyartım sisteminden elde edildiğini göstermiştir Generatörün kararlı hale gelene kadar geçen süre içerisinde Statik tip uyartım sistemleri daha kısa sürede salınımlarını tamamlamıştır.

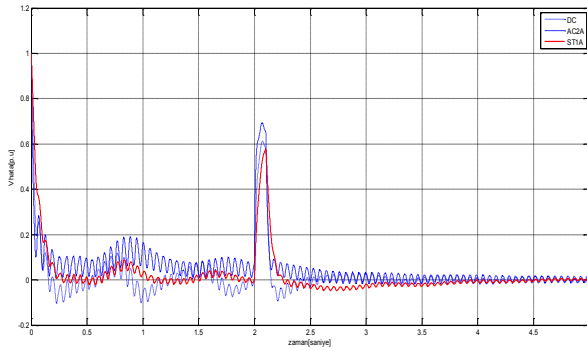
Bu durumu daha iyi anlamak için Şekil 6' daki faz portreleri incelenebilir. İki boyutlu uzayda generatörün uç gerilimi ile akımı arasında çizdirilen faz portrelerinde statik tip uyartım sistemlerinde kanatların diğerlerine oranla daha kısa olması kararlı hale gelme süresinin de daha kısa olduğunu açıklamaktadır. Diğer taraftan boğumlanan bölgenin daha dar olması akım ve gerilim salınımlarının statik tip uyartım sistemlerinde daha erken sürede bittğinin bir göstergesidir.



Şekil 6.  $V_t$ -  $I_t$  faz portreleri

#### 2.Test:Üç faz-Toprak kısa devre arızası

Generatörün çıkışında bulunan transformatörün sekonderindeki iletim hattına  $t=2$  ila 2.1 saniye arasında dengeli üç faz-toprak kısa devresi uygulanmıştır. Simulasyon 5 saniye süreyle gerçekleştirilmiştir. Her üç uyartım sisteminin bu bozucu etki sonrasında senkron generatörün uç gerilimini referans gerilim ( $V_{ref}$ ) 1 p.u değerine getirmesi arzu edilmiştir. Şekil 7 senkron generatörün uç gerilimi ile referans gerilim arasında oluşan hata değerini göstermektedir. Bozucu etki sonrası her üç uyartım sistemi hatayı azaltabilmiş ve uç gerilimini arzu edilen değere getirmişlerdir. Uyartım sistemlerini performansları karşılaştırıldığında statik tip uyartım sisteminin daha kısa sürede hatayı azalttığı dolayısıyla arzu edilen gerilim değerini daha kısa sürede yakalayabildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Senkron generatörün bozucu etki sonrası hata geriliminin zamanla değişimi

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada senkron generatörlerde uyarım kontrolünü sağlayan Doğru , Alternatif ve Statik tip uyarım sistemlerinin performansları incelenmiştir. Bu uyarım sistemleri içerisinde yer alan AC2A ve ST1A tipi uyarım sistemlerinin MATLAB/SIMULINK ortamında modellenmesi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan her iki model ile MATLAB/SIMPOWER paketinde oluşturulmuş olan DC uyarım sistemi modeli örnek bir güç sisteminde test edilmiştir. Bir bozucu etki olarak üç faz toprak hatası sisteme uygulanmıştır. Simülasyonlar sonucunda senkron generatörün bozucu etki sonrasında Statik tip uyarım sistemlerinde daha başarılı bir şekilde kararlı hale geldiği gözlemlenmiştir. Aynı test sisteminde elde edilen faz diyagramlarında statik tip uyarım sisteminin oluşturduğu salınımların diğer tip uyarım sistemlerine nazaran daha çabuk sönümlendiği görülmüştür. Statik tip uyarımla uyarılmış senkron generatörün hem geçici hal hem de sürekli hal kararlılığı açısından bakıldığında bozucu etki sonrasında en iyi cevabı verdiği gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Kundur, P., (1994), Power System Stability and Control, EPRI Power System Engineering Series, McGraw-Hill, Inc., New York.
- [2] IEEE Committee Report, (1968), "Computer Representation of Excitation Systems", IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, Vol.PAS-87, No.6, pp.1460-1464, June 1968
- [3] IEEE Committee Report, (1981), "Excitation System Models for Power System Stability Studies", IEEE Trans., Vol. PAS-100, pp.494-509, February.
- [4] 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
- [5] V.Ajjarapu, B.Lee, "Bifurcations theory and its application to nonlinear dynamical phenomena in an electrical power system", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.17, No.1, pp.424-431, 1992

- [6] Sunay Arda, "Senkron Generatörlerin Uyarım Sistemlerinin Yarı İletkenli Devrelerle Denetimi", Sakarya Üniversitesi, FBE, Kocaeli, 2006, Kocaeli
- [7] Padiyar K.R., (1999), Power System Dynamics Stability and Control John Wiley & Sons; Bk&Disk Ed., April 5-1999
- [8] Mangetta,R.D, "Static exciter system for large turbo-generators", South of scotland electricity Board, UK, 1986
- [9] Shubhanga K.N., "Transient stability-constrained generation reschedulink and compensation placement using energy margin and trajectory sensitivities", Ph.D.Thesis, Submitted to IIT Bombay, (2003).

## EK.A UYARTIM SİSTEMLERİ PARAMETRELERİ

Kullanılan ST1A Tipi Uyarım Parametreleri:  
 $K_a=190$ ,  $T_a=0.0sn$ ,  $T_c=1.0sn$ ,  $T_b=10.0sn$ ,  $K_f=0$ ,  
 $T_f=1.0sn$ ,  $K_{lr}=0.0$ ,  $I_r=0pu$ ,  $V_{Rmax}=7.8pu$ ,  $V_{Rmin}=-6.7pu$ ,  
 $E_{fd0}=0$

Kullanılan AC2A Tipi Uyarım Parametreleri:  
 $K_a=1000$ ,  $T_a=0.01sn$ ,  $T_c=1.0sn$ ,  $T_b=1.0sn$ ,  $K_f=0.052$ ,  
 $T_f=1.0sn$ ,  $V_{Rmax}=23.91pu$ ,  $V_{Rmin}=-23.91pu$

Dinamik Uyarım DC1A parametreleri:

Alçak Geçirgen Filtre:  $T_r=0.020sn$

Regulatör Kazanç ve Zaman Sabiti:  $K_a=300$ ,  
 $T_a=0.001sn$

Uyarım Kazancı ve Zaman Sabiti:  $K_e=1$ ,  $T_e=0sn$

Geçici Kazanç Azalma:  $T_b=0sn$ ,  $T_c=0sn$

Geri Besleme Kazanç ve Zaman Sabiti:  $K_f=0.001$ ,  
 $T_f=0.1sn$

Regulatör Çıkış Limitleri:  $E_{fmax}=11.5$ ,  $E_{fmin}=-11.5$

Başlangıç Değerleri:  $V_{to}=1pu$ ,  $V_{fo}=1.0pu$