

DALGACIK TABANLI SENKRON GENERATÖR KORUMA ALGORİTMASI

Okan ÖZGÖNENEL¹

Güven ÖNBİLGİN²

Erdinç ARISOY³

^{1,2,3}Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 55139, Samsun

¹e-posta:okanoz@omu.edu.tr ²e-posta:gonbilgi@omu.edu.tr

³e-posta:erdinca@omu.edu.tr

Anahtar Sözcükler: Generatör koruma, dalgacık yöntemi, dalgacık gücü

ABSTRACT

In this work, a different synchronous generator protection is presented. The proposed approach is mainly based on the wavelet coefficients of current and voltage samples acquired from the terminal nodes of the generator. The proposed technique is tested to show the ability to distinguish the faults in either laboratory environment and also by using ATP-EMTP software.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada farklı bir senkron koruma algoritmasından bahsedilecektir. Önerilen algoritma generatör terminal uçlarından alınan akım ve gerilim örneklerinin dalgacık yöntemi ile çözümlemesi temeline dayanmaktadır. Yöntemin denenmesi amacı ile laboratuvar ortamında iki farklı generatör ile ve ATP-EMTP ortamında ise 5MVA, 8192V'luk bir generatörün modellenmesi yardımıyla deneysel çalışmalar ve bilgisayar benzeşimleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

Generatörler güç sisteminin en temel ve vazgeçilmez bir elemanıdır. Çok sık arıza yapmamakla birlikte, meydana gelen arızalar çok ciddi hasarlara yol açabilir ve işletmede büyük zorluklar oluşturabilir. Büyük güçlü generatörlerin istenmeyen devre dışı kalmaları sonucunda güç sisteminin diğer enerji üreten kısımları aşırı yüklenmektedir. Dolayısı ile arıza en kısa sürede giderilmeli ve generatör devreye alınarak enerjinin sürekliliği sağlanmalıdır.

Üç fazlı güç sistemlerinde dengesizliğe neden olan bir çok etken vardır. Bunlar arasında generatör üzerinde meydana gelebilecek olan simetrik olan ve olmayan özellikle faz-toprak, faz-faz-toprak ve sarım kısa devresi gibi arızalar en büyük dengesizlik kaynağı olduğu söylenebilir. Genel olarak, üç fazlı dengesiz sistemler doğru, ters ve sıfır simetrik bileşenlerine ayrılarak incelenir. Herhangi bir nedenden ötürü dengesiz bir durum meydana geldiğinde ters bileşen akımları generatörün hava aralığında doğru bileşen ile aynı hızda fakat ters yönde dönen alan oluşturur. Bu durum sonucunda rotor sargı uçlarında şebeke

frekansının iki katı değerinde bir gerilim meydana gelir ve rotor sargısından 2. harmonik akımları akar. Bu akımlar rotorun aşırı ısınmasına neden olur ve önlem alınmadığı takdirde metal kısımların erimesine kadar varabilen sonuçlar oluşabilir.

Sayısal koruma teknolojisinin getirdiği üstünlükler sayesinde generatör koruma teknolojisi sayısal çok fonksiyonlu rölelere dönüşmüştür. Bu üstünlükler arasında gerilim, akım ve güç ölçmeleri, haberleşme teknikleri, daha az yer kaplama ve düşük kablo maliyetleri, akım ve gerilim trafolarına daha az yüklemesi ve kendi kendini denetleme ve ayar özellikleri örnek olarak verilebilir.

Genel olarak generatör koruma işlevleri şöyle özetlenebilir:

Generatör diferansiyel koruma (87G)

Stator toprak koruma (59GN)

Yüzde stator koruma

- Sıfır noktası 3. harmonik (27TN)
3. harmonik gerilim oranı (59D)
- Alt harmonikler

Akım dengesizliği / ters sıra bileşen (46)

Uyartım kaybı (40)

Aşırı uyartım (24)

Düşük gerilim (27)

Yüksek gerilim (59)

Düşük frekans (81U)

Yüksek frekans (81O)

Gerilim kaybı (60)

Yukarıdaki koruma işlevlerine ek olarak kazara enerjilenme, kesicinin konum tespiti, generatör ilk çalışma ve devre dışı kalma gibi koruma işlevleri de eklenebilir [1].

Son yıllarda generatör koruma amacıyla bir çok çalışma yapılmıştır. Hatem A. Darwish ve arkadaşları generatör sargı arızalarını algılamak amacıyla yeni bir yapay sinir ağı (YSA) yöntemini kullandı [2]. Önerilen bu teknikle iç arızaların sınıflandırılması amaçlanmıştır ve yöntem diferansiyel röleler ile karşılaştırıldığında oldukça hassas ve duyarlıdır.

Benzer bir algoritma ile A.I. Taalab ve arkadaşları da YSA tabanlı iç arıza algılamaya yönelik bir yöntemi ortaya atmışlardır [3]. Çok yüksek duyarlılık ile sarım toprak arızaları ayırt edilebilmektedir. Arıza türleri 6 boyutlu giriş vektörüne sahip üç adet eğitilmiş bir ağ tarafından ayırt edilmeye çalışılmıştır. Bu giriş vektörü generatör sargılarına giren ve çıkan akımların ortalamalarından ve farkından elde edilmektedir.

A.I. Megahed ve O.P. Malik tarafından generatör sargılarının korunması amacıyla ileri beslemeli bir YSA kullanılarak [4]. Bu tasarımda hat akımları örneklerine ek olarak sıfır noktası akımları da kullanılmıştır. Ağ çıkışında generatör için normal çalışma, iç arıza ve dış arıza kararları verilmektedir.

Benzer şekilde [5] nolu kaynakçada da aynı yöntemden bahsedilmektedir.

Shyh Jier Huang ve arkadaşları tarafından yüksek empedanslı arızaların tespitinde Morlet ana dalgacık ile sürekli dalgacık tekniği kullanılmıştır [6]. Önerilen yöntem ile normal anahtarlama anlarından kaynaklanan yüksek empedans arızalarını ayırt etmek amaçlanmıştır. Faz toprak arızaları üzerinde çalışılmış olup, bir çok toprak tipi ile yöntemin başarımı denenmiştir.

Simetrik olmayan arızalara karşı güce dayalı bir algoritma Ömer Usta ve arkadaşları tarafından ortaya atılmıştır [7]. Bu algoritma sıfır bileşen gücünün hızlı Fourier yardımı ile çözümlenmesi ve 3. harmonik değerinin belirli bir eşik değerini aşması temeline dayanmaktadır. Bu sayede simetrik olmayan arızalar başarılı bir şekilde algılanmaktadır.

2. AYRIK DALGACIK YÖNTEMİ

Geçen son 10 yıllık süreye göz atıldığında enerji sistemleri uygulamalarının çoğunda dalgacık yöntemine rastlamak mümkündür. Dalgacıkların temeli Joseph Fourier'e ve O'nun Fourier dönüşümüne kadar inmektedir. Genel özellikleri zamanda sınırlı olmaları, ortalama değerlerinin sıfır olmalarıdır. Ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$ADD_{(m,n)} = 2^{-m/2} \int f(t) \varphi(2^{-m}t - n) dt \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte m parametresi frekansı belirler ve n parametresi ise konumu (zamanı) belirler.

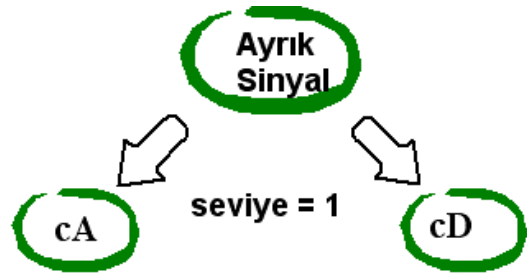
Ayrık dalgacık dönüşümünde ayrık değerler kaydırılır veya genlikleri değiştirilir. Genlik değişiminde 2 faktörü kullanılır ve matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\varphi(2^k t + 1) \quad (2)$$

Denklem (2)' te 1 faktörü kaydırma özelliğini, k faktörü ise genlik ölçekleme faktörünü

simgelemektedir. ADD yönteminde sinyal işlemede kullanılan 2 kanallı bant geçiren bir donanım süzgeci kullanılmaktadır. Ayrık sinyal alçak ve yüksek frekans bileşenlerine belirli bir kural yardımıyla ayrılmaktadır.

Yüksek dereceden ölçeklendirme alçak frekans bileşenlerine ve alçak dereceden ölçeklendirme yüksek frekans bileşenlerine denk düşer. Ayrık dalgacık çözümlenmesi gerçekleştirilen sinyal alçak (A) ve yüksek geçiren (D) süzgeç katsayılarının toplamı ile çok düşük bir hata ile yeniden elde edilebilmektedir (ters dalgacık dönüşümü). Yukarıda bahsedilen algoritma ardışıl olarak işletildiğinde aşağıdaki çizelge elde edilmektedir.



Şekil 1. Birinci seviyeden ayrık dalgacık dönüşümü

Şekil 1'de gösterilen temel çözümlenme tekniği cA katsayılarının alçak ve yüksek frekans bileşenlerine ayrılmasıyla 2. seviye alçak ve yüksek frekans bileşenler elde edilmektedir.

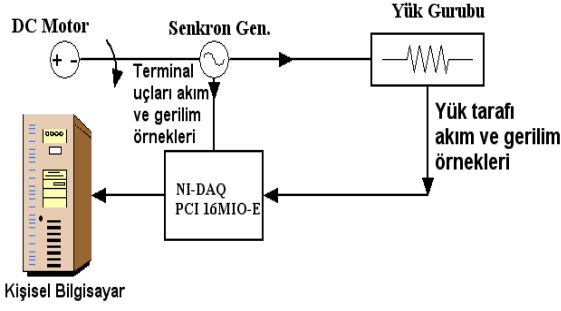
Kuramsal olarak bu çözümlenme tekniği tek bir örnek kalana kadar devam etmektedir. Bu çözümlenme tekniğinde her bir seviyenin frekans seviyesi farklı olduğundan ADD uygulanan bir işaretin her bir seviyede farklı özelliklerini elde etmek mümkündür. Bu özelliğinden ötürü ADD'nin çok farklı alanlarda başarı ile kullanıldığı görülmektedir [8].

Bu çalışmada da Şekil 1'de gösterilen birinci seviyeden ayrışım hem akım hem de gerilim örnekleri üzerine uygulanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve ÖNERİLEN TEKNİK

Bu çalışmada ortaya atılan yöntemde temel olarak [7] nolu kaynakçadan esinlenilmiş olup, yöntemin adım adım çalışması şu şekilde açıklanabilir.

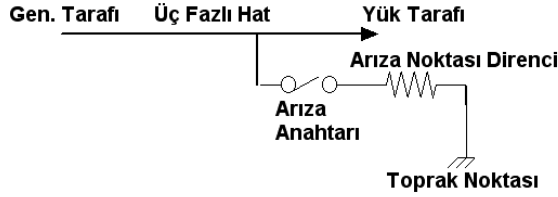
İlk olarak generatör koruma bölgesindeki arızalar iç arıza olarak, yük tarafında oluşturulan arızalar ise dış arıza olarak nitelendirilmiştir. Deney bağlantı çizelgesi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deney düzeneği

Önerilen yöntemin denenmesi amacıyla laboratuvar ortamında üç fazlı iki farklı senkron jeneratör üzerinde iç ve dış arızalar oluşturulmuştur. Arıza noktasındaki akım ve gerilim örnekleri ile jeneratör terminal uçlarındaki akım ve gerilim örnekleri NI-DAQ PCI 16MIO-E serisi veri toplama kartı sayesinde elde edildi. Tüm gerçek zamanlı deneylerde örnekleme frekansı 1000Hz olarak seçildi ve periyot başına 20 örnek alınmıştır.

Arızalar her hangi bir zamanda keyfi olarak anahtar yardımı ile direnç üzerinden faz - toprak yada faz - faz arızaları olarak oluşturuldu. Faz - toprak arızalarına ilişkin tek hat çizelgesi Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Deney düzeneği üzerinde arızaların oluşturulması

Arıza süreleri tamamen arıza anahtarının açık - kapalı kalma süresi ile orantılıdır ve elle yapılan denemelerde 0.5ms ve 1sn arasında tutulmasına gayret edilmiştir. Elde edilen her faza ait akım ve gerilim örneklerinin ayrık dalgacık yöntemi ile birinci seviyeden çözümlenmeleri gerçekleştirildi. Ana dalgacık ailesi olarak Daubechies 4 (db4) seçilmiştir. Birinci dereceden çözümlenme yapılmasının amacı akım ve gerilim örneklerinin içerdiği yüksek frekans bileşenlerinin ve süresizlik noktalarının bu seviye belirgin bir şekilde ortaya çıkmasından ötürüdür. Farklı uygulamalarda ve amaçlarda örnek sayısına bağlı olarak dalgacık seviyesi ($\log_2(\text{örnek_sayısı})$) değişebilir.

Akım örneklerinin yüksek frekans bileşen katsayıları (cDA) ile gerilim örneklerinin yüksek frekans bileşen katsayıları (cDG) çarpılarak her faza ait dalgacık güçleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu dalgacık gücüne ayrık düzgün dağılım uygulanmış ve her fazın güç dağılım fonksiyonu elde edilmiştir. Elde edilen bu yeni ayrık düzgün dağılım fonksiyonunun ortalama değeri normal çalışma anında, iç arıza durumunda ve dış arıza durumunda farklı değerler aldığı

gözlenmiştir. Gerçekleştirilen çözümlenmelerde bir pencere boyutunda çalışılmış olup (periyot başına 20 akım ve gerilim örnekleri) her seferinde yukarıdaki üç duruma bakılmıştır.

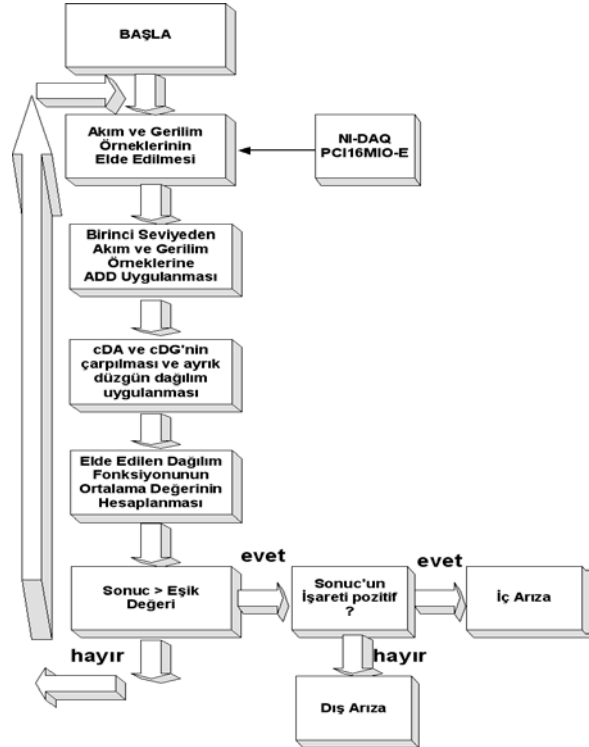
Bu amaçla cDA ve cDG katsayıların ayrık ortamda çarpılması aşağıdaki program parçasığı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Tüm yazılımlar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir.

Önerilen algoritmanın genel akış çizelgesi Şekil 4'de görülmektedir.

```

clear all %Tüm çalışma ortamı verilerinin silinmesi
clc % Çalışma ekranının temizlenmesi
load veri.mat % Veri dosyasının belleğe yüklenmesi
a1=veri(:,1); % Veri dosyasından her faza ait akım
a2=veri(:,2); % ve gerilim örneklerinin okunması
a3=veri(:,3);
g4=veri(:,4);
g5=veri(:,5);
g6=veri(:,6);
ls1=size(a1); % a1 sinyalinin uzunluğu
[ca1,cda1]=dwt(a1,'db4'); % a1 sinyalinin db4 ile
a1=upcoef('a',ca1,'db4',1,ls1); % ADD'nün gerçek-
d1=upcoef('d',cda1,'db4',1,ls1); % lenmesi
[ca1,cdg1]=dwt(g4,'db4'); % g4 sinyalinin db4 ile
a1=upcoef('a',ca1,'db4',1,ls1); % ADD'nün gerçek-
d1=upcoef('d',cdg1,'db4',1,ls1); % lenmesi
for i=1:ls1
    gucRd(i)=d1(i)*dd1(i); % R fazına ilişkin
end % dalgacık gücünün elde edilmesi
yorum1=mle('unid',gucRd); % Elde edilen dalgacık
% gücünün ortalama değerinin hesaplanması

```



Şekil 4. Önerilen algoritmanın akış çizelgesi

4. SONUÇLAR

Önerilen tekniğin başarımı hem laboratuvar ortamında hem de ATP-EMTP ortamında farklı generatörler kullanılarak denenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki Tablolarda görülmektedir.

Tablo 1 ve Tablo 2’de laboratuvar ortamında sırasıyla 1 ve 2 numaralı generatörlerde (0.8 KVA ve 1.1 KVA’lık senkron generatörler) 300Ω ve 215Ω’luk yıldız bağlı yükü arızasız olarak beslemesi durumuna ilişkin dalgacık gücü (DG) yorumları bulunmaktadır.

Tablo 1. İlk generatöre ait DG yorumları

Dalgacık Gücü Yorumları	
R fazı anlık gücü	0.0403
S fazı anlık gücü	0.0300
T fazı anlık gücü	0.0410

Tablo 2. İkinci generatöre ait DG yorumları

Dalgacık Gücü Yorumları	
R fazı anlık gücü	0.0221
S fazı anlık gücü	0.0207
T fazı anlık gücü	0.0271

Tablo 3. ATP-EMTP ortamında 8192V, 4,5 MVA gücündeki generatörün yükte ve arızasız olarak çalışması durumuna ilişkin DG yorumları

Dalgacık Gücü Yorumları	
R fazı anlık gücü	27.2397
S fazı anlık gücü	26.7266
T fazı anlık gücü	27.2722

Tablo 4. Birinci generatörün yükte, R fazında faz-toprak arızası oluşması durumuna ilişkin DG yorumları

Dalgacık Gücü Yorumları	
R fazı anlık gücü	0.1031 (Arızali faz)
S fazı anlık gücü	0.0135
T fazı anlık gücü	0.0434

Tablo 5. İkinci generatörün yükte, R fazında faz-toprak arızası oluşması durumuna ilişkin DG yorumları

Dalgacık Gücü Yorumları	
R fazı anlık gücü	0.2074 (Arızali faz)
S fazı anlık gücü	0.0416
T fazı anlık gücü	0.0443

Tablo 6. ATP-EMTP ortamında benzetimi yapılan generatörün yükte, R fazında faz-toprak arızası oluşması DG yorumları

Dalgacık Gücü Yorumları	
R fazı anlık gücü	-415.0743 (Arızali faz)
S fazı anlık gücü	87.8999
T fazı anlık gücü	63.3991

Tablo 7. Birinci generatörün yükte, S fazında faz-toprak arızası oluşması durumuna ilişkin DG yorumları

Dalgacık Gücü Yorumları	
R fazı anlık gücü	0.0372
S fazı anlık gücü	0.2056 (Arızali faz)
T fazı anlık gücü	0.0342

Tablo 8. ATP-EMTP ortamında benzetimi yapılan generatörün yükte, S fazında faz-toprak arızası oluşması DG yorumları

Dalgacık Gücü Yorumları	
R fazı anlık gücü	66.2181
S fazı anlık gücü	-529.2742 (Arızali faz)
T fazı anlık gücü	49.1935

Tablo 1 ve Tablo 2’de laboratuvar ortamında gerçekleştirilen iki farklı generatöre ait DG yorumları görülmektedir. Tablo 3’de ise ATP-EMTP ortamında 5MVA, 8192V’luk bir generatörün bilgisayar benzetimi sonucunda elde edilen DG yorumları görülmektedir. Her bir generatöre ait elde edilen bu normal çalışma değerleri eşik değeri olarak atanmıştır. Bu değerlerin üzerinde kalan değerler ise pozitif veya negatif olması koşulu ile iç arıza ya da dış arıza olarak adlandırılmıştır. Tablo 4’den Tablo 8’e kadar olan yorumlarda arızalı faz belirgin bir şekilde diğerlerinden büyük çıkmaktadır. ATP-EMTP ortamında gerçekleştirilen benzetimde eksi değer çıkması oluşturulan arızanın dış arıza olduğunu simgelemektedir. Diğerleri generatörün uç noktalarında oluşturulan iç arızalardır ve artı işaretlidirler.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada laboratuvar ortamında kullanılan malzemeler Ondokuz Mayıs Üniversitesi’nin MF-047 nolu projesi kapsamında alınmıştır. Bu olanaklardan ötürü yazarlar teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

- [1] Working Group J11, “Application of Multifunction Generator Protection Systems”, IEEE Trans. On PD, Vol. 14, No. 4, October 1999.
- [2] Hatem A. Darwish *et al*, “Development and implementation of an ANN-based fault diagnosis scheme for generator winding protection”, IEEE Trans. On PD, Vol. 12, No. 2, April 2001.
- [3] Hatem A. Darwish *et al*, “ANN-based novel fault detector for generator windings protection”, IEEE Trans. On PD, Vol. 14, No. 3, July 1999.
- [4] A.I. Megahed, O.P. Malik, “An artificial neural network based digital differential protection scheme for synchronous generator stator winding protection”, IEEE Trans. On PD, Vol. 14, No. 1, Jan. 1999.
- [5] A.I. Megahed, O.P. Malik, “Experimental testing of a neural network based digital differential relay for synchronous generators”, IEEE Trans. On PD, Vol. 15, No. 1, Jan. 2000.

- [6] Shyh-jier H., Cheng-Tao H., "High-impedance fault detection utilizing a Morlet wavelet transform approach" IEEE Trans. On PD, Vol. 14, No. 4, Oct. 1999.
- [7] Usta Omer, Bayrak M., Redfern M.A., "A New Digital Relay For Generator Protection Against Asymmetrical Faults", IEEE Trans. On PD, Vol. 17, No. 1, Jan. 2002.
- [8] Jaideva C. G., Andrew K. C. "Fundamentals of Wavelets – Theory, Algorithms, and Applications", John Wiley & Sons, INC, 1999.