

GENERATÖRLERDE OLUŞAN UYARMA KAYBINI ALGILAMAK İÇİN YENİ BİR DİJİTAL RÖLE TASARIMI

Ömer Usta, İTÜ
usta@ieee.org

Mahmud H Musa
El Fateh Üniversitesi, Libya

Hakan Özcan, İTÜ
hakcan@elk.itu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, generatörleri uyarma kaybı arızalarına karşı koruma için geliştirilen yeni bir dijital Uyarma Kaybı Algılama Rölesinin tasarımı alınmıştır. Yeni röleye ilişkin koruma algoritması; generatör terminalinde ölçülen üç-fazlı reaktif gücün genliğini ve yönünü izlemektedir. Rölenin açma ve alarm değerleri ile açma zamanı gibi set değerleri korunacak generatörün P-Q çalışma eğrisinden yararlanarak elde edilmiştir. Seçilen model bir güç sisteminde EMTP simülasyon programı yardımı ile çeşitli uyarma kaybı arızaları oluşturulmuştur. Uyarma kaybı durumlarını simgeleyen ve model güç sisteminden alınan veriler yardımıyla rölenin test ve performans analizi yapılmıştır. Bu analizler sonunda; rölenin uyarma kaybı durumlarını etkin ve güvenilir bir biçimde algıladığı görülmüştür. Ayrıca tasarlandığı gibi, rölenin uyarma kaybı arızaları dışındaki arızaları algılamadığı görülmüştür.

1. GİRİŞ

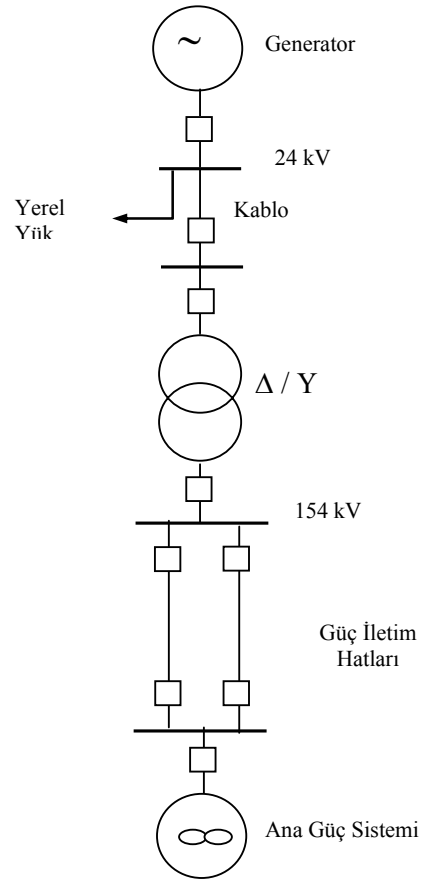
Elektrik güç sistemi ile paralel çalışan bir generatörde uyarma kaybı oluşmasından sonra, makinanın hızı yükselmeye ve asenkron generator olarak çalışmaya başlar. Bu durumda generator ihtiyacı olan reaktif gücü şebekeden çekmeye başlar. Uyarma kaybı generatöre ve generatörün bağlı bulunduğu şebekeye çok zararlı olabilir. Çünkü uyarma kaybı sonucunda aşağıdaki durumlar ortaya çıkabilir[1-11].

- generatörün uyarma sargılarının aşırı yüklenmesi ve ısınması,
- rotor yüzeyinde ve sargılarında eddy akımlarının oluşması ve bu yüzden rotor gövdesinin aşırı ısınması,
- generatörün bağlı olduğu hatlarda gerilim düşmesi ve buna bağlı olarak hatların devreden çıkması ve sistem kararlılığının bozulması.

Bunlardan dolayı uyarma kaybı oluşur oluşmaz algılanmalı ve eğer durum düzeltilemiyor ise, generatör tümüyle devreden çıkarılmalıdır.

Uyarma kaybının oluşmasının ana göstergesi generatörün şebekeden aşırı reaktif güç çekmeye başlamasıdır. Bu durum genelde bir empedans rölesi ile algılanmaktadır[1-3]. Geleneksel olarak

uyarma kaybının algılanması içiçe iki dairesel karakteristiği olan bir empedans rölesi yardımı ile yapılmaktadır



Şekil-1 Uyarma kaybı çalışmalarında kullanılan güç sistemi modeli

Uyarma kaybının oluşmasından sonra, generator terminalinde ölçülen empedansın değeri dairelerden birinin içine düşer[1-8]. Eğer ölçülen empedansın değeri dış dairenin içine düşmüşse, röle belli bir zaman geçikmesinden sonra açar, eğer iç dairenin içine düşmüşse röle daha hızlı açma işareti verir.

Empedans rölesi bu alanda uzun yıllardan beri başarı ile kullanılmasına rağmen, güç sistemlerinde oluşan bazı salınımları uyarma kaybı diye algılayabilmektedir ve açma işareti üretmektedir[6-9]. Bu yüzden uyarma

kaybını algılayacak daha güvenilir bir koruma sistemine ihtiya olduğu belirtilmektedir[12].

Diğer yandan mikroişlemcilerin ve dijital tekniklerin koruma alanlarına uygulanmasından sonra, güce dayalı yeni koruma teknikleri geliştirilmiştir[13-15]. Bu çalışmada söz konusu düşüncelerden hareketle tasarlanan yeni bir uyarma kaybı algılama rölesi geliştirilmiştir. Yeni koruma algoritması generatör terminalinde ölçülen reaktif gücün genliğini ve yönünü izleyerek uyarma kaybını algılamaktadır.

2. GENERATÖRÜN ÇIKIŞ GÜCÜ

Bir generatörün reaktif güç çıkışı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir[10]:

$$Q_T = 3 \left[\frac{E_q V_t \cos \delta}{x_d} - \frac{V_t^2}{x_d} \right] = Q_F + Q_N \quad (1)$$

Burada E_q ile V_t sırası ile generatör iç ve terminal gerilimini ve δ bunlar arasındaki açıyı göstermektedir.

Yukarıdaki eşitlik generatör terminalinde ölçülen reaktif gücün iki bileşenden oluştuğunu göstermektedir. Q_F uyarma devresinin ürettiği reaktif gücü, Q_N şebekeden çekilen reaktif gücü işaret etmektedir. Eğer söz konusu eşitlik yeniden düzenlenirse:

$$Q_T = \frac{3V_t}{x_d} (E_q \cos \delta - V_t) \quad (2)$$

olur ve reaktif güç açısından üç durumun söz konusu olduğu görülür. Bunlar:

i. Eğer $(E_q \cos \delta - V_t) > 0$ ise, reaktif güç generatörden şebekeye doğru akmaktadır. Bu durum generatörün aşırı uyarıldığını gösterir. Bu modda çalışmayı uyarma akımının değeri sınırlamaktadır

ii. Eğer $(E_q \cos \delta - V_t) = 0$ ise, generatör terminalinde ölçülen reaktif güç sıfır olur. Generatör en uygun modda çalışmaktadır ve sadece aktif güç üretmektedir (güç faktörü 1 dir). Stator akımının genliği bu modda çalışmanın sınırlarını belirlemektedir..

iii. Eğer $(E_q \cos \delta - V_t) < 0$ ise, reaktif güç şebekeden generatörün içine doğru akmaktadır. Generatör düşük seviyede uyarılmaktadır. Bu modda çalışmanın sınırlarını stator ve uyarma sargılarının ısısı belirler. Bu durumda çalışma ayrıca yük açısının artmasına ve generatörün kararlılık sınırına ulaşmasına da neden olur.

Düşük uyarma seviyesinde çalışmanın sınırları makinanın çalışma eğrisi üzerinde de incelenebilir. Senkron makinanın sürekli halde kararlılık

sınırlarını gösteren eğri (pullout eğrisi) aşağıdaki gibi ifade edilmektedir[10-11]:

$$P_T^2 + \left[Q_T - \frac{V_t^2}{2} \left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x_d} \right) \right]^2 = \left[\frac{V_t^2}{2} \left(\frac{1}{x_s} + \frac{1}{x_d} \right) \right]^2 \quad (3)$$

Bu eşitlikte P_T ile Q_T generatörün aktif ve reaktif gücünü, ve x_s ise şebekeye bağlandığı empedansı göstermektedir.

Bilindiği üzere bu eşitlik P-Q düzlemi üzerinde çizilmiş bir daireyi göstermektedir ve bu daire Q reaktif güç eksenini iki defa kesmektedir. Bu iki nokta makinanın verebileceği ve alabileceği maksimum reaktif güç sınırlarını vermektedir. Yukarıki eşitlikten ve eşitlik (1) den yararlanarak Şebekeden çekilecek maksimum reaktif güç:

$$Q_{\max} = -\frac{3V_t^2}{x_d} \quad (4)$$

olur. Makina bu noktaya ulaştığında çoktan uyarmasını kayıp etmiş olacağından, gerçek hayatta bu olay önlenmelidir. Makina bu duruma ulaşmadan devreden çıkarılmalıdır. Generatörün zarar görmeden şebekeden çekebileceği reaktif güç Q_m ise, 0.95 güç faktörüne karşılık gelmektedir[10,11].

3. UYARMA KAYBI ALGILAMA RÖLESİ

Yeni geliştirilen uyarma kaybı algılama röle algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

Adım 1: Generatörün Reaktif Güç Çıkışının Ölçülmesi

Üç-faza ilişkin akım ve gerilimlerin örneklenmiş değerleri kullanılarak, generatörün ani reaktif gücü [14]:

$$Q(n) = \frac{1}{\sqrt{3}} [v_a(n)(i_b(n) - i_c(n)) + v_b(n)(i_c(n) - i_a(n)) + v_c(n)(i_a(n) - i_b(n))] \quad (5)$$

yardımıyla ölçülebilir. Ölçülen bu ani reaktif gücün belirli bir zaman periyodu üzerinden yürüyen ortalaması alınarak reaktif güç hesaplanmaktadır.

$$Q_{ta} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Q(n) \quad (6)$$

Burada N örnek sayısını n ise örnekleme anını göstermektedir.

Adım 2: Röle Açma Değerinin Belirlenmesi

$Q_{ta} > 0$ ve $Q_{ta} = 0$ olması durumlarında, generatör şebekeden reaktif güç çekmediği ve sistem normal koşullar altında çalıştığı için röle kararlı çalışmasına devam eder ve açma işareti üretmez.

Q_{ta} negatife geçerse, bu generatörün şebekeden reaktif güç çekmeye başladığını gösterir. Bu durumda röle Q_{ta} nın genliğine göre karar verir.

i. Eğer şebekeden çekilen reaktif güç Q_m den küçükse algoritma sadece alarm işareti verir. Bu Q_m değeri 0.95 güç faktörüne karşılık düşer ve

$$Q_m = (\sqrt{1 - (0.95)^2}) \text{ MVA} \quad (7)$$

ifadesi ile hesaplanır.

ii. Eğer çekilen reaktif gücün değeri belli bir seviyenin üstünde ise, röle ani açma işareti üretir. Bu değer (röle açma veya çekme değeri) generatörün sürekli hal kararlılık eğrisinden yararlanarak aşağıdaki eşitlikle edlir [16].

$$Q_r = (0.6 - 0.75) Q_{\max} \quad (8)$$

iii. Eğer reaktif güç Q_r ile Q_m arasında bir değerde ise, çekilen reaktif güç değeri ile ters orantılı bir zaman geçikmesinden sonra röle açma işareti üretir.

Diğer yandan, kararlı salınımlarda yük açısı (δ) 90 dereceyi geçer ve geri döner. Reaktif güç bu salınımlar esnasında negatif ve pozitif bölgelerde salınım yapabilir. Yürüyen ortalama alınması ve zaman geçikmesi rölenin açma işareti üretmesini önler ve kararlı salınımlarda kararlı kalmasını sağlar.

Ayrıca algoritmanın tam uyarma kaybına cevap verecek şekilde tasarlanmasına rağmen kısmi uyarma kayıplarına karşı (uyarma devresindeki kısa devrelere karşı) vereceği cevap o anda şebekeden çekilecek reaktif gücün genliğine (aynı zamanda kısa devre olan uyarma sarkısının miktarına) bağlı olacaktır. Eğer çekilen güç röle açma değerinden büyüğe röle açma işareti üretecektir. Eğer durum kontrol sistemleri (AVR) vasıtası ile düzeltilebiliyor ise röle açma işareti vermeyecektir.

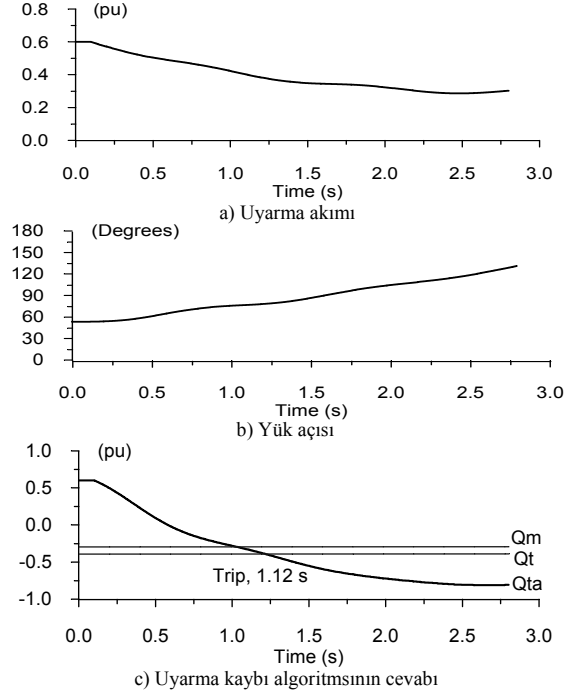
4. SİMİLASYON ÇALIŞMALARI

Bu bölümde; tasarlanan rölenin uyarma kaybı koşulları altındaki davranışını incelemek için bilgisayar simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bilgisayarda simülasyonu yapılan güç sistemi Şekil-1 de görülmektedir. 991 MVA gücündeki generatör 24 kV çıkış gerilimine sahip olup, bir trafo üzerinden ana güç sistemine bağlanmıştır. Generatör şebekeye paralel çalışırken generatörde çeşitli uyarma kaybı koşulları oluşturulmuştur.

Bu çalışmalarda, test periyodu 3sn olarak seçilmiştir. EMTP simülasyon programı kullanılarak model güç sistemindeki generatörde uyarma kaybı meydana getirilmiştir. Generatör terminalinden alınan üç-faza ilişkin akım ve gerilim işaretleri röle modeline uygulanarak rölenin davranışları incelenmiştir.

Şekil-2 de tam yükte 0.8 güç faktörü ile çalışan generatörün uyarma gerilimi sıfıra düşürülerek oluşturulan uyarma kaybı arızasına sistemin ve rölenin verdiği cevaplar görülmektedir.

Generatörün uyarma akımı ve yük açısı Şekil-2a ve 2b de görülmektedir. Generatörün reaktif gücü üzerine inşaa edilen yeni koruma algoritmasının cevabı ise Şekil-2c de gösterilmektedir. Yeni röle uyarma kaybı arızasını algılayıp, 1.12 saniye sonra açma işareti vermiştir.



Şekil-2 Tam yükte (güç faktörü 0.8) uyarmanın kaybı

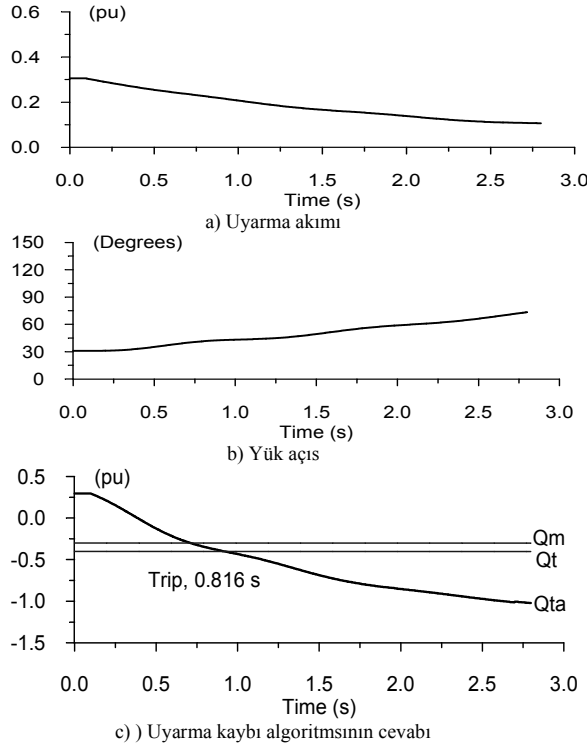
Başka bir uyarma kaybı arızası durumu ise Şekil-3 de görülmektedir. Burada generatör yarı yükte ve 0.8 güç çarpanı ile çalışırken uyarma kaybı arızası meydana getirilmiştir. Koruma algoritma 0.816 saniye içinde arızayı algılayarak açma işareti üretmiştir.

Koruma algoritmasının uyarma kaybı arızası dışında şebekede oluşan herhangi bir arıza veya anormal duruma verdiği cevap Şekil-4 de görülmektedir. Şekil-1 deki güç sistemindeki paralel hatlardan birini ortasında üç-fazlı bir arıza oluşturuldu ve arıza yaklaşık 0.5 saniye sonra temizlendi. Yüksek gerilim barasına yakın olan güç kesicisi 1.5 sn sonra yeniden kapandı. Uyarma devresinin akımı, generatörün yük açısı ve ani reaktif gücü Şekil-4a, 4b ve 4c de sırası ile görülmektedir. Reaktif güç salınımlar sırasında negatif bölgeye geçmesine rağmen, beklenildiği gibi koruma algoritması kararlı kalarak açma işareti üretmemiştir. Bu durum Şekil-4d de görülmektedir. Algoritma tasarımında yer verilen yürüyen ortalama ve açma geçikmesi, beklenildiği gibi rölenin kararlı kalmasını sağlamıştır.

5. SONUÇLAR

Bilgisayar simülasyonu sonuçları yeni geliştirilen koruma rölesi algoritmasının tasarlandığı gibi

çalıştığını göstermiştir. Röle uyarma arızalarını etkin ve güvenilir bir biçimde algılamakta ve uyarma arızaları dışındaki arızalarda ve geçici güç salınımlarında kararlı kalmaktadır. Tasarlanan algoritma uyarma kaybı arızalarını 1.12 saniye içinde algılamaktadır. Bu algoritma için gerekli olan üç akım ve üç gerilim işareti diğer koruma fonksiyonları içinde gerekli olduğu için, röle donanımına dokunmadan sadece röle yazılımı değiştirilerek algoritma çok-fonksiyonlu bir mikroişlemcili koruma rölesine kolayca aktarılabilir durumdadır.



Şekil-3 50% yükte (0.8 güç faktöründe) uyarmanın kaybı

6.REFERANSLAR

- [1] "IEEE Guide for AC Generator Protection," Trans. Power Delivery, vol. pp.957-964, April 1989.
- [2] John Berdy, "Loss of excitation protection for modern synchronous generators", IEEE Trans. On PA&S, Vol.PAS-94, No.5, Sept./Oct. 1975.
- [3] C.R.Mason, "A new loss of excitation relay for synchronous generators", AIEE Trans., Vol.68, 1949.
- [4] D.C.Lee, P.Kundur, and R.D.Brown, "A high speed discriminating generator loss of excitation protection", IEEE Trans. on PA&S, Vol.98, 1979.
- [5] R.L.Tremaine, and J.L.Blackburn, "Loss of field protection for synchronous machines", AIEE Trans. on PA&S, Vol. PAS-73, Part III, August 1954.
- [6] Charles R.Arnolt and McClennon Rogers, "A study of loss of excitation relaying and stability of a 595 MVA generator on the Detroit Edison System", IEEE Trans. on PA&S, Vol.PAS-94, No.5, Sept./Oct. 1975.
- [7] IEEE Working Group Report, "Loss of field Relay Operation During System Disturbances", IEEE Trans. On PAS-94, no.5 .pp.1464-1472 Sep/Oct/1975.

[8] B.O. Powell, J.W.Skooglund, and C.L.Wanger, "Performance of excitation systems under abnormal conditions", IEEE Trans. on PA&S, Vol. PAS-87, No.2, February 1968.

[9] H.G.Darron, J.L.Koepfinger, J.R.Mather, and P.A.Rusch, "The influence of generator loss of excitation on bulk power system stability", IEEE Trans. on PA&S, Vol.PAS-96, No.5, Sept./Oct. 1975.

[10] P.Kundur, "Power System Stability and Control, Vol.I", McGraw Hill Inc., 1993.

[11] A. E. Fitzgerald et al, "Electric Machinery", McRaw-Hill Inc. 1992

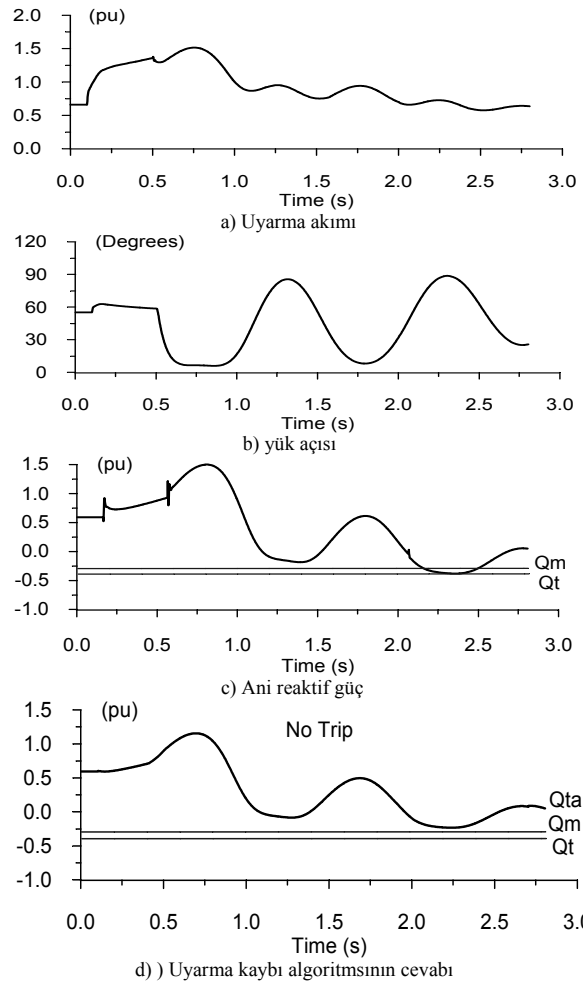
[12] IEEE Committee Report, "Survey of Experience with Generator Protection and Prospects for Improvements Using Digital Computer", IEEE Trans.on PWRD, Vol. 3, No. 4, Oct. 1988.

[13] M.A.Redfern, and O.Usta, G.Fielding, and E.O.Walker, "Power based algorithm to provide loss of grid protection for embedded generation", IEE Proceedings on Generation Transmission and Distribution, Vol.141, No.6, London, November 1994

[14] M.A.Redfern, and M.J. Checksfield, "A new pole slipping protection algorithm for dispersed storage and generators using equal area criterion", IEEE Trans. on PD, Vol.10, No.1, January 1995.

[15] O.Usta, and M.Bayrak," A new digital relay for generator protection against asymmetrical faults", IEEE Trans. on PD., Vol.17, No.1, January 2002.

[16] M.H.Musa, "Design of new reactive power based digital relaying algorithm for protection of generator against loss of field current", Ph.D. thesis, Istanbul Teknik Üniversitesi, Şubat, 2002.



Şekil-4 Arıza sonrası yeniden kapama