

GENERATÖRLER İÇİN YENİ BİR DİJİTAL KORUMA ALGORİTMASI TASARIMI

Mehmet BAYRAK

Sakarya Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Esentepe Kampüsü SAKARYA
bayrak@sakarya.edu.tr

Ömer USTA

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Maslak/İSTANBUL
usta@elk.itu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, generatörleri dengesiz arızalara ve çalışma durumlarına karşı korumak için yeni bir dijital koruma algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen koruma algoritması generatörün ani gücündeki sistem frekansının iki katı frekanslı sinüsoidal salınımların gözlenmesi temeline dayanmaktadır. Bu salınımların genliğinin belirli değeri aşması durumunda algoritma arızanın generatör içinde olup olmadığını belirlemek için negatif bileşen reaktif gücün akış yönüne bakmaktadır. Bilgisayar simülasyonları çalışmalarından geliştirilen koruma algoritmasının dengesiz iç arızalarda ani açma komutu verdiği, dengesiz dış arızalar ile dengesiz yüklenmelerde gecikmeli çalışarak yedek koruma görevi yaptığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Generatörlerin korunması,
Dengesiz arızalar

1. GİRİŞ

Üç fazlı elektrik güç sistemlerinde dengesizliğe neden olan çok sayıda etken vardır. Dengesizlik durumunda sistemde pozitif, negatif ve sıfır bileşenler görülür. Bunlardan özellikle negatif bileşen akım ve gerilimlerin dönen makineler üzerinde olumsuz etkileri vardır. Negatif bileşen akımlarının generatörlerin hava aralığında oluşturduğu döner alan pozitif bileşen akımlarının oluşturduğu alan ile aynı hızda fakat ters yöndedir. Bunun sonucunda rotor sargısında şebeke frekansının iki katı frekansta bir gerilim endüklenir ve rotor gövdesinde sirkülasyon akımları oluşur. Bu akımlar rotorun aşırı ısınmasına neden olmakta, gerekli koruma önlemlerinin alınmaması durumunda ise rotorda metal kısımların erimesine kadar varabilen tehlikeli sonuçlar doğabilmektedir.

Ters zaman karakteristikli negatif bileşen aşırı akım röleleri dengesiz yüklenmelere karşı korumada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu rölelerin negatif bileşen akım-zaman karakteristiği $I_2^2 t = K$ bağıntısı ile belirlenen eğri ile verilir [1]. Generatör için izin verilen maksimum negatif bileşen akımından daha düşük negatif bileşen akımı akıtan generatör içerisindeki arızaları bu koruma yöntemi

algılayamamaktadır. Bu rölelerin asıl görevi dengesiz yüklenmelere karşı korumak olup, simetrik olmayan arızalara karşı yedek koruma yaparak gecikmeli çalışmaktadır.

Stator-toprak arızalarını algılamak için birkaç yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en eski ve en yaygın olanı diferansiyel röleler ile korumadır [2]. Fakat bu koruma yöntemi ile stator sargısının yaklaşık % 90-95'lik bir kısmı korunabilmektedir.

Direnç üzerinden topraklanmış generatörlerde stator-toprak arızalarına karşı korumada yaygın olarak topraklama direncine paralel bağlı aşırı gerilim röleleri kullanılır. Bazı durumlarda aşırı gerilim rölesi ile birlikte yedek olarak görev yapan aşırı akım röleleri de kullanılır [3]. Bu rölelerin kullanılması durumunda stator sargısının nötr noktası tarafındaki yaklaşık % 5-10'luk kısım korunamamaktadır. Nötr noktasına yakın faz-toprak arızalarını aşırı gerilim ve aşırı akım röleleri algılayamadığından, stator sargısının tamamını korumak amacıyla üçüncü harmonik gerilim röleleri ile sargıya şebeke frekansından düşük frekansta akım gönderen röleler kullanılır [4].

Generatörlerin stator sargısındaki arızalara karşı korunması için geliştirilen ilk dijital koruma yöntemi uyarı akımındaki 2. harmonik bileşeninin ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır [5]. Bu koruma yönteminde arızanın generatör içinde olup olmadığını belirlemek için negatif bileşen aktif gücün işaretine bakılmaktadır. Stator arızalarını algılamak için geliştirilen diğer dijital koruma yöntemi [6] ise generatör ile şebekenin pozitif ve negatif bileşen modellerini kullanmaktadır. Bu koruma yönteminde ise, arızanın yeri generatör ucundan ölçülen pozitif ve negatif bileşen empedanslarının işaretlerine bakılarak bulunmaktadır.

2. KORUMA ALGORİTMASININ TASARIMI

Güç ölçümlerine dayanarak geliştirilen koruma algoritmalarının [7-10] devamı olan ve dengesiz arızaları algılamak için geliştirilen yeni dijital koruma

algoritması [11,12] sistemdeki dengesizliğin varlığını ani güçteki sistem frekansının iki katı frekansta salınan sinüsoidal bileşenin genliğine bakarak belirlemektedir. Ani güçteki bu sinüsoidal bileşenin neden kaynaklandığı ise aşağıda verilen ani güç bağıntılarıyla açıklanacaktır.

Üç fazlı sistemlerde ani güç

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \quad (1)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Üç faza ilişkin gerilim ve akımların

$$v_a = \sqrt{2} V_a \sin(\omega t)$$

$$v_b = \sqrt{2} V_b \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$v_c = \sqrt{2} V_c \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$i_a = \sqrt{2} I_a \sin(\omega t - \varphi_a)$$

$$i_b = \sqrt{2} I_b \sin(\omega t - 120^\circ - \varphi_b)$$

$$i_c = \sqrt{2} I_c \sin(\omega t + 120^\circ - \varphi_c)$$

olduğu düşünülürse yukarıdaki bağıntı

$$p = P_a + P_b + P_c - P_a \cos(2\omega t) - P_b \cos(2\omega t + 120^\circ) - P_c \cos(2\omega t - 120^\circ) - Q_a \cos(2\omega t) - Q_b \cos(2\omega t + 120^\circ) - Q_c \cos(2\omega t - 120^\circ)$$

biçiminde olur. Bu bağıntı düzenlenirse;

$$p = P + P_{2\omega} \cos(2\omega t) + P_{2\omega} \sin(2\omega t) = P + P_{2m} \cos(2\omega t + \beta) \quad (2)$$

elde edilir. Burada,

$$P_a = V_a I_a \cos \varphi_a \quad Q_a = V_a I_a \sin \varphi_a$$

$$P_b = V_b I_b \cos \varphi_b \quad Q_b = V_b I_b \sin \varphi_b$$

$$P_c = V_c I_c \cos \varphi_c \quad Q_c = V_c I_c \sin \varphi_c$$

$$P_{2m} = P_{2\omega} / \sin \beta \quad \text{ve} \quad \beta = \tan^{-1}(P_{2\omega} / P_{2c})$$

dir. (2) Nolu bağıntıdan görüldüğü gibi, ani güç P ortalama güç ile sistem frekansının iki katı frekansta salınan bileşenden oluşmaktadır. Sistem dengeli olduğunda sinüsoidal bileşen kaybolmakta ve ani güç ortalama güce eşit olmaktadır. Bu bağıntıdan anlaşılacağı üzere; yalnızca dengesizlik durumunda ortaya çıkan sistem frekansının iki katı frekanslı bileşen sistemdeki dengesizliğin bir göstergesi olmaktadır.

Simetrik bileşenler yönteminin kullanılması durumunda; simetrik kaynaktan beslenen dengesiz bir

yükün bulunduğu üç fazlı sistemde akımın pozitif, negatif ve sıfır bileşen fazörlerinin,

$$I^- = I^- \angle \beta^- \quad I^+ = I^+ \angle \beta^+ \quad I^0 = I^0 \angle \beta^0$$

olduğu kabul edilerek, fazlara ilişkin ani gerilimlerin v_a, v_b, v_c ve ani akımların i_a, i_b, i_c ile belirtildiği düşünülürse, ani güç bağıntısı;

$$p = \begin{bmatrix} v_a & v_b & v_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a^- & i_a^+ & i_a^0 \\ i_b^- & i_b^+ & i_b^0 \\ i_c^- & i_c^+ & i_c^0 \end{bmatrix} = p^- + p^+ + p^0 \quad (3)$$

ile gösterilebilir. Bu bağıntı düzenlenirse,

$$p = P^- - 3VI^- \cos(2\omega t + \beta^-) = P^- - P_{2m} \cos(2\omega t + \beta^-) \quad (4)$$

elde edilir [13]. Bu bağıntıdan görüldüğü gibi, pozitif bileşen akımları doğru bileşeni (aktif güç), negatif bileşen akımları da kaynak frekansının iki katı frekansta salınan sinüsoidal bileşeni oluşturmaktadır. Sıfır bileşen akımlarının ani güce hiçbir etkisi yoktur.

Simetrik bileşen yöntemi kullanılarak elde edilen ani güç bağıntısındaki sinüsoidal bileşenin genliği nominal güce oranlanırsa,

$$P_{2m} (\text{pu}) = \frac{3VI^-}{3VI} = \frac{I^-}{I} = I^- (\text{pu}) \quad (5)$$

eşitliği bulunur. Bu bağıntıya göre; ani güçteki sinüsoidal bileşenin birim değer cinsinden genliği, yine birim değer cinsinden, negatif bileşen akımının etkin değerine eşit olmaktadır. Bu eşitlik, sistemdeki dengesizlik derecesinin belirlenmesinde negatif bileşen akımının yerine ani güçteki sistem frekansının iki katı frekanslı bileşenin genliğinin kullanılabilceğini göstermektedir.

Geliştirilen koruma algoritması generatör ucundan ölçülen ani güçteki sinüsoidal bileşenin genliğini (dengesiz güç bileşenini) ayrı Fourier dönüşümünü kullanarak,

$$P_{2m} = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} p(n) e^{-j2\pi n} \quad (6)$$

bağıntısına göre hesaplanmaktadır. Burada N bir periyottaki örnek sayısını, n ise örnekleme anını belirtir.

P_{2m} 'nin bir periyot süresince belirli bir değeri aşması durumunda algoritma dengesiz arızanın generatörün içinde mi, yoksa dışında mı olduğunu belirlemek için

$$Q^- = \frac{3}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v^-(n-90^\circ) i^-(n) \quad (7)$$

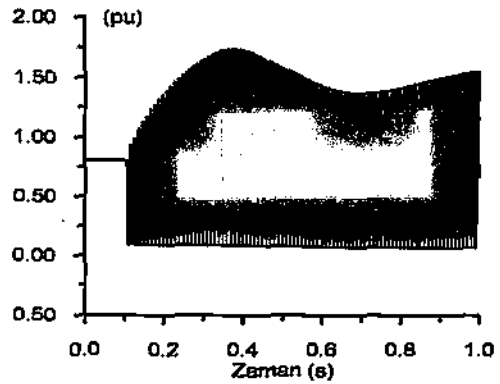
bağıntısını kullanarak negatif bileşen reaktif gücü hesaplanmaktadır. Negatif bileşen reaktif gücün pozitif olması dengesiz arızanın generatörün içinde olduğunu belirtmektedir. Bu durumda algoritma ani olarak açma komutu vermektedir. Negatif bileşen reaktif gücün negatif olması, dengesiz bir dış arızanın veya dengesiz yüklenmenin sözkonusu olduğunu belirtmektedir. Bu durumda ise algoritma dengesiz güç bileşeninin karesinin integralini alır. İntegratör çıkışının generatörler için izin verilen K değerinden büyük olduğu anda açma komutu verilir. Böylece dengesiz dış arızalarda algoritma, negatif bileşen aşırı akım rölesinin gördüğü görevi yerine getirerek, gecikmeli açma komutu vermiş olur.

3. BİLGİSAYAR SİMÜLASYONLARI

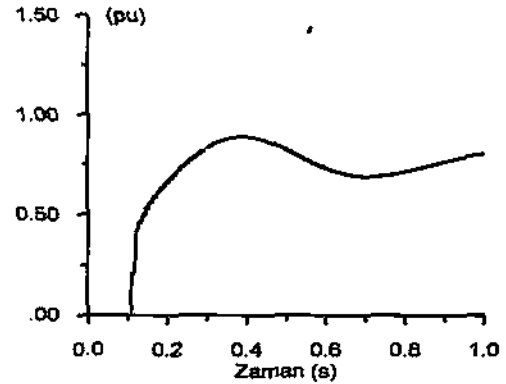
Geliştirilen koruma algoritmasının farklı arıza ve çalışma durumlarındaki performansını incelemek amacıyla bilgisayar simülasyonları yapılmıştır. İncelenen sistemde 11 kV gerilimli, 12.5 MVA gücünde, 0.8 güç faktörlü bir generatör ile 12.5 MVA gücünde 0.8 güç faktörlü yük kullanılmıştır. Elektrik güç sistemi ise gücü 250 MVA olan bir generatör ile modellenmiştir. Simülasyon çalışmaları EMTF programıyla yapılmış olup, generatörler için 59 nolu model kullanılmıştır [14].

Simülasyon süresi 1s alınmış ve arıza veya anormal çalışma durumunun başlangıç anından 100ms sonra ortaya çıktığı varsayılmıştır. Bozucu etki sonrası incelenen süre içerisinde generatörlerin otomatik gerilim regülatörleri ile hız regülatörlerinin devreye girmediği kabul edilmiştir. Dengesiz güç bileşeninin %1'den büyük olduğu durumda arızanın ortaya çıktığı kabul edilmiştir. İncelenen generatör için K değeri 10 olarak alınmıştır.

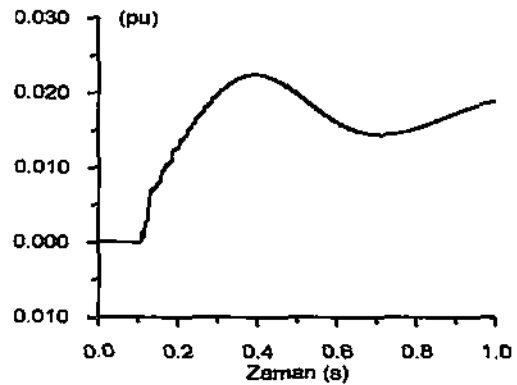
Şekil 1'de generatörün A fazı sargısının kopması durumu görülmektedir. Arıza dengesiz bir arıza olduğundan, generatörün ani gücünde 100 Hz'lik salınımlar oluşmuştur. Negatif bileşen reaktif gücün pozitif olmasıyla arızanın generatörün içinde olduğu anlaşılmıştır. Geliştirilen koruma algoritması arıza başladıktan 13.3 ms sonra açma komutu vermiştir.



a) Generatörün ani gücü



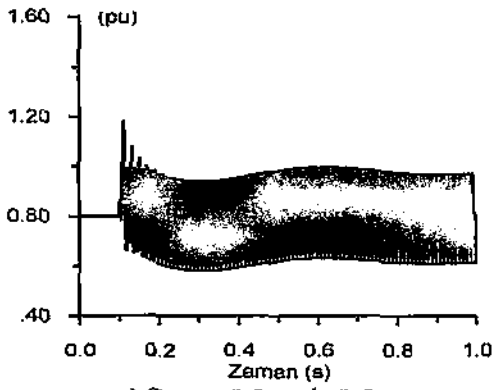
b) Dengesiz güç bileşeni



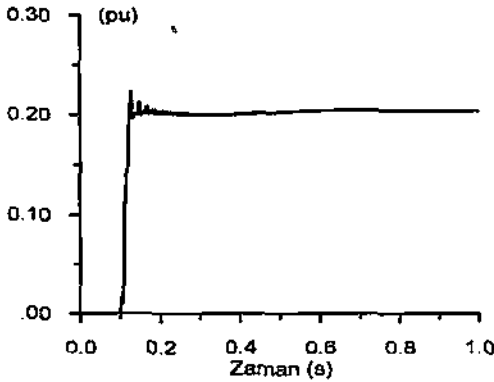
c) Negatif bileşen reaktif güç

Şekil 1. Generatörün A fazı sargısının kopması.

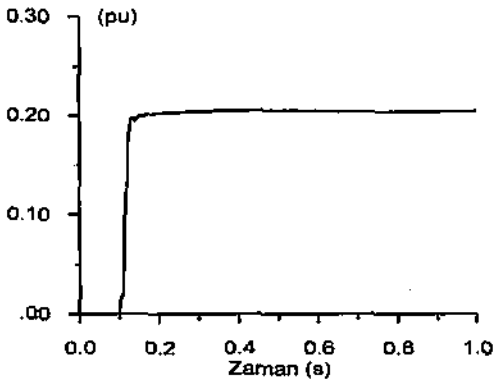
Generatörün dengesiz yüklenmesi durumu Şekil 2'de verilmiştir. Dengesizlik oranının % 20 olduğu dengesiz güç bileşeninden anlaşılmaktadır. Dengesiz güç bileşeni ile negatif bileşen akımının birbirine eşit olduğu şekilde görülmektedir. Bu da matematiksel bağıntılar ile simülasyon çalışmalarının uyduğunu göstermektedir. Negatif bileşen reaktif gücün negatif olmasıyla dengesizlik kaynağının generatörün dışında olduğu anlaşılmıştır. Algoritma bu çalışma durumunda 250s sonra açma komutu verecektir.



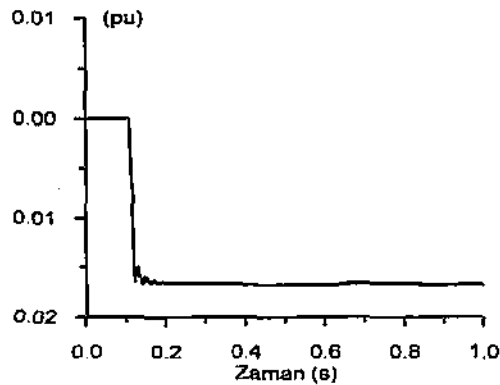
a) Generatörün ani gücü



b) Dengesiz güç bileşeni



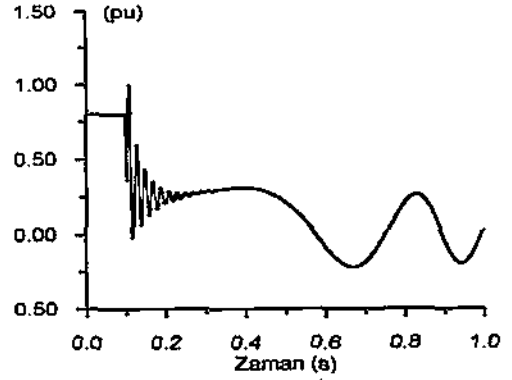
c) Negatif bileşen akımı



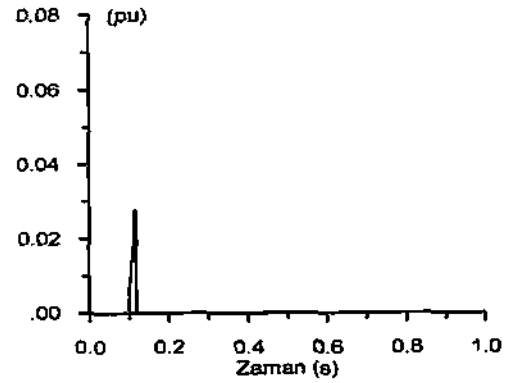
d) Negatif bileşen reaktif güç

Şekil 2. Generatörün dengesiz yüklenmesi.

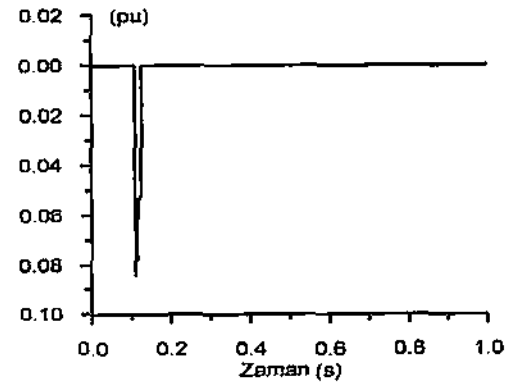
Şekil 3'de generatör dışında üç fazlı kısa devre arızası durumu görülmektedir. Arıza başlangıcından geçici süre içerisinde ani gücte 100 Hz'lik salınımlar ortaya çıkmış, daha sonra bu salınımlar kaybolmuştur. Negatif bileşen reaktif gücün geçici süre içerisinde negatif olmasıyla arızanın generatör dışında olduğu anlaşılmıştır. Algoritma dış arızalarda geçikmeli çalıştığından ve 100 Hz'lik salınımlar arıza başlangıcından çok kısa bir süre sonra ortadan kalktığından, algoritma bu arıza durumunda açma komutu vermeyecektir.



a) Generatörün ani gücü



b) Dengesiz güç bileşeni



c) Negatif bileşen reaktif güç

Şekil 3. Üç fazlı dış arıza durumu.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, generatörleri simetrik olmayan arızalar ile dengesiz yüklenmelere karşı korumak için yeni bir dijital koruma algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen koruma algoritması generatörün çıkış ucundan ölçülen üç fazlı ani güçteki sinüsoidal salınımların genliği yardımıyla sistemdeki dengesizliğin derecesini belirlemektedir.

Koruma algoritması, sarım kısa devresi arızası dahil, simetrik olmayan tüm arızalar ile dengesiz çalışma durumlarını algılamaktadır. İç arızalarda bir periyottan daha kısa sürede, dış arızalarda veya dengesiz çalışmalarda, dengesizlik derecesine bağlı olarak gecikmeli açma komutu vermektedir.

Geliştirilen koruma algoritması için yalnızca generatör çıkışından ölçülen her bir fazın gerilimi ile akımına gereksinim vardır. Bu gereksinimler genellikle diğer tüm koruma röleleri için de geçerli olduğundan, bu koruma algoritması çok fonksiyonlu generatör koruma rölesinde kolaylıkla kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Horowitz, S.H. and Phadke, A.G., "Power System Relaying", John Wiley & Sons Inc., New York, 1993.
- [2] Sachdev, M.S. and Wind, D.W., "Generator Differential Protection Using Hybrid Computer", IEEE Trans. on PAS-92, no. 3, pp. 2063-2072, 1973.
- [3] Griffin, C.H., Pope, J.W., "Generator Ground Fault Protection Using Overcurrent, Overvoltage, and Undervoltage Relays", IEEE Trans. on PAS-101, no. 12, pp. 4490-4501, 1982.
- [4] Pope, J.V., "A Comparison of 100 % Stator Ground Fault Protection Schemes for Generator Stator Windings", IEEE Trans. on PAS-103, no. 4, pp. 832-840, 1984.
- [5] Dash, P.K., Malik, O.P., Hope, G.S., "Fast Generator Protection Against Internal Asymmetrical Faults", IEEE Trans. on PAS-96, no. 5, pp. 1498-1505, 1977.
- [6] Sidhu, T.S., Sunga, B., Sachdev, M.S., "A Digital Technique for Stator Winding Protection of Synchronous Generators", Electric Power System Research vol. 36, pp. 45-55, 1996.
- [7] Redfern, M.A., Usta, Ö., Fielding, G. and Walker, E.P., "Power Based Algorithm to Provide Loss of Grid Protection for Embedded Generation", IEE Proceedings on Gen. Trans., vol. 141, pp. 640-646, 1994.
- [8] Redfern, M.A., Barrett, J.I. and Usta, Ö., "A New Microprocessor Based Islanding Protection Algorithm for dispersed storage and generation units", IEEE Trans. on PWRD, vol.10, 1249-1254, 1995.
- [9] Redfern, M.A., Checksfield, M.J., "A New Pole Slipping Protection Algorithm for Dispersed Storage and Generation Using the Equal Area Criterion", IEEE Trans. on PWRD vol. 10, no. 1, pp. 194-202, 1995.
- [10] Redfern, M.A., Checksfield, M.J., "A Study into a New Solution for the Problems Experienced with Pole Slipping Protection", IEEE Trans. on PWRD vol. 13, no. 2, pp. 394-405, 1998.
- [11] Usta, Ö., Bayrak M., "A New Digital Algorithm for the Protection of Synchronous Generators Against Unbalanced Fault Conditions", Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, Halifax, Canada, 1999.
- [12] Usta, Ö. and Bayrak, M., "A New power-based digital algorithm for generator protection", IEEE Power Engineering Letters, Power Engineering Review, No.2, pp. 49-52, 2000.
- [13] Bayrak M., Usta Ö., "Instantaneous Power in Unbalanced Three Phase Systems", International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 1-5 December, Bursa, 1999.
- [14] Leuven EMTP Center, 1987, Alternative Transient Program Rule Book, LEC, Belgium.