

DALGACIK DÖNÜŞÜMLERİ İLE AKIM TRANSFORMATÖRÜ DOYMASININ ALGILANMASI

Okan ÖZGÖNENEL¹ Güven ÖNBİLGİN² Muammer ÖZDEMİR³
Çağrı KOCAMAN⁴

^{1,2,3,4}Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü,
55139, Kurupelit – SAMSUN – TURKEY

¹e-mail:okanoz@omu.edu.tr ²e-mail:gonbilgi@omu.edu.tr
³e-mail:ozdemirm@omu.edu.tr
⁴e-mail:ckocaman@omu.edu.tr

ABSTRACT

The principle of differential protection has been widely used for many years. Fundamentally, it is based on the comparison of primary and secondary currents. This protection algorithm can cause wrong trips during magnetizing inrush.

Distorted secondary currents due to CT saturation depending on the magnitude of the fault current and a remanent flux in the core can cause maloperation or operating time delay of protective relays. Thus, protective relay engineers have to take account of the CT saturation problem when they design a protective relay, especially such as current different relays.

In this study, a new technique is proposed to identify internal faults of the transformer and current transformer saturation.

1. GİRİŞ

Akım transformatörlerinin doyma noktasına gelmesinde en önemli etken dış arıza durumudur. Doymuş bir akım transformatörü ikincil akım üretmez. Akım transformatörü çekirdeğindeki birincil akım, ikincil akım ve akı dalga şekilleri Şekil 1 de gösterilmiştir. Akı yoğunluğu doyma seviyesini geçtiğinde, ikincil akım ihmal edilebilir bir düzeye gelmektedir.

Bu koşullar altında, ikincil sargı ile birincil sargı arasında manyetik kuplaj kaybolmaktadır ve akım transformatörü gerçekte hava çekirdekli bir aygıt olarak davranmaktadır.

Manyetik kuplajın zayıflamasının manası, ikincil sargının beslediği ağıta akım kaynağı olarak görev yapmaması ve düşük empedans göstermesidir. Açıkça görülüyor ki, şayet akım transformatörlerinden birisinin ikincil akımı bir dış arıza esnasında sıfır olursa, diferansiyel akım kaybolan akıma eşit olacaktır ve röle açma sinyali gönderecektir.

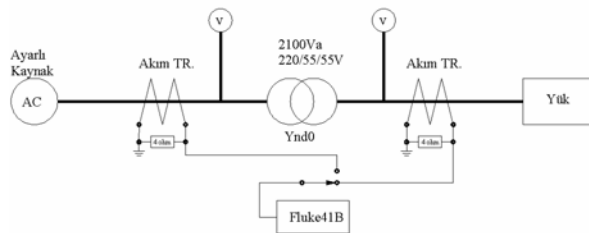


Şekil 1. Doyma esnasında bir akım transformatörü çekirdeğindeki birincil akım, ikincil akım ve akının dalga şekli.

Akım transformatörü doyma problemi üzerine günümüzde çok sayıda çalışma mevcuttur. G. Hosemann ve H. M. Steigerwald hızlı ve güvenilir bir doyma algılama algoritması sunmuşlardır [1]. Akım transformatörlerinin manyetik özellikleri ve kalıcı mıknatıslanma özelliklerini kullanmış olup, ikincil yan akımlarını uzay vektörleri ile tanımlanmışlardır. Bu vektörlerin varolan konumlarından uzaklaşmaları ile doyma anları kısa bir sürede tespit edilmiştir. Teratam B. Peter Crossley ve Phil Gale tarafından doymuş akım transformatörlerinden türetilen sinyalleri kullanarak yeni bir aşırı akım koruma ilkesi ortaya atılmıştır [2]. Bu yöntemde cross-correlation tekniğini kullanarak ikincil akımdaki bozukluğun neden olduğu birincil akımın tahmin edilmesi üzerine çalışılmıştır. P. Andow, ve arkadaşları tarafından akım transformatörü doymasını hesaba katarak mikro-ışlemci tabanlı sayısal bir bara koruma işlevini yerine getiren bir donanım ortaya atılmıştır [3]. Bu çalışmada diferansiyel koruma algoritması kullanılmış olup, düşük empedanslı katı hal röleleri yerine sayısal bir donanım önermişlerdir. A. Wiszniewski ve J. Szafran akım transformatörü doyma problemini de hesaba katarak sayısal mesafe koruma rölesi tasarlamışlardır

[4]. Tam periyot pencere uzunluğu kullanarak ayrık Fourier dönüşüm ile akım transformatörü doyma durumlarını ortaya koymuşlardır. Bu sayede önerilen algoritma ile doğru şekilde mesafe hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Y.C Kang ve arkadaşları akım transformatörleri doyma durumlarının algılanabilmesi için yeni bir algoritma ortaya atmışlardır [5]. EMTP ortamında gerçekleştirilen bir dizi benzetimlerin sayesinde önerilen teknikte çok kısa süreli doyma anları bile yüksek hassasiyetle hesaplanabilmektedir. B. Kasztenny ve arkadaşları akım transformatörü doyma problemlerini de hesaba katan koruma rölesi tasarlamışlardır [6]. İki farklı algoritma kullanan bu yöntemin başarımı ATP-EMTP ve yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak değişik koşullarda test edilmiştir. S. H. Kang ve arkadaşları kalıcı akıyı hesaba katan yeni bir akım transformatörü doyma problemi üzerine çalışmışlardır [7]. İkincil yan akımlarının farkları üzerine kurulu bir algoritmadır. Bu sayısal akım örnekleri önceden belirlenmiş bir eşik değerini aştığında doyma durumu algılanmaktadır. Lj. A. Kojoviz ise akım transformatörü doymasının aşırı akım korumasına etkileyen yönleri üzerine çalışmıştır [8]. YSA tabanlı bir algoritma ile bu durumun üstesinden gelinmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma iki aşamadan meydana gelmiştir. İlki bir dizi deneysel çalışmalardır. Şekil 2 laboratuvar ortamında kurulan deney düzeneğini göstermektedir. Bu deneylerde 2100 VA, 220/55/55V, 3 fazlı ve 3 sargılı bir transformatör kullanılmıştır. Değişik yük koşullarında ve dış arıza durumlarında 5VA ve 5/1A'lık akım transformatörlerinden elde edilen analog akım örnekleri FLUKE 41B kullanılarak 5 KHz'de örneklenmiş ve 1024 örnek alınmıştır. Akım transformatörü doyma probleminin daha iyi kavranabilmesi amacıyla birincil yandan yaklaşık 9A'e kadar akım geçmesi amacıyla değişik arıza koşulları oluşturulmuştur. Bu arızalar arasında aşırı yüklenme, faz toprak arızaları ve ikincil faz sargısı üzerinde sarım-sarım arızalarını örnek verebiliriz. Elde edilen sayısal akım örnekleri ayrık Fourier dönüşümü ve dalgacık teknikleri kullanılarak çözümlenmiş ve aralarındaki farklar ortaya konmuştur. Ayrık Fourier dönüşümü için bir tam periyot pencere aralığı, dalgacık dönüşümleri için de symlet 2 ana dalgacık ve ölçek vektörleri kullanılmıştır.



Şekil 2. Laboratuvar ortamında kurulan deney şeması

2. DALGACIK DÖNÜŞÜMLERİ

Herhangi bir fiziksel sistemden elde edilen sinyallerin analizi için bir çok dönüşüm tekniği vardır. Bunların en çok bilinenlerden ve en eskilerinden biri olan Fourier dönüşümü (FD) bir sinyalin spektral bileşenleri hakkında bilgi verirken herhangi bir zaman bilgisi içermemektedir. Dolayısıyla herhangi bir anda meydana gelen özel olayları gözlemlemek mümkün değildir. Bu temel sorun yüzünden durağan olmayan sinyaller için Fourier dönüşümleri uygun değildir. Durağan sinyaller için bu önemli bir sorun değildir.

Dalgacık dönüşümü yaklaşık 10 – 15 sene önce matematikçiler tarafından ortaya atılmış bir sinyal işleme tekniğidir. Tarihsel gelişim yönünden dalgacık analizi yeni kullanılmaya başlanmış bir yöntem olup, temeli Joseph Fourier'e kadar uzanmaktadır. Fourier dönüşümünün tersine, dalgacık dönüşümü ile her bir zaman aralığında sinyalin hem alçak (A) hem de yüksek frekans bileşenlerini (D) hesaplamak mümkündür. Bu yöntemle frekansı zamanla değişen sistemlerin analizi ve geçici durum analizleri oldukça hassas bir şekilde yapılmaktadır.

3. GENEL OLARAK DALGACIKLARIN TARİHÇESİ

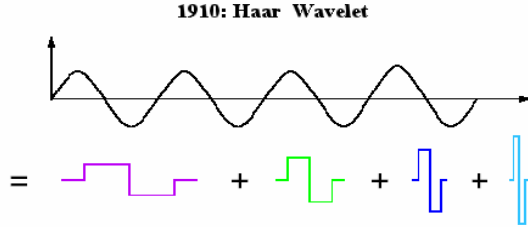
Dalgacık serileri bir çok farklı alana uygulanabilen bir yöntem olup, bunlar arasında uygulamalı matematik, sinyal işleme teknikleri, ses ve görüntü sıkıştırma teknikleri başta gelmektedir. Dalgacıklar ilk olarak Jean Morlet ve A. Grossman tarafından coğrafi bilgi sistemleri için kullanılmaya başlanmıştır. Gerçekte, dalgacıkların temel başlangıcı Joseph Fourier'e ve O'nun Fourier dönüşümüne kadar gitmektedir. 1807'den sonra Fourier denklemlerinin ortaya çıkmasıyla matematikçiler sinyali tanıma için frekans alanında çalışmaya yöneldiler. Dalgacıklar ilk olarak Haar dalgacık olarak adlandırılan Haar'ın tezinin ekler kısmında görülmüştür. Haar dalgacıklar bazı sınırlı uygulamalar için geçerli olup, bilinen en basit ve en eski dalgacık fonksiyonudur. 1977'lerde Esteban ve Galand yeni bir süzgeç kavramını ortaya attı ancak bu yolla ana sinyalin yeniden elde edilmesinde hata çok yüksekti. Dalgacık terimi ilk kez 1984'de Morlet ve Grossman tarafından kuantum fiziği çalışmalarında kullanıldı. 1987'de Mallat dalgacık ve süzgeç grupları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkardı. Meyer kendi adıyla anılan ilk dalgacıkları ortaya attı. Bu Haar dalgacıklarının aksine, sürekli uygulamalarda kullanılabilen bir fonksiyon idi. Yıllar geçtikçe, Ingrid Daubechies bir takım dik tabanlı dalgacık serilerini ortaya atarak günümüzdeki bir çok uygulamaya temel teşkil etmiştir.

Geçen son on yılda, dalgacıkların kullanımında artan bir eğilim gözlenmiştir. Bu alanlar arasında görüntü işleme teknikleri, tıbbi uygulamalar, radar, akustik, sonar sistemleri, veri sıkıştırma gibi alanları sayabiliriz.

Tanım olarak, bir dalgacık, ortalama değeri sıfır olan ve zamanla sınırlı bir dalga şeklindedir. Zaman ekseninde kaydırma ve ölçekleme parametreleri dalgacıkların temelini oluşturmaktadır. Fourier serilerinin temel

fonksiyonları sinüs ve cosinüs ifadelerinden meydana gelmektedir. Buna karşın çok sayıda dalgacık fonksiyonları vardır. Dalgacık dönüşümü değişik uzunluktaki bölgeleri kapsayan pencereleri içeren yeni bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır [9]. Denklem (1)'de sürekli dalgacık dönüşümü görülmektedir.

$$W_{(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \int \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad (1)$$



Şekil 3. Dalgacık yönteminin temeli

Şekil 3'de dalgacık yönteminin temeli görülmektedir. Fourier tekniğinin aksine, bir sinüs işareti çok sayıda frekansı ve genliği farklı kare dalgaların toplamından meydana gelmektedir. Yukarıdaki denklemde (1) $\varphi(t)$ ana dalgacık fonksiyonu, a ölçek (frekans) parametresi ve b de zaman (konum) parametresidir. Yüksek frekans analizlerinde kısa pencere seçimleri yeterli olup, alçak frekans analizlerinde ise uzun pencere aralıkları seçilmelidir. Sürekli dalgacık dönüşümü sonsuz sayıda girişe ihtiyaç duyduğundan bilgisayar analizi için uygun değildir. Bilgisayar analizleri için denklem (2)'de görülen ayrık dalgacık dönüşümü (AWD) kullanılır.

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

Yukarıdaki denklemde; m parametresi frekansı belirler ve n parametresi ise konumu (zamanı) belirler. Pratik uygulamalarda dalgacık serileri aşağıdaki gibidir:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k \phi(t-k) + \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} d_{j,k} \varphi(2^j t - k) \quad (3)$$

$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum_n h_0 \phi(2x - n), \text{ ölçek fonksiyonu}$$

$$\varphi(x) = \sqrt{2} \sum_n h_1 \varphi(2x - n), \text{ dalgacık fonksiyonudur.}$$

h_0 ve h_1 ise sırasıyla alçak ve yüksek geçiren süzgeç katsayılarıdır.

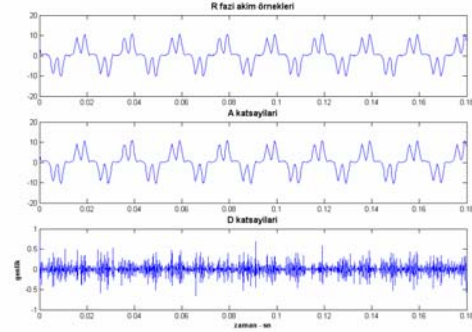
4.DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLEN-DİRİLMESİ

Giriş bölümünde de açıklandığı gibi akım transformatörü doyma durumlarını daha iyi kavrayabilmek için çok sayıda deneysel çalışmalar

gerçekleştirilmiştir. Bunlar arasında tam yükte çalışma, aşırı yüklenme, sarım-sarım ve faz-toprak arızaları yer almaktadır. Deneysel çalışmalarda transformatör Yy0 bağlı olup, üçgen bağlı akım transformatörlerinden alınan akım örnekleri ve dalgacık dönüşümleri aşağıdaki gibidir.

A. Tam Yükte Çalışma Durumu

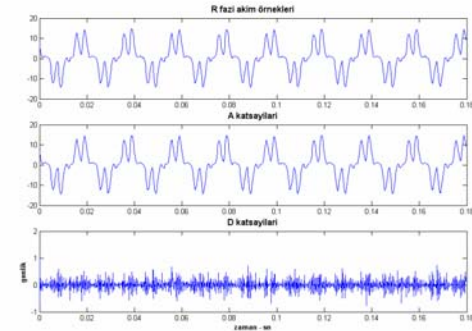
U ₁	U ₂	I ₁	I ₂
289.5 V	70.7 V	1.88 A	5.6 A



Şekil 4. Tam yükte ikincil akımların dalgacık çözümü

B. Aşırı Yükte Çalışma Durumu - 1

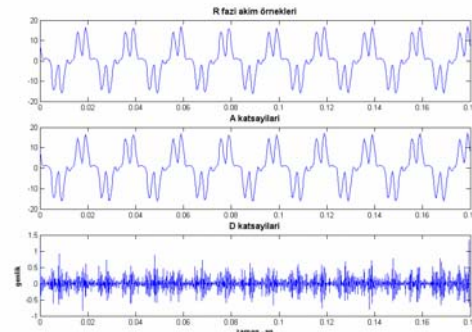
U ₁	U ₂	I ₁	I ₂
299 V	72.7 V	1.84 A	7.37 A



Şekil 5. Aşırı yükte ikincil akımların dalgacık çözümü - 1

C. Aşırı Yükte Çalışma Durumu - 2

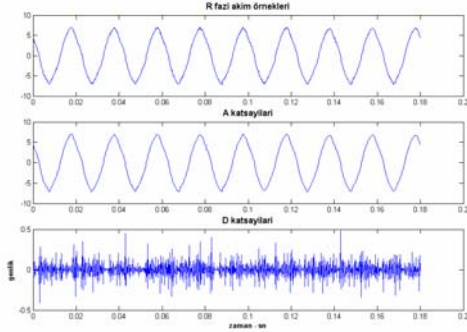
U ₁	U ₂	I ₁	I ₂
312 V	75.8 V	2.08 A	8.34 A



Şekil 6. Aşırı yükte ikincil akımların dalgacık çözümü - 2

D. Sarım – Sarım Arızası – I

U_1	U_2	$I_{\text{kısa devre}}$	I_2
15.7 V	3 V	4.81 A	0.14 A



Şekil 7. İç arıza anında arıza akımının dalgacık çözümü - 1

Ayrık akım örneklerinin süreksizlik noktaları ve yüksek dereceden harmonik bileşenleri D katsayılarında var olduğu için, bu katsayıların yorumlanmasıyla akım transformatörlerinin doyma durumları ve iç arıza durumları kolayca ayırt edilebilmektedir. D katsayılarının yorumlanması amacıyla en büyük olabilirlik parametre tahmin kuramı (EOK) kullanılmıştır. Bu yöntem ile; D katsayılarına ayrık dağılım fonksiyonu uygulanıp, elde edilen dağılım fonksiyonunun ortalama değerleri ayırt edici özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Transformatörün normal çalışma değerlerinden (yarı yükte, tam yükte ve %20 aşırı yükte) elde edilen ayrık akım örneklerinin EOK değeri **0.1** olarak hesaplanmıştır.

A durumu için; arızalı faz akımının EOK değeri **0.7401** olarak hesaplanmıştır.

B durumu için; arızalı faz akımının EOK değeri **1.0589** olarak hesaplanmıştır.

C durumu için; arızalı faz akımının EOK değeri **1.3489** olarak hesaplanmıştır.

D durumu için; arızalı faz akımının EOK değeri **0.4809** olarak hesaplanmıştır.

Görülmektedir ki; hesaplanan bu değerler normal çalışma değeri olan 0.1'den oldukça yüksektir.

Arızalı faz akımlarının ayrık Fourier çözümlerinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

A durumu için; 3. harmoniğin temel harmoniğe oranı %47.23, 5. harmoniğin temel harmoniğe oranı %30.70 olarak hesaplanmıştır.

B durumu için; 3. harmoniğin temel harmoniğe oranı %52.35, 5. harmoniğin temel harmoniğe oranı %29.10 olarak hesaplanmıştır.

İç arıza durumlarında ise ikinci harmoniğin temel harmoniğe oranı %21 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada diferansiyel koruma algoritmasını dolaylı olarak ilgilendiren akım transformatörü doyma problemi ve iç arıza durumları incelenmiştir. Tüm sonuçlar laboratuvar çalışmalarından elde edilmiştir.

Geleneksel olarak diferansiyel koruma algoritmaları ayrık Fourier dönüşümü ile desteklenmektedir. Ancak bu çalışmada ayrık dalgacık dönüşümleri kullanılarak zaman düzleminde çözümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler irdelendiğinde akım transformatörü doyma durumları ile iç arıza durumları normal çalışma koşullarından kolayca ayırt edilebilmektedir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Rektörlüğünün MF-047 nolu projesindeki olanaklardan yararlanarak ortaya çıkmıştır. Yazarlar, bu olanaklardan ötürü teşekkürü bir borç bilirlir.

7. KAYNAKLAR

[1] Hosemann, G.; Steigerwald, H.M.; “Modal saturation detector for digital differential protection”, Power Delivery, IEEE Transactions on , Volume: 8 , Issue: 3 , July 1993, Pages:933 – 940.

[2] Bunyagul, T.; Crossley, P.; Gale, P.; “Overcurrent protection using signals derived from saturated measurement CTs”, Power Engineering Society Summer Meeting, 2001. IEEE , Volume: 1 , 15-19 July 2001, Pages: 103 - 108 vol.1

[3] Andow, F.; Suga, N.; Murakami, Y.; Inamura, K.; “Microprocessor-based busbar protection relay”, Developments in Power System Protection, 1993., Fifth International Conference on , 1993 Pages:103 – 106

[4] Wiszniewski, A.; Szafran, J.; “Distance digital algorithm immune to saturation of current transformers”, Developments in Power Protection, 1989., Fourth International Conference on , 11-13 Apr 1989, Pages:196 – 199

[5] Kang, Y.C.; Ok, S.H.; Kang, S.H.; “A novel CT saturation detecting algorithm unaffected by a remanent flux”, Power Engineering Society Summer Meeting, 2001. IEEE , Volume: 3 , 15-19 July 2001 Pages:1324 - 1327 vol.3

[6] Kasztenny, B.; Rosolowski, E.; Lukowicz, M.; Izykowski, J.; “Current related relaying algorithms immune to saturation of current transformers”, Developments in Power System Protection, Sixth International Conference on (Conf. Publ. No. 434), 25-27 March 1997, Pages:365 – 368

[7] Kang, Y.C.; Ok, S.H.; Kang, S.H.; Crossley, P.A.; “Design and evaluation of an algorithm for detecting current transformer saturation”, Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings-, Volume: 151 , Issue: 1 , 14 Jan. 2004, Pages:27 – 35

[8] Kojovic, Lj.A.; “Impact of current transformer saturation on overcurrent protection operation”, Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE , Volume: 3 , 21-25 July 2002 Pages:1078 - 1083 vol.3.

[9] Çağrı Kocaman, “Dalgacık tabanlı transformatör koruma algoritması”, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2003, Samsun.