

Ana Dalgacığın Dalgacık Sinir Ağının Başarımına Bağlı Transformatör Korumasına Etkisi

Impact of Mother Wavelet On The Performance of Wavelet-Neural Network (WNN) Based Transformer Protection

Seçil Yılmaz, Okan Ozgonenel, Serap Karagol

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

secel.yilmaz@omu.edu.tr, okanoz@omu.edu.tr, serap.karagol@omu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, güç transformatörü diferansiyel korumada ana dalgacığın etkisi incelenmiştir. Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD), işaret işleme ve özellik vektörü çıkarma amacıyla diferansiyel akımlara uygulanmıştır. Hata akımı ve arıza akımının SDD katsayılı etkin değerleri yapay sinir ağının girişine uygulanmaktadır. Yapay sinir ağı çıkışında da hata akımı veya mıknatıslanma/normal akımı olduğunu gösteren sayısal işaretler elde edilmektedir. Dalgacık dönüşümüyle sinyali analiz ederken, ana dalgacığın uygun seçimi transformatör korumasının başarımını önemli ölçüde etkilemektedir. Çünkü, arıza ve mıknatıslanma akımını birbirinden ayırt etme yeteneği bir ana dalgacıktan diğer ana dalgacığa değişmektedir.

Abstract

In this article, impact of the mother wavelet on the main power transformer protection has been identified. Continuous wavelet transformation (CWT) is used as the protection on signal processing tool in this scheme. CWT has great potentials in analyzing system transients. CWT coefficients of fault current and inrush current's rms values are applied to the input of the neural. The logic signals are obtained which indicates if they are fault current or inrush current at the output of artificial neural network. The appropriate choice of mother wavelet while analysis of signal with wavelet transformation affects the protection of transformer significantly. Because ability to distinguish fault current and inrush current ranges from one mother wavelet to another mother wavelet.

1.Giriş

Transformatörler güç sisteminin önemli bir bileşenidir. Bir transformatörün güvenilir işlemesi güç kaynağının devamlılığını sağlamada çok önemlidir. Planlanmamış bir trafo arızasının neden olduğu kesintinin sonuçları ciddi ölçüde zaman ve para kaybına neden olmaktadır [1], [2]. Bu nedenle güç transformatörü korumasının güç sisteminde büyük önemi vardır. Diferansiyel röle ilkesi genellikle güç transformatörü koruması için kullanılır [3]. Diferansiyel koruma rölesi, transformatörün birincil ve ikincil sargı akımlarını karşılaştırır.

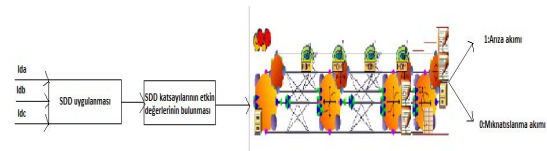
Normal durumda bu fark akımı çok küçüktür. Fakat bir iç arıza durumunda fark değeri önemli derecede büyüktür. Transformatör koruması için birçok algoritma önerilmiştir [4].

Geliştirilen kesin ve hızlı çözüm veren teknik, yapay sinir ağı (YSA) ile birlikte SDD'e bağlı olan önışlem kısmından oluşur. SDD geçici akım sinyallerinin özelliklerinin çıkartıcısı olarak kullanılır [5]. Bu bilgi daha sonra bir güç transformatörünün mıknatıslanma veya hata akımlarını sınıflandırmak için yapay sinir ağını besler [6], [7]. Dalgacık dönüşümüyle sinyali analiz ederken ana dalgacığın uygun seçimi gereklidir, çünkü bu durum büyük ölçüde transformatör korumasını etkilemektedir. Daubechies, Coiflet, Symlet ve Morlet ana dalgacıkları gibi birçok ana dalgacık tipi vardır [8]. Gerçekleştirilen teknik, güç transformatörünün hata akımından mıknatıslanma akımını ayırt etmek amacıyla kullanılır. Fakat, ayırt etme yeteneği bir ana dalgacıktan diğer ana dalgacığa değişir. Bu yüzden ana dalgacığı seçerken büyük özen gösterilmesi gerekir.

Bu çalışmada, transformatör arıza ve mıknatıslanma akımlarının sürekli dalgacık dönüşümleri yapılmıştır. Dönüşümden elde edilen katsayıların etkin değerleri, YSA'nın girişine uygulanmıştır. YSA'da kullanılan, farklı ana dalgacıklara bağlı olarak bir transformatörün iç hatası ve mıknatıslanma akımını ayırt etme yeteneği farklı ana dalgacıklar için elde edilmiş ve başarımları karşılaştırılmıştır.

2.Materyal ve Yöntem

Fourier dönüşümüne bağlı diferansiyel koruma algoritması uygulamasında, yüksek frekanslı harmoniklerin göz ardı edilmesi söz konusudur.



Şekil 1: Sürekli dalgacık dönüşüm tabanlı yapay sinir ağı modeli

Üstelik farklı pencere teknikleri, akım ve gerilim fazörlerinin hesaplamasında kullanılması gerektiğinden röle koruması gecikmektedir.

Bu nedenle, Fourier dönüşümüne bağlı diferansiyel korumada tam bir kesinlik yoktur. Bu nedenle bu çalışmada transformatör korumasının tam ve kesin çözüm verebilmesi için, *cwt* komutu kullanılarak mıknatıslanma ve arıza akımlarının sürekli dalgacık dönüşümünde kullanılan katsayıları hesaplanmıştır.

Şekil 1'de gösterilen YSA'nın girişine uygulanan mıknatıslanma/arıza fark akımları (*Ida*, *Idb*, *Idc*) $x(t)$ olarak gösterildiğinde, a ($a > 0$) ölçeklemesinde $a \in \mathbb{R}^+$ sürekli dalgacık eşitliği ve $b \in \mathbb{R}$ durumunda $x(t)$ fonksiyonunun sürekli dalgacık dönüşümü 1 numaralı denklemle verilmiştir:

$$Xw(a,b) = \frac{1}{|a|^{1/2}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

Burada ϕ , ana dalgacık olarak adlandırılan frekans ve zaman alanındaki sürekli fonksiyondur ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\phi(s, \tau) = \frac{1}{\sqrt{s}} \phi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (2)$$

Denklem (2)'deki $\frac{1}{\sqrt{s}}$ faktörü enerjinin normalize oluşunu ifade eder. $|s| > 1$ olduğunda, zaman ekseninde fonksiyon genişler ve genliği düşer.

$|s| < 1$ olduğunda, zaman ekseninde daralır ve genlik büyür.

$|s| < 0$ olduğunda, $t=0$ noktasına göre simetriği alınır.

$\tau > 0$ olduğunda, zaman ekseninde sağa doğru kaydırma

$\tau < 0$ olduğunda, zaman ekseninde sola doğru kaydırma

Dalgacık fonksiyonları ana dalgacıktan çeşitli parametrelerin değiştirilmesi ile üretilmektedir. Örneğin denklem 3'te Mexican Hat, denklem 4'te Morlet, denklem 5'te Daubechies dalgacıklarının matematiksel ifadesi görülmektedir.

$$\phi(t, \tau, s) = \frac{[(\frac{t-\tau}{s})^2 - 1] \exp\{-0.5(\frac{t-\tau}{s})^2\}}{\sqrt{2\pi} s^3} \quad (3)$$

$$\phi(t, \tau, s) = \frac{\exp\left[\frac{j a (t-\tau)}{s}\right] \exp\left\{-\frac{(t-\tau)^2}{2s}\right\}}{\sqrt{s}} \quad (4)$$

$$d(t) = 2^{j/2} \phi(2^j t - k) \quad (5)$$

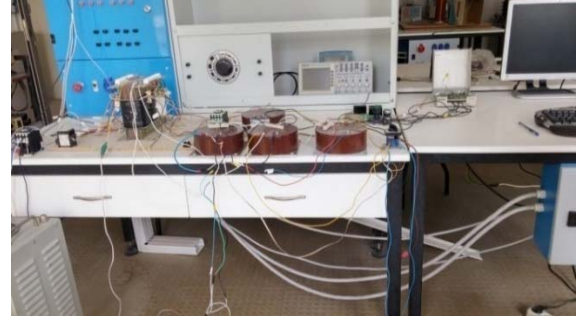
a periyot sayısını, s : ölçek parametresini, τ : öteleme parametresini 2^j : ölçeği, k : orta noktayı simgelemektedir.

Dalgacık dönüşümüyle sinyali analiz ederken ana dalgacığın uygun seçimi gereklidir, çünkü bu durum büyük ölçüde transformatör korumasını etkilemektedir. Daubechies, Coiflet, Symlet ve Morlet gibi ana dalgacıklar sinyalin analizinde kullanılmıştır.

Geliştirilen YSA Şekil 1'de görüldüğü üzere SDD katsayılı etkin değerlikli bir giriş sinir hücresine ve bir çıkış sinir hücresine sahiptir. YSA yapısında aktivasyon sinir hücresi olarak tansigmoid işlevleri seçilmiş ve 12 sinir hücresinden oluşan gizli katman kullanılmıştır. Hedef çıkışa mıknatıslanma/normal durum için 0 ve iç hata akımları için 1 atanmıştır.

2.1. SDD Katsayılarının Hesabı

Bu çalışmada SDD bir sinyal işleme aracı olarak kullanılmıştır, çünkü SDD geçici olayları analiz etmede büyük başarıya sahiptir. Matlab'da *cwt* komutu kullanılarak, farklı ana dalgacıklar için sürekli dalgacık dönüşümü bileşenleri hesaplanır. YSA'yı eğitmek ve test etmek için (mıknatıslanma için 130 ve iç hata için 78) toplam 108 bilgisayar benzetimi PSCAD ortamında gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, Şekil 2 ve Şekil 3'deki gerçek zamanlı deney düzenekleri kullanılarak da deney transformatörünün mıknatıslanma ve normal akımı için 30, iç hata akımı için 20 toplam 50 adet gerçek zamanlı deney yapılmıştır.

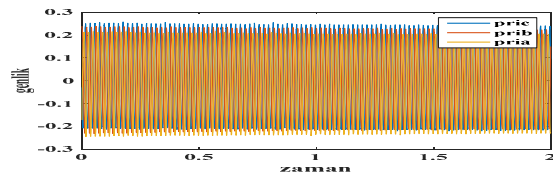


Şekil 2: Deney transformatörünün boşa çalışması durumundaki deney düzeni

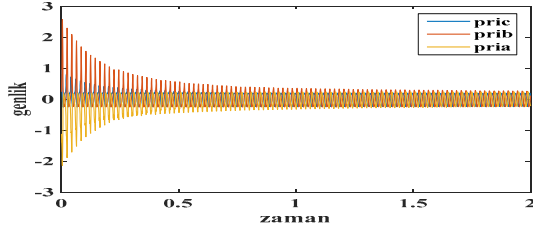


Şekil 3: Deney transformatörüne paralel bağlı diğer transformatör durumundaki deney düzeni

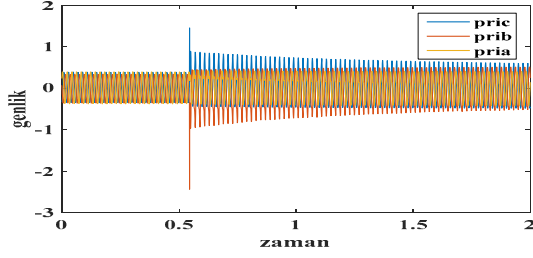
Deney transformatörünün boşa ve paralel çalıştığı durumları için ayrı mıknatıslanma akım örnekleri alınmıştır. Şekil 4, 5, 6, 7, 8 'de gerçek zamanlı normal, mıknatıslanma ve hata akımlarının benzetim sonuçları verilmiştir. Bu şekilde görülen *pria*, *prib* ve *pric* deney transformatörünün birincil yan akımlarını simgelemektedir. Daha sonra bu akımların SDD katsayıları hesaplanmıştır. Böylece elde edilen SDD katsayılarının etkin değerleri, YSA'yı oluşturmada kullanılmıştır. Bu değerler, önerilen YSA yapısının girişlerine uygulanmış ve deney transformatörünün mıknatıslanma ve iç hata akımları etkin bir biçimde sınıflandırılmıştır.



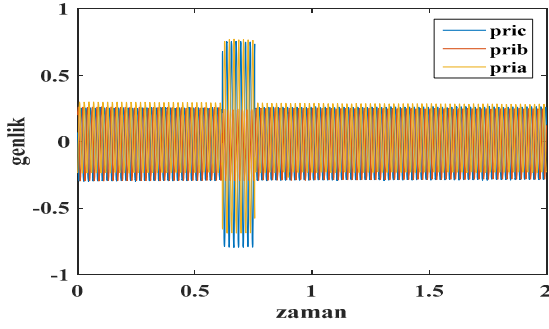
Şekil 4: Deney transformatörünün normal çalışma akımı



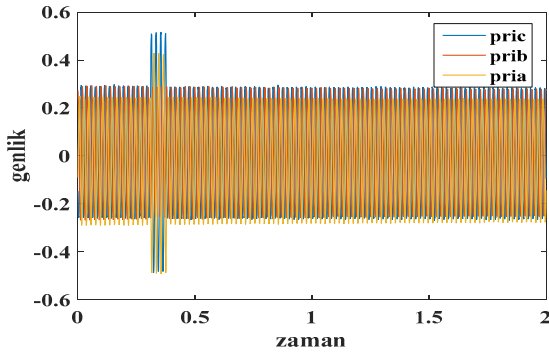
Şekil 5: Deney transformatörünün boştaki çalışması durumunda mıknatıslanma akımı



Şekil 6: Deney transformatörüne paralel bağlı diğer transformatör durumunda mıknatıslanma akımı



Şekil 7: Deney transformatörünün birincil sargısı kısa devre durumunda iç arıza akımı

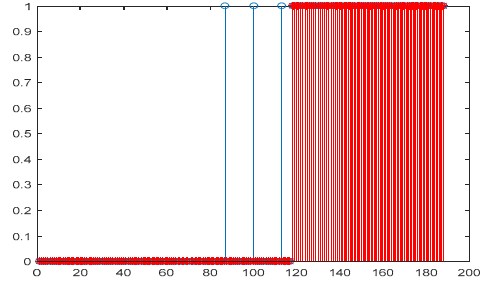


Şekil 8: Deney transformatörünün ikincil sargısı kısa devre durumunda iç arıza akımı

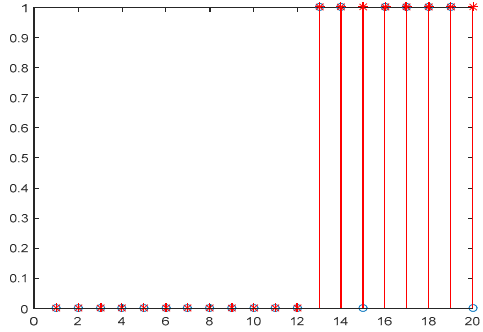
2.2. Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi ve Test Edilmesi

Bu çalışmada, PSCAD ortamında gerçekleştirilen bilgisayar benzetimlerinin %10 ile %80 arasında değişen eğitim

verileriyle ve farklı ana dalgacıklar kullanılarak YSA eğitilip test edilmiştir. Coiflet2 ana dalgacığı kullanılarak, YSA eğitilip test edildiğinde benzetim sonuçları Şekil 8'deki gibi bulunmuştur. Ana dalgacıkların mıknatıslanma akımı ile arıza akımını ayırt etme verimlilikleri Tablo 1'deki gibi sonuçlanmıştır. Aynı zamanda gerçek deney düzeneğinden alınan akım transformatörünün normal/mıknatıslanma akımı için 30 ve iç hata akımı için 20 toplam 50 adet örnek, YSA'nın eğitilmesi ve test edilmesi için kullanılmıştır. YSA Coiflet1 ana dalgacığı kullanılarak, bu verilerle eğitilip test edildikten sonra elde edilen benzetim sonucu da Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8: Önerilen yöntemin bilgisayar benzetimi başarımı (Coiflet2)



Şekil 9: Önerilen tekniğin gerçek zamanlı başarımı (Coiflet1)

Tablo 1: Farklı ana dalgacıklar ve eğitim yüzdelere bağlı sınıflandırma başarımları

Ana dalgacık	Eğitim yüzdesi	Sınıflandırma başarımı
coif1	10%	96.8
coif1	20%	96.8
coif1	30%	96.8
coif1	40%	95.2
coif1	50%	94.23
coif1	60%	92.8
coif1	70%	92.06
coif1	80%	90.4
coif2	10%	98.4
coif2	20%	98.2
coif2	30%	97.9
coif2	40%	97.6
coif2	50%	97.1

coif2	60%	96.4
coif2	70%	95.2
coif2	80%	95.2
db2	10%	67.5
db2	20%	67.6
db2	30%	67.8
db2	40%	60.8
db2	50%	69.2
db2	60%	64.28
db2	70%	68.25
db2	80%	61.9
db4	10%	74.4
db4	20%	73.6
db4	30%	67.12
db4	40%	62.3
db4	50%	58.6
db4	60%	58.3
db4	70%	58.7
db4	80%	61.9
db6	10%	71.8
db6	20%	71.8
db6	30%	69.17
db6	40%	62.4
db6	50%	62.5
db6	60%	65.47
db6	70%	61.9
db6	80%	61.9
db8	10%	80.85
db8	20%	78.44
db8	30%	73.8
db8	40%	68.8
db8	50%	64.4
db8	60%	61.9
db8	70%	60.3
db8	80%	57.1
sym4	10%	91.4
sym4	20%	91.00
sym4	30%	90.4
sym4	40%	89.6
sym4	50%	86.5
sym4	60%	84.5
sym4	70%	80.9
sym4	80%	73.8
Mexh	10%	70.21
Mexh	20%	68.26
Mexh	30%	63.6
Mexh	40%	62.4
Mexh	50%	61.5
Mexh	60%	59.52
Mexh	70%	61.9
Mexh	80%	61.9
Morl	10%	92.5
Morl	20%	91.01
Morl	30%	91.7
Morl	40%	90.4
Morl	50%	88.46
Morl	60%	86.9
Morl	70%	85.71
Morl	80%	76.19

3. Sonuçlar ve Analiz

YSA'nın ęitilip test edilmesi sonucunda elde edilen Tablo 1'deki ana dalgacıklara uygulanan farklı test verileri incelendiğinde, bazı ana dalgacıklarda daha az test verileriyle yüksek doğrulukta sonuçlar alındığı görülmüştür. Ayrıca verilen tablodan görülmektedir ki, farklı ęitici değerlerine karşılık Coiflet ana dalgacığı, Symlet ve Morlet ana dalgacığı diğerleriyle karşılaştırıldığında mıknaatıslanma akımı ile hata akımını ayırt etmede maksimum verimliliği vermektedir. Bu durum transformatör koruması için uygun ana dalgacık seçiminin önemli olduğunu göstermektedir. En yüksek verimliliğin alındığı Coiflet2 ana dalgacık tabanlı YSA'nın test edilmesi sonucunda, %98.4 sınıflandırma başarımı elde edilmiştir. Bunun nedeni, 3 adet mıknaatıslanma akım örneğinde 189. derecede yapılan anahtarlamının i arıza olarak algılamasındandır.

Aynı zamanda gerçek zamanlı 50 adet akım örneğinin Coiflet1 ana dalgacığı kullanılarak, YSA ile ęitilip test edilmesiyle %90 gerçek zamanlı başarım elde edilmiştir.

4. Kaynaklar

- [1] M.A.Raman, B.Jeyasurya, "A State-of-The-Art Review of Transformer Protection Algorithms", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 2, April 1988.
- [2] M. Habib, M.A. Marin, "A Comparative Analysis of Digital Relaying Algorithms for Differential Protection of Three Phase Transformers", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, No. 3, August 1988.
- [3] M.A. Rahman, B. So, M. R. Zaman, M.A. Hoque, "Testing of Algorithms for A Stand-Alone Digital Relay for Power Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, April 1998.
- [4] A.R. van C. Warrington, "Protective Relays; Their Theory and Practice", Chapman and Hall, London, Vol. 2, 1977.
- [5] M. Fedi, et al., "Joint Application of Continuous and Discrete Wavelet Transform on Gravity Data to Identify Shallow and Deep Sources", International Journal of Geophysics, Vol. 156, Pp. 7-21, 2004.
- [6] G.M. Moises, W.N. Denise, "A Wavelet-Based Differential Transformer Protection", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, October 1999.
- [7] Y.W. Seng, Q. Wang, "A Wavelet Based Method to Discriminate Between Inrush Current and Internal Fault, Power System Technology ", 2000. Proceedings. PowerCon 2000. International Conference on, Volume: 2, Pp. 927 -931, 4-7 Dec. 2000.
- [8] L.S. Safavian, W. Kinsner, H. Turanli, "A Quantitative Comparison of Different Mother Wavelets for Characterizing Transients in Power Systems", in Proc. of IEEE Canadian Conf. on Electrical and Computer Engineering, Pp. 1342 – 1346, May 2006.
- [9] Jawad Faiz, S. Lotfi-Fard, "A Novel Wavelet -Based Algorithm for Discrimination of Internal Faults from Magnetic Inrush Currents in Power Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 4, October 2006.
- [10] T. S. Sidhu, M. S. Sachdev, H. C. Wood, and M. Gopal, "Design, Implementation and Testing of Micro-Processor Based High Speed Relay for Detecting Transformer Faults", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 1, Pp. 108-117, Jan. 1992.

- [11] ATP Draw Version 3.5, User Manual, TR F5680, Norway, August 2002.
- [12] C.Kocaman, "Wavelet Based Transformer Protection Algorithm", Ondokuz Mayıs University, Institute of Basic and Applied Sciences, MSc Thesis, 2003.
- [13] O. Ozgonenel, G. Onbilgin, C. Kocaman, "Wavelets and Its Applications of Power System Protection", Gazi University Technical Education Faculty, Journal of Polytechnic, 17:2 P 75-88, 2004, ISSN:1003:9709.
- [14] A. H. Osman, O. P. Malik, "Transmission Line Distance Protection Based on Wavelet Transform", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.19, No. 2, April, 2004.
- [15] O. Ozgonenel, G. Onbilgin, C. Kocaman, "Transformer Protection Using the Wavelet Transform", Ondokuz Mayıs University", Turk J Elect Engin, Vol.13, NO. 1, 2005.
- [16] M. Vannucci, P.J. Brown, T. Fearn, "A Decision Theoretical Approach to Wavelet Regression on Curves With a High Number of Regressors ", Journal of Statistical Planning and Inference, Volume 112, Issues 1-2, Pp. 1-260, 1 March 2003.
- [17] Kunakorn, "Applications of Discrete Wavelet Transform for Inrush Current Detection in Protective Control Scheme", Proceedings of the International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT2004), Sapporo-Japan, Vol. 2, Pp. 871-874, 26-29 October 2004.
- [18] Simi P. Valsan and K.S. Swarup, "Wavelet Based Transformer Protection Using High Frequency Power Directional Signals", Electric Power Systems Research, Volume 78, Issue 4, Pp. 547-558, April 2008.
- [19] Peilin L. Mao and Raj K. Aggarwal, "A Novel Approach to The Classification of the Transient Phenomena in Power Transformers Using Combined Wavelet Transform and Neural Network", IEEE Transactions Power Delivery, Vol. 16, No. 4, October 2001.