

# ANİ MIKNATISLANMA AKIMININ BELİRLENMESİNDE WAVELET YAKLAŞIMI

Okan ÖZGÖNENEL<sup>1</sup>

Çağrı KOCAMAN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Tesisleri A.B.D.  
55139, Kurupelit, Samsun

<sup>1</sup>e-posta: okanoz@ieee.org

<sup>2</sup>e-posta: ckocaman@omu.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Wavelet dönüşümü, Fourier dönüşümü (FFT), sayısal koruma,*

## ÖZET

Transformatörlerin ani mıknatıslanma akımları geleneksel olarak Fourier dönüşümü ile analiz edilmektedir. Ani mıknatıslanma akımının etkisi transformatörün diferansiyel korumasında önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada ani mıknatıslanma akımının belirlenmesinde wavelet dönüşümü uygulanmıştır. Deneysel veriler ATP-EMTP yardımıyla işlenmiş ve bir çok enerjilenme koşulları üzerinde çalışılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Transformatörler güç sistemlerinin en temel ve vazgeçilmez elemanlarından biridir. Farklı güçlerde ve tiplerde olmalarından ötürü, güç transformatörü koruması da farklılık göstermektedir. Gücü 1.5 MVA'dan daha az olan dağıtım transformatörleri yüksek açma hızlı sigortalar tarafından korunmaktadır. Diğerleri ise aşırı akım röleleri tarafından korunmaktadır. Ancak yüksek güçlü güç transformatörleri diferansiyel koruma yöntemiyle (yüzde diferansiyel koruma, delta diferansiyel koruma ve birleştirilmiş yaklaşım) korunmaktadır. Diferansiyel korumada birincil ve ikincil yan akımları ortak bir tabana indirgenir ve karşılaştırılır. Bu akımlar arasındaki fark normal şartlar altında çok küçüktür. Bu fark ayrıca dış arıza koşullarında da küçüktür, fakat normal çalışma durumundaki farktan büyüktür. Ancak transformatörde iç arıza durumunda bu fark oldukça büyük olmaktadır. Diferansiyel koruma bu bağlamda akımların karşılaştırılması ile transformatör için ideal bir koruma yöntemi ile öne çıkmaktadır [1], [2].

Transformatörün enerjisi kesildiğinde, genellikle çekirdekte bir miktar kalıcı akı muhafaza edilmektedir. Daha sonra, transformatör yeniden enerjilendiğinde çekirdek büyük olasılıkla doymaya girecektir. Şayet soyma hali gerçekleşirse, birincil sargıdan çok yüksek akım geçmektedir. Bu durum ani mıknatıslanma akımı olarak bilinir ve transformatör tarafından kaynaktan çok yüksek akım çekip, yük tarafına çok düşük akım aktarmasıyla karakterize edilir. Diferansiyel akımlarda büyük fark meydana getirir ve diferansiyel röle açma sinyali gönderir. Bu

bir arıza durumu olmadığı için, rölenin açma sinyali göndermesi gerekmemektedir. Bu yüzden ani mıknatıslanma akımının çok kısa sürede ayırt edilme zorunluluğu vardır.

Günümüzde bir çok ayırt etme algoritmaları geliştirilmiştir. En yaygın kullanılan yöntem mıknatıslanma akımında yüksek genlikli varolan 2. harmonik sınırlama yöntemidir. Akı sınırlama yönteminde ise çekirdeğin manyetik karakteristiği çok büyük önem taşımaktadır. Eşdeğer devre ilkesinde ise manyetik endüktansın değişimi ayırt edici bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bazı yeni yöntemler ise, sıfır periyot gibi, dalga şekli tanıma ilkesine dayanmaktadır. Sıfır periyot durumunda mıknatıslanma akımı ayırt edilir ve bu yöntem diğerlerine kıyasla daha güvenilirdir [3].

Yukarıda bahsedilen bu yöntemlerin tamamında bazı kısıtlamalar söz konusudur. Bazı özel şartlar altında 2. harmonik sınırlama yöntemi için örneğin güç transformatörü uzun iletim hattına bağlı ise akım transformatörlerinin doyma halinde 2. harmonik bileşeni tekrar artış göstermekte ve bu yüzden de röle çalışmaktadır. Akı sınırlama ve eşdeğer devre yönteminde ise demir çekirdeğin tam manyetik karakteristiği ve dinamik histerezis eğrisini elde etmek oldukça zordur. Sıfır periyot yönteminde ise, dalga şeklinin özelliği bozulmaktadır. Buna ek olarak, sıfır periyodu veya iki tepe arasını hassas bir şekilde hesaplamak için yüksek örnekleme oranına ihtiyaç vardır, bu da koruma devresi donanımında bazı sınırlamalara neden olmaktadır [4], [5].

Bu çalışmada 3 fazlı 3 sargılı bir transformatörün ani mıknatıslanma akımının algılanması için wavelet dönüşümü kullanılmıştır. Wavelet tekniği güç sistemleri koruma yöntemlerinde yeni kullanılmaya başlanmış olup, oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

## 2. WAVELET DÖNÜŞÜMÜ ve UYGULAMASI

Wavelet serileri bir çok farklı alana uygulanabilen bir yöntem olup, bunlar arasında uygulamalı matematik, sinyal işleme teknikleri, ses ve görüntü sıkıştırma teknikleri başta gelmektedir. Bu üç alanda yapılan çalışmalarda wavelet serileri ve dönüşümleri oldukça hassas sonuçlar vermiştir. Wavelet'ler ilk olarak Jean

Morlet ve A. Grossman tarafından coğrafi bilgi sistemleri için 18. yüzyılın başlarında kullanılmaya başlanmıştır. Gerçekten, wavelet'in 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. Wavelet'ler ilk olarak Harr wavelet olarak adlandırılan Harr'ın tezinin ekler kısmında görülmüştür. Harr wavelet'ler bazı sınırlı uygulamalar için geçerli olup, bilinen en basit ve en eski wavelet fonksiyonudur. 1977lerde Esteban ve Galand yeni bir süzgeç kavramını ortaya attı ancak bu yolla ana sinyalin yeniden elde edilmesinde hata çok yüksekti. Wavelet terimi ilk kez 1984'de Morlet ve Grossman tarafından kuantum fiziği çalışmalarında kullanıldı. 1987'de Mallat wavelet ve süzgeç grupları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkardı. Meyer kendi adıyla anılan ilk wavelet'leri ortaya attı. Bu Harr wavelet'lerin aksine, sürekli uygulamalarda kullanılabilen bir fonksiyon idi. Yıllar geçtikçe, Ingrid Daubechies bir takım dik tabanlı wavelet serilerini ortaya atarak günümüzdeki bir çok uygulamaya temel teşkil etmiştir.

## 2.1 Wavelet ve Fourier Dönüşümü

Wavelet dönüşümün gelişimi Fourier dönüşümü ile yakından ilgilidir ve denklem (1)'de sürekli Fourier dönüşümü görülmektedir.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t).e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

Denklem (1)'de Fourier dönüşümü sonsuz zaman aralığında temel sinüs fonksiyonlarını ( $e^{-j\omega t}$ ) kullanmaktadır. Bu yaklaşım frekansı zamanla fazla değişmeyen kararlı sinyallerin analizinde oldukça hassas ve kullanışlı bir yöntemdir. Fakat frekans alanına dönüşümde, zaman bilgisi kaybolmakta yani hangi frekans bileşeninin hangi zaman aralığında varolduğu bilinmemektedir. Kısa pencere Fourier dönüşümü ise zaman hakkında bilgi edinmek için geliştirilen bir yöntemdir. Denklem (2)'de de görüldüğü gibi pancereleme ana fonksiyonu  $g(x-t)$  olarak seçilmiştir.

$$Gf(\omega, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-j\omega t} .g(x-t).f(t).dt \quad (2)$$

Bu yüzden kısa pencere Fourier algoritması sadece frekans tabanlı olmayıp ayrıca zamana da bağlıdır. Zaman hakkında da bilgi sahibi edinilebilir ancak bu bilgi  $g(x-t)$  pencere aralığı ile sınırlıdır. Denklem (3)'de sürekli wavelet dönüşümü görülmektedir.

$$W_{(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \int \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t).dt \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemde  $\varphi(t)$  ana wavelet 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 wavelet dönüşümü sonsuz sayıda girişe ihtiyaç duyduğundan bilgisayar analizi için uygun değildir. Bilgisayar analizleri için denklem (4)'de görülen ayrık wavelet dönüşümü (AWD) kullanılır.

$$Wf(m, n) = 2^{-m/2} \int f(t)\varphi(2^{-m}t - n)dt \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemde;

m parametresi frekansı belirler ve

n parametresi ise konumu (zamanı) belirler.

Pratik uygulamalarda wavelet serileri aşağıdaki gibidir:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k \phi(t-k) + \sum \sum d_{j,k} \varphi(2^j t - k) \quad (5)$$

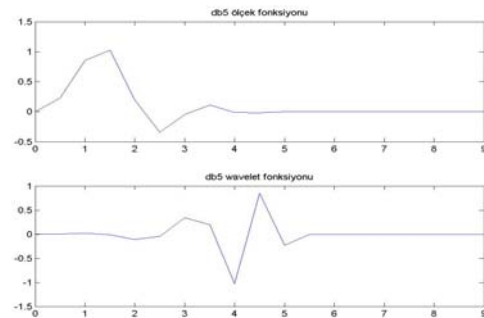
$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum_n h_0 \phi(2x - n), \text{ ölçek fonksiyonu}$$

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

Fourier dönüşümü yalnızca sin ve cos fonksiyonlarına ihtiyaç duymaktadır. Wavelet dönüşümleri sonsuz sayıda ana fonksiyonlara sahiptir. Bu yüzden Fourier dönüşümleri durağan sinyal analizleri için oldukça iyi bir yaklaşımdır. Sonuç olarak wavelet dönüşümleri geçici sinyal analizi için oldukça hassas olup, sinyallerdeki süreksizlik analizleri bu yolla çok daha güvenilir yapılmaktadır.

## 2.2 Güç Sistemleri Korumasında Wavelet Dönüşümü

Durağan olmayan sinyallerin analizinde wavelet yaklaşımı oldukça iyi bir yöntemdir. Dahası, tekrarlayıcı wavelet dönüşümü uygulaması yüksek hızlı sayısal röle tasarımına olanak sağlamaktadır. Wavelet dönüşümü hem çevrim içi hem de çevrim dışı gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilir. Her iki uygulama alanında sinyal gürültü oranı yüksek olduğu hallerde bile wavelet dönüşümleri yeterliliklerini kanıtlamıştır. Fourier dönüşümü kullanarak 350Hz lik frekans bileşeni incelenmek istenirse, seçilen pencere aralığı bu frekans bileşenini içerisine katacak şekilde olmalıdır. Bu yüzden genellikle röleler temel frekans bileşenleri üzerine kuruludur. Transformator korumada diferansiyel röleler arızanın varlığını ortaya koymak amacıyla sadece temel frekans bileşenini hesaplamakta ve karşılaştırmaktadır.

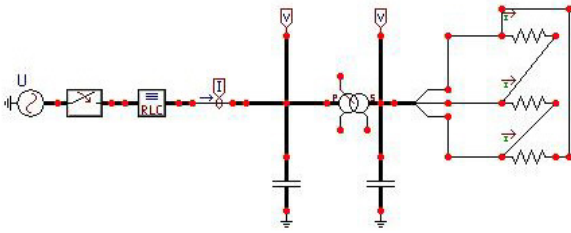


Şekil 1. Birinci dereceden Daubechies 5 ölçek ve wavelet fonksiyonu

Uygun wavelet fonksiyonun seçimi önemlidir. Bu çalışmada Daubhecies 5 ana wavelet fonksiyonu ani mıknatıslanma akımının analizinde kullanılmıştır. Daubhecies wavelet'leri sonucunda elde edilen ayrışım dik olup, sinyalin yeniden yapılandırılmasına da olanak sağlamaktadır.

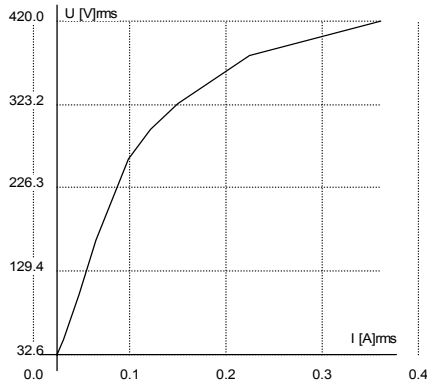
### 3. ATP-EMTP BENZEŞİMİ ve SONUÇLAR

Üç fazlı transformatörlerde ani mıknatıslanma akımı 3 faz sargılarının bağlantılarıyla, çekirdeğin akı yoluna, kalıcı akının genliğine ve yönüne bağlıdır. Bunlara ek olarak üç faz geriliminin başlangıç faz açlarına ( $\delta$ ) da bağlıdır. Bu yüzden 3 fazlı transformatörlerin ani mıknatıslanma akımlarının analizi tek fazlı transformatörünkünden daha karmaşıktır. Bilinmektedir ki, mıknatıslanma akımı çift numaralı harmonikler bakımından oldukça zengin olup, arıza akımı ise sadece temel frekans bileşenine ve azalan dc bileşene sahiptir. ATP-EMTP kullanarak 3 fazlı deneysel transformatörün benzeşimi için Şekil (2)'deki devre kullanılmıştır.



Şekil 2. 3 fazlı deneysel transformatörün (Yy0) ani mıknatıslanma akımı benzeşimi. (2100VA, 220/55/55V,  $N_1=213$ ,  $N_2=53$ ,  $B=1T$ ,  $S=30cm^2$ , 50Hz)

Bu benzeşimde akı – akım karakteristiğini temsilen  $I_{etkin}$  ve  $V_{etkin}$  değerleri kullanılmış olup, doyma eğrisi Şekil (3)'de görülmektedir.



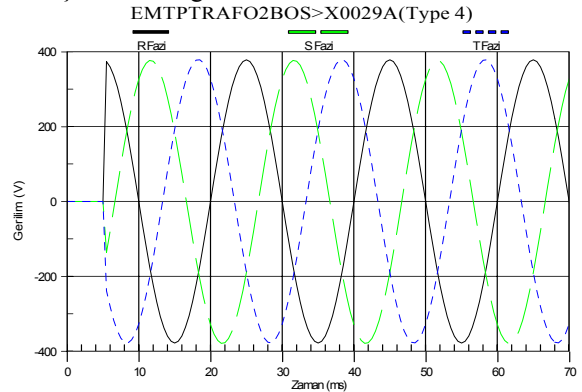
Şekil 3. Model transformatörün doyma karakteristiği

Şekil (1)'deki benzeşim şemasından da görüldüğü gibi, 3 fazlı ideal gerilim kaynağı 3 fazlı bir anahtar yardımıyla istenilen zaman aralığında etkin hale getirilebilmektedir. Anahtarın oluşturacağı sayısal osilasyonlardan korunmak amacıyla her faza R yükleri ve gerilim ölçme kollarına ise C sığaçları eklenmiştir.

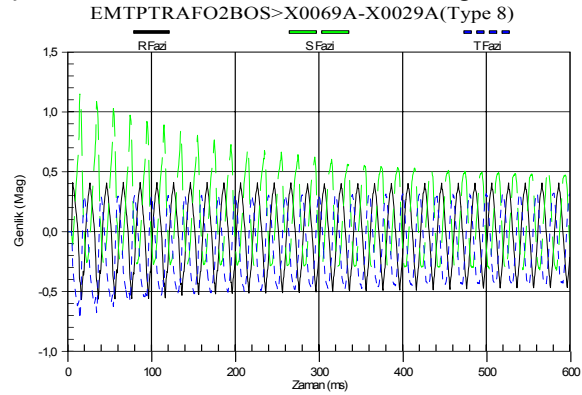
Örnekleme frekansı 2000Hz olup, periyot başına 40 örnek alınmıştır. Boşta çalışmayı simgelemek amacıyla ikincil yan üçgen bağlı  $500\Omega$ 'luk direnç yüküne bağlanmıştır. Elde edilen birincil yan akım örnekleri Daubechies 5 ayrık wavelet fonksiyonu ile alçak (A) ve yüksek (D) frekans bileşenlerine ayrılmıştır. Yapılan analizlerde birinci dereceden çözümüleme kullanılmış ve D katsayılarının değişimi ile ani mıknatıslanma akımı karakterize edilmiştir. Ana sinyalin yeniden yapılandırılmasında denklem (6) kullanılmıştır ve yapılan hata oldukça küçüktür.

$$S = A^1 + D^1 \quad (6)$$

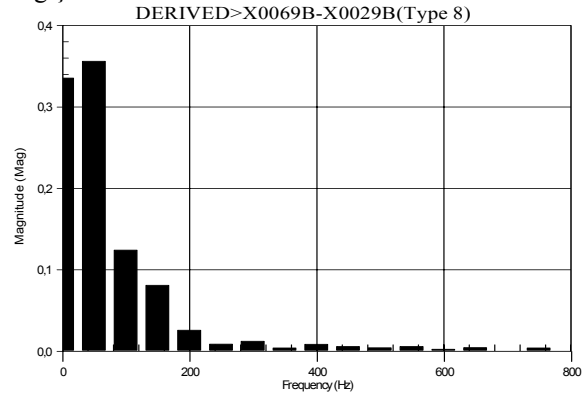
Yukarıdaki denklemde S yeniden yapılandırılan sinyal, üst indis 1 ise 1. dereceden ayrık wavelet dönüşümünü simgelemektedir.



Şekil 4.  $t=5ms$  ve  $\delta = 0^\circ$  anında besleme gerilimi



Şekil 5.  $t=5ms$  ve  $\delta = 0^\circ$  anında faz akımlarının değişimi



Şekil 6. B fazı genlik spektrumu (Fourier + dikkörtgen pencereleme)

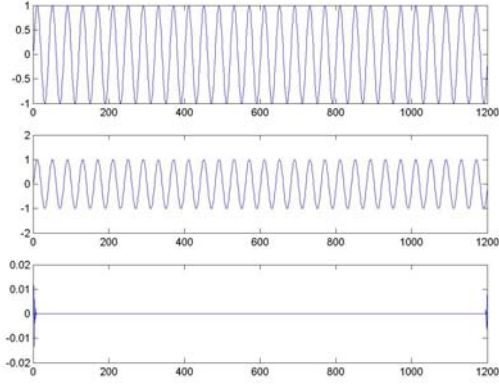
Daubechies 5 ölçek ve wavelet fonksiyonları kullanılarak model transformatörünün birincil akımları analiz edildi. Elde edilen sonuçlar 50Hz lik saf bir sinüs fonksiyonu ile karşılaştırıldı. Bu karşılaştırma sonucunda ani mıknatıslanma akımının varlığı oldukça hassas elde edildi. Çok değişik enerjilenme anlarında ve faz açılarında bir dizi üretilen veriler incelendiğinde her koşulda wavelet tekniği kullanılarak yapılan geçici analizlerde mıknatıslanma akımı karakterize edilmeye çalışıldı. Yukarıdaki örnekte her üç faz akımı denklem (6) kullanılarak yeniden yapılandırıldığında elde edilen en büyük hatalar şöyledir:

R fazı için =  $3.7215e-013$

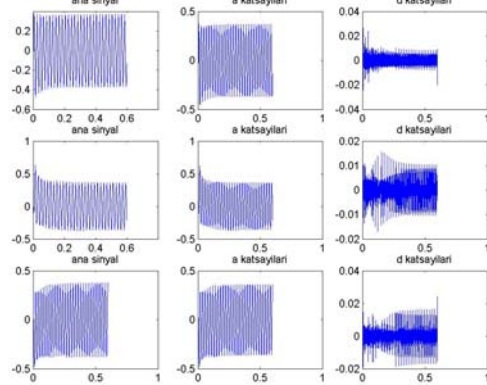
S fazı için =  $3.9335e-013$

T fazı için =  $2.8660e-013$

Görülmektedir ki, faz akımlarının yeniden yapılandırılma işlemi sonucunda elde edilen hatalar oldukça düşüktür. Şekil (7)'de 50Hz lik 1200 örnek alınmış saf bir sinüs fonksiyonun ayrık wavelet dönüşümü, Şekil (8)'de ise model transformatörün 5ms ile 600ms aralığındaki ani mıknatıslanma akımının ayrık wavelet dönüşümleri görülmektedir.



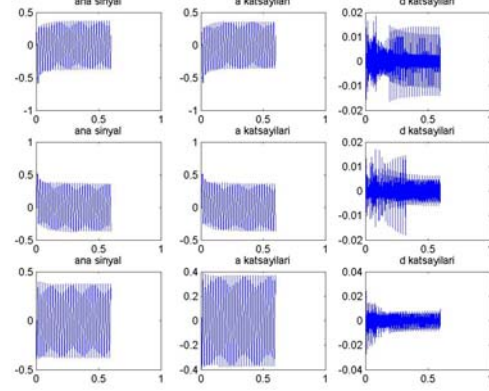
Şekil 7. 50Hz temel frekansta saf bir sinüs ve wavelet dönüşümü



Şekil 8. Model transformatörün ani mıknatıslanma akımının wavelet dönüşümleri

Her iki Şekil 7 ve 8 incelendiğinde, sinyalde saf sinüs fonksiyonunun yüksek frekanslı (D) katsayılarının

değişimleri çok düşük seviyelerde kalmasına karşın, ani mıknatıslanma akımı durumunda model transformatörün D katsayılarında kayda değer bir değişim söz konusudur. Ani mıknatıslanma süreci son bulduğunda bu katsayılarında genliği düşük seviyelere inmektedir.



Şekil 9.  $t=0.005sn$  ve  $\delta = 45^\circ$  iken ani mıknatıslanma akımının incelenmesi

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada güç transformatörlerinin ani mıknatıslanma akımının analizi için wavelet tekniği önerilmiş olup, laboratuvar şartlarında yapılan deneysel çalışmalarda oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Yapılan çalışmalarda Daubechies ölçek ve wavelet fonksiyonları kullanılmış olup çok hassas sonuçlar elde edilmiştir.

Ayrık wavelet dönüşümü sonucunda elde edilen yüksek frekans katsayılarının yorumlanması amacıyla uygun bir istatistiksel yöntem (Maksimum Likelihood Yaklaşımı) seçilebilir. Bu yapılan çalışma, önceden kayıtlı veriler üzerine kurulmuştur. Sayısal işaret işleyiciler kullanarak gerçek zamanlı analizler de yapılabilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Pei Liu, O.P. Malik, Deshu Chen, G.S. Hope, Yong Guo, Improved Operation of Differential Protection of Power Transformers for Internal Faults, IEEE Trans on PWRD, Vol. 7, No. 4, October 1992
- [2] T.S. Sidhu, M.S. Sachdev, On Line Identification of Magnetizing Inrush and Internal Faults in The Three-Phase Transformers, IEEE Trans on PWRD, Vol. 7, No.4, October 1992.
- [3] Arun G. Phadke, James S. Thorp, Computer Relaying For Power Systems, John Wiley & Sons INC., April 1990.
- [4] An Introduction to Wavelets(<http://www.amara.com/IEEEwave/IEEEwavelet.html>) ,IEEE Computational Science and Engineering, Summer 1995, Vol.2, No.2.
- [5] Chan Tat Wai, Xia Yibin and Qi Li, Simulation of Arcing Fault Using EMTF For Protection Studies, Journal of the Institute of Engineers Singapore, Vol. 37, No. 6, 1997, M.I.T.A. (p) No.241/10/97, ISSN 0377-7464.