

# ASENKRON MOTORLARDA STATOR SARIM KISA DEVRE ARIZALARININ ANI GÜÇ İMZA ANALİZİ İLE TESPİTİ

Ahmet KÜÇÜKER

Mehmet BAYRAK

Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

E-mail : [kucuker@sakarya.edu.tr](mailto:kucuker@sakarya.edu.tr) , [bayrak@sakarya.edu.tr](mailto:bayrak@sakarya.edu.tr)

**Özet:** Asenkron motorlarda en sık görülen arızalardan birisi stator arızalarıdır. Bu arızaların erken tespiti arızalar nedeniyle oluşacak tamir maliyetlerini azaltacak, hızlı müdahale ile üretim hatlarının işleyişindeki sorunların giderilmesini sağlayacaktır. Geçmiş dönemlerde negatif bileşenler, sıfır bileşenler yöntemleri ve motor akım imza analizi tekniği ile arıza tespiti konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada sağlam motor ve sarğı arızalı motorun Ani Güç İmza Analizinde meydana gelen bileşenler üzerinde durulmakta ve önerilen yöntem ile deneysel olarak elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Stator Arızaları, Ani Güç İmza Analizi, Motor Arıza Tespiti

## 1. Giriş

Asenkron motorlar üretim hatları ve çeşitli süreçlerin işleyişi başta olmak üzere endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Bu nedenle asenkron motorlarda meydana gelecek beklenmeyen arızalar daha büyük sorunlara neden olabilmektedir [1-3]. Ani arızalar genel olarak iç arızalar ve dış arızalar olmak üzere ikiye ayrılabilir. İç arızaları genel olarak şu şekilde sınıflandırabiliriz [4] :

- Stator sarım arızaları
- Rotor çubuğu kırığı arızaları
- Rulman arızaları
- Mekanik dengesizlik arızaları

TABLO 1  
ARIZA TÜRLERİNİN YÜZDELİK ORANLARI

Arıza Tipleri	IEEE	EPRI
Rulman Arızaları	%44	%41
Stator Arızaları	%26	%36
Rotor Arızaları	%8	%9
Diğer Arızalar	%22	%14

Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) ve Elektrik Güç Araştırmaları Enstitüsünün (EPRI) arızalar üzerine yapmış oldukları çalışmaya göre stator arızaları tüm arızalar içerisinde %26 ile %36 oranlara sahiptir (Tablo1) [1-3]. Bu arızalar termal, elektriksel, mekanik ve çevresel zorlamalar nedeniyle meydana gelmektedir. Sıcaklık artışıyla termal yaşlanma süreci hızlanır ve bu da termal zorlanmalara sebep olur. Diğer bir termal zorlanma da dengesiz faz gerilimlerine ve ortam sıcaklığına bağlı olarak sıcaklık artışıdır [5]. Yüksek nem oranı, kimyasallar, deniz kenarındaki uygulamalarda karşılaşılabilecek tuz oranı gibi etkenler çevresel zorlamalar olarak sıralanabilir. Bunların dışında çeşitli elektriksel zorlamalar da mevcuttur. Bu zorlamaları; geçici aşırı gerilimlerin olumsuz etkileri, faz-toprak, faz-faz, sarım sarım, sarım-toprak, çoklu faz-toprak arızaları, kesici açma kapamaları, kondansatör anahtarlama ve yıldırım düşmeleri olarak sıralamak mümkündür [5].

Son yıllarda, araştırmacılar stator arızalarının tespiti amacıyla çeşitli yöntemler üzerinde çalışmışlardır. Sarım-sarım arızalarında aksel manyetik akı izleme yöntemiyle 3. harmonik bileşeni arıza göstergesi olarak kullanılmıştır [6]. Stator arızaları nedeniyle motorlarda meydana gelecek empedans dengesizlikleri nedeniyle sıfır bileşenlerinin meydana geleceği söylenmektedir [7]. Diğer bir çalışmada stator sarım arızaları nedeniyle negatif bileşen akımları sayesinde tespit edildiği sunulmuştur. Ancak küçük gerilim dengesizlikleri ya da yük değişimleri de daha yüksek negatif bileşenler oluşturabilecektir ve bundan dolayı gerilim dengesizliği ve yük değişimlerinin dikkate alınması gerekmektedir [8]. Motor akım Park Vektörü tekniğine bağlı olarak stator arızası oluşması durumunda eliptiklik derecesinin artmasını inceleyen bir çalışma da ortaya konulmuştur [9]. Diğer bir çalışmada da Park Vektör yaklaşımı temelli sürekli dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Şebeke frekansının iki katında bir bileşenin ortaya çıkma durumu Park akım vektöründen elde edilmiştir [10].

Asenkron motorun kapanması anındaki uç gerilimindeki üçüncü harmoniğin çift katlarının ölçümünün izlenmesini temel alan artık harmoniklerin gözlenmesi tekniği üzerinde çalışılmıştır [11]. Stator arızaların tespitinde ani akım uzay harmonikleri yaklaşımı önerilen çalışmada bu harmoniklerin dalgalanmalarının genlikleri ve açısal hız dalgalanmalarının genlikleri üzerinde durulmuştur [12].

Motor akım imza analizi frekans analizi tabanlı en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Birçok araştırmacı ana frekansın yan bandlarının gözlenmesi üzerinde çalışmıştır [13]. Ancak, son yıllarda yapılan çalışmalarda akım imza analizi yönteminde yan bandların net bir şekilde gözlenemediği ve bu yöntemde arıza seviyelerinin belirlenmesinde sorun oluşturduğu görülmektedir [14-18].

## 2. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada asenkron motorlarda stator sarım arızalarının tespitinde ani güç imza analizi tekniği (AGİA) önerilmektedir. AGİA yöntemi motoru çeşitli yük seviyelerinde yüklenmesi durumlarında incelenmiştir.

Asenkron motorun ideal üç fazlı gerilimle beslendiğini kabul ederek;  $U_m$  faz arası gerilimin maksimum değeri,  $I_m$  faz akımının maksimum değeri,  $f_s$  şebeke frekansı,  $\varphi$  akımın başlangıç faz açısı,  $v(t)$  herhangi iki faz arası gerilim ve  $i(t)$  bu fazlardan herhangi birinin akımı olmak üzere (1),(2) denklemleriyle verilebilir.

$$v(t) = U_m \cos(2\pi f_s t) \quad (1)$$

$$i(t) = I_m \cos(2\pi f_s t - \varphi) \quad (2)$$

Ani güç denklemleri  $p_0(t)$  (3), (4) ile verilmektedir.

$$p(t) = v(t).i(t) \quad (3)$$

$$p_0(t) = \frac{\sqrt{3}}{2} U_m I_m [\cos(2\pi(2f)t - \varphi) + \cos(\varphi)] \quad (4)$$

Üç fazın ani akım ve gerilimleri ölçülerek üç fazlı ani güç toplamı denklem (5) ile gösterilmektedir.

$$p_{tot} = v_1(t)i_1(t) + v_2(t)i_2(t) + v_3(t)i_3(t) \quad (5)$$

Stator arızalarının akım spektrumunda oluşturduğu karakteristik temel frekans yan band bileşenleri  $f_{scf}$  ile ifade edilmekte ve denklem (6) ile verilmektedir [16].

$$f_{scf} = f_s \left( k \pm \frac{n}{p/2} (1-s) \right) \quad (6)$$

$f_s$  şebeke frekansı,  $s$  kayma,  $p$  kutup sayısı  $n, k$  değerleri ( $n=1,2,3,\dots$ ,  $k=1,3,5,\dots$ ) olmak üzere, dönme frekansı  $f_r$  şu şekilde tanımlanır :

$$f_r = \frac{1-s}{p/2} f_s \quad (7)$$

Dolayısıyla arıza karakteristiğinin akıma yansımaları denklem 8 ile ifade edilmektedir.

$$f_{scf,i} = k.f_s \pm n.f_r \quad (8)$$

$f_{scfp}$  yan band bileşenlerinden temel frekans bileşeninin sağındaki bileşeni ve  $f_{scfn}$  ise solundaki bileşeni göstermektedir. Denklem (9) ve (10) ile bu bileşenler ifade edilmektedir.

$$f_{scfp} = k.f_s + n.f_r \quad (9)$$

$$f_{scfn} = k.f_s - n.f_r \quad (10)$$

Akımda beliren bu arıza karakteristiklerinin ani güç spektrumuna yansımaları  $f_{scf,p}$  karakteristik bileşenlerini oluşturmaktadır ve denklem (11) ile ifade edilmektedir;

$$f_{scf,p} = 2.k.f_s \pm n.f_r \quad (11)$$

Stator sarım kısa devre arızası durumunda  $I_{scfp}$ ;  $(k.f_s + n.f_r)$  frekans bileşeninin maksimum değeri ve  $\alpha_{scfp}$  aynı bileşen için faz açısı,  $I_{scfn}$ ;  $(k.f_s - n.f_r)$  frekans bileşeninin maksimum değeri  $\alpha_{scfn}$  aynı bileşen için faz açısı olmak üzere motor akımı  $i_{scf}$ , aşağıdaki biçimde gösterilmektedir;

$$i_{scf}(t) = \left\{ \begin{array}{l} I_m \cos[2\pi ft - \theta] + \\ \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ I_{scfp} \cos[2\pi f_{scfp}t - \alpha_{scfp}] + \right. \\ \left. I_{scfn} \cos[2\pi f_{scfn}t - \alpha_{scfn}] \right\} \end{array} \right\} \quad (12)$$

Stator sarım kısa devre arızası durumunda ani güç denklem (13) ile verilmektedir [16, 17].

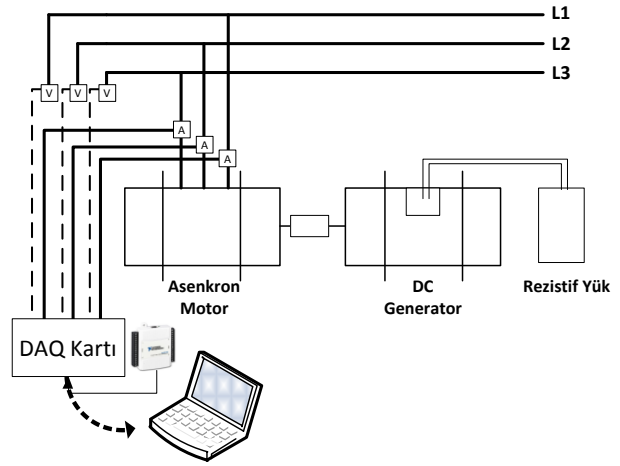
$$p(t) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{3}}{2} U_{m1} I_{m1} [\cos[2(2\pi f)t - \varphi] + \cos \varphi] + \\ \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ U_{m1} I_{scfn} \left[ \cos \left[ \frac{2k(2\pi f_s)}{n(2\pi f_r)} t - \varphi_{scfn} \right] \right. \right. \\ \left. \left. + \cos [n(2\pi f_r)t + \varphi_{scfn}] \right] \right. \\ \left. + U_{m1} I_{scfp} \left[ \cos \left[ \frac{2k(2\pi f_s)}{n(2\pi f_r)} t - \varphi_{scfp} \right] \right. \right. \\ \left. \left. + \cos [n(2\pi f_r)t - \varphi_{scfp}] \right] \right\} \end{array} \right\} \quad (13)$$

Bu bağıntıdan da görüldüğü üzere sarım kısa devre arızalarında ani güç spektrumunda yeni bileşenler oluşmaktadır. Bu bileşenlerin ani güç imza analizi yöntemiyle gözlenerek asenkron motorlarda sarım kısa devre arızalarının varlığı belirlenmektedir.

### 3. Deneysel Çalışmalar

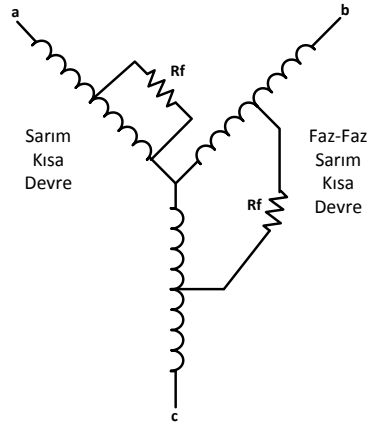
Asenkron motorun stator arızalı durumların tespitinin hem boşta çalışma esnasında hem yüklenme esnasında deneysel olarak gerçekleştirilmesi amacıyla Şekil 1 ile verilen deney sistemi kurulmuştur. Deneysel çalışmalar 3kW, 220/380V, 4 kutuplu sincap kafesli özel olarak sardırılmış asenkron motor üzerinde yapılmıştır. Mekanik yüklenme rezistif yük ile yüklenen bir DC generatör ile sağlanmıştır. DC uyarım akımı ve yük dirençleri kontrol edilebilmektedir ve bu sayede deneysel çalışmalar çeşitli yüklenme koşullarında yapılmıştır.

Tüm deneysel çalışmalarda stator sargıları yıldız bağlanmıştır ve kısa devre arızası yapılması esnasında stator sargılarının tamamen yanmasını ya da zarar görmesini engellemek amacıyla stator kısa devre akımını sınırlayacak şekilde direnç üzerinden arıza oluşturulmuştur.



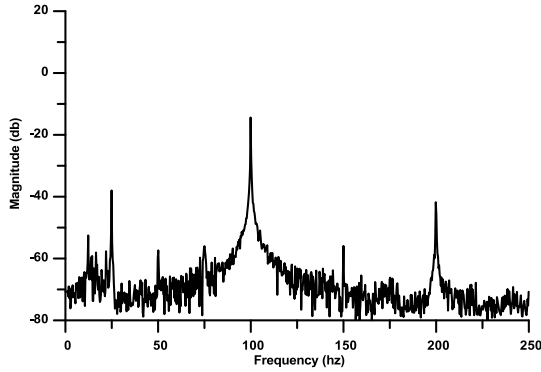
Şekil 1. Deneysel Sistemi

Veriler Labview yazılımı ve veri toplama kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Deneysel sonuçlar Şekil 3 ile gösterilen motorun sağlam olması durumu, tek fazda kısa devre arızası durumu ve faz-faz sarım kısa devre arızası durumu için elde edilmiştir.

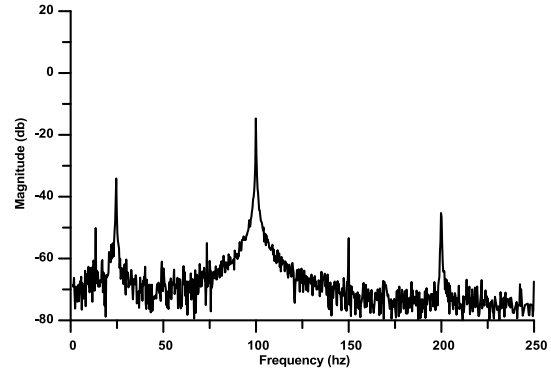


Şekil 2. Stator Kısa Devre Arızalarının Yapılışı

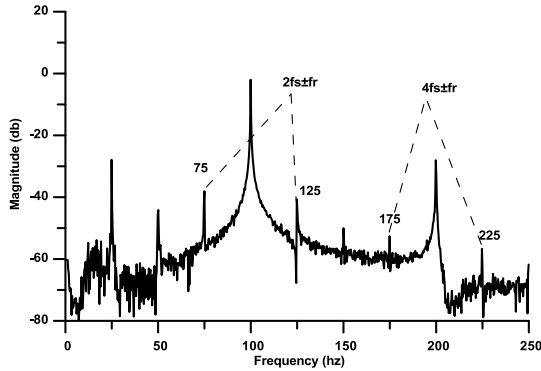
Şebeke frekansında boşta çalışmakta olan 4 kutuplu bir asenkron motorda ani güç imza analizinde sağlam durumda ortaya çıkmayan ve k=1 and k=2 durumları için denklem 11'den teorik olarak da elde edilmiş olan 75Hz, 125Hz, 175Hz, 225Hz bileşenleri gözlenmektedir. Sağlıklı motorun yüksüz haldeki ani güç imza analizi Şekil 4'de görülmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6'dan stator arıza frekanslarındaki artış her iki arıza durumu için de belirgin olarak gözlenebilmektedir.



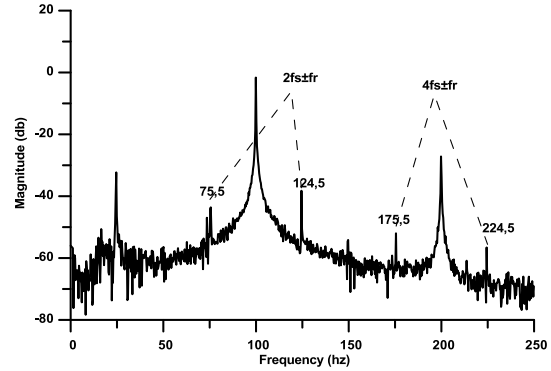
Şekil 4. Sağlam Durum AGIA – Yüksüz



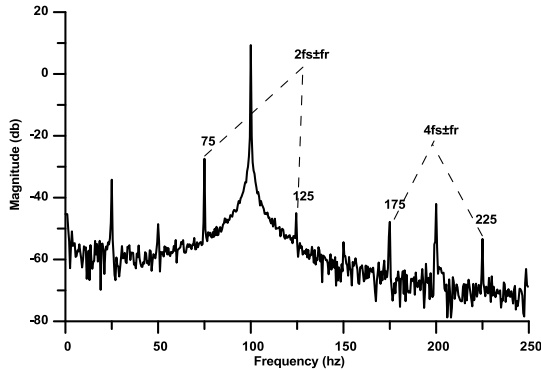
Şekil 7. Sağlam Durum AGIA – %50 Yüklü



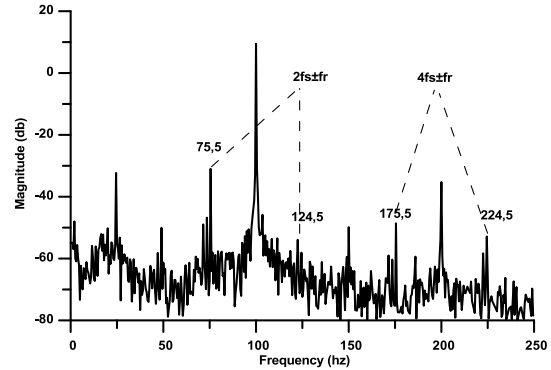
Şekil 5. Stator Sarım Kısa Devresi AGIA – Yüksüz



Şekil 8. Stator Sarım Kısa Devresi AGIA – %50 Yüklü



Şekil 6. Stator Sarım Faz-Faz Kısa Devresi AGIA – Yüksüz



Şekil 9 Stator Sarım Faz-Faz Kısa Devresi AGIA – %50 Yüklü

Şekil 8 ve Şekil 11 stator sarım kısa devre ani güç imza analizinin % 50 ve % 100 yüklenme durumlarını göstermektedir. Ani güce yansıyan yan bant frekansları belirgin olarak görülmektedir. Şekil 9 ve Şekil 11 stator sarım faz-faz kısa devre arızası ani güç imza analizinin %50 ve %100 yüklenme durumlarını göstermektedir.

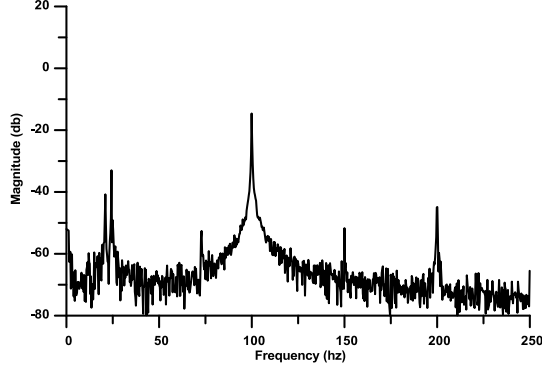
Farklı yüklenme koşulları altında,  $k=1$ ,  $k=2$  ve  $s=0,02$  değerleri kullanılarak denklem 11 ile elde edilen 75,5Hz, 124,5Hz, 175,5Hz, ve 224,5Hz frekans bileşenleri ani güç imza analizinde gözlenmektedir. 100 Hz bileşenlerindeki artış da şekillerden görülmektedir ancak bu artış dengesiz gerilim nedeniyle de oluşabileceğinden stator arızalarında ayırt edici bir bileşen olarak kabul edilmesi doğru olmayacaktır.

## Sonuçlar

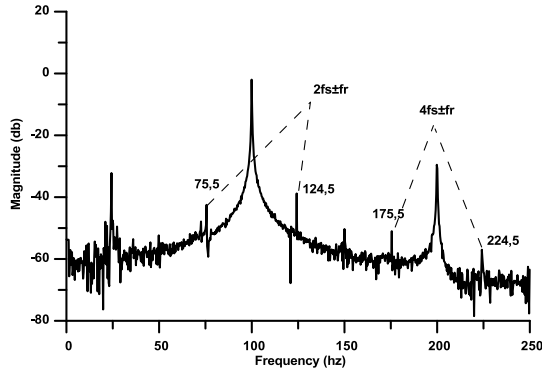
Üç fazlı asenkron motorlar üzerinde yapılan çalışmalarda önerilen yöntemin etkinliği gösterilmiş olup, teorik hesaplamalar deneysel sonuçlar ile doğrulanmıştır.

Sonuç olarak, asenkron motorlardaki stator sarım kısa devre arızaları ani güç ölçümlerini kullanan daha basit ve düşük maliyetli bir yöntem ile tespit edilebilmiştir. Stator sarım arızasının varlığı ani güçte beliren özel arıza frekanslarının genliklerindeki artıştan tespit edilmektedir. Faz-Faz sarım kısa devre arızasının genlik değerlerinin faz kısa devre arızalarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

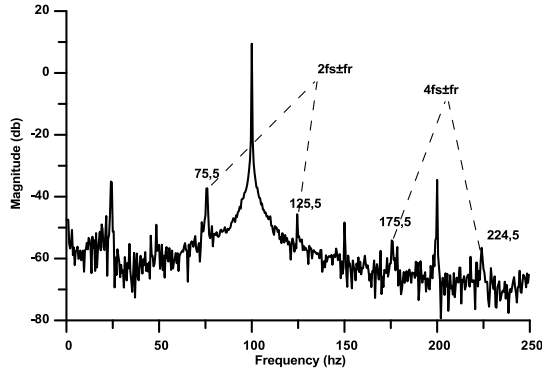
Önerilen yöntemde arıza karakteristiklerini ifade eden bileşenlerin belirgin olarak ön plana çıkarılmasının yanı sıra gerilim dengesizliklerinde meydana gelecek bileşenlerden farklı bileşenlerin izlenmesi gerekliliğini de ortaya koymuştur.



Şekil 10. Sağlam Durum AGIA –%100 Yüklü



Şekil 11. Stator Sarım Kısa Devresi AGIA – %100 Yüklü



Şekil 12. Stator Sarım Faz-Faz Kısa Devresi AGIA – %100 Yüklü

## Kaynaklar

- [1] IAS Motor Reliability Working Group, Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installations, Part I, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 21, no. 4, pp. 853-864, July-August 1985.
- [2] IAS Motor Reliability Working Group, Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installations, Part II, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 21, no. 4, pp. 865-872, July-August 1985.
- [3] IAS Motor Reliability Working Group, Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installations, Part III,

*IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 23, no. 1, pp. 153-158, January-February 1987.

[4] Bayrak, M.; Kucuker, A.; , "Detection of rotor bar corrosion in three phase asynchronous motors using wavelet analysis," *Modern Electric Power Systems (MEPS)*, 2010 Proceedings of the International Symposium, pp.1-5, 20-22 Sept. 2010

[5] Grubic, S.; Aller, J.M.; Bin Lu; Habetler, T.G.; , "A Survey on Testing and Monitoring Methods for Stator Insulation Systems of Low-Voltage Induction Machines Focusing on Turn Insulation Problems," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* , vol.55, no.12, pp.4127-4136, Dec. 2008

[6] Toni, K.; Slobodan, M.; Aleksandar, B.; , "Detection of Turn to Turn Flux Faults in Stator Winding with Axial Magnetic Flux in Induction Motors," *Electric Machines & Drives Conference, 2007. IEMDC '07. IEEE International* , vol.1, no., pp.826-829, 3-5 May 2007

[7] Briz, F.; Degner, M.W.; Garcia, P.; Dicz, A.B.; , "Induction machine diagnostics using zero sequence component," *Industry Applications Conference, 2005. Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005* , vol.1, no., pp. 34- 41 Vol. 1, 2-6 Oct. 2005

[8] Bakhri, S.; Ertugrul, N.; Soong, W.L.; Arkan, M.; , "Investigation of negative sequence components for stator shorted turn detection in induction motors," *Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2010 20th Australasian* , vol., no., pp.1-6, 5-8 Dec. 2010

[9] A. J. M. Cardoso, S. M. A. Cruz and D. S. B. Fonseca, "Inter-Turn Stator Winding Fault Diagnosis in Three-Phase Induction Motors, by Park's Vector Approach," *IEEE Trans. Energ. Conv.*, vol. 14, no. 3, Sep. 1999, pp. 595-598.

[10] Spyropoulos, D.V.; Mitronikas, E.D.; , "Induction motor stator fault diagnosis technique using Park vector approach and complex wavelets," *Electrical Machines (ICEM), 2012 XXth International Conference on* , vol., no., pp.1730-1734, 2-5 Sept. 2012

[11] Nandi, S.; , "Detection of Stator Faults in Induction Machines Using Residual Saturation Harmonics," *Industry Applications, IEEE Transactions on* , vol.42, no.5, pp.1201-1208, Sept.-Oct. 2006

[12] Crăciunescu A., Ciumbulea G., Media M. ; "Stator Winding Fault Diagnostic of Induction Motor Using Instantaneous Currents' Space Phasor Approach," *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, R. 88 NR 1a/2012.

[13] Thomson, W.T.; , "On-line MCSA to diagnose shorted turns in low voltage stator windings of 3-phase induction motors prior to failure," *Electric Machines and Drives Conference, 2001. IEMDC 2001. IEEE International* , vol., no., pp.891-898, 2001

[14] M. Zagirnyak, D. Mamchur, A. Kalinov; " Comparison of induction motor diagnostic methods based on spectra analysis of current and instantaneous power signals" *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, R. 88 NR 12b/2012.

[15] Legowski, S.F.; Sadrul Ula, A.H.M.; Trzynadlowski, A.M.; "Instantaneous power as a medium for the signature analysis of induction motors," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol.32, no.4, pp.904-909, Jul/Aug 1996

[16] Gandhi, A.; Corrigan, T.; Parsa, L.; , "Recent Advances in Modeling and Online Detection of Stator Interturn Faults in Electrical Motors," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.58, no.5, pp.1564-1575, May 2011

[17] Zhenxing L., Xianggen Y., Zhe Z., Deshu C., Wei C. , "Online rotor mixed fault diagnosis way based on spectrum analysis of instantaneous power in squirrel cage induction motors," *Energy Conversion, IEEE Transactions on* , vol.19, no.3, pp. 485- 490, Sept. 2004

[18] Treerong J., " Fault Detection of Electric Motors Based on Frequency and Time-Frequency Analysis using Extended DFT", *International Journal of Control & Automation*, Vol. 4 Issue 1, p49, March 2011