

ELEKTRİK MOTORLARINDA AKIM İŞARETLERİNİ KULLANARAK DALGACIK VE SPEKTRAL ANALİZ YÖNTEMLERİNİN BİRLEŞİMİ İLE ARIZA TANISI

Emine AYAZ¹ Serhat ŞEKER¹ Erdiñç TÜRKCAN¹ Burak BARUTÇU²

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik-Elektronik Fakültesi

²Enerji Enstitüsü,

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

¹e-posta: ayaz, seker, eturkcan@elk.itu.edu.tr

²e-posta: barutcu@nukleer.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Dalgacık Analizi, Spektral Analiz, Arıza Tanısı, Stator Akımları

ÖZET

Bu çalışma ile spektral ve dalgacık analizlerine dayalı karşılaştırmalı güç spektrumu yöntemi geliştirilmiş olup, yöntem motor akımlarının analizinde kullanılmıştır. Bu yolla rulman arızasına dayalı olarak rotor eksenel bozukluğu, akım işaretleri üzerinde dönme frekansının kuvvetlendirilmesi neticesinde kolayca belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

Son senelerde elektrik motorlarındaki arıza tanısı bakımından yapılan çalışmaların daha çok motor akımlarının spektral analizi ile rotor kafes çubuklarının durumu ve stator sargıları üzerine yoğunlaştığı görülmüştür [1]. Literatürdeki çalışmalar göstermiştir ki, endüstriyel süreçlerde sıkça kullanılan güç elektroniği sürücü devrelerinin oluşturduğu milden geçen akımlar, rulman arızalarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur [2,3]. Rulman arızası, rotor dengesizliği, mil hizalama kusuru (misalignment) gibi mekanik bozukluklarda motor titreşim işaretlerinin spektral analizlerinden arıza belirlemeleri gerçekleştirilmiştir [4]. Ancak, son senelerde bilgisayar teknolojisinin gelişimi ve buna paralel olarak ileri işaret işleme yöntemlerinin ortaya çıkması ile konu farklı yaklaşımlarla ele alınabilmektedir. Bu anlamda güncel uygulamalar arasında sayılabilecek çalışmalar, daha çok dalgacık analizi [5], yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi bilgi işleme (information processing) konusunu kullanacak şekilde ortaya çıkmıştır.

2. SPEKTRAL ANALİZ VE DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ

Bu bölümde Güç Spektrumu Yoğunluğu (GSY) ve Çok Çözünürlüklü Dalgacık Analizi (ÇÇDA) yaklaşımları birleştirilerek arıza tanısında kullanımı tanıtılacaktır.

Güç Spektrumu Yoğunluğu:

Bir raslantı işaretine ait frekans bilgisini elde etmek amacıyla kullanılan yaygın olan bir yaklaşım, ayrık Fourier dönüşümü hesaplanarak o işareti frekans tanım bölgesine dönüştürmektir. N örnekli bir veri bloğu için Δf frekans çözünürlüğü ve Δt 'de örnekleme zamanı olmak üzere $m\Delta f$ frekansındaki dönüşüm

$$X(m\Delta f) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k\Delta t) \exp[-j2\pi km / N] \quad (1)$$

bağıntısıyla hesaplanır. $x(t)$ işaretinin öz güç spektral yoğunluğu (ÖGSY)'da

$$S_{xx}(f) = \frac{1}{N} |X(m\Delta f)|^2, f = m\Delta f \quad (2)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Dalgacık dönüşümü ve çok çözünürlüklü analiz :

$L^2(R)$ sonlu enerjili işaretler için bir vektör uzayını göstermek üzere, $x(t)$, $L^2(R)$ uzayında tanımlanan bir işaret olsun. Burada R gerçel sayılar kümesidir. Bu durumda sonlu enerjili işaretler

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt < \infty \quad (3)$$

bağıntısını sağlarlar ve $x(t)$ 'nin sürekli dalgacık dönüşümü de

$$CWT_{\psi} x(a,b) = W_x(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{a,b}^*(t) dt \quad (4)$$

olarak tanımlanır. İntegral içindeki $\psi_{a,b}(t)$ fonksiyonu ise, normalize edilmiş olarak

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (5)$$

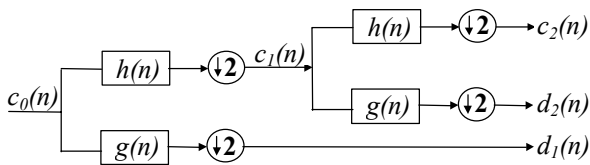
şeklinde verilebilir. Burada $\psi(t)$ baz fonksiyonu ya da ana dalgacı, * sembolü kompleks eşleniği ve a, b parametreleri ise $a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$ olmak üzere sırasıyla genişleme ve öteleme parametrelerini gösterir. Sürekli genişleme ve öteleme parametreleri yerine, $a = a_0^m$, $b = nb_0 a_0^m$ şeklindeki ayrık parametreleri tanımlamak mümkündür. Burada a_0, b_0 sabit sayılar olup, $a_0 > 1$, $b_0 > 0$ koşullarını sağlar. Ayrıca m, n sayıları da, Z tam sayılar kümesinin elemanlarını oluşturur. Bu durumda ayrıklaştırılmış ana dalgacık

$$\psi_{m,n}(t) = a_0^{-m/2} \psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (6)$$

haline gelir ve ayrık parametrelili dalgacık dönüşümü

$$DWT_{\psi} x(m, n) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{m,n}^*(t) dt \quad (7)$$

ile verilir. a_0, b_0 'ın uygun seçimiyle ana dalgacık ailesi $L^2(\mathbb{R})$ 'nin ortonormal bazını oluşturur. a_0 ve b_0 'ın uygun seçimleri $a_0 = 2$ ve $b_0 = 1$ değerleri için dalgacık dönüşümü, diadik-ortonormal dalgacık dönüşümü adını alır. Bu durumdaki ortonormal bazın önemli özelliklerinden birisi ise a_0 ve b_0 'ın yukarıdaki gibi seçimiyle, işareti farklı zaman ve frekans çözünürlüklü ölçeklere ayırtmayı sağlayan ve *çok çözünürlüklü dalgacık analizi (ÇÇDA)* denilen algoritmanın kullanılabilmesidir. Bu çalışmadaki uygulamanın ana konusunu oluşturan *çok çözünürlü işaret ayrıştırması* ise aşağıdaki gibi şu şekilde verilir: $c_0(n)$, fiziksel bir ölçme cihazından kaydedilen bir ayrık zaman işareti olsun. Bu işaret, yaklaşım ve detay gösterimi denilen iki ayrı frekans aralığına ayrıştırılabilir. Bu anlamda çok çözünürlü işaret ayrıştırma tekniği kullanılarak ölçek 1'de ayrıştırılmış işaretler $c_1(n)$ ve $d_1(n)$ olur. Bu durumda $c_1(n)$, orijinal işaretin yaklaşım versiyonunu ve $d_1(n)$ 'de, işaretin dalgacık dönüşümü formundaki detay gösterimini oluşturur.



Şekil 1. $c_0(n)$ 'nin 2 ölçeğe ayrıştırılması.

Altbant analizlerinden GSY'nun oluşturulması

İşaretlerin dalgacık analizi vasıtasıyla yeniden kazanılması aşağıdaki eşitlik ile verilebilir.

$$y = c_n + \sum_{i=1}^n d_i, \quad n=8 \quad (\text{Bu uygulamada}). \quad (8)$$

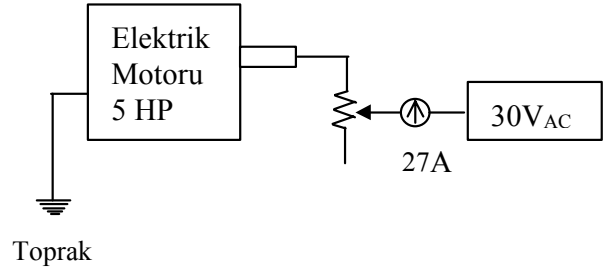
Benzer şekilde, yeniden kazanılmış bu işaretin her bir bileşenine ait *Güç Spektrumu Yoğunlukları*'nın da (GSY) hesaplanması ile, GSY'lerden oluşan bu yeni birleşim, işaretin spektral değişimi anlamında aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$GSY\{y\} = GSY\{c_n\} + \sum_{i=1}^n GSY\{d_i\} \quad (9)$$

3. YAPAY ARIZA OLUŞTURMA

Bu çalışmada rulman arızasına sebep olan elektriksel boşalmanın benzetimi için aşağıdaki gibi bir deney düzeneği oluşturularak yapay rulman arızaları oluşturulmuştur.

Şekil 2'den de görüldüğü gibi şafta dışarıdan 27 A'lık bir akım uygulanmıştır. Bu şekildeki rulman eskitmesinin yanı sıra ayrıca yedi aşamada uygulanan termal ve kimyasal eskitme süreçleri de gerçekleştirilmiştir. Her süreçten sonra eskime hızlanmış ve motor bir test platformu üzerinden başarımlar (performans) testinden geçirilmiştir. % 0–115'lik yük altında gerçekleştirilen başarımlar testinde rulman arızasının analizinde kullanılacak olan akım ve titreşim verileri 10s'lik süreler için 12 kHz örnekleme frekansı ile örneklenmiştir.

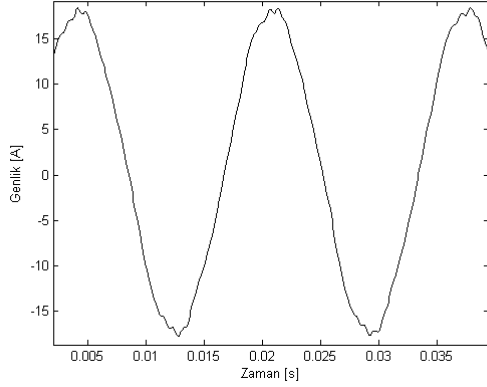


Şekil 2. Rulman eskitmesi.

4. STATOR AKIMLARININ ANALİZİ

5 HP'lik 3 fazlı, 4 kutuplu asenkron makinanın yedi eskime süreci sonrasında motor performans testi yapılmıştır. Bunun sonucunda %100 yük altında her bir eskime süreci ile birlikte sağlam durumu da içerecek şekilde toplam 8 aşamadan oluşan, 12 kHz'lik örnekleme frekansına sahip akım işareti bir fazdan alınmıştır. Toplam 10 s'lik ölçme sonunda elde edilen bu akım işareti, bu çalışmanın dalgacık analizi kısmı için kullanılmıştır. Bu amaçla bir faz akım işareti, Tablo 1'de verildiği gibi 8 ayrı seviyede frekans alt bantlarına ayrılmıştır.

Bozuk duruma karşı gelen akım işaretinin dalga şekli çok kısa zaman aralığında aşağıdaki gibi verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi akım saf sinüzoidal durumdan uzaklaşmış olup, üzerinde rotor eksenal bozukluğunu temsil eden bozucu etkiyi yansıtmaktadır.



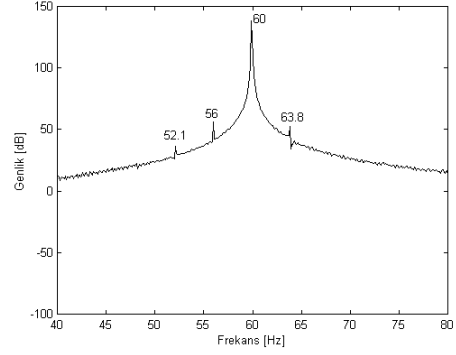
Şekil 3. Bozuk durum için motor akım işaretinin değişimi.

Tablo 1. Akım işaretlerinin frekans alt bantları

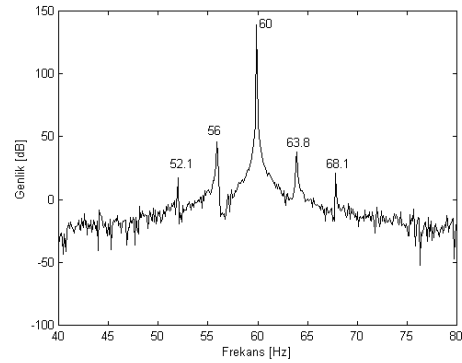
Yaklaşımlar (a)	Alt bantlar (a) [Hz]	Detaylar (d)	Alt bantlar (d) [Hz]
a1	0 – 3000	d1	3000 – 6000
a2	0 – 1500	d2	1500 – 3000
a3	0 – 750	d3	750 – 1500
a4	0 – 375	d4	375 – 750
a5	0 – 187.5	d5	187.5 – 375
a6	0 – 93.75	d6	93.75 – 187.5
a7	0 – 46.88	d7	46.88 – 93.75
a8	0 – 23.44	d8	23.44 – 46.88

Analizde kullanılan dalgacık tipleri Shannon entropi fonksiyonu şeklinde tanımlanmış enerji fonksiyonunun minimize edilmesiyle saptanmış olup, sağlam durumda s0 verisi için Deubechies-20, yedinci eskitme aşaması sonucunda elde edilen s7 verisi için ise Deubechies-15 dalgacık tipleri kullanılmıştır.

Motor akımlarının dar bir aralıktaki GSY değişimleri de aşağıdaki gibi belirtilerek, arızalı duruma ilişkin yan-bant etkilerinin durumu gösterilmiştir.



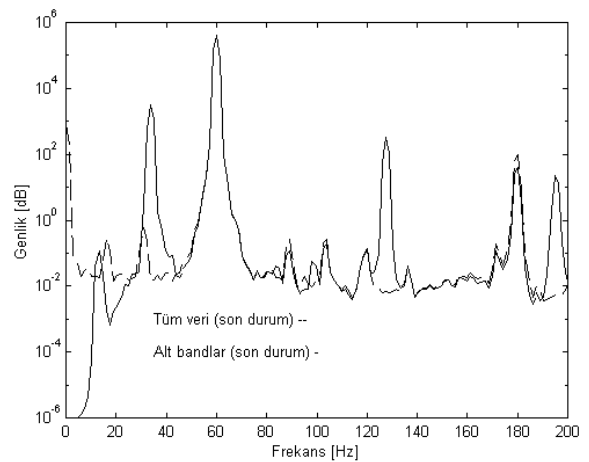
a)



b)

Şekil 4. Motor akım işaretlerinin GSY değişimleri a) Sağlam durum, b) Bozuk durum.

Buradaki yan-bant genliklerindeki artım, rulman arızasına ilişkin rotor eksenal bozukluğunu işaret etmektedir. Bu bozukluk rotor dönme frekansında, aşağıda gösterildiği gibi dalgacık analizi alt-bantlarının GSY değişiminden de elde edilebilir.



Şekil 5. Tüm veri ve alt bant birleşimleri ile bozuk durum için motor akımının GSY değişimi.

5. SONUÇLAR

Bu şekilde elde edilmiş yeni spektral değişim ile tüm verinin GSY değişimi ve alt-bant GSY değişimleri arasındaki karşılaştırma kolaylıkla yapılabilir. Böylece, yapılan bu karşılaştırma sonucunda özellikle motor dönme frekansındaki genlikte önemli bir kuvvetlendirmenin ortaya çıktığı saptanmıştır. Bu ise rotor dengesizliğini belirlemede dalgacık analizinin ortaya çıkarttığı önemli bir özelliktir. Dönme frekansındaki bu farklılık, rulman arızası ile ilişkilendirilebilir [1,4]. Buna ilişkin daha somut bir kanıt akım işaretlerinin yan-bant etkilerinden de elde edilebilir. Sonuç olarak, motor akım işaretlerinin dalgacık analizi yapılarak alt bantlara ayrılması ve bu alt bantlardan işaretin yeniden GSY değişimlerinin oluşturulması sonucu dalgacık analizinin rotor eksenel bozukluğuna ilişkin olarak 29.03 Hz'deki motor dengesizlik frekansını kuvvetlendirdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] Ayaz E., Elektrik Motorlarında Dalgacık Analizi Yaklaşımı ile Rulman Arıza Tanısı ve

Yapay Zeka tabanlı Bir Durum İzleme Sistemi, Doktora Tezi-İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2002.

- [2] Şeker S., Ayaz E., A Study on Condition Monitoring for Induction Motors Under the Accelerated Aging Processes, IEEE POWER ENGINEERING REVIEW, Vol. 22, Issue 7, July 2002.
- [3] Şeker S., Ayaz E., A Reliability Model for Induction Motor Ball Bearing Degradation, ELECTRIC POWER COMPONENTS & SYSTEMS, Vol. 31, No. 7, July 2003
- [4] Şeker S., Ayaz E., Upadhyaya B. R., Erbay A. S., Analysis of Motor Current and Vibration Signals for Detecting Bearing Damage in Electric Motors, MARCON 2000, MAINTENANCE AND RELIABILITY CONFERENCE, Knoxville, May 8-10, 2000.
- [5] Şeker S., Ayaz E., Feature Extraction Related to Bearing Damage in Electric Motors by Wavelet Analysis, JOURNAL OF THE FRANKLIN INSTITUTE (Baskıda).