

SİNCAP KAFESLİ İNDÜKSİYON MAKİNALARINDA DEĞİŞİK ROTOR OLUK DİZAYNININ OLUK HARMONİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

N. Filsun SERTELLER¹

A. Faik MERGEN²

¹Marmara Üniv., Tek. Eğt. Fak., Elek. Böl., Ziverbey Kampüsü, Göztepe/İstanbul

²İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fak., Elektrik Müh. Böl., Maslak/İstanbul

¹E-posta: fserteller@marun.edu.tr

²E-posta: mergen@elk.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Sincap Kafesli İndüksiyon Makinası, Oluk Dizaynı, Rotor Harmoniği

ÖZET

Bu çalışmada piyasada yaygın olarak kullanılan oluk tiplerinden aynı oluk yüksekliğinde, aynı kesitte değişik rotor oluk dizaynlarının harmonikler üzerine etkisi incelenmiştir. Değişik rotor tasarımları için oluk harmoniğinin frekansı, reaktansı, direnci, kayıpları ve momenti elde edilerek, bunların motor tasarım parametrelerine olan etkisi incelenmiştir. Fourier Analizi yapılarak herhangi bir harmoniğin sebep olduğu kayıp ve momentleri tek tek hesaplanmıştır. Moment ve kayıplara sebep olan en önemli harmonikler 1., 5. ve 7. harmoniklerdir. Daha yüksek mertebeli harmonikler düşük gerilim değerlerine sahip oldukları için ihmal edilmişlerdir. Harmonik kayıplar bulunduğundan sonra, bu harmoniklerin etkilerini azaltmak için matematiksel analiz hesapları verilmiştir. Teorik olarak hesaplanan makine eşdeğer parametreleri, mil gücü, moment, giriş gücü damla oluklu 4 kW 380/660 Δ/λ bağlı bir motor referans alınarak test edilmiştir. Diğer oluk dizaynları da harmonik analizi yapabilen, geliştirilmiş Microsoft Fortran Power Station programıyla hesaplanmıştır.

1. GİRİŞ

Asenkron motorlardan sincap kafesli asenkron motorlar; yapılarının basitliği, maliyetlerinin düşük, işletme güvenilirliğinin yüksek, bakım gereksinimlerinin az olması sebebiyle, piyasada çok yaygın olarak kullanılan elektrik motorlarındandır. Bu çalışmada da 4 kW Δ/λ Sincap kafesli 380/660 V, rotoru damla oluklu motor referans alınmıştır.

Makinadaki harmonik kayıplar motor performansını etkilediği gibi, bu kayıplar ek bir maliyet de getirmektedir. Rotor harmoniklerinin etkilerini ilk gösteren ve analiz eden kişi Kron'dur. Kron yayınladığı makalesinde motorun gürültüsünün ve titreşimlerinin sebebinin rotor ve stator harmonikleri olduğunu göstermiştir [5]. O günden günümüze kadar, rotor harmoniklerinin etkisini azaltmak ve hatta yok etmek için birçok makale ve bilimsel yayımlar basılmıştır.

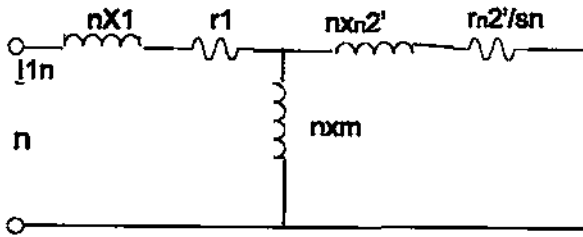
Son yapılan yayımlar; harmonik etkilerin yanında, derin oluk etkisini de detaylıca incelemektedir [2]. Özellikle kalkış anında derin oluk rotor parametreleri çok önemlidir ve bu motorun kalkış değerleri, normal asenkron motora göre daha iyidir. Derin oluklu motorun kalkış anındaki bu değerleri ticari açıdan da önemlidir. Çünkü bu tür motorlar yük altında da kalkış yapabilirler. Motor dizaynı yapılırken belli standartlara göre (NEMA, BS) belli değerler gözönüne alınsa da, ticari açıdan ve standartlarca önemli olan, maksimum verimi elde etmek için dizayn çalışmalarını geliştirmektedir.

Bu çalışmada da piyasada en çok kullanılan rotor oluk şekillerinden damla oluk, dikdörtgen oluk, trapez oluk ve daire oluk için analizler yapılmış, rotor harmoniklerinin etkisi hangi oluk için daha düşük ve dolayısıyla hangi oluk da verim daha yüksek, ortaya konulmuştur. Yapılan program aracılığıyla derin oluk etkisi açısından da sonuçları değerlendirmek mümkündür. Aynı statora sahip ve aynı demir ve sürtünme kayıpları olan bu motorlar arasında hangi motor daha verimli ve harmonik açıdan daha kullanışlı olduğu Fortran Microsoft Developing bilgisayar dili aracılığıyla oluşturulmuş bir programla analiz edilmektedir.

2. HARMONİK EŞDEĞERLİ PARAMETRELERİN HESABI

Bu çalışmada sadece rotor kısmında oluşan harmonikler ve bu harmoniklerin etkilerinin azaltılması incelenmiştir. Ancak rotor devresinde oluşan harmonikler stator devresini de etkilediği için, eşdeğer devre Şekil 1'deki gibi olur [4].

Asenkron motorda fourier analizi yapılırken mmk'nın sinüzoidal ve 0 noktasından geçen bir fonksiyon olduğu kabulü yapılmıştır. Ayrıca 3 fazlı simetrik sargılarda 3 ve 3'ün katı harmoniklerin olmayacağı bilindiği için harmonik dereceleri $n = 6k \pm 1$, $k = 0, 1, 2, 3...$ bir şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 1. Derin oluk etkisi ihmal edilmemiş harmonik eşdeğer devre.

Fourier analizine göre elde edilen eşdeğer devre Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu eşdeğer devredeki parametreler;

$$f_p = f * n \quad (1)$$

f : Şebeke frekansı
n : harmonik derecesi

$$V_n = V_{1eff} / n \quad (2)$$

V_{1eff} : 1. (temel) harmoniğin efektif gerilim değeridir. Bu kabule göre hesaplar yapılmıştır.

$$\epsilon_n = h * \sqrt{\frac{\pi \mu_0 f_n}{\rho}} \quad (3)$$

h : oluk yüksekliği (cm)
 μ_0 : boşluğun magnetik geçirgenliği = $4\pi 10^{-7}$ H/m
 f_n : n. Harmoniğin frekansı
 ϵ_n : n. Harmoniğin nüfuz derinliği

$$k_{rn} = \epsilon_n \frac{Sh(2\epsilon_n) + Sinh(2\epsilon_n)}{Ch(2\epsilon_n) - Cos(2\epsilon_n)} \quad (4)$$

$$k_{cn} = \frac{3}{2\epsilon_n} \frac{Sh(2\epsilon_n) + Sinh(2\epsilon_n)}{Ch(2\epsilon_n) - Cos(2\epsilon_n)} \quad (5)$$

k_{cn} ve k_{rn} n. harmoniğin rotor reaktansının ve direncinin derin oluk katsayılarıdır [5].

Rotor direnci

$$r_{2n} = r_{bar} * k_{rn} + 2r_k \quad (6)$$

r_{bar} : bar direnci
 r_k : kafes direnci (bar direncine indirgenmiş)

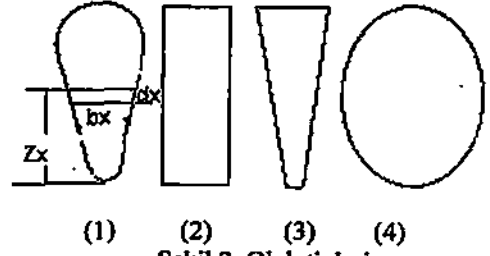
$$r_{bar} = \rho \frac{l_{bar}}{q} \quad (7)$$

l_{bar} : rotor barının uzunluğu
q : rotor bar kesiti

Aynı yöntemle rotor kafesi reaktansı da hesaplanır.

$$X_{2n} = x_{bar} * k_{cn} + 2x_k \quad (8)$$

X_k' : kafes reaktansı (bar reaktansına indirgenmiş)



Şekil 2. Oluk tipleri.

1: damla, 2: dikdörtgen, 3: trapez 4: daire oluk

X_{bar} değeri hesaplamalarında oluk değerini belirleyen oluk reaktansı için öz endüktans değeri;

$$L = \mu_0 * I * \sum_{k=1}^n Zxk^2 \frac{\Delta x}{bxk} \quad (9)$$

I : aksiyal (z eksenine doğrultusundaki) uzunluk (mm)
 b_x : x uzaklığındaki oluğun akı yolu
 Z_x : x mesafesinde kavranan iletken sayısı.

Tüm makina için L değeri $2pq$ değeri ile çarpılırsa; X_2' İrca faktörlü ile çarpılmış, rotorun statora indirgenmiş değeri:

$$X_{2n}' = n^2 * p * q * w * L \quad (10)$$

Dir. Burada X_{2n}' n. harmoniğin reaktansıdır.

$$s_n = 1 \mu \frac{(1 - s_1)}{n} \quad (11)$$

s_n : n. harmoniğin kayması
 s_1 : 1. harmoniğin kayması

Bu teorik hesaplamalara göre rotor harmonik reaktans değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Direnç değeri verilmemiştir, çünkü kesit her oluk için aynı, dolayısıyla direnç değeri de aynı olacaktır.

Tablo 1. Dört farklı oluk dizaynının harmonik reaktans değerleri

	X_{21}'	X_{25}'	X_{27}'
Damla oluk	4.688	23.38	32.655
Dikdörtgen oluk	2.693	13.43	18.756
Trapez oluk	1.628	8.123	11.344
Daire oluk	1.194	5.968	8.354

3. HESAPLAMALARDA KULLANILAN METOD

Herhangi bir harmoniğin sebep olduğu kayıp ve momentler tek tek hesaplanır. Onların toplamı makinanın performansını etkiler. Moment ve kayıplara sebep en önemli harmonikler 1., 5., 7. harmonikler olarak bilinir. Daha yüksek mertebeli harmonikler düşük gerilim değerlerine sahip olduklarından ihmal edilirler. Toplam bakır kayıpları

$$P_{\text{cu}} = P_{\text{cu1}} + P_{\text{cu5}} + P_{\text{cu7}} \quad (12)$$

(W) olarak verilir.

$$M_{\text{top}} = M_1 + M_5 + M_7 \quad (13)$$

Harmonikler tarafından üretilen toplam harmonik momentini verir.

Damla oluğun test değerleri referans alınır, eşdeğer devre parametreleri kullanılarak fourier analizi yapılırsa, damla oluğun aşağıdaki tablo değerleri elde edilir. Diğer oluklar içinde aynı analizler yöntemleri kullanılarak, aşağıdaki tablo değerleri ortaya çıkar.

Tablo 2. Dört farklı oluk için moment, harmonik kayıplar ve verim değerlerinin karşılaştırılması

	P_{cu} (W)	M_{top} (Nm)	5.har. (W)	7.har. (W)	Verim η
Damla Oluk	528.374	27.7	40.2	11.8	0.847
Dikdört Oluk	551.521	27.8	61.96	18.26	0.843
Trapez Oluk	574.554	28.9	81.9	24.22	0.839
Daire Oluk	587.381	28.9	92.72	27.33	0.837

Tablo 2'deki bu değerler; Fortran programı diliyle yapılmış bir analiz programı neticesinde ortaya çıkmıştır. Stator değerleri, rotor kesiti ve rotor oluk uzunluğu aynı olan bu dört oluk, rotor reaktans değeri değiştirilerek (arttırılarak) analiz edilmiştir.

4. SONUÇ

Tablo 2'deki sonuçlara göre; piyasada kullanılan damla oluklu makinanın, diğer oluk dizaynlarından harmonik kayıplarının düşük olması sebebiyle daha üstün olduğu açıktır. Bu oluk ayrıca verim değeri açısından da, diğer oluklardan daha iyidir. Bu oluğu izleyen oluk dikdörtgen kesitli oluktur. En son ve en kötü değerler ise rotoru daire olan, oluğa aittir. Bu olukta, kesiti dahi değiştirsek reaktans değerimiz değişmeyecektir. Sadece oluk direnci değişecektir. Bu çalışmada; harmonik kayıpların azaltılması rotor reaktansına bağlı olarak ele alınmıştır. Bu sebepten reaktansı en büyük oluk harmonikleri en düşük oluk olacaktır. Tablo 1'den görüleceği üzere reaktansı en büyük olukta yine damla oluktur.

KAYNAKLAR

- [1] Kostenko M., Piotrovsky L., Electrical Machines, Vol: 2, Mir Publishers, Moscow, 1974.
- [2] Williamson S., Begg M. C., Calculation of the Bar Resistance and Leakage Reactance of Cage Rotors with Closed Slots, IEEE Proceedings, Vol.132, Pt. B., No.3, May 1985
- [3] Alger P.L., Induction Machine, Gordon and Breach, New York, 1970.
- [4] Mergen F., İ.T.Ü. Elektrik Müh. Bölümü, Ders Notları, 1997.
- [5] Kron G., Induction Motor Slot Combinations, A.I.E.E. June 1931