

KÜÇÜK RÜZGAR TÜRBİNLERİ İÇİN EKSENEL AKILI SÜREKLİ MİKNATISLI ÜRETEÇ UYGULAMASI

Ceyhun SEZENOĞLU¹ Abdulkadir BALIKÇI² Fatih AYDINLI³
sezenoglu@gyte.edu.tr¹ a.balikci@gyte.edu.tr² fatih.aydinli@mimo.org.tr³

^{1,2}Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Bölümü

³Makina Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi

1 Özet

Küçük rüzgar türbinlerine rağbet gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada küçük rüzgar türbinlerinde kullanılacak eksenel akılı sürekli mıknatıslı bir üreteç tasarlanmış ve üretilmiştir. Öncelikle üretecin analitik modeli ortaya konmuştur. 500W gücünde 12 kutuplu bir makine üretilmiştir. Makinenin testleri yapılarak sonuçlar verilmiştir.

2 Giriş

Ülkemizde yeni mevzuatlar ile birlikte küçük ölçekli yenilenebilir enerji üretimine karşı ilgi artmaktadır. Küçük ölçekli yenilenebilir enerji üretiminin artması, enerjinin hem iletim hem de üretim maliyetinin azalmasına sebep olacaktır. Başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarının ikisi rüzgar ve güneş enerjisidir. Küçük rüzgar türbinleri bu noktada önemli kaynaklardan biridir.

Küçük rüzgar türbinlerine olan ilgi kentlerde giderek artmaktadır. Küçük rüzgar türbinleri 100 kW'a kadar (yaklaşık 18 metre rotor çapı) elektrik üretebilen türbinler olarak tanımlanmaktadır [1]. Tercih edilen küçük rüzgar türbinleri genellikle 500W ile 5 kW arasındadır.

Küçük rüzgar türbinlerinin dönüş hızı büyük rüzgar türbinlerine kıyasla çok daha fazla olduğu için direk bağlı mıknatıslı üreteçler tercih edilmektedir. Sıklıkla kullanılan çelik nüveli mıknatıslı üreteçlerdeki en büyük problem ise vuruş momentidir. Hal böyleyken düşük rüzgar hızlarında; rüzgardan elde edilen tork vuruş momentini yeneemediği için enerji elde edilememektedir.

Bu çalışmada hava nüveli, yani sıfır vuruş momentine sahip, eksenel akılı sürekli mıknatıslı (EASM) üreteç uygulaması sunulmuştur. Öncelikle EASM üreteç tasarımı analitik olarak ve benzetimi

yapılarak açıklanmış. Daha sonra deneysel sonuçlar ortaya konmuştur.

3 Eksenel Akılı Sürekli Mıknatıslı Makineler

Hava aralığındaki manyetik akı çizgileri eksenel olduğu için bu tür makinelere eksenel akılı makineler veya disk makineler adı verilmektedir. Rotor üzerinde kutuplama mıknatısları ile sağlanır. Statoru hava nüveli (nüvesiz) ve nüveli olmak üzere ikiye ayrılır. Rotor ve stator pozisyonuna göre farklı topolojilerde tasarlanabilmektedir. Bu çalışmada hava nüveli iki rotorlu tek statorlu yapı incelenmiştir.

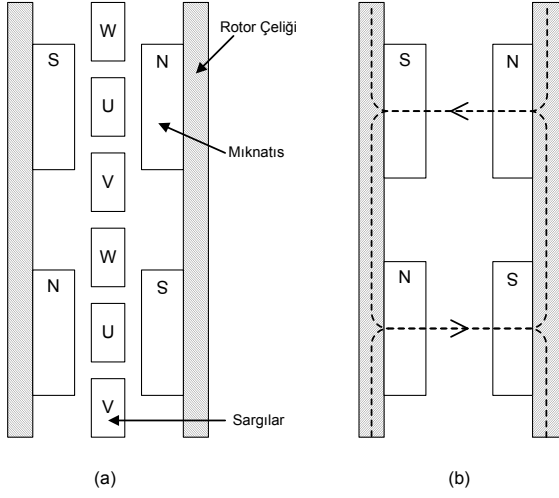
Eksenel akılı makinelerin önemli avantajlarından birisi nüvesiz olarak tasarlanabilmesidir. Böylece vuruş momenti ve nüvedeki kayıplar ortadan kalkmaktadır. Vuruş momenti küçük rüzgar türbinleri için önemli bir dezavantajdır. Yapılan çalışmada vuruş momenti olmadığı için çok düşük kalkış torkuna sahiptir. Yani düşük rüzgar hızlarında da enerji üretmek mümkün olmaktadır.

4 Tasarım

Tasarlanan makinede rotorlar Şekil 1 (a)'daki gibi karşılıklı durmaktadır ve stator bu iki rotorun arasında yer almaktadır. Karşılıklı mıknatısların kutup yönleri zıttır ve akı yolları Şekil 1 (b)'deki gibidir.

Yan yana duran mıknatıslar arasındaki mesafeyi belirlerken iki etken önem kazanmaktadır. Birincisi, mıknatıslar birbirine çok yakın olduğu zaman mıknatıslar arasındaki kaçak akı artmaktadır. İkincisi, stator akımındaki harmonikler rotor üzerindeki Eddy akımı kayıplarını artırmaktadır [2]. Rotor kayıplarını en aza indirmek için stator üzerinde sinüzoidale en yakın sinyali elde etmek gereklidir. Mıknatısların yuvarlak olması oldukça fayda sağlarken mıknatıslar arası mesafe de

önemlidir. Bu çalışmada en uygun olarak mıknatıslar arası mesafe 6 mm seçilmiştir [2].

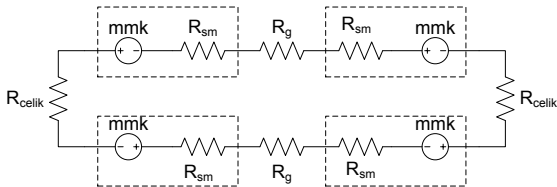


Şekil 1: EASM makinenin (a) iki boyutlu kesit modeli (b) akı yolları

5 Analitik Model

Makinenin analitik modelini çıkarmak için eşdeğer devre modeli kullanılmıştır. Hesap kolaylığı için iki boyutlu model oluşturulmuştur. İki boyutlu gösterimde makinenin akı yolları Şekil 1 (b)'deki gibidir.

Eşdeğer devre modeli Şekil 2'deki gibidir. Model manyetik dirençler üzerinden hesaplanmıştır.



Şekil 2: EASM makinenin eşdeğer devre modeli

Bu modelden yola çıkarak hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğunun maksimum değeri şu eşitlik ile hesaplanabilir [3].

$$B_{g_max} = B_r \left(\frac{4R_{sm}}{4R_{sm} + 2R_g + 2R_{celik}} \right) \quad (1)$$

Burada B_r mıknatısın artık mıknatıslanma akı yoğunluğudur ve genellikle 1,2 ile 1,3 arasında değer almaktadır. Bu çalışmada $B_r = 1,2$ olarak alınmıştır. Eşdeğer devre modelinde rotor çeliğinin manyetik direnci, hava aralığının manyetik direnci yanında çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir.

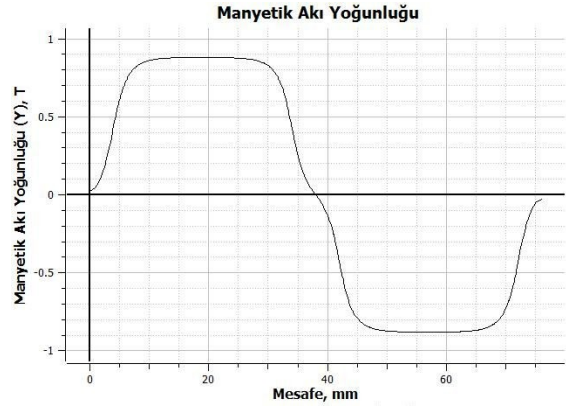
Hava aralığının ve mıknatısın manyetik direnci sırasıyla şu eşitlikler ile bulunabilir.

$$R_{sm} = \frac{l_{sm}}{\mu_0 \mu_r A_{sm}} \quad (2)$$

$$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} \quad (3)$$

Burada l ve A ile ifade edilen birimler sırasıyla yükseklik ve yüzey alanıdır.

Böylece hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğunun tepe değeri $B_{g_max} = 0,85$ olarak bulunmuştur. Sonlu elemanlar yöntemi kullanan JMAG paket yazılımı ile hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğunun benzetimi yapılarak doğrulanmıştır.



Şekil 3: Hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğunun benzetim sonucu

Hava aralığındaki sargılarda indüklenen gerilim manyetik akı yoğunluğu, iletkenin etkin uzunluğu ve iletkenin hızı ile orantılıdır. Bobinlerde indüklenen gerilimin ifadesi şu şekildedir [4]:

$$E = 0,353 \frac{p}{2} N \omega_m B_g (r_2^2 - r_1^2) \quad (4)$$

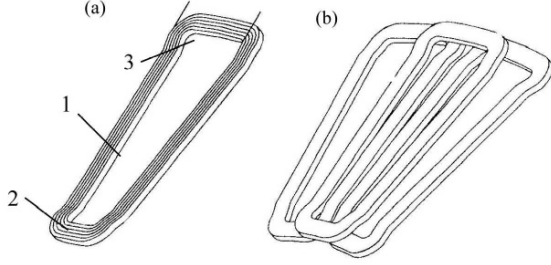
Burada r_2 ve r_1 sırasıyla dış ve iç yarıçaplar, ω_m açısal hızı, N bir fazdaki toplam tur sayısı ve p de kutup sayısıdır.

6 Üretim

Bu çalışmada hava nüveli 12 kutuplu 3 fazlı 500 W gücünde bir üreteç üretilmiştir.

Sargılar 1 mm çaplı telden 14 tur olarak sarılmıştır. hava aralığını azaltmak için sargı sonları Şekil 4'deki gibi bükülmüştür [5]. Tüm sargılar epoksi reçine içine gömülerek mukavemeti sağlanmıştır.

Sargılar mile sabittir ve mıknatısların bağlı olduğu rotor milin üzerinde dönmektedir. Rotor aynı zamanda kanatların bağlı olduğu gövdeyi oluşturmaktadır.

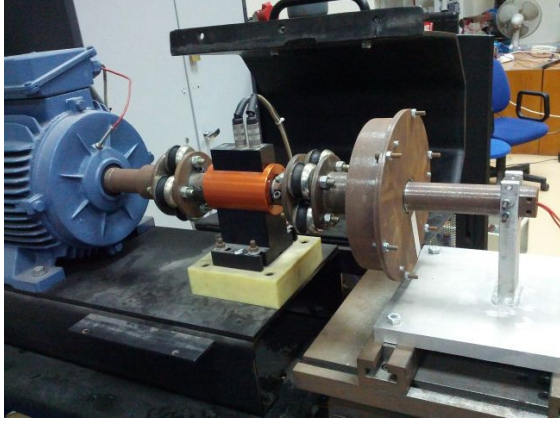


Şekil 4: Bobinlerin sargı sonlarının bükülmesi

Rotorda mıknatıslar yüzeye yapışık şekildedir. mıknatısların merkezkaç kuvvetinin etkisi ile hareket etmemesi için rotor üzerinde mıknatısları tutacak ayaklar yapılmıştır. Bu yöntem, üretim maliyetini artırmasına karşın sağlam bir yapı ortaya çıkarmaktadır.

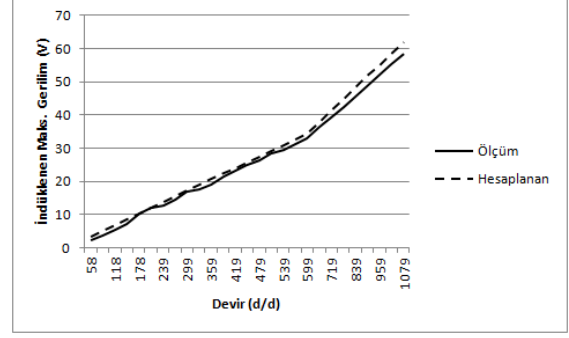
7 Deneysel Sonuçlar

Üretilen makine bir motor test düzeneğine bağlanarak test edilmiştir.



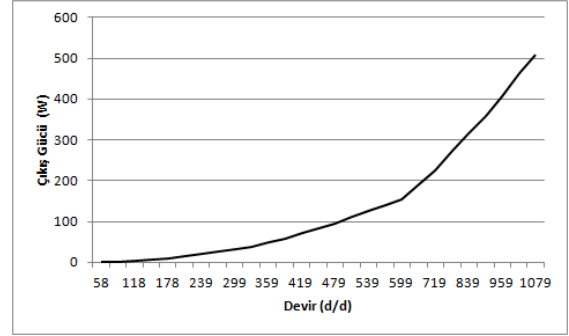
Şekil 5: Motor test düzeneği

İlk olarak makinenin yüksüz testi gerçekleştirilmiştir. Üretecin devrine bağlı olarak üretilen gerilim grafiği şekilde görülmektedir.



Şekil 6: Devire bağlı fazda indüklenen gerilimin grafiği

Daha sonra yük altında testler gerçekleştirilmiştir. Makinenin çıkışı pasif doğrultucu bir devre ile doğrultulmuş ve çıkışa rezistif bir yük bağlanmıştır. Yük altında devire bağlı güç grafiği de şekilde görülmektedir.



Şekil 7: Devire bağlı güç grafiği

8 Sonuç

Küçük rüzgar türbinlerinde kullanılabilecek aksenal akılı sürekli mıknatıslı bir üreteç ortaya konmuştur. Tasarımda kullanılan analitik model ile üretilen makineden elde edilen test sonuçları örtüşmektedir. Elde edilen güç grafiğine bakıldığında gücün hıza bağlı bir şekilde üstel olarak arttığı görülmektedir. Bu nedenle küçük rüzgar türbinini gibi düşük devirli uygulamalarda kutup sayısının yüksek olması gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca fazlarda indüklenen gerilimi artırmak için de sarım sayısının artırılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Eksenal akılı makineler modüler olarak çok katmanlı olarak tasarlanabilmektedir. Böyle bir yapı ile daha yüksek güçte üreteçler tasarlanabilir ve üretilebilir.

9 Kaynaklar

- [1] A. W. E. Association, «The U.S. Small Wind Turbine Industry Roadmap,» 2002.
- [2] T. S. E.-H. a. P. C. K. Luk, «Magnet Topology Optimization to Reduce Harmonics in High-Speed Axial Flux Generators,» *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, cilt 39, no. 5, p. 3340, 2003.
- [3] M. J. K. N. F. Lombard, «Analysis and Performance of an Ironless Stator Axial Flux PM Machine,» *IEEE Transactions on Energy Conversion*, cilt 14, no. 4, p. 1051, 1999.
- [4] P. C. K. L. F. S. B. a. M. S. E. Tareq S. El-Hasan, «Modular Design of High-Speed Permanent-Magnet Axial-Flux Generators,» *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, cilt 36, no. 5, p. 3558, 2000.
- [5] J. Roy Lee Kessinger, « Interlocking segmented coil array». Patent US5744896, 1998.