

ÜÇ FAZLI BİR İNDÜKSİYON MOTORUNUN TASARIMI VE EŞ-SİMÜLASYONLA ANALİZİ

DESIGN AND ANALYSIS OF A THREE PHASE INDUCTION MOTOR WITH CO-SIMULATION

Yıldırım ÖZÜPAK

Dicle Üniversitesi, Silvan Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Programı, Diyarbakır, 21000, Türkiye

ORCID: 0000-0001-8461-8702

ÖZET

Bu çalışmada, bir indüksiyon motorunun (IM) ortak simülasyon platformunda geliştirilmesi ve analizi sunulmuştur. Simülasyon için, kontrol, güç elektroniği ve ayrıca asenkron makineyi içeren birleştirilmiş bir model tanımlanmıştır. Bu modelde tüm bileşenler tek bir ortak simülasyon platformu ortamına entegre edilerek IM için gelişmiş bir modelleme ve simülasyon aracı sağlanmıştır. Bu araştırmada IM, Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) temel alınarak Ansys-Maxwell ortamında, güç elektroniği dönüştürücüsü ise Ansys-Simplorer'da geliştirilmiştir. Bütünleşik platform, doğru tasarım, faydalı ve daha gerçekçi bir simülasyon için önem taşımaktadır. Ortak simülasyon kullanılarak IM'nin parametrik ve elektromanyetik alan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden IM'nin akım, gerilim, tork, güç, kayıp, manyetik alan dağılımı, manyetik alan şiddeti ve akı çizgileri gibi parametreler elde edilmiş ve grafikler halinde çalışmada sunulmuştur. Ayrıca geçici performans ve çalışma limitleri, makinenin toplu parametre modeline dayalı alan odaklı bir kontrol stratejisi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Motor, ANSYS-Maxwell, SEA.

ABSTRACT

In this paper, the development and analysis of an induction motor (IM) on a common simulation platform is presented. For the simulation, a combined model is defined that includes the control, power electronics and also the asynchronous machine. In this model, all components are integrated into a single common simulation platform environment, providing an advanced modeling and simulation tool for IM. In this research, IM was developed in Ansys-Maxwell environment based on Finite Element Analysis (FEA), and the power electronics converter was developed in Ansys-Simplorer. An integrated platform is important for accurate design, useful and more realistic simulation. Parametric and electromagnetic field analyzes of IM were performed using joint simulation. Parameters such as current, voltage, torque, power, loss, magnetic field distribution, magnetic field strength and flux lines of the IM were obtained from the analyzes and presented in the study as graphics. In addition, temporary performance and operating limits were evaluated using a domain-oriented control strategy based on the machine's aggregate parameter model.

Keywords: Motor, ANSYS-Maxwell, FEA

1. GİRİŞ

Karmaşık bir makine tasarımındaki geometrik yapıyı daha iyi anlamak için dinamik bir simülasyona entegre edilmiş Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) modeli, hata durumlarına yönelik kontrol eylemleri dikkate alındığında, karmaşık kontrol stratejilerinin ihtiyaçlarını daha iyi karşılamaktadır. Bütünleşik platformdaki simülasyonlar, bu karmaşık makine tasarımlarının geometrisini ele almanın bu yapıyı anlamının ve dolayısıyla karmaşık makinelerin kontrol stratejilerinin geliştirilmesini kolaylaştırmanın kanıtlanmış bir yoludur (Apostoaia, 2013). Bir elektrikli sürücünün simülasyon sonuçlarının doğruluk derecesini en üst düzeye çıkarmak için, mümkün olduğunca ayrıntılı bir model kullanmak büyük önem teşkil etmektedir. Ancak böyle bir detaylandırmayı tek bir yazılım aracıyla yapmak mümkün olmamaktadır (Schulte ve arkadaşları, 2014). Çünkü kontrol yapısı, güç elektroniği ve makineden oluşan model heterojen bir modeldir.

Genel olarak, elektrikli sürücülerin simülasyonu, inverterin sinüzoidal bir kaynakla temsil edildiği ve makinenin yerini basit bir arama tablosuyla değiştirildiği, azaltılmış sıralı modeller kullanılarak gerçekleştirilir (Mehta ve arkadaşları, 2013). Aslında, böyle bir modelleme sistem seviyesindeki performans hakkında makul bilgiler verebilir, ancak sürücünün optimizasyonu için gerekli olan geçici ve harmonik etkiler, anahtarlama ve artan demir kayıpları gibi değerler belirlenemez (Ceban ve arkadaşları, 2012).

Literatürde SEY ile IM tasarımı ve analizi için bazı çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, önceki çalışmaların hemen hemen hepsinde kontrol kısmı dikkate alınmamıştır (Yemna ve Mohamed 2016). Aynı şekilde birçok kontrol stratejisi önerilmiştir. Bununla birlikte, kontrol algoritmalarında ve özellikle arıza koşullarında IM'nin doğrusal olmamaları ve manyetik özellikleri nadiren tartışılmıştır. Ancak, hata durumlarında IM'nin gerçek ve doğru davranışını bilmek ve kontrol sürücülerinin doğrulama sınırlarını kontrol etmek için makinenin doğrusal olmayanları ve manyetik özellikleri dikkate alınarak simülasyonun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Değişen koşullara bağlı olarak makinelerin davranışının doğrusal olmadığı, manyetik doyumluk ve uzamsal harmoniklerin etkilerinin dikkate alınması gerektiği bilinmektedir (Zaabi ve arkadaşları, 2015). Bu nedenlerle, makine özelliklerine gerçeğe çok yakın davranış sergileme yeteneği verme nedeniyle SEA'nın kullanımı yaygın hale gelmektedir. Aslında SEA, tüm makine bölgelerinde geometrik şekil, malzeme özellikleri ve sınır koşullarında esneklik sunan modern makine tasarım aracıdır.

Bu çalışmada, bir IM'nin eş simülasyonu sunulmuş ve simülasyon süresi ile sonuç doğruluğu arasında kabul edilebilir bir denge sağlayan Maxwell'de iki boyutlu motor modeli oluşturulmuştur. Eş simülasyonun amacı, sağlıklı ve arıza modunda kullanılacak genel elektrik kontrol sisteminin daha gerçekçi ve doğru bir modelini gerçekleştirmektir. Gerçek makine durumundan maksimuma yaklaşmak için farklı simülasyon ortamları entegre edilmiştir. Burada, SEY tabanlı ANSYS-Rmxprt-Maxwell ile IM'nin parametrik performans parametreleri ve manyetik alan parametreleri elde edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

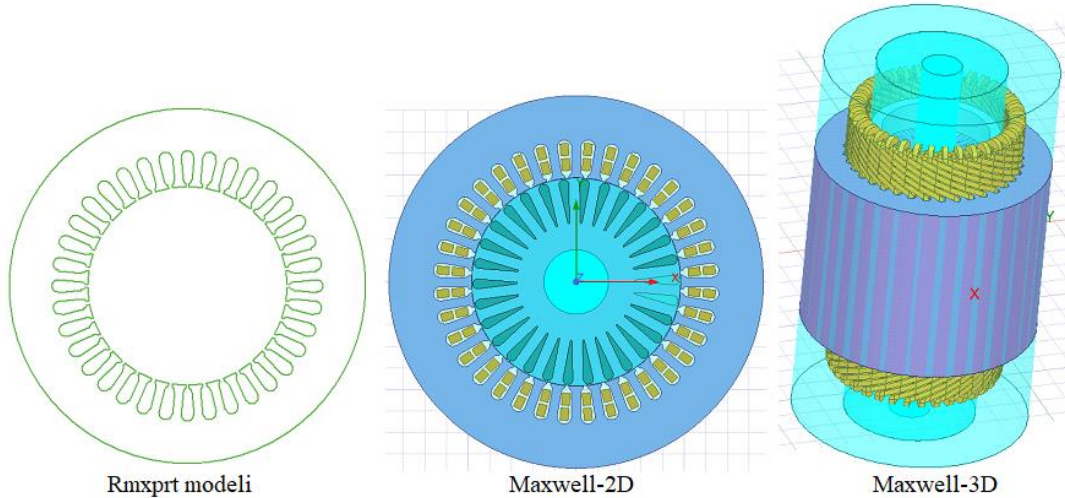
2.1 Sonlu Eleman Analizi (SEA)

SEA, elektromanyetik cihazların parametrelerini hesaplamak için kullanılan bilgisayar tabanlı sayısal bir tekniktir. Akı yoğunluğu, akı bağlantıları, endüktans ve tork gibi değerleri hesaplamak için kullanılabilir. SEY ile tasarlanan model birçok küçük alt elemandan oluşan alanlara bölünür. Tek bir elemanın davranışı, nispeten basit bir denklem seti ile tanımlanabilir. Bu yöntem, makinenin farklı bölgelerindeki geometrik şekil, malzeme özellikleri ve sınır koşullarında sınırsız esneklik sunmaktadır. Ayrıca (geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlı olarak) makinenin doğrusal olmayan etkileri hakkında

ayrıntılı bilgi elde edilmesine imkân tanımaktadır. Bu modelleme yaklaşımı, bir elektrikli makinenin doğru ve eksiksiz bir tanımını elde etme yeteneğine sahiptir. Manyetik devre, küçük elemanlardan oluşan bir ağ ile modellenir. Alan değerlerinin, sonuçların enterpolasyonunu mümkün kılan, bu elemanlar içindeki pozisyonun basit bir fonksiyonu olduğu varsayılır. Alan dağılımını hesaplamak için gereken süre, dikkate alınan eleman sayısına bağlı olarak çok uzun olabilir. Daha yüksek doğruluk elde etmek için daha ince ağlar kullanmak ile makul simülasyon sürelerini elde etmek için gereken işleme kaynakları arasında bir denge kurulmalıdır.

2.2 Asenkron Motorun Sonlu Eleman Modeli

Maxwell, Sonlu Eleman Yöntemi modellemesi için iyi bilinen yazılımlardan biridir [5]. Çünkü makine modellerinin analizini bir arada yapan birçok özelliğe sahiptir. Maxwell'de oluşturulan modeller, ortak simülasyon için Simplorer'a da bağlanabilir. Ayrıca kendi kendine simülasyon yaparak makine parametrelerini ve performanslarını gözlemlemeyi mümkün kılmaktadır. Tasarım verilerinin Rmxprt'ye yüklenmesi sürecinde, kullanıcının makinenin stator ve rotor boyutlarını ve makine tipi, makinenin kutup sayısı ve kontrol tipi gibi ilgili parametreleri belirtmesi gerekir (Özupak, 2022). Ayrıca, bir kullanıcının sargı, yuva, tel, iletkenler, yalıtım ve diğer bazı ilgili parametreler gibi nominal parametreleri belirtmesi gerekir. Şekil 1'de IM'nin Rmxprt modeli, Maxwell-2D modeli ve Maxwell-3D sunulmuştur. Makinenin parametreleri ise Tablo 1'de detaylandırılmıştır.



Şekil 1. IM'nin Rmxprt modeli, Maxwell-2D modeli ve Maxwell-3D

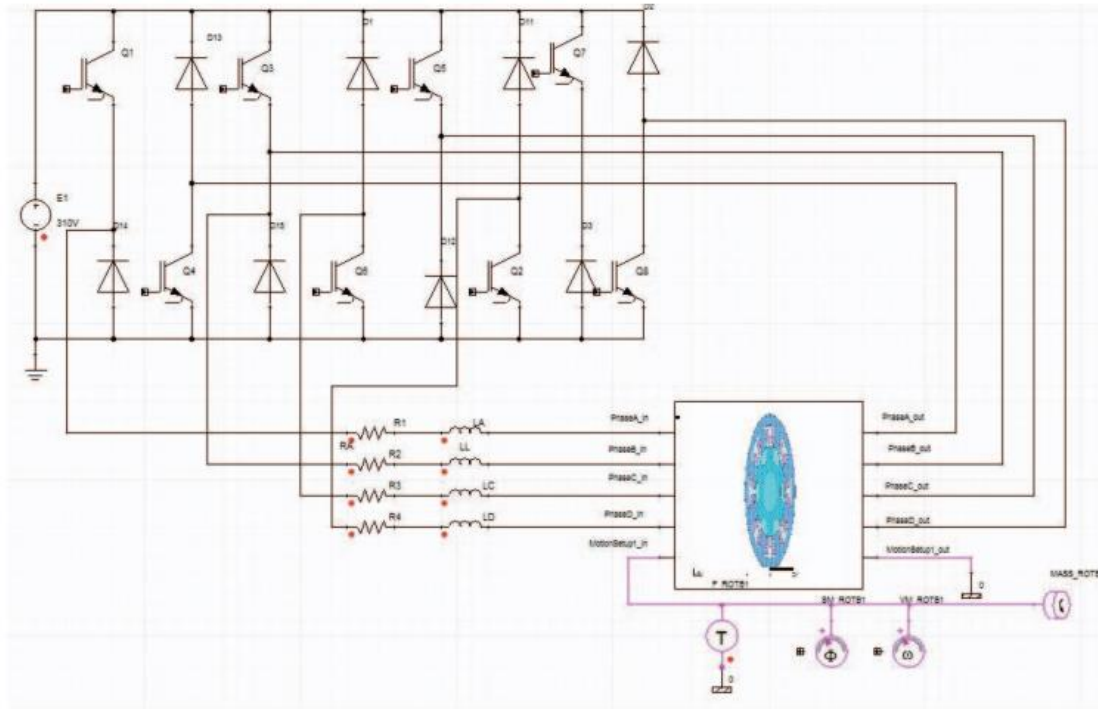
Tablo 1. IM'nin parametreleri

Parametre	Değer
Makine Tipi	Üç faz İndüksiyon Motor
Makine kutup sayısı	4
Stray kayıp Faktörü	0.01
Referans hız	1450rpm
Stator dış çap	173.5mm
Stator iç çap	97.2mm
Uzunluk	137mm
Yığılma faktörü	0.95
Stator oluk sayısı	36
Rotor oluk sayısı	30
Rotor dış çap	96.7mm
Rotor iç çap	30mm
Yük tipi	Const Power
Nominal çıkış gücü	3000W
Nominal gerilim	400V
Nominal hız	1450rpm

3. BULGU VE TARTIŞMALAR

3.1 IM'nin Maxwell/Simplorer ile Eş Simülasyon Modeli

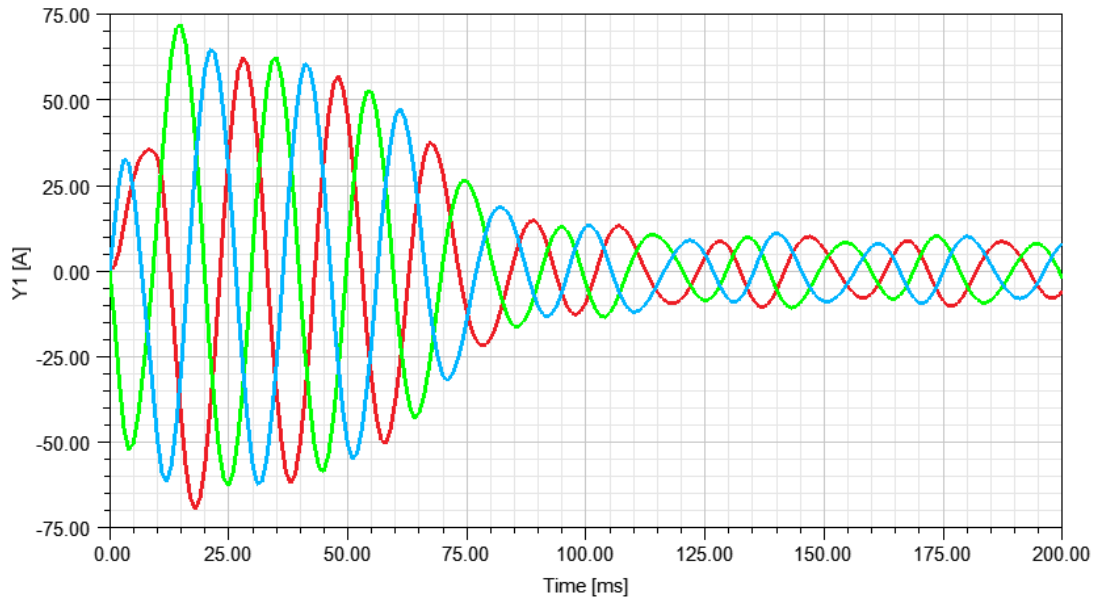
Makinenin SEY modeli Maxwell üzerinde geliştirilmiş ve tüm sistemin simülasyon sonuçlarını elde etmek için Ansys-Simplorer kullanılmıştır. IM Maxwell'de tamamen modellenip analiz edildiğinde, Simplorer ile birlikte eş-simülasyon için hazır hale gelir. Modelin uyarılması daha önce akım kaynakları ile tanımlanmıştır. Maxwell'i Simplorer ile ortak simülasyonda kullanmak için, kullanıcının Maxwell modelinde bazı değişiklikler yapması gerekir. Şekil 2'de, önerilen ortak simülasyonun temel diyagramı verilmiştir.



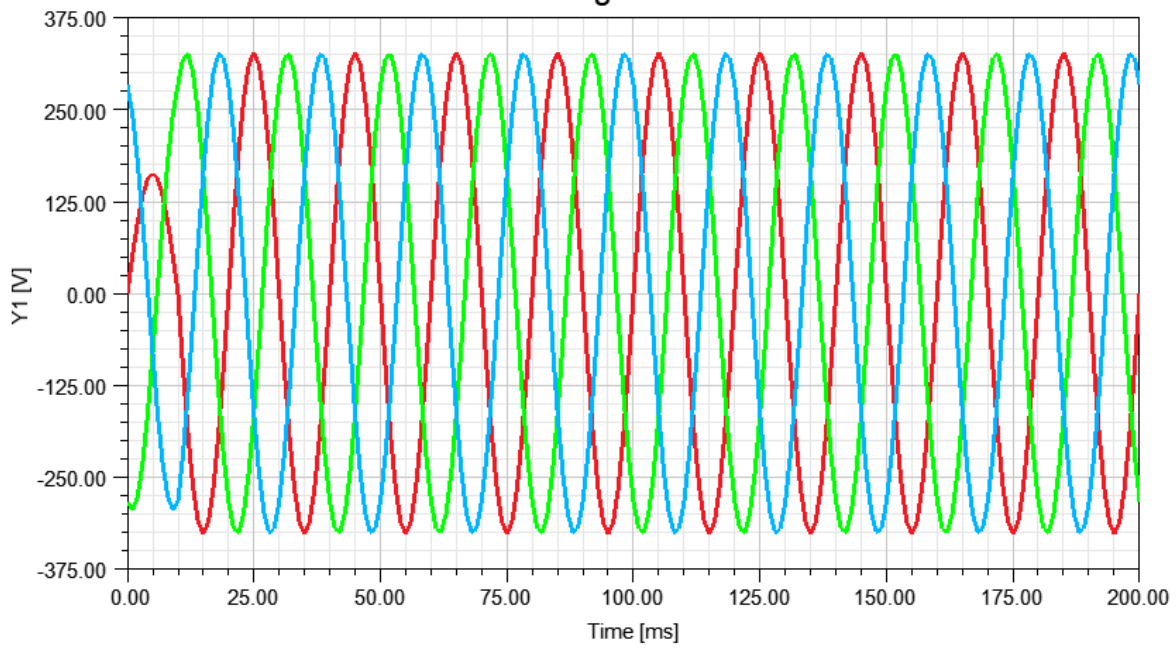
Şekil 2. Eş-simülasyon modeli

Simülasyon için, $2*50*\pi$ referans hızı konum açısı ve V referans gerilimi verilmiştir. Daha sonra Simplorer'da kontrol sistemini çağıran simülasyon başlatılmıştır. Bu simülasyon adımının amacı, Maxwell ve Simplorer arasındaki ortak simülasyonu doğrulamaktır. Yanıtlar aşağıdaki Şekillerde gösterildiği gibi olmuştur. Şekil 3-6'da, normal çalışma koşullarında IM'nin ortak simülasyonunun sonuçları verilmiştir.

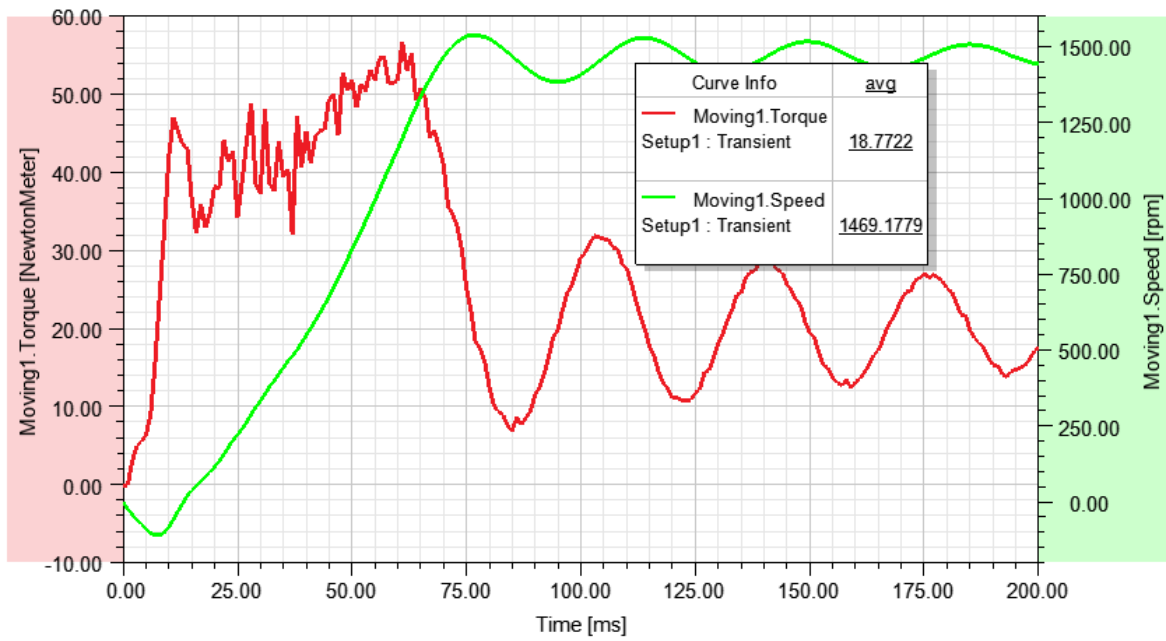
646



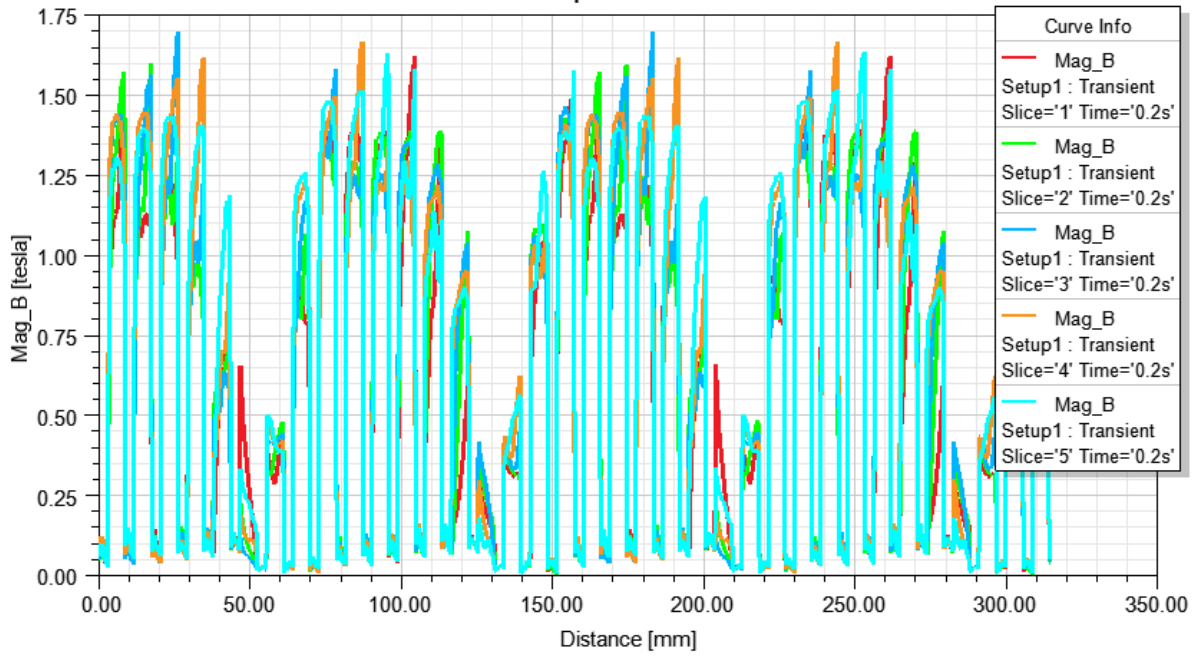
Şekil 3. IM'nin akım grafiği



Şekil 4. IM'nin gerilim grafiği



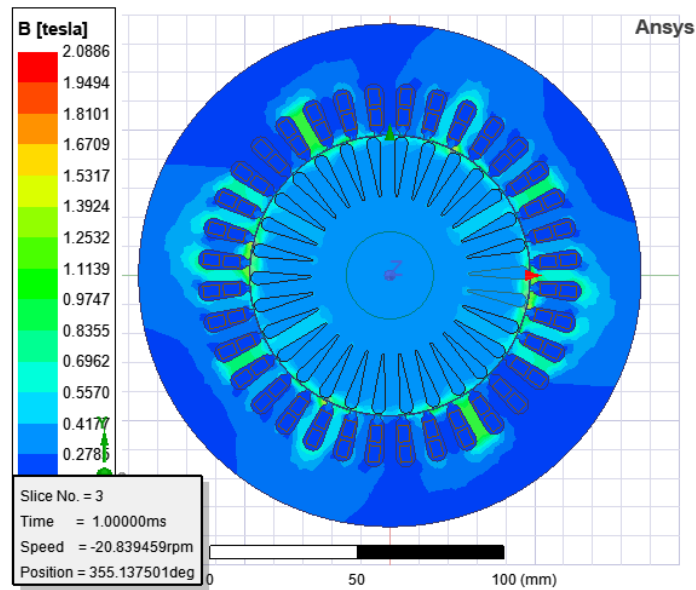
Şekil 5. IM'nin tork grafiği



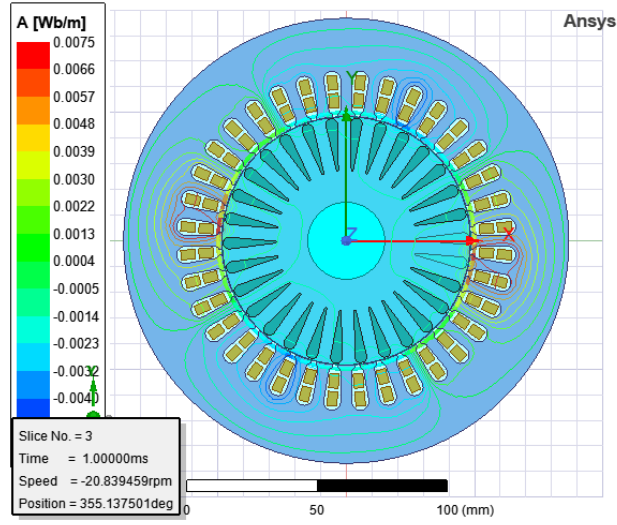
Şekil 6. Motorun manyetik akı grafiği

Başlangıçta sinüzoidal olmayan ve daha sonra düzenli bir form ve fazlar ile stabilize olan üç fazlı stator gerilimleri ve akımları yukarıda verildiği gibi olmaktadır. Şekil 7'de, normal koşullarda makinenin manyetik akı yoğunluğunun dağılımı verilmiştir. Bu durumda, akı dağılımının nispeten simetrik olduğu görülmektedir. Şekil 8'de ve Şekil 9'da manyetik alan şiddeti ve manyetik akı çizgilerinin dağılımı da verilmiştir.

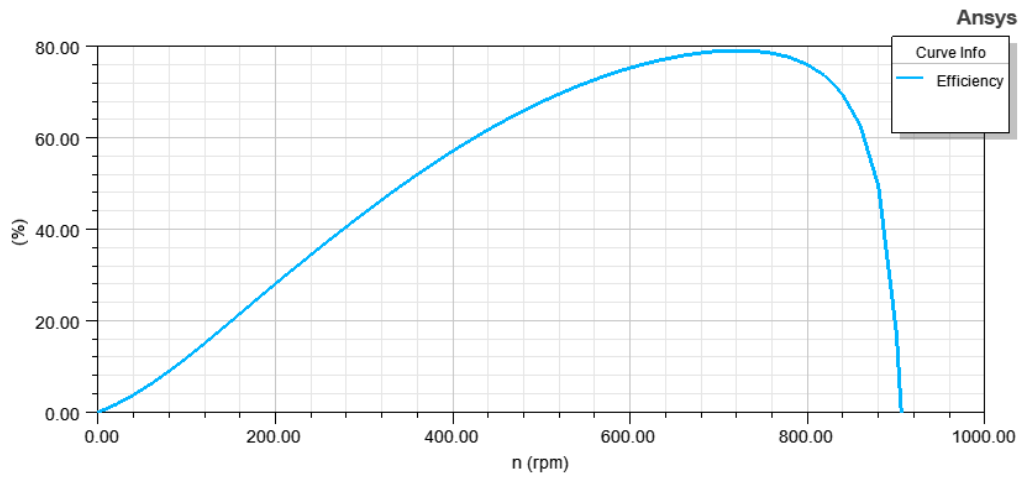
648



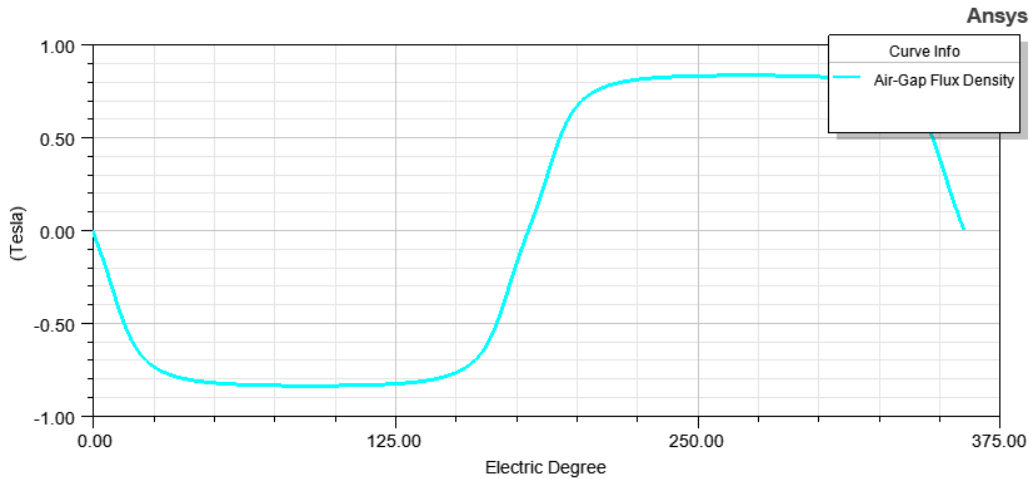
Şekil 8. Manyetik alan şiddeti dağılımı



Şekil 9. Manyetik akı çizgilerinin dağılımı



Şekil 6. Verimlilik-hızı gösteren grafik



Şekil 8. Hava boşluğu akı yoğunluğu grafiği

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, üç fazlı bir sincap kafesli asenkron motor sürücü kontrol sisteminin simülasyon platformunun geliştirilmesi sunulmuştur. IM ve kontrol sürücülerinin doğrusal olmayan modelinin simülasyonu için bir ortak simülasyon yöntemi önerilmiştir. Makine modelleri ilk olarak Maxwell'e tamamen entegre edilmiş şablon tabanlı bir elektrikli makine tasarım aracı olan ANSYS-Rmxprt-Maxwell-2D'de oluşturulmuştur. Simplorer/Maxwell'de ortak simülasyonun avantajı, elektrik makinesinin manyetik alanlarının görselleştirilmesi de dahil olmak üzere simülasyon sonuçlarının gelişmiş görüntülerinin elde edilmesidir. Bu özellik, kullanıcıların, makine alanının dağılımı üzerindeki hata etkileri de dahil olmak üzere, diğer simülasyon araçlarında görülmeyen yeni olayları yakalamasına olanak tanımaktadır. Doğrusal olmayan manyetizasyon karakteristikleri SEY tarafından ele alınmış ve hesaplanmıştır. IM'nin manyetik alanları, sarğı karakteristikleri ve torku gibi değerler elde edilmiştir.

Teşekkür / Bilgilendirme

Bu çalışmada kullanılan ANSYS EM 22.0, Dicle Üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası Silvan MYO.220001.

KAYNAKÇA

- Apostoaia C.M. (2013). AC Machines Drives Simulation Platform”, IEEE International Conference on ELectric Machines & Drives (IEMDC), pp. 1295-1299.
- Schulte C., et al. (2014). Co-simulation of an Interior Permanent Magnet Synchronous Motor with Segmented Rotor Structure”, IEEE Annual Conference of Industrial Electronics Society, pp. 437-442.
- Mehta G.P., et al. (2013). Performance Analysis of rotating induction machines for Air-Gap eccentricity & Rotor bar faults using finite element method”, International Journal of Research in Computer and communication technology, vol. 2, No. 5, pp: 267-272.
- Ceban A., et al. (2012). Study of rotor faults in induction motors using external magnetic field analysis”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 59, No. 5, pp: 2082-2093.
- Yemna B., Mohamed N. A. (2016). Modeling and Simulation of Induction Motor based on Finite Element Analysis, International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 7, No. 4, December 2016, pp. 1100~1109 ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v7i4.pp1100-1109.
- Zaabi W., Bensalem Y., Trabelsi H. (2015) Co-simulation of Induction motor fed by PWM inverter under a broken bar fault”, IEEE 12th International Multi-conference on Systems, Signals and Devices, SSD'15, March 16-19, Tunisia.
- Özüpak Y. (2022) Efficiency Analysis of BLDC for variable magnetic field. 2022. MANAS Journal of Motorering, Volume 10 (Issue 1)

Özüpak, Y., (2022) Investigation of the Effect of Design Parameters of Small Brushless DC Motors on Motor Performance by Finite Element Method, Brilliant Motorering, 3, 4658. <https://doi.org/10.36937/ben.2022.4658>.

Özüpak, Y. (2022). Re-Analysis of Internal Permanent Magnet Brushless DC Motor With Increased Magnet Dimensions. Ejons International Journal, 6(22), 353–365. Retrieved from <https://ejons.org/index.php/ejons/article/view/294>

ANSYS user guide, 2022.