



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/humder>

Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Asenkron Motorun PWM Arızasının Analizi

Analysis of PWM Fault of Induction Motor with Finite Element Method

Yazar(lar) (Author(s)): Davut SUN¹, Ferhat ÇIRA²

¹ ORCID ID: 0000-0002-7568-3817

² ORCID ID: 0000-0002-1046-4410

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Sun D., Çıra F., “ Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Asenkron Motorun PWM Arızasının Analizi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(3): 217-228, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/humder/archive>



Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Asenkron Motorun PWM Arızasının Analizi

Davut SUN^{1,*}, Ferhat ÇIRA²

^{1,2} Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ŞANLIURFA

Öz

Bu makalede, asenkron motorun (ASM) etkin bir simülasyon platformunun geliştirilmesi amaçlanmıştır. Simülasyonda motor kontrol sürücü devresi ve tasarımı yapılan orta güçlü yüksek verimli sincap kafesli asenkron motoru içeren birleştirilmiş bir model oluşturulmuştur. Bu birbirinden farklı modeller her biri farklı yazılım ortamlarında elde edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma, tüm bileşenleri tek bir ortak simülasyon platformu ortamına entegre eden ASM için gelişmiş bir modelleme ve simülasyon araçları sağlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, ASM Modeli Ansys@Maxwell kullanılarak Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) yapılarak model oluşturulmuş, sürücü devresinin simülasyon modeli ise Ansys@Simplorer'da geliştirilmiş ve kontrol kısmı MATLAB@Simulink ortamında oluşturulmuştur. Bu modelin, gerçekçi bir simülasyon ortamı sağladığı elde edilen sonuçlarla doğrulanmıştır. Böylece oluşturulan bu birleşik simülasyon platformunun farklı sürücü bileşenlerinin arızalı durumları modellemek için kullanılabilirliği görülmüştür. Bu çalışmada, arızalı bir PWM invertörün etkileri incelenmiş olup, arızalı durumlar için ASM'nin kontrol sürücüsünün performansını incelemek için, ASM'nin davranışını ve sürücüyü analiz etmek amacıyla genel dinamik modelin ortak bir simülasyonu önerilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 07/11/2022

Yayın: 30/12/2022

Anahtar Kelimeler

Asenkron Motor Tasarımı

PWM Inverter arızası

Modelleme

Simülasyon

Keywords

Design of induction Motor

PWM Inverter fault

Modelling

Simulation

Analysis of PWM Fault of Induction Motor with Finite Element Method

Abstract

In this article, it is aimed to develop an efficient simulation platform of an induction motor (IM). In the simulation, a combined model including motor control, driver circuit and also high efficiently squirrel cage induction motor is created and designed. These different models were obtained in different software environments. Therefore, this study aims to provide an advanced modeling and simulation tools for IM integrating all components into a single common simulation platform environment. In this study, the model was created by making Finite Element Analysis (FEA) using the IM model using Ansys@Maxwell, the simulation model of the driver circuit was developed in Ansys-Simplorer and the control part was created in the MATLAB-Simulink environment. It has been verified by the obtained results that this model provides a realistic simulation environment. Thus, it has been seen that this unified simulation platform can be used to model the faulty states of different drive components. In this study, the effects of a faulty PWM inverter is investigated. To examine the performance of the control driver of the IM for faulty conditions, a joint simulation of the general dynamic model is proposed to analyze the behavior of the IM and the driver.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Motor tasarımı karmaşık matematiksel modellerin kullanıldığı bir konudur. Motor tasarımını daha iyi anlamak için sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak bir takım simülasyonlar yapılmaktadır. Bu simülasyonlar, motorun sağlıklı çalışma durumunda olduğu gibi, arızalı çalışma durumlarını da analiz etmek için kullanılmaktadır. Dolayısıyla gerçek bir test düzeneği kurmaya ihtiyaç kalmadan, motorun çalışma performansı ve motor parametrelerinin değişimini izlemek bu simülasyonlar ile mümkün olabilmektedir. Özellikle motorun arızalı çalışma durumlarının izlenmesinde simülasyonların faydaları olmaktadır [1], [2]. Bir motoru yumuşak kalkışlı olarak sürebilmek ve istenen hızda çalıştırabilmek için bu

* Davut.sun@gmail.com

motoru bir hız sürücüsü ile sürmek gerekmektedir. Bir sürücü modeli oluşturmak ve modeli oluşturulan bu sürücünün simülasyon sonuçlarının kalitesini en üst düzeye çıkarmak için, mümkün olduğunca ayrıntılı bir model kullanmak çok önemlidir. Ancak böyle bir detaylandırmayı tek bir yazılım aracıyla yapmak neredeyse mümkün değildir [2]. Çünkü sürücülü kontrol modeli, güç elektroniği devresinden ve motordan oluşan heterojen bir modeldir. Genel olarak, motor sürücülerinin simülasyonu, PWM inverterin sinüzoidal bir kaynakla temsil edildiği ve motorun yerini basit bir look-up tablosuyla değiştirildiği, azaltılmış sıralı modeller kullanılarak gerçekleştirilmektedir [3]. Aslında, böyle bir modelleme, sistemin genel performansı hakkında yeterli bilgiler verebilmektedir, ancak böyle oluşturulmuş basit sürücünün optimizasyonu için gerekli olan geçici durumlar ve harmonik etkileri, anahtarlama ve artan demir kayıplarını vb. belirlememize yeterli olabilecek kadar bilgi veremez [4]. Literatürde birçok araştırmacı ASM için SEA üzerine çalışmalar yapmıştır [5],[6]. Ayrıca, önceki çalışmaların birçoğunda kontrol kısmı pek dikkate alınmamıştır [7], [8]. Bununla birlikte, kontrol algoritmalarında ve özellikle arıza koşullarında ASM'nin yapısının doğrusal olmaması nedeniyle manyetik özellikleri üzerine literatürde pek fazla çalışma bulunmamaktadır. Ancak, arızalı çalışma durumlarında, ASM'nin gerçek çalışma dinamiğini bilmek ve kontrol sürücülerinin doğrulama sınırlarını kontrol etmek için, motorun doğrusal olmayan manyetik özellikleri de dikkate alınarak gerçekçi bir simülasyonunun gerçekleştirilmesi ve kontrol sürücülerinin doğruluğu ve güvenilirliğinin artırılması gerekmektedir.

Sürücülerin değişen koşullarına bağlı olarak motorların davranışının doğrusal olmadığı, motor sac yapısının manyetik doyuma gitmesi ve uzay harmoniklerinin etkilerinin dikkate alınması gerektiği bilinmektedir [9]. Bu nedenlerle, geometri çizimlerini içe aktarma ve motor özelliklerini daha gerçekçi oluşturabilme yeteneği nedeniyle SEA'nin kullanımının diğer tasarım ve analiz programlara nispeten daha faydalı olduğu bilinmektedir. Aslında SEA, tüm motor bölgelerinde geometrik şekil, malzeme özellikleri ve sınır koşullarında esneklik sunan modern motor tasarımında kullanışlı olması için nedenleriyle tercih edilmesi gereken bir yöntemdir [10].

Bu çalışmada, bir ASM'nin birleştirilmiş bir simülasyonu sunulmaktadır. Bu simülasyonda kullanılan Asenkron motorun iki boyutlu özgün tasarım modeli Ansys@Maxwell yazılımı ile oluşturulmuştur. Bu çalışmanın temel amacı, motorun ve sürücünün sağlıklı veya arızalı durumlarında kullanılacak motor kontrol sisteminin daha gerçekçi ve doğru bir modelini gerçekleştirmektir. Burada, ASM'nin skaler kontrolünün performansı, hem ASM'nin hem de kontrol sürücülerinin doğrusal olmamaları dikkate alınarak sağlıklı ve arızalı durumları karşılaştırılmıştır.

Bu makalede, ortak simülasyon için bir gelişmiş bir platformun geliştirilmesi sunulmaktadır. Motor ve sürücünün gerçek modellerine maksimum yaklaşmak için farklı simülasyon ortamları birbirine entegre edilmiştir. ASM sürücüsünün simülasyon sonuçları, normal ve arızalı çalışma koşulları altında elde edilmiştir.

Makale altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, birleşik simülasyonun oluşturulmasının gerekliliği ve nedenleri anlatılmaktadır. İkinci bölümde, SEA konusu anlatılmış ve Ansys@Maxwell kullanılarak ASM'nin sonlu elemanlar modeli ve Ansys@simplorer kullanılarak PWM inverter modeli anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, motorun SEY modeli Maxwell üzerinde geliştirilmiş ve Simplorer ile birlikte simülasyon için kullanılmıştır. Simplorer/Maxwell ve MATLAB@Simulink arasındaki bağlantıyı kullanan genel birleştirilmiş simülasyon model yapısı dördüncü bölümde sunulmuştur. Önerilen modelin simülasyon sonuçları sağlıklı ve arızalı koşullarda gösterilmiş ve analiz edilmiştir. Son olarak, sonuçlar son bölümde sunulmaktadır.

2. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ (FINITE ELEMENT ANALYSIS)

Sonlu Elemanlar Analizi (SEA), elektromanyetik makinaların parametrelerini hesaplamak için bilgisayar tabanlı sayısal bir tekniktir. Akı yoğunluğunu, akı bağlantılarını, endüktansı, torku hesaplamak için kullanılabilir; SEY'de indüklenen emk vb., büyük elektromanyetik makine geometrik olarak birçok küçük parçaya bölünerek segmentlere ayrıştırılır. Tek bir elemanın davranışı, nispeten basit bir denklem seti ile tanımlanabilir [11]. Bilgisayar bu küçük denklem setlerini eşzamanlı olarak büyük bir denklem setini çözebilir. Bu çözümlenmeden bilgisayar, bireysel öğelerin davranışını çıkarır.

Aslında SEA, makinanın farklı bölgelerindeki geometrik şekil, malzeme özellikleri ve sınır koşullarında sınırsız esneklik sunar [12]. Ayrıca (geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlı olarak) makinanın doğrusal olmayan etkileri hakkında ayrıntılı bilgi sağlar. Bu modelleme yaklaşımı, bir elektrik makinasının doğru ve eksiksiz bir tanımını elde etme yeteneğine sahiptir [13]. Manyetik devre, küçük elemanlardan oluşan bir ağ ile modellenmiştir. Alan değerlerinin daha sonra, 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 kullanmakla makul simülasyon sürelerini elde etmek için gereken işleme kaynakları arasında bir uzlaşmaya varılmalıdır. SEA, özellikle yeni şekiller içeren yeni tasarımlar için çok esnek bir çözümlenmeye olanak sağlar. Bununla birlikte, uzun süreli simülasyon gereksinimleri, bir kontrol algoritmasının dahil edilmesi gereken bir durum için kullanışlılığını azaltır [3][7],[8].

Bu çalışmada, üç fazlı bir sincap kafesli asenkron motorunun ve sürücü kontrol sisteminin simülasyon platformunun oluşturulması sunulmuştur. Motor modelleri ilk olarak Ansys@Maxwell'e tamamen entegre edilmiş şablon tabanlı bir elektrik motor tasarım aracı olan ANSYS@Maxwell 2D ortamında oluşturulmuştur. ANSYS@Maxwell, elektrik ve manyetik alan problemlerini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz eden yüksek performansa sahip simülatör yazılımıdır. ANSYS@Maxwell programı elektrik motorları, sensörler, transformatörler ve diğer elektromanyetik ve elektromekanik birçok cihazın tasarımı ve matematiksel analizi için kullanılmaktadır. ANSYS@Maxwell'de Rmxprt, Maxwell 2D ve Maxwell 3D olmak üç farklı tasarım tipi bulunmaktadır. Rmxprt (Rotation Machinery Expert) elektrik motorları, algılayıcılar, dönüştürücüler, elektromanyetik ve elektromekanik araçların tasarımı ve analizinde kullanılmaktadır [14]. Ansys@Rmxprt ve Ansys@Maxwell'de tasarlanıp analizleri yapılan motor modeli ortak birleşik simülasyon için Simplorer'a aktarılmış ve sürücünün elektromekanik parçalarının uygulanmasını sağlamıştır [4]. Son olarak Simplorer ve Matlab@Simulink arasında iki yönlü bir arayüz oluşturulmuştur. Eş simülasyon, önce Simplorer devresine bir Simulink bileşeni eklenerek, ardından Sim2Sim arayüzü kullanılarak Simulink'te bir S-Fonksiyonu oluşturulmuştur.

2.1. Asenkron Motorun Sonlu Elemanlar Metodu ile Tasarımı ve Modellenmesi (Design and Modeling of Induction Motor with Finite Element Method)

Ansys@Maxwell programı, alt yapısında Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanan ve bu yöntemle analiz ve modelleme yapılabilen Ansoft yazılımlarından biridir [3]. Motor modellemesinde ve sonlu elemanlar analizinde en çok kullanılmasının nedeni de, birçok makine modelinin analizini bir arada yapabilmeye özelliğine sahip olmasıdır. Ansys@Maxwell'de oluşturulan modeller, ortak simülasyon için Simplorer'a da entegre edilebilmektedir.

Tasarım verilerinin Ansys@Rmxprt'ye yüklenmesi sürecinde, kullanıcı tarafından makinenin stator ve rotor boyutlarını, makine tipini, makinenin kutup sayısı ve kontrol tipi gibi parametrelerin belirtilmesi ve tasarım programına girilmesi gerekir. Ayrıca, kullanıcı tarafından sargı, oyuk, tel, iletkenler, yalıtım ve diğer bazı ilgili parametreler gibi nominal parametrelerin belirtilmesi gerekmektedir [15].

Bu çalışmada ASM' nin tasarım modeli Ansys@Maxwell ver. 16 kullanılarak oluşturulmuştur. ASM'nin Ansys@Rmxprt modeli aşağıdaki şekil-1'de gösterilmektedir. SEA'da yer alan dört adım vardır:

- a. Geometrik parametrelerin tanımı ve 2 boyutlu modelin oluşturulması.
- b. Bölgeler, malzemeler vb. gibi fiziksel parametrelerin tanımlanması.
- c. Sürücü devresi modelinin yapımı.
- d. Çalışma alanının meshlenmesi ve problemin çözülmesi.

Şekil 2, ASM'nin geometrik 2D Ansys@Maxwell modelini göstermektedir. Sincap kafesli Asenkron motorun tasarım parametreleri ise aşağıdaki Tablo 1, 2 ve 3'te gösterilmiştir.

Tablo 1. Asenkron Motorun Tasarım Parametreleri

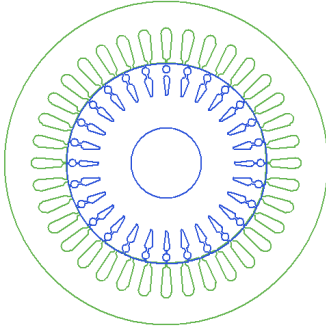
Parametre	Değeri
Nominal gerilim	400V
Çıkış gücü	15 kW
Kutup sayısı	4
Rotor hızı	1461 dev/dk
Frekans	50 Hz
Stator oluk sayısı	36
Rotor oluk sayısı	28
Verimi	%90

Tablo 3. Rotor Tasarım Parametreleri

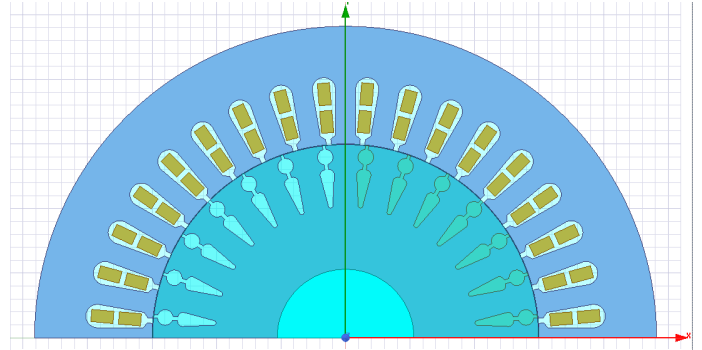
Parametre	Değeri
Oluk sayısı	28
Rotor iç çapı	63 mm
Rotor dış çapı	149 mm
Oluk tipi	UserDefinedSlot
Rotor paket boyu	300 mm
Sac çelik tipi	CS 50CS470
Hava aralığı	1 mm
Rotor sıkıştırma fak.	0,95

Tablo 2. Stator Tasarım Parametreleri

Parametre	Değeri
Oluk sayısı	36
Stator iç çapı	150 mm
Stator dış çapı	241 mm
Oluk tipi	2
Stator paket boyu	300 mm
Sac çelik tipi	CS 50CS470
Stator sıkıştırma fak.	0,97

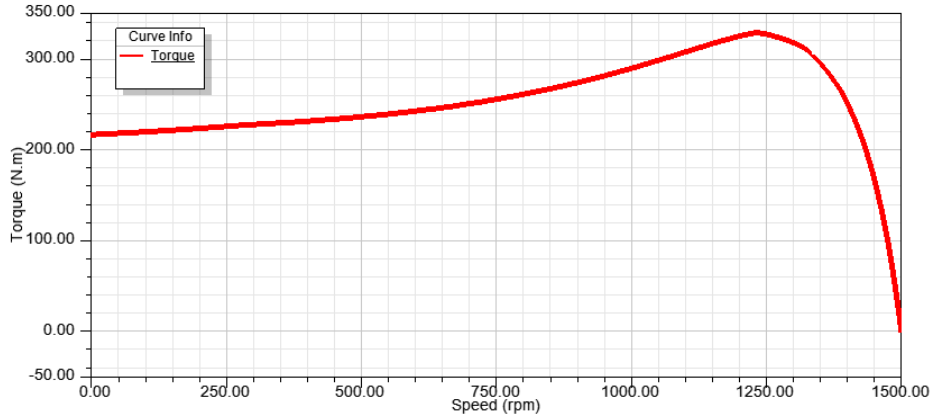


Şekil-1: Asenkron Motorun RMXprt Modeli



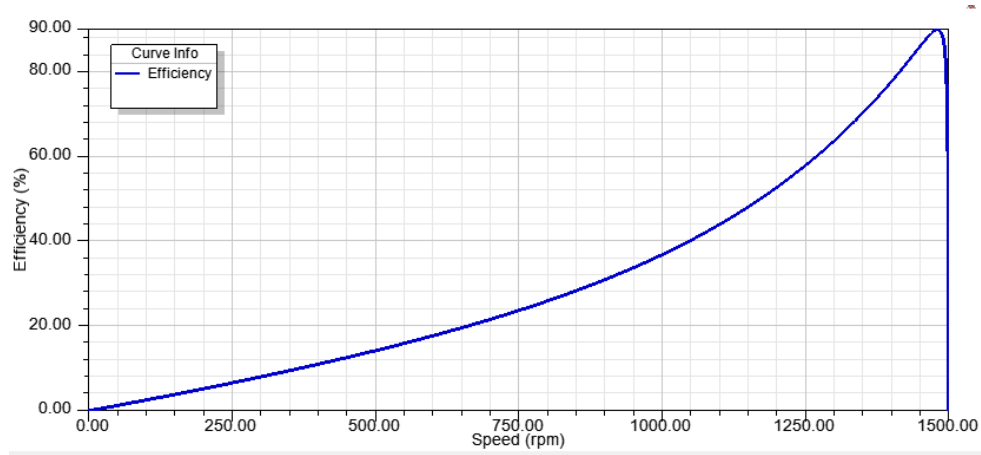
Şekil-2: Asenkron Motorun Maxwell 2D Modeli

Tasarımı yapılan ve Ansys@Maxwell 'de modellenen Üç fazlı sincap kafesli asenkron motor 15 kW, 4 kutuplu, %90 verimli ve nominal hızı 1460 rpm olarak tasarlanmıştır. Motorun tork-hız karakteristiği şekil-3'de, Verim-hız grafiği şekil-4'de verilmiştir.



Şekil-3: Asenkron Motorun Tork-hız eğrisi

Tasarımı yapılan bir asenkron motorun iyi tasarlanıp tasarlanmadığı, bu motorun tork-hız eğrisinden anlaşılabilir. Çünkü asenkron motorlarda motor çalışmaya başladıktan itibaren belirli bir miktarda tork üretmeye başlaması gerekir, motor nominal hızına gelene kadar tork belirli bir miktar artar, belirli bir hız değerine eriştiğinde tork maksimum olur ve sonra nominal tork değerine gelir. Nominal tork değeri nominal hız değerindeki motorun milindeki döndürme momentine denilmektedir. Burada nominal tork değeri kalkış torkundan düşük olmalıdır. İdeal tasarlanmış bir asenkron motorda, kalkış torku, nominal torkun 2 katı civarında, maksimum tork ise nominal torkun 3-3,5 katı civarında olmalıdır. Şekil-3'e bakıldığında bu çalışma için tasarlanan motorun sincap kafesli asenkron motorun bu değerleri sağladığı görülmektedir. Dolayısıyla, motorun tasarımının tork-hız eğrisi açısından ideale yakın tasarlandığı görülmektedir.



Şekil-4: Asenkron Motorun Verim-hız eğrisi

Bu çalışmada tasarımı yapılan senkron döner alan hızı 1500 dev/dk olan 4 kutuplu sincap kafesli asenkron motorun nominal hızda yani 1460 dev/dk dolaylarındaki verim değeri motorun %100 yüklenme durumundaki verim değerini yani motor verim değerini ifade etmektedir. Motorun nominal hızındaki verim değerinin %90 civarında olduğunu gösteren verim-hız grafiği yukarıdaki şekil-4 'te verilmiştir.

2.2 PWM İverter Modeli (Model of PWM Inverter)

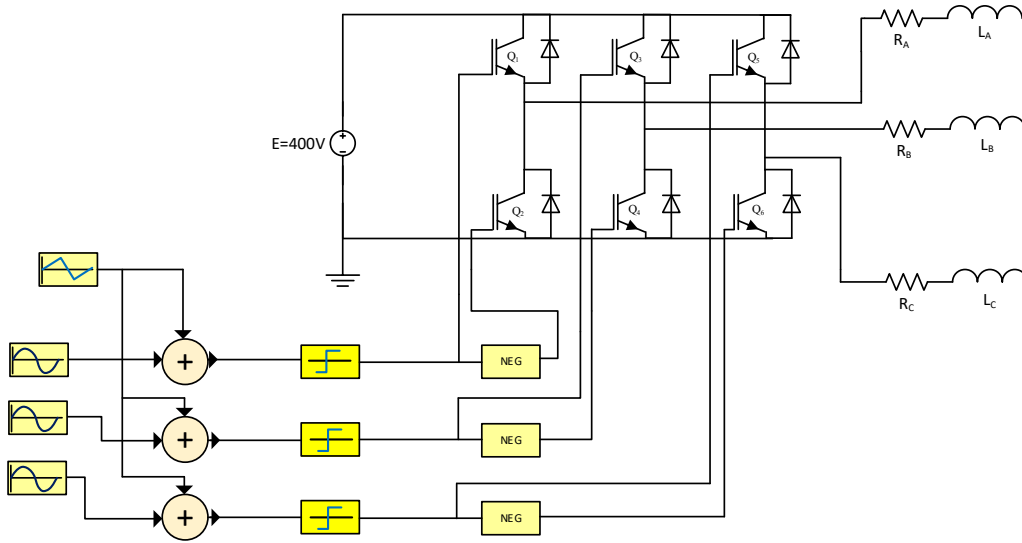
Ansys@Simplorer'da oluşturulan üç fazlı PWM inverter simülasyonu şekil-5'de gösterilmektedir. Bu makalede kullanılan Simplorer programı tüm güç elektroniği bileşenlerini kolay ve hızlı bir şekilde modellemeyi sağlayan, elektrik, elektronik, kontrol ve mekanik bileşenleri tasarlamak ve modellemek için

de kullanılabilen elektrik devresi simülasyonları için bir geliştirilmiş bir devre modelleme yazılımıdır [16]. Karmaşık modelleri bile tanımlamayı kolaylaştıran kullanıcı dostu grafik arayüzlere sahiptir [17]. Simplorer, Ansys@Maxwell ve Matlab@Simulink ile ara bağlantı kurma yeteneği nedeniyle, bu makalenin ortak birleşik simülasyonunda arayüz olarak kullanılacak en iyi seçim olduğundan tercih edilmiştir.

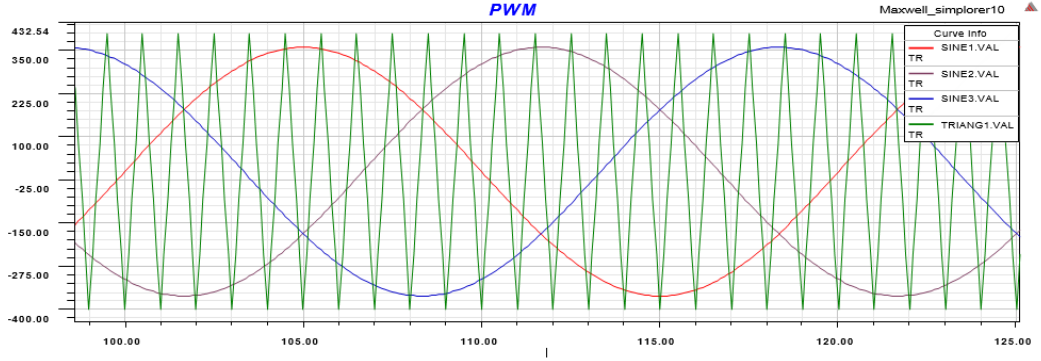
Şekil-5 'te görülen PWM İnverter devresinde, ideal anahtarlar kullanılmıştır, ancak bunları belirli IGBT modelleri ile değiştirmek de mümkündür. PWM 'in yüksek hızlı anahtarlama sinyalleri, MATLAB-Simulink'teki kontrol şemasından üretilebilir ve bir arayüz aracılığıyla alınabilir. Simplorer'da oluşturulan modelde Q_1 ile Q_6 anahtarları ile PWM invertör tetiklenebilmektedir. Bu çalışmada PWM inverter, Matlab@Simulink ile üretilen PWM anahtarlama sinyalleri ile kontrol edilmektedir.

Bu model, inverterin yanı sıra, faz sonu sargı endüktanslarını ve faz sargı dirençlerini (R_a , R_b , R_c) içermektedir. Bu bileşenlerin, iki boyutlu SEY tabanlı bir motor modeline entegre edilmesi mümkün olmadığı için bu modele dahil edilmiştir. Şekil 6'da, bir faz için PWM sinyalleri gösterilmektedir.

Simplorer kullanmak bu çalışma açısından önemlidir, çünkü Simulink yazılımında Mosfet bir güç elektroniği elemanı, ideal anahtarı ve R_d isimli direnç şeklinde modellenmiştir ve Mosfet veri sayfasından belirlenmektedir [18]. Dolayısıyla simulink modelinde ideal bir anahtar ve direnç olarak tanımlanmış Mosfet modeli, gürültü, anahtarlama kayıpları, sıcaklık ve diğer birçok ayrıntıyı hesaba katmadığından, gerçek bir Mosfet'in davranışını tam olarak simüle edemez. Ancak Simplorer gerçek bir mosfet'in en yakın şekilde modellenmesini sağlar, Simplorer'da bir güç elektroniği elemanı modelinde, DC akımı (A), Enerji ve zaman hesabı, kapasiteler ve parazit elementler gibi tüm elektriksel özellikler modelde hesaba katılmıştır [19]-[22]. PWM inverterin gerçeğe en yakın modelini oluşturmak ve anahtarlama frekanslarını gerçeğe en uygun şekilde ayarlayabilmek için Simulink ve Simplorer modellerinin birleştirilmesi gerekli olduğundan bu çalışmada bu yol izlenmiş ve gerçeğe en yakın model elde edilmeye çalışılmıştır.



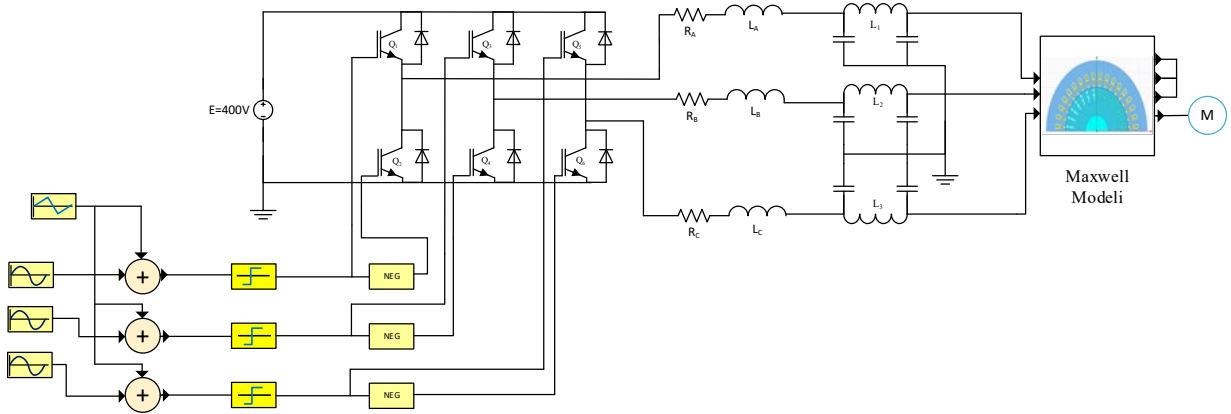
Şekil-5: Üç fazlı PWM İnverter Simplorer Modeli



Şekil-6: Üç fazlı PWM İnverter Sinyali

3. ASENKRON MOTOR SÜRÜCÜ MODELİ (MODEL OF INDUCTION MOTOR DRIVER)

Bu bölümde, üç fazlı bir PWM inverter ile sürülen Asenkron motor simülasyon modelinin oluşturulması anlatılmaktadır. Motorun SEY modeli Maxwell üzerinde geliştirilmiş ve tüm sistemin simülasyon sonuçlarını elde etmek için Ansys@Simplorer programı kullanılmıştır. ASM tamamen Maxwell'de oluşturulduğundan ve analiz edildiğinden, Simplorer ile birlikte simülasyon için hazırlanmıştır. Maxwell'i Simplorer ile ortak simülasyonda kullanmak için, Maxwell modelinde bazı değişikliklerin yapılması gerekmiştir. Maxwell'de oluşturulan ve analiz edilen 2D SEY motor modeli, doğrudan Simulink'e aktarılamaz. Simplorer programını kullanarak gerekli bir ara adım olarak burada PWM inverter dahil edilmiş ve basit bir üç fazlı kaynak eklemek mümkün hale gelmiştir. Şekil 7'de, önerilen ortak simülasyonun temel diyagramı gösterilmektedir. Yukarıda oluşturulan her bir modüle göre, PWM invertör beslemeli ASM sisteminin tümü sistematik modelden oluşmaktadır. Şekil 5, inverter beslemeli asenkron motor çalışması için simüle edilmiş sistem modelini göstermektedir. Sistematik modelde motor senkron hızı 1500 rpm olarak belirlenmiştir.



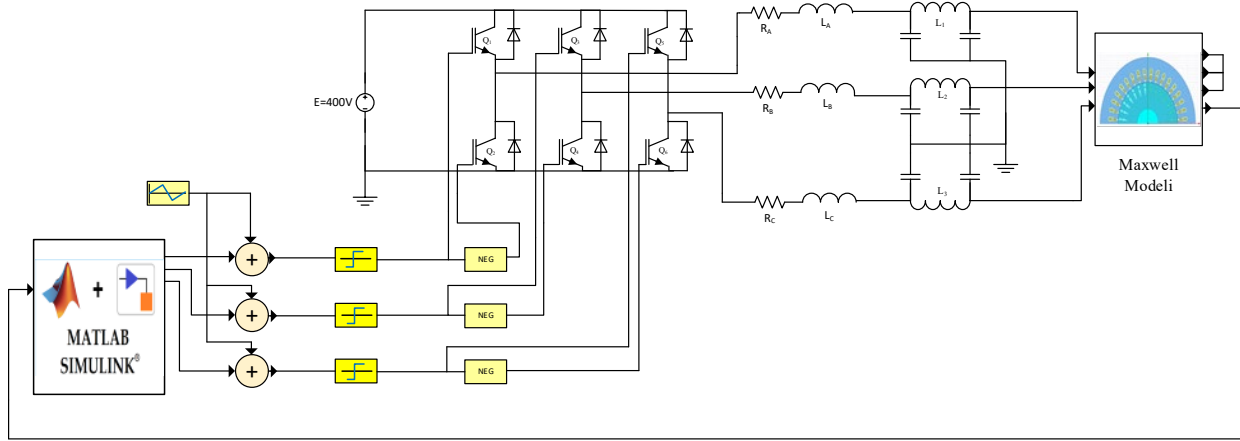
Şekil-7: Ansys@Simplorer ile oluşturulmuş Asenkron Motor 2D modeli

4. ORTAK BİRLEŞİK SİMÜLASYON MODELİ (CO-SIMULATION MODEL)

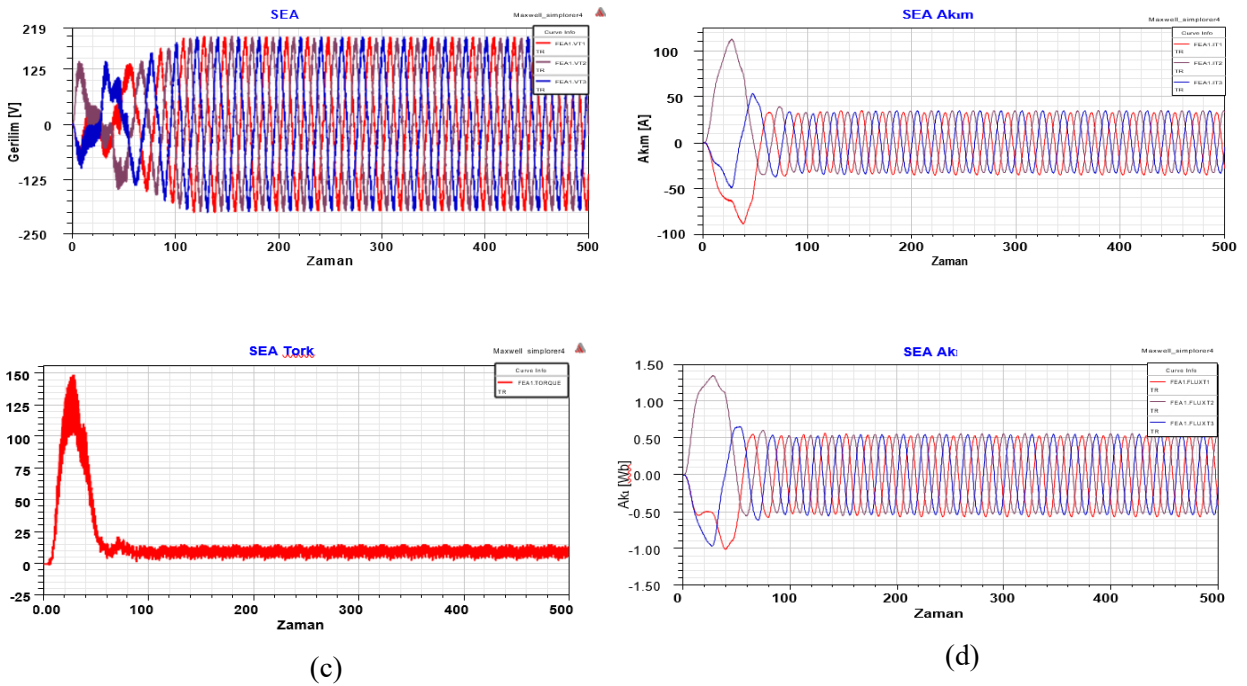
Simulink'te oluşturulan ASM'nin simülasyon modelinin kontrol şeması doğrulandıktan sonraki adım, kontrol sisteminin Simplorer'a bağlanmasıdır. Bu, Simulink "S-fonksiyonu"ndaki makineyi Simplorer'daki genel bir ASM ile değiştirerek yapıldı. Simplorer çalışma sayfasına Simulink gerilimine bağlanacak ASM

ve PWM inverter yerleştirildi. Simplorer ASM ve Simulink kontrol sisteminin tam birleştirilmiş modeli şekil-8’de gösterildiği gibi Simulink kontrol sistemi daha sonra Simplorer’a aktarılmıştır.

Simülasyon için, $2*50*pi$ referans hızı konum açısına dönüştürülmüş ve referans gerilimi ile invertere uygulanmıştır. Daha sonra Simplorer’da kontrol sistemini çağıran simülasyonu başlatılmıştır. Bu simülasyon adımının amacı, Simulink ve Simplorer arasındaki ortak simülasyonu doğrulamaktır. Yanıtlar aşağıda şekil 9’da gösterildiği gibidir. Şekil 9, normal çalışma koşullarında ASM’nin ortak simülasyonunun sonuçlarını göstermektedir. Bu şekilde stator gerilimleri, stator akımları, akısını ve elektromanyetik torku izlenmiştir.

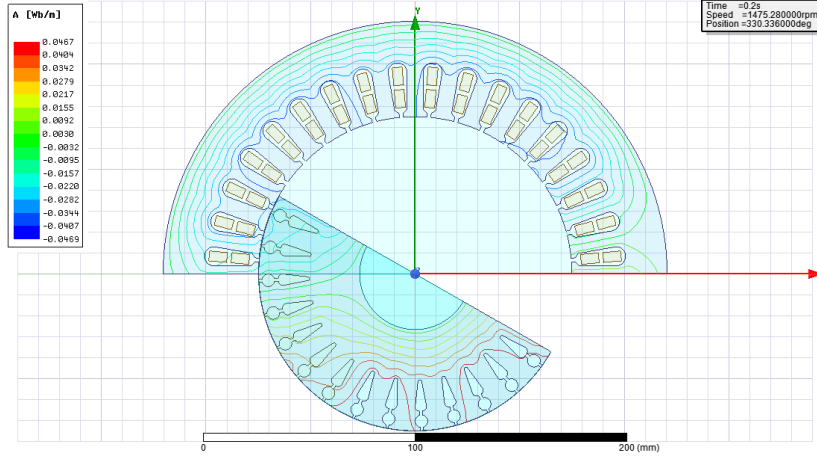


Şekil-8: Asenkron Motorun V/f hız Kontrolü Modelinin Maxwell/Simulink/Simplorer Ortak Simülasyonu



Şekil-9: Asenkron Motorun Birleşik Ortak Simülasyonu Sonuçları: (a) Stator gerilimleri, (b) Stator akımları. (c) Elektromanyetik Tork. (d) Stator akısı

Şekil 10, sağlıklı durumda makinenin manyetik akı dağılımını göstermektedir. Bu durumda, akı dağılımının simetrik ve homojen bir dağılıma sahip olduğu gözlenmektedir.

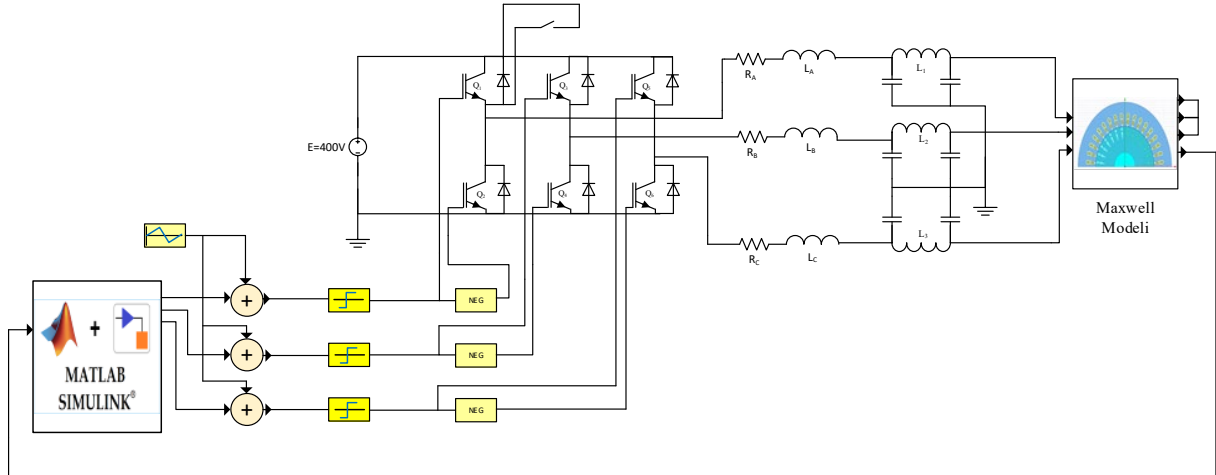


Şekil-10: Asenkron Motorun sağlıklı çalışma durumunda manyetik akı çizgileri

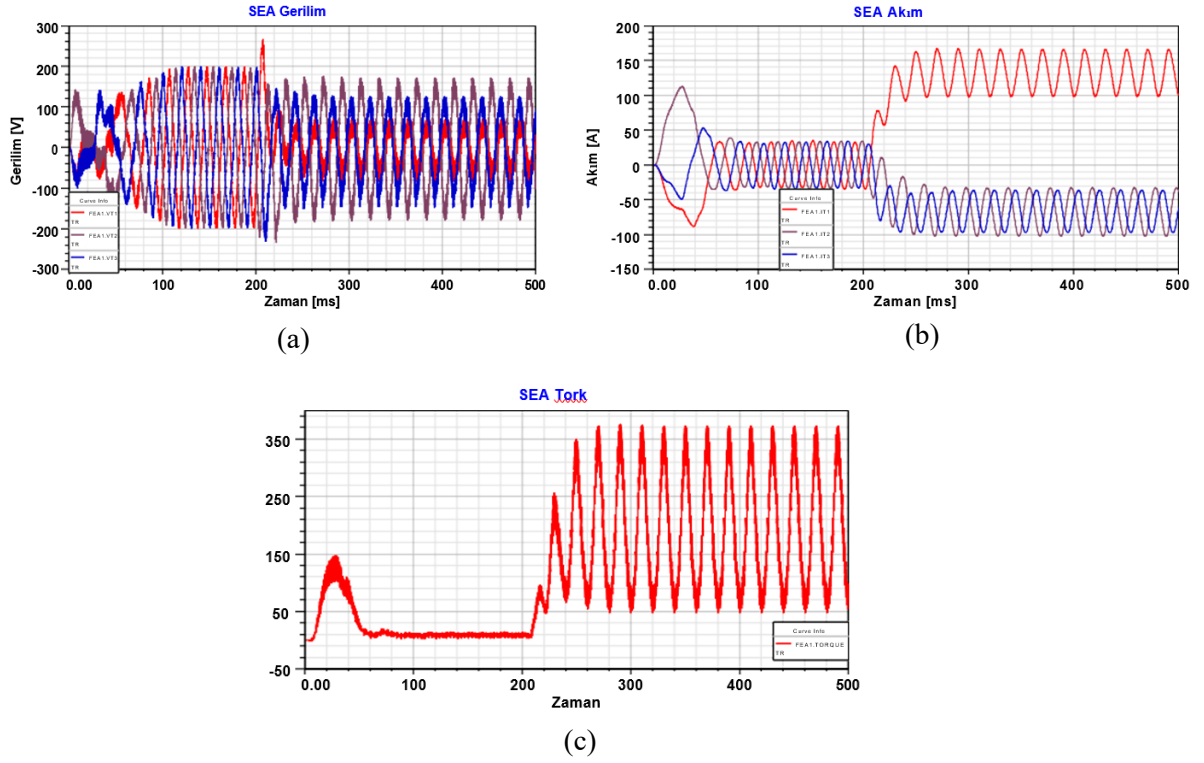
5. ARIZALI ASENKRON MOTORUN SİMÜLASYONU (SIMULATION OF FAULTY INDUCTION MOTOR)

ASM sürücü devre modeli, doğrusal olmayan elemanlardan, devre kesicilerden ve güç elektroniği bileşenlerinden oluşur. Bu bölümde, güç elektroniği arızalı bileşenlerinin etkileri simüle edilmekte ve tartışılmaktadır. Arızalı çalışma simülasyonunda kullanılan motor, üç fazlı, 4 kutuplu, sincap kafesli, yük momenti olmayan ve maksimum 1500 rpm hıza sahip 15 kW gücündeki bir asenkron motordur.

İnverterin birinci bacağındaki bir IGBT'sinde kısa devre olan sistem modeli Şekil 11'de göstermektedir. Bu durumda simülasyon sonuçları, hız kararlı durum çalışmasına ulaştığında arıza enjekte edilerek elde edilmiştir. Daha sonra $t=0.2s$ 'de, S_1 anahtarı kapatıldığında, inverterin birinci güç kutbunun üst transistörü IGBT ile kaynak terminali arasında kısa devre yapılmıştır. Motorun stator akımlarının A fazındaki dalga biçimleri Şekil 12'de gösterilmektedir.

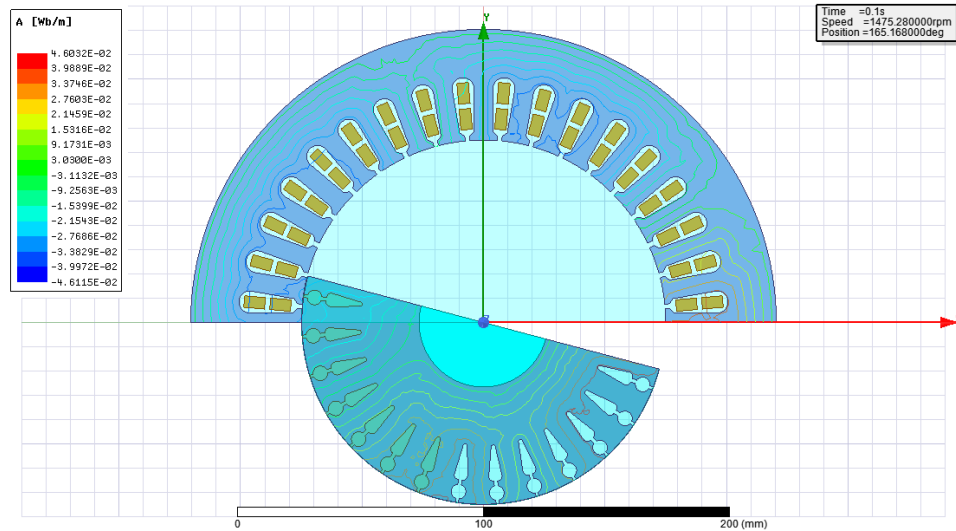


Şekil-11: Bir IGBT'si Kısa Devre Edilmiş Asenkron Motorun Sürücü Devresi Birleştirilmiş Simülasyonu



Şekil-12: Bir IGBT'si Kısa Devre Edilmiş Asenkron Motorun Simülasyon Sonuçları: (a) Stator gerilimleri, (b) Stator akımları, (c) Elektromanyetik Tork

SEA motor modeline dayalı simülasyon, $t=0.2s$ 'de arıza meydana geldikten hemen sonra tork dalgalanmalarında bir ilk artışı gösterir. Bunu elektromanyetik torktaki salınım artışları takip eder, yani motorun aynı nominal yük koşulu altında çalışamayacağı anlamına gelir. Şekil (12.b), IGBT'nin stator akımının, tüm akım fazlarında bozulmalarla birlikte çok yüksek genliğe sahip olduğu gösterilmektedir. Sağlıklı ve arızalı varsayılan durumlarda akı çizgileri dağılımında bir fark görebiliriz. Renk geçişi, manyetik akının konsantrasyon alanları, akı dağılımındaki homojenliğin kaybı gibi değişimler arıza durumu hakkında bir fikir verebilmektedir.



Şekil-13: Bir IGBT'si Kısa Devre Edilmiş Arıza Durumundaki Asenkron Motorun Manyetik Akı Çizgileri

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada orta güçlü, yüksek verimli, sincap kafesli olarak Ansys@Maxwell programında tasarımı yapılan bir Asenkron motorun hız sürücüsü olarak kullanılan PWM Inverterindeki bir kısa devre arızası görülmesi durumunun simülasyonu yapılmıştır. Burada simülasyonun daha gerçeğe yakın sonuç verebilmesi için tek bir simülasyon aracı yerine birbirine göre farklı avantajları olan 3 farklı simülasyon aracı kullanılarak tek bir birleşik-ortak simülasyon ortamı oluşturulmuştur.

Birleşik-ortak simülasyon ortamının avantajı, elektrik makinasının manyetik alanlarının görselleştirilmesi de dahil olmak üzere simülasyon sonuçlarının gelişmiş sonuçlarının gerçeğe mümkün olduğu kadar yakın elde edilmesini sağlamasıdır. Bu özellik, kullanıcıların, arızanın, motorun manyetik alan dağılımı üzerindeki etkileri de dahil olmak üzere, diğer simülasyon araçlarında görülmeyen grafikleri ve sonuçları yakalamasına olanak tanır. ASM ve kontrol sürücülerinin doğrusal olmayan modelinin simülasyonu için ortak bir simülasyon yöntemi önerilmiştir. Ayrıca, sağlıklı ve arızalı durumda motor kontrolü simüle edilmiş ve son olarak sonuçlar gösterilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada, PWM inverter tarafından beslenen bir ASM'nin performansını hesaplamak için Maxwell'de 2D sonlu elemanlar yöntemi ve Simplorer'da eşdeğer devre simülasyonu ile birleştirilmiş dinamik bir model önerilmiştir. Doğrusal olmayan manyetizasyon karakteristikleri SEY tarafından ele alınmış ve hesaplanmıştır. PWM inverter devresi, Simplorer'daki devre bileşenleri kullanılarak oluşturulmuştur. ASM'nin manyetik alanları, sargı karakteristikleri ve torku sunulmaktadır. Sinüzoidal gerilimle beslenen ASM'nin performansı, PWM inverter tarafından beslenen motor modeli karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır. SEY, inverterde ortaya çıkan arıza ile ASM çalışması gerçekleştirilmiştir. Arıza durumunun, stator akımı ve elektromanyetik tork gözlemlenerek çevrimiçi olarak tespit edilebildiği ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu makale Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğüne 22042 numaralı proje ile desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] T.M. Rajalakhmiy Samagah, *et al.*, “Comprehensive study of mixed eccentricity fault diagnosis in induction motors using signature analysis”, *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 35, pp: 180-185, 2012.
- [2] R. Bouziid, *et al.*, “An efficient, simplified multiple-coupled circuit model of the induction motor aimed to simulate different types of stator faults”, *Mathematics and computers in simulation*, vol. 90, pp: 98-115, 2013.
- [3] Çıra, Ferhat “Sürekli mıknatıslı senkron motorun stator kısa devre arızasının tespiti ve arıza şiddetinin otomatik olarak belirlenmesi.” İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017
- [4] N.S. Apostoi, “AC Machines Drives Simulation Platforms”, *IEEE International Conferences on Electric Machines & Drives (IEMDC)*, pp. 1295-1299, 2013.
- [5] S. A. Korkmaz, “Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Asenkron Motorun 3 Boyutlu Analizi” Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010
- [6] A. Polat, “Asenkron motorda eksen kaçıklığının analizi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013

- [7] H. Scchult, *et al.*, “Co-simulation of an Interior Permanent Magnet Synchronous Motor with Segmented Rotor Structure”, IEEE Annual Conference of Industrial Electronics Society, pp. 437-442, 2014
- [8] Çıra, Ferhat "Asenkron Motorlarda Gerçek Zamanlı Durum İzleme ve Arıza Tespiti." Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi Cilt 7.1 sayfa12-24. 2018.
- [9] S. Cebani, *et al.*, “Study of rotor faults in induction motors usin external magnetic field analysis”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 59, No. 5, pp: 2082-2093, 2012.
- [10] I.P. Mehtap, *et al.*, “Performance Analyzis of rotating induction machine 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, 2013.
- [11] L. Arumugami, *et al.*, “Modelling of different winding configurations for fault-tolerant permanent magnet machina to restrain interturn short-circuit current”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 27, No. 2, 2012.
- [12] W. Vasegh, *et al.*, “Faults analysis and parameters identification of permanent-Magnet Motors by the finite-element method”, *IEEE Transactions*, vol.9, pp: 3290-3295, 2009.
- [13] O. A. Muhammed, *et al.*, “Modelling and characterization of induction motor internal faults using finite-elements and discrete wavelet transforms”, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 42, No. 10, pp. 3434-3436, October 2006.
- [14] M. Çoramık, “Örnek Bir Analiz Üzerinden ANSYS MAXWELL Kullanımında Karşılaşılan Güçlüklere Detaylı Çözüm Önerileri”, International Necatibey Educational and Social Sciences Research Congress, 2018.
- [15] G. Zhaoa, *et al.*, “Co-simulation of 600KW Traction Induction Motor Fed by PWM Inverter”, 2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology, France, pp. 1680-1683, 2012.
- [16] P. T. Muellerr, *et al.*, “Calculations of iron losses from time-stepped finite element model of cage induction machiness”, IEE conf. Pub., No.412, pp. 88-92, 1995.
- [17] J. Faizi, *et al.*, “A new pattern for detecting broken rotor bars in induction motor during start-up”, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, no. 12, pp. 4637-4683, December 2008.
- [18] C.K. Hhung, *et al.*, “Analysis of the operation of thyristor controlled series compensator interacting with power system components”, in Proceeding of ITC_CSCC, pp. 741~744, Seoul, Jul. 1996.
- [19] S. Kaleh, M. Sunders “Modelling and Simulation of a Sensorless Control of Five Phase PMSM Drives using Multi Dimension Space Vector Modulation”, *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*, Decembre 2016.
- [20] W. Kıran "State-Spaces Analysis and Modellings of Full Order Observer based Control of Single Phase Inverter Both in Standalon and Gridte Modes”, *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 2016
- [21] V. Prasadi, NM Apella, “Performance Evaluation of Three Different Inverter Configurations of DVR for Mitigation of Voltage Events”, Indonesian Journal of Electrical, 2016.
- [22] Çıra, F. (2018) Asenkron motor arıza tespitinde akım uzay örüntü tanıma sisteminin kullanılması. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7 (2), 88-94