

YÜKSEK VERİMLİ ELEKTRİK MOTORU TASARIMI

Fatih BODUR

Bakioğlu Holding A.Ş. 10000 Sok. No:7 AOSB Çiğli İZMİR
fatih.bodur@bakioglu.com.tr

ÖZET

Yüksek verimli elektrik motorları gelişmiş ülkelerde artık zorunlu olarak kullanılmaktadır. Dünyanın kıt enerji kaynakları elektrik motorlarında belirli bir işi gerçekleştirmek için daha az enerji kullanmayı zorunlu duruma getirmiştir. Elektrik motorları yaşamımızda vazgeçilmez, yerine başka unsur konulamaz derecede önemlidir. Elektrik motorları enerji dönüştürme makineleri olduklarından dönüştürme sırasında en az enerji kaybı ile çalışmaları istenir. Enerji dönüştürme sırasında oluşan kayıp tam anlamı ile dünyanın sınırlı enerji kaynaklarının israfına ve bu kayıpla orantılı CO2 sera gazı emisyonu ile küresel ısınmanın armasına yol açmaktadır. Bu gidişi önlemek için yüksek verimli elektrik motoru üretimi ve kullanımı yaşamsal önemdedir. Bu makalede yüksek verimli elektrik motoru tasarımı için gereken başlıca unsurlar göz önüne alınmaktadır.

1. GİRİŞ

Elektrik motorları motora verilen elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürme makineleridir. Bu dönüş- türme sırasında verilen elektrik enerjisinin tamamının mekanik enerjiye dönüşmesi istense de kaçınılmaz şekilde bir bölüm elektrik enerjisi ısıya dönüşerek dönüştürme işleminin verimsizliğini oluşturur.

Günümüzde dünyanın kıt enerji kaynakları elektrik motorlarında belirli bir işi gerçekleştirmek için daha az enerji kaybını zorunlu duruma getirmiştir. Gelişmiş ülkelerde yüksek verimli elektrik motoru kullanımı zorunlu hale getirilmiştir.

Elektrik motorlarında verimsizliği yaratan yada arttıran etmenler bilindiği gibi:

- İletkenlik güç kayıpları
- Manyetik nüve kayıpları
- Sürtünme ve rüzgar kayıpları,
- Kaçak yük kayıpları

unsurlarından oluşmaktadır.

Yüksek verimli asenkron elektrik motorları ve özel uygulama amaçları için elektronik sürücü devreler ile kullanılan diğer yüksek

verimli elektrik motorlarının tasarımında göz önüne alınacak başlıca unsurlar aşağıda irdelenmiştir.

2.YÜKSEK VERİMLİ ELEKTRİK MOTORU TASARIMINDA TEMEL UNSURLAR

2.1. Motor manyetik akısının bulunduğu stator ve rotor manyetik devreleri tasarımı.

Manyetik tasarımda, yüksek verim için manyetik devredeki kayıplar minimize edilecek şekilde tasarım ve malzeme seçimi yapılmalıdır. Malzemedeki manyetik kayıplar başlıca şunlardan oluşmaktadır:

2.1.1.Histerize kayıpları

Tasarımı yapılacak motorun tipi bu kayıplar açısından etken olacağı için motor tipine göre manyetik nüve ve malzeme seçimi yapılmalıdır. Histerize kayıpları motor tipi ve uygulamasına uygun olarak minimal olabilecek malzeme seçilmelidir. Ferromanyetik malzeme, laminasyon saç histerize kayıpları açısından değerlendirilmelidir.

2.1.2. Eddy akımı kayıpları

Kullanılacak laminasyon saçının kalınlığı Eddy akımlarından kaynaklanacak kayıpların azaltması bakımından önemlidir, tasarımda önemle gözönüne alınmalıdır. Eddy akımlarının azaltılması için kullanılacak laminasyon saçının silikonlu tiplerden seçimi yapılabilir.

Eddy kayıpları toplam kaybın %20'sine erişebilir, silikonlu iletkenliği azaltılmış laminasyon saçları ile bu kayıpların %10 ila %25 kadar azaltılabileceği ifade edilmektedir. Laminasyon saçının kalınlığını azaltmak %10 ila %25 kadar bundan kaynaklanan nüve kayıplarını azal- tabilir.

2.1.3. Akı yoğunluğunun azaltılması

Diğer bir teknik olarak manyetik nüvenin boyutunu dönme eksenini boyuncaya arttırıp akı yoğunluğunu belirli oranda azaltarak nüve kayıpları azaltılabilir. Kullanılan laminasyon saçlarının izolasyon kaplamaları, kaplama kalınlığı tasarımda kayıpları azaltma açısından gözönüne alınmalıdır.

2.1.4. Bölgesel manyetik saturasyon

Manyetik malzemedeki kayıplardan başka motor manyetik devresinde motorun değişik çalışma rejim- lerinde, değişik yük durumlarında bölgesel manyetik saturasyonlar oluşabilmektedir. Tasarımda manye- tik motor nüvesinin geometrisi çalışma rejimi içinde bölgesel saturasyonlara girmeyecek şekilde olukların pabuçların ve girintili çıkıntılı bölgelerin geometrik biçim tasarımını yapmak gerekir. Bu şekilde bölgesel saturasyondan oluşacak kayıplardan sakınılmış olunur. Bölgesel saturasyonların tespiti için sonlu elemanlar tekniği kullanan bir manyetik nüve analiz yazılımı kullanılmalıdır.

2.1.5. Manyetik malzeme seçimi

Tasarımı yapılacak motor tipine göre manyetik malzeme seçilmelidir. Saç laminasyon malzemeleri ve sabit mıknatıs

malzemelerden Neodmium Boron, Samarium Cobalt gibi yüksek permeabiliteye sahip malzemelerin motor manyetik nüve yapısı içinde bölgesel veya tam olarak uygulanması yüksek verimli motor tasarımında sıkça kullanılmaktadır.

2.2. İletken tasarımı, iletkenlerin direnci

2.2.1. Motorlarda akım taşıyan iletkenlerin direnci güç kaybının önemli bir unsurudur. Yüksek verimli motor tasarımında iletken direncinden oluşacak kayıplar minimize edilecek şekilde sargı ve iletken tasarımı yapılmalıdır. Bu tip motorlarda iletkenlik katsayısı yüksek olduğu için bakırdan başka iletken gözönüne alınmamalıdır. Ancak yüksek verimli asenkron motorlarda, örneğin NEMA "Premium Efficiency" tipi asenkron elektrik motorlarında rotor imalatında sincap kafesi iletken rotor sargısında direnci yüksek olan alüminyum yerine bakır kullanılması zordur. Bu yüzden 200 Hp değerine kadar "Premium Efficiency" sınıfı asenkron motorlarda rotor iletkeni olarak kesiti arttırılmış alüminyum kullanılmaktadır. Bu tip sincap kafesi rotor iletkeni imalatı, kalıp içinde basınçlı alüminyum enjek- siyonu tekniği ile yapılmaktadır. Düşük sıcaklıkta eriyen alüminyum yerine daha yukarı sıcaklıkta eriyen bakırın kullanılması zorluğu ve bu tekniğin henüz geliştirilmemiş (geliştiriliyor) olması tasarımcıyı zorlayacaktır. Ancak tasarımcı bakır iletkenlerin robotik montajı ve robotik gaz altı bakır kaynak bantları tasarımını da üstlenmek sureti ile bakır sincap kafesi seri üretimini çözüme kavuşturabilir.

Önceki kuşak asenkron motorlara göre "Premium Efficiency" tipi motorlarda stator sargılarında % 20 kadar daha fazla bakır kullanılmaktadır. Bakır kesitinin daha büyük kullanılması direnci ve güç kaybını azaltmakta verimi arttırmaktadır. Daha büyük bakır kesiti sığdırmak için tasarımcı stator nüvesinde geometrik tasarım yapmalıdır. Bunu yaparken 2.1.4.deki

problemler oluşmayacak şekilde analiz ve simülasyon yapılmalıdır.

2.2.2. İletkenler arası hava aralıkları

İletkenler arası ve iletkenler ile manyetik nüve arası hava boşlukları minimal olacak (boşluk bulunma- yacak) şekilde motor manyetik nüve geometrisi tasarımlanmalıdır.

2.2.3. İletken direncinden dolayı oluşan ısının atılması

Gerek stator gerekse rotorda iletken direnci yüzünden oluşan ısının, ısı transferi yolu ile atılması gereklidir.

Aksi halde bu ısı, motor iletkenlerinde sıcaklık artışı oluşturacaktır. Bu ısı kaynağı, motor dış ortamı ve motorun iç yapısının üretilen ısının iletimi için yarattığı ısı iletim dirençlerinin dinamiği ile termal dengeye ulaşmaya kadar motorun parçalarında, elektriksel iletkenlerde sıcaklık yükselmesi olacaktır. Termal dengede motor iletkenlerindeki sıcaklık sabit değerde kalacaktır ancak bu sıcaklık değeri ne kadar yüksek ise bakır (alüminyum) iletkenlerin elektriksel direnci de benzer oranda artmış olacaktır. Elektrik motorlarının çalışma rejimine göre, sargı iletken direnci 20 °C'daki değerinin iki katından yukarı değerlere bile erişebilir. Bu da verimsizlik artışı, güç kaybı artışı getirecektir. Tasarımcının iletkenlerin ısınmasına karşı motor tasarımında iletkenlerin ve motorun soğutulmasını sağlayacak ısı iletimini ve ısının dış ortama transfer edilmesini sağlayacak ve düşük sıcaklıklarda termal dengeye erişilecek motor içi ve dışı ısı iletimi tasarımını yapması gereklidir.

Diğer bir konu da, sabit mıknatıs kullanan motorlarda bu şekilde sıcaklık yükselmesi ile mıknatısların Curie sıcaklığına erişip erişmeyeceği göz önüne alınmalıdır.

2.3. Manyetik devre hava aralığı

Motorlarda yüksek verim için stator ve rotor manyetik devreleri arası hava aralığının

minimal olacak şekilde tasarımı yapılması gereklidir.

Hava aralığı minimal olacak şekilde geometrik tasarım yapıldığında, 2.2.3. bölümde irdelenen sıcaklık artışı göz önüne alınmalıdır. Metallerde sıcaklık artışından oluşan stator ve rotor genleşmesi nedeni ile hava aralığı değişebilir. Bunun motor performansına etkisi hesaplanmalıdır. Ayrıca mekanik sürtme problemleri de göz önüne alınmalı ve tasarım

ile önlem alınmalıdır. Elektrik motorlarında bilhassa asenkron motorlarda rotor statorun içinde ise rotorun daha elverişsiz ısı iletim şartlarından dolayı statordan daha fazla ısınacağı ve rotor genleşmesinin statordan daha fazla olacağı göz önüne alınmalıdır.

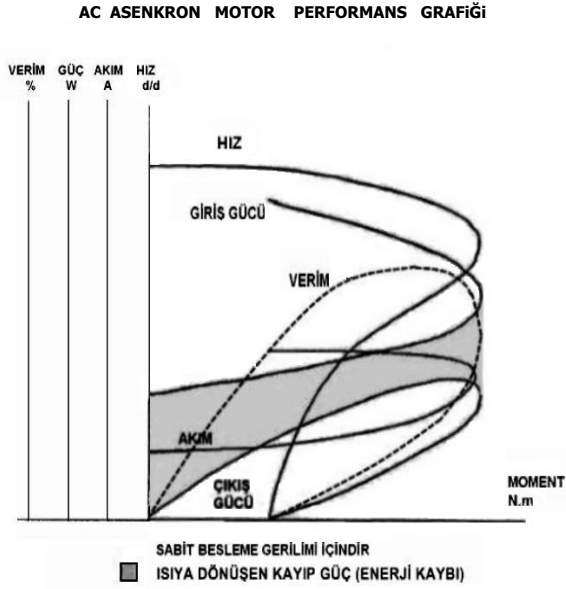
2.4. Diğer faktörler.

Tasarımcının motorun tasarımında ve üretiminde motor çalışması sırasında oluşabilecek titreşimleri en aza indirecek unsurları göz önüne alması gerekir. Titreşim ve ses motora gelen elektrik enerjisinin istenmeyen mekanik kuvvetler halinde kayba, ısıya dönüşmesinden ibarettir. Titreşimsiz ve sessiz çalışan motorlarda bu kayıplar yoktur. Motorun dönen parçalarında dinamik balans ile titreşim azaltılmasını sağlayacak şekilde üst mekanik yetkinlikte tasarım yapılmalıdır. Motorda mekanik, elektrik ve elektromanyetik ses ve titreşimler oluşmaması yada minimal düzeyde olması sağlanmalıdır.

3. MOTOR PERFORMANSININ ÖLÇÜLMESİ

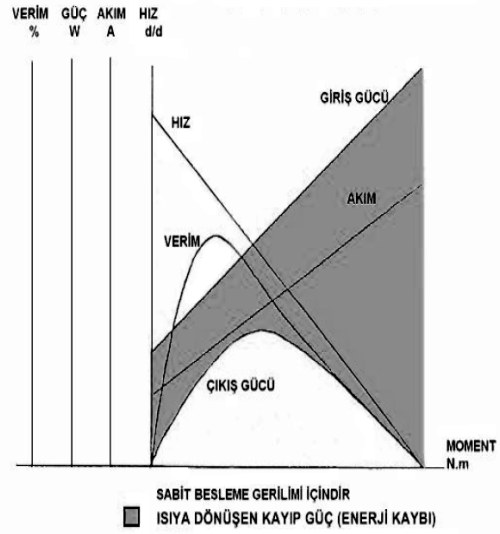
Tasarımı yapılan motordan prototip yapıldığında yada üretimi yapıldığında motorun performansının dinamometrede ölçülmesi ve gerekli düzeltmeler prototip üzerinde yapılarak yada yeni prototip üretilerek, yinelemeli bir geliştirme süreci ile tasarım tamamlanabilir. Dinamometre ölçümlerinin 5 – 10 adet gibi motorun farklı çalışma noktalarında yapılması yeterli

olacaktır. Ölçülen ve elde edilen elektriksel değerler ve performans değerlerinin bir bilgisayar yazılımı ile listelenip bir eğri uydurma (curve fitting) yazılımı kullanılarak Şekil-1 ve Şekil-2’de örnekleri verilen performans grafikleri şeklinde grafiklerinin çizilmesi motorun analizi için uygun olacaktır.



Şekil-1

Şekil-1’de bir AC asenkron motor performans grafiği örneği verilmiştir. Gri renk ile gösterilen bölge kayıp güçtür. Motorda faydalı mekanik güce dönüşmeyen, ısıya dönüşerek kaybolan enerji buradan görülebilir. Tasarım ile bu bölgenin minimize edilmesi, ya da çalışma rejimini oluşturan bölgeler için minimize edilmesi sağlanmalıdır. Çalışma bölgesi hız-moment eğrisi üzerindedir ve motorun mekanik güç sağlayacağı iş makinesinin gerektirdiği dönüş hızı ve moment gereksinimine göre saptanır. Benzeri şekilde Şekil-2’de bir DC motorun performans grafiği verilmiştir.



Şekil-2 Ayrılabilir DC Motor Performans Grafiği

Çok çeşitli tipleri bulunan elektrik motorlarının performans grafikleri değişik cinsler için oldukça farklı karakteristik şekillerde olacaktır. Ancak her durumda motorun istenen çalışma bölgesinde gereken performans değerlerini sağlaması ve kayıp bölgesinin minimize edilmesi hedef alınacaktır.

4. PROTOTİP YAPILMASI VE ÖNERİLER

Günümüzdeki mekanik parça yapım tekniklerindeki gelişmeler, CNC metal işleme tezgahları, laserli saç kesicilerin eriştiği büyük yaygınlık ve bilgisayar çizim yazılımları önceki dönemlerde yapımı yüksek maliyetlere ulaşan, büyük altyapı yatırımları ile oluşturulmuş sanayi ortamlarında kalıplar, zor imalat teknikleri vb. işçilikler gerektiren seri imalat olmayan karmaşık parçaların, kolaylıkla, kısa sürede ve fantazi düşüklükte maliyetler ile küçük atölye firmalarına sipariş edilerek yaptırılabilmesini sağlamaktadır.

Yüksek verimli elektrik motoru tasarımı ve prototipi gerçekleştirmek isteyen tasarımcılar bilgisayar ortamında tasarladıkları motor parçaları, laminasyon saçları vb. parçaları farklı atölye firmalarına

sipariş edip basit maliyetler ile yaptırabilmektedirler. Bu şekilde tasarımcılar, ar-ge çalışanları, girişimciler, evlerinin garajında bile (“backyard garage inventors”) ileri teknoloji düzeyinde ürünler geliştirme olanağına sahiptirler.

Benzer şekilde araştırma geliştirme projelerinde kullanılmak üzere gereken dinamometrenin de tasarımcı tarafından tasarlanması ve parçalarının yaptırılarak ölçme ve testlerde kullanılması önerilir. Dinamometrede hava veya su soğutmalı (ölçülecek motor gücüne bağlı olarak) histerize fren tasarımıyla kullanılması, moment koluna bağlı yük hücresi (strain gage) kullanılması, kuvvet (moment), devir, motor akımı, motor giriş gücü gibi ölçülen parametrelerin arayüz ile bilgisayara alınarak hazırlanmış yazılım ile tabloda listelenmesi ve yukarıda örnekleri verilen performans grafiklerinin çizilmesi önerilir. Bu şekilde, yine sanayide yaygınlaşmış imalat teknolojisi kullanılmak sureti ile çok düşük maliyetler ile motor tasarımlarında kullanılacak dinamometreler kolaylıkla elde edilmiş olacaktır. Çok yaygın ölçme ekipmanları ve ilgili yayın bulunduğu ve bu çalışmanın asıl konusu olmadığı için daha fazla detay verilmemektedir. Ancak motor tasarımcılarına kullanacakları kendi dinamometrelerini tasarlayıp yapmaları kuvvetle önerilir.

5. SONUÇ VE YORUMLAR

Bu yazıda yüksek verimli elektrik motoru tasarımında göz önüne alınacak başlıca unsurlar irdelenmiştir. Önemi bulursa da harmoniklerden, “magnetostiction” etkisinden kaynaklanan kayıplar ve diğer bazı unsurlar hariç tutulmuştur. Gerek tasarım gerekse tasarım sırasında, sonunda prototip yapımı ve performans ölçümü için öneriler verilmiştir. Günümüzde bu tasarım çalışmalarının ve buna bağlı prototiple doğrulama yapmanın sınırlı bütçelere sahip tasarımcı ve araştırmacılar tarafından da

kolaylıkla yürütülebileceği vurgulanmıştır. Tasarımcı ve ar-ge çalışanlarına yüksek verimli elektrik motoru tasarımı konusunda büyük bütçeli altyapılar sağlanmasını beklemeden çalışabilecekleri vurgulanmakta ve önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- 1.Nema, General Specifica-Tion For Consultants, Industrial And Municipal: Nema Premium Efficiency Electric Motors (600 Volts Or Less), Revision / Edition 07
- 2.Bimal K. Bose, Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends, Academic Press Elsevier Inc, 2006
- 3.S. Mahonaran, N. Devarajan, S.M. Deivasahayam, G. Ranganathan, Review on Efficiency Improvement in Squirrel Cage Induction Motor by Using DCR Technology, Journal of Electrical Engineering, Vol. 60, No. 4, 2009
4. J. Roger, G. Jimenez, Study of the Temperature Distribution Inside Electric Rotating Machines. Comparison between the Experimental Determination and The Calculation by The Finite Element Method, International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics, 1992
- 5.Motor Design Ltd., Motor-CAD, 1999
- 6.Infolytica Corporation.,MagNet v7, 1999
- 7.N. Burais, G.Grellet, Numerical Modelling of Iron Losses in Ferromagnetic Steel Plate, IEEE transactions., Vol MAG-18, No.2, 1982
- 8.Alan G. Jack, Automation of the Design Process for Electric Machines, International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics, 1992
- 9.CEDRAT Groupe, FLUX 10.4