

DİŞLİSİZ VE DİREKT SÜRMELİ ELEKTRİK MOTORLARININ YERLEŞTİRİLDİĞİ ERGONOMİK BİR ELEKTRİKLİ TEKERLEKLİ SANDALYE TASARIMI

İlhan TARIMER

Adile AKPUNAR

Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü
Teknik Eğitim Fakültesi
Muğla Üniversitesi, Kötekli, Muğla
e-posta: itarimer@mu.edu.tr e-posta: adile@mu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Elektrikli Tekerlekli Sandalye, Düşük Devirli Yüksek Torklu Motor, Ergonomi, Dişli

ABSTRACT

Using of electrical wheelchairs to be developed for disabled people must be as much as possibly comfort and elastic, because of necessity of disabled human life comfort. In this study, an ergonomic electrical wheelchair has been proposed. The motor which made as reductorless and is worked as high torque at low speed to be used in the wheelchair will be placed to wheelchair. As a result the volume of motor and acceleration unit will be reduced. In this case, the weight of wheelchair which not contained the reductor will be reduced as well and some problems originated from the reductor unit will be eliminated. Therefore an ergonomic and more light electrical wheelchair design could be obtained rather than the system with reductor.

1. GİRİŞ

Doğuştan herhangi bir hastalık ya da kaza sonucu, iskelet, kas ve sinir sisteminde arıza meydana gelmiş olup buna bağlı olarak normal yaşam ve aktivitelerini gerçekleştiremeyecek derecede fiziksel yetersizliğe sahip olan kişilere “ortopedik özür” denilmektedir [1]. Tekerlekli sandalyeye bağlı özürler ise tekerlekli sandalyeye bağımlı olan fakat ara sıra yürüyebilenler, vücudun üst kısmını tümüyle kullanabilenler ve vücudunun hiçbir bölümünü kullanamayan özürlerden oluşur. Devlet İstatistik Enstitüsü'nün 2002 yılı Genel Nüfus Sayımı sonuçları Türkiye'de toplam özürli nüfusunun 1,234,139 olduğunu ortaya koymaktadır. Özürli grupları içinde fiziksel özürler 472,629 kişi (toplamın %38,2'si) ile sayıca en fazladır. Ülkemizde yaklaşık 13 bin manuel tekerlekli sandalye kullanıcısı, 3-5 bin de elektrikli tekerlekli sandalye kullanıcısı bulunmaktadır [2]. Engellilerin kullanması gereken tüm cihazlar yurt dışından getirilerek trilyonlarca lira yurt dışına akmaktadır. Ayrıca bu cihazların kullanılması sırasında oluşacak bir arızanın giderilebilmesi için bakım onarım servisleri mevcut olmadığından engelli tüketici yedek parçaları yurt dışından getirmek zorunda kalmaktadır.

Engellilerin yaşamlarını kolaylaştırıcı yardımcı cihazlarla ilgili yasal mevzuatlardaki yetersizlik ve özel sektördeki yanlış üretim politikası bu sorunu artırmaktadır. Tekerlekli sandalye üretimi yapan merkezlerde daha çok atölye işçiliğine dayanan imalat süreci sergilenmektedir. Üretici merkezler bu konuda kapsamlı bir geçmişe ve AR-GE'ye sahip değildir. Belli modeller üzerinde üretim yapılmakta fakat bunlarda bütünlük ve devamlılık görülmemektedir. Mevcut yerli ürünler üzerinde ise temel işlev eksiklikleri vardır. Kullanılan modeller kişi davranış ve eylemlerini etkilemektedir. Bu nedenle ürünlerde özürli insana uygun fiziksel ölçü yetersizliği, engelli kişinin uzun süreli kullanımında rahatsızlık duymasına neden olmaktadır. Ülkemizde diğer pek çok ürün gibi tekerlekli sandalye ithalatı da yapılmaktadır. Bunun nedenleri kullanıcı ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak tasarım yapılması, kaliteli malzeme ile üretim yapılması, ergonomik ölçütlerin gerek tasarımda gerekse üretim sürecinde ön plana alınması ve elektrikli tekerlekli sandalyenin kullanım kolaylığıdır. Ergonomi, insan ile kullanılan nesne/araç arasında bir bütünlük/uyum çalışmalarının yapılmasıdır. Bu noktada insanın fiziksel ve duyuşsal yapısını iyi bilmek gerektiğinden engellilerin kullandığı elektrikli tekerlekli sandalyeler üzerinde yapılan çalışmalarda ergonomik tasarıma dikkat edilmesi yaşam konforu açısından şarttır.

Bu çalışmada elektrikli tekerlekli sandalyeler için dişlisiz olarak ve düşük devirde, yüksek torkta tasarlanmış motorlar elektrikli tekerlekli sandalyeye yerleştirilecektir. Sonuç olarak tahrik ünitesinin kaplayacağı hacim azaltılacaktır. Böylece ergonomik ve benzerlerine göre hafif bir elektrikli tekerlekli sandalye tasarımının elde edilmesi öngörülmektedir.

2. ELEKTRİKLİ TEKERLEKLİ SANDALYELER, PARÇALARI VE YÜRÜTME SİSTEMİ

Tekerlekli sandalyeler yürüme yeteneğini kaybetmiş pek çok özürli için bağımlı yaşamdan, aktif yaşama

geçiş sağlayan yardımcı araçlardır. Tasarlanan sandalyenin verimi özürli kişinin insana uygun fiziksel ölçülerine, kaybedilen fonksiyonlar ve yaşam biçimine bağlı olarak ortaya çıkan ihtiyaçlarına uygunluğu oranında artmaktadır [3]. Elektrikli tekerlekli sandalyeler alanında yapılan çalışmalardan birinde tekerlekli sandalyeler üç grupta sınıflandırılmıştır: A sınıfı, ev içinde kullanılan tekerlekli sandalyeler; B sınıfı, karışık kullanım için (yani ev içi ve ev dışı); C sınıfı, dışarıda kullanılan tekerlekli sandalyelerdir [4].

Bir elektrikli tekerlekli sandalyeyi; iki ön ve arka tekerlek, arka tekerleklere bağlı bir çift motor, iki adet 12 voltluk batarya, yön belirlemek için bir adet yönetme kolu, elektronik kontrol, batarya şarj edicisi, şarj seviye göstergesi, otomatik frenleme sistemi, ayak koyma yeri, oturma yeri ve çatı iskeleti oluşturmaktadır. Kullanılan tekerlekler, şişme veya lastik dolgulu olarak 190 mm çaplı ön tekerlek ile 310mm çaplı iki arka tekerlektir.

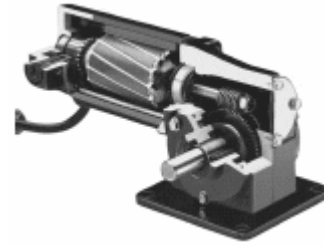
Çoğu elektrikli tekerlekli sandalyelerde birbirinden bağımsız arka tekerleklerin her bir merkezine bağlanan bir çift motor olarak sabit mıknatıslı D.A. motorları veya fırçalı D.A. motorları kullanılmaktadır. Kullanılan bu motorların miline dişli kutusu yerleştirilerek tekerlek miline monte edilir. Bu dişli kutusu 1/5, 1/10, 1/15 gibi oranlarda olabilir ve dolayısıyla motorun hızını 5, 10, 15 kat azaltırken torkunu da bu oranda artırır.

Motorların çalışmasını sağlayan 2 adet 12 voltluk kuru akü ve kadmiyum nikel batarya bulunmaktadır. Bataryalarda kullanılan elektrolit, jel veya sıvı olabilir. Jel bataryaların kullanımı halinde akü her pozisyonda sabit durabilir. Bu bataryaların kapasiteleri 17-70 Ah arasında değişebilir.

Sandalyenin hareket yönünün belirlenmesi için kullanılan yönetme kolu, engelli kullanıcının kolay ulaşabileceği yerdedir. Booth ve diğerleri, elektriksel tahrikli tekerlekli sandalyenin sürüş tekerleklerinin her birine bağlı, bağımsız çalışan bir çift motoru kumanda koluyla anahtarlama suretiyle kullanmıştır [5]. Booth'un düzeneğinde yönetme kolu yanında elektronik kontrol, ulaşılabilen düğmeler, şarj seviye göstergesi, sarı-turuncu-yeşil ve kırmızı LED seviye göstericileriyle tekerlekli sandalye ile kullanıcı arasındaki gerçek arabirimi sağlayan elektronik kontrol vardır. Reswick ve arkadaşları çalışmalarında hız oranını otomatik olarak değiştiren vites mekanizmasını anlatmıştır. Önerdikleri iletimle tekerlekli sandalyeler çok daha küçük motorlar ile kullanılabilir ve aynı batarya şarjıyla daha uzun süre çalışma imkânı elde etmiştir [6]. Bu modelde içe ve dışa doğru açılabilen ayak koyma yerleri, oturma yeri ve bir de çatı iskeleti ile otomatik elektromanyetik yavaşlatma sistemi bulunur.

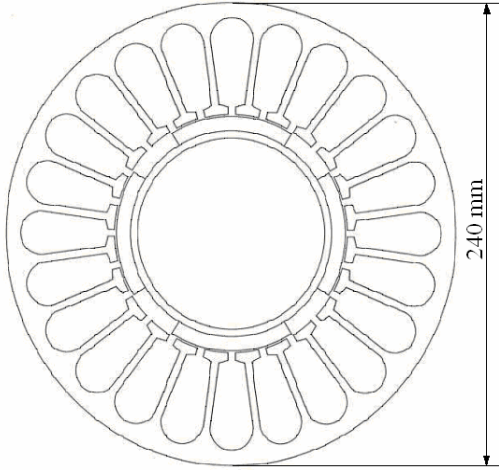
Tipik bir elektrikli tekerlekli sandalyenin yürütme sistemi, arka iki tekerleğin her bir merkezine, bir çift

motorun bağlanmasıyla meydana gelir. Çoğu tekerlekli sandalyelerde 2x12 voltluk bataryalarla, iki adet sabit mıknatıslı DA motor kullanılır. Sabit mıknatıslı motorlar kontrolü kolay yapılabilen olup lineer tork-hız karakteristiğine sahiptir [7-8]. Bu motorlar yüksüz yaklaşık %70 verime ulaşırlar; oysa tekerlekli sandalye yük altında yaklaşık %45 verimlidir [10]. Motor verimindeki düşüş, bataryadan çekilen akımı artırırken bataryanın ömrünü ve verimini azaltır. Motordaki dişli, motor torkunu orantılı bir şekilde yükseltirken, motor hızını azaltmaya çalışır. Dişliler aşınmaya ve kırılmaya meyillidir ve onarımı pahalıdır. Dişlilerde mekaniksel güç kaybı da söz konusudur ve gürültü yapmaktadır. Ayrıca kullanılan bu dişli kutusunun periyodik olarak bakımı gereklidir. Yapısı metal olduğundan dolayı iyi bir tork ve hız iletimi sağlaması için sürekli yağlanması gerekir, bu da yağın toz parçacıkları çekmesine sebep olur ve dişli aralarına giren toz parçacıkların dişliyi zorlayarak kırılmasına neden olur. Bu da elektrikli tekerlekli sandalye kullanıcısı için bir sorundur ve onarımı da pahalıdır. Şekil-1.'de piyasadaki elektrikli tekerlekli sandalyelerde kullanılan redüktörlü sabit mıknatıslı DA motoru görülmektedir.



Şekil-1. Redüktörlü sabit mıknatıslı DA motoru.

Bu durumda dişli kutusunun kaldırılması engelli kullanıcı için kullanım rahatlığı sağlayacaktır. Bu nedenle Şekil-2.'de stator sac paket görünümü verilen fırçasız DA motorunun bir elektrikli tekerlekli sandalyede kullanımı ve bu motorun direkt sürülmesi öngörülmüştür [11].



Şekil-2. 1,5 kW, 150 d/d, 110 V'luk fırçasız sabit mıknatıslı DA motorunun sac paket görünümü.

Şekil-2.'de sac paket görünümü verilen fırçasız DA motoru statorunun dış çapı 240 mm olup 24 stator oluğu ve rotorunda 4 mıknatıs kutbu bulunmaktadır. Bu sac paket ölçüsündeki fırçasız DA motoru kullanıldığında dişlisiz olarak % 87,52 verim ile çalışarak moment üretecektir [11]

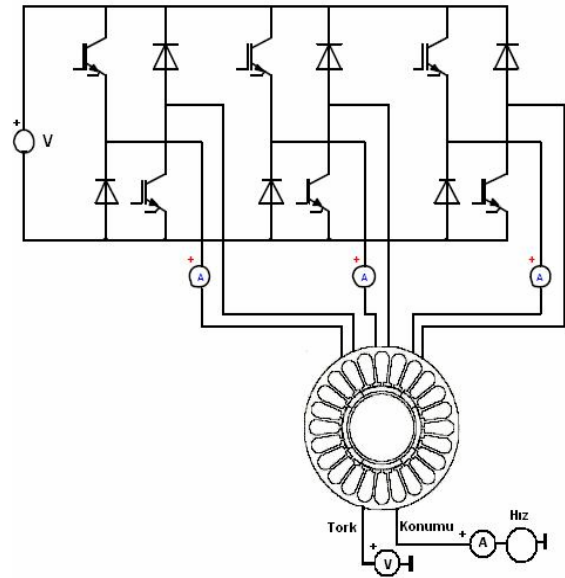
Bundan sonra motora sürme devresi eklentisi ile motorun direkt sürümü planlanmıştır. Direkt sürme sistemi dişli kullanım zorunluluğunu ortadan kaldırır; fakat düşük hızda, yüksek tork verebilen bir motor kullanmayı gerektirir. Bu amaçla doğal mıknatıslı dişlisiz fırçasız motor ve anahtarlamalı relüktans motorları direkt sürmeli motor olarak kullanılabilir [11]. Doğal mıknatıs, hem demir nüveden daha yüksek manyetik alan yoğunluğu hem de demir nüveli benzer motorlardan daha hafif ve daha küçük bir yapıyı vermektedir. Ayrıca sabit mıknatıslı fırçasız DA motorlarında kullanılan doğal mıknatıs, benzer ölçülerdeki demir manyetikli motorlardan çok daha güçlü bir kuvvet yoğunluğu sağlamaktadır [12]. Iwabuchi ve arkadaşları, önerdikleri motorda, düşük hız yüksek tork uygulamaları için uygun olacak şekilde stator dişlerinin üzerine doğal mıknatıs monte etmişlerdir [13].

Fırçasız motorlar, fırçalı motorlardan daha çok verimli olmakla birlikte fırçalardan dolayı elektriksel güç kaybı meydana gelmektedir. Aynı zamanda fırçalar aşınma nedeniyle düzenli bir şekilde kontrol edilmeli ve gerektiğinde değiştirilmelidir [8].

3. ÖNERİLEN MOTORLARIN ELEKTRİKLİ TEKERLEKLİ SANDALYEDE KULLANIMI

Ortalama 50–55 kg ağırlığında olan elektrikli tekerlekli sandalyenin öncelikle redüktörleri kaldırılmalıdır. Çünkü tipik bir (PM) sabit mıknatıslı DA motoru dişli kutusuyla birlikte 6,803 ile 15,875 kg ağırlıkta, 101,6 mm ile 226,6 mm arası uzunluktadır.

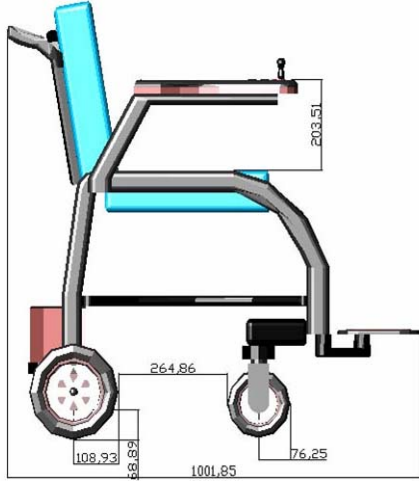
Motor çapı 203,2 mm dir. Bu özellikte olan bir motorun kendisine redüktör eklentisi ile boyutlarının büyüyeceği ve kaplayacağı hacmin artacağı bilinmektedir. Bu nedenle elektrikli tekerlekli sandalyeden redüktörleri kaldırarak dış çap ve diğer özellikleri Şekil-2.'de verilen bir motoru kullanmak suretiyle tork üretimi düşünülmüştür. Böylece ağır olan elektrikli tekerlekli sandalye biraz daha hafifletilecek, redüktörlerin kapladığı hacim azaltılacak ve fiziksel ölçüler küçültülecektir. Şekil-3.'de tasarlanan dişlisiz fırçasız DA motorunun bir sürme devresi eklentisi ile birlikte bağlantısı görülmektedir.



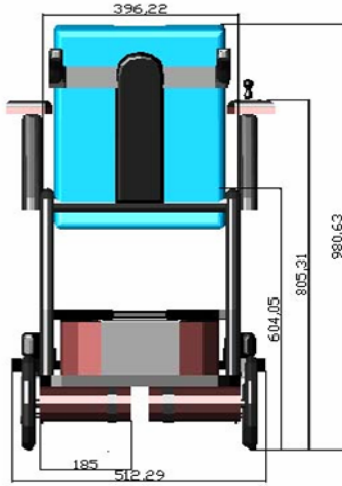
Şekil-3. Tasarlanan düşük devirli yüksek torklu fırçasız DA motoruna sürme devresi eklentisi.

Yüksek verimli ve tekerlekli sandalyeyi sürecektorku üretebilen motor, bir sürme devresi eklentisi ile direkt olarak sürülür. Bu durumda dişli kutusu kullanım zorunluluğu ortadan kaldırılır. Böylece elektrikli tekerlekli sandalye daha hafif ve ergonomik bir tasarıma ulaşır. Ayrıca elektrikli tekerlekli sandalyede kullanılacak motor boyutları küçük olacağından toplam maliyet de azalır.

Şekil-4.'de tasarlanan elektrikli tekerlekli sandalyenin gerçek ölçülere göre çizilmiş yan görüntüsü verilmiştir. Şekil-5.'de motorların redüktörleri kaldırılarak bağımsız şekilde her bir tekerleğin merkezine yerleştirilmiş şekli görülmektedir.



Şekil-4. Tasarlanan elektrikli tekerlekli sandalyenin yan görünümü



Şekil-5. Tasarlanan elektrikli tekerlekli sandalyenin arka motor bağlantısı

Fırçasız DA motorları, geleneksel iki motorun istenilen karakteristiklerini birleştirir. Bunlar, fırçalı DA motorunun maksimum başlangıç tork özelliği ve AA indüksiyon veya relüktans motor sürücülerinin yüksek hızda çalışma özelliğidir. Fırçasız DA motorunda fırça takımı ve komütatör yoktur. Ayrıca bu DA motoru sürücü devreyle sürülerek yüksek hızlarda ve yüksek güvenilirlikte çalışır. Motor pratik olarak bakım gerektirmez. Fırçalı DA motorlarında fırçaların ark yapması durumu söz konusudur ve güvenlik göz önüne alındığında fırçasız bir motor kullanımı daha uygun olabilir. Hemati ve diğerleri direkt sürmeli bir robot kolunun bir fırçasız DA motoru tarafından ivmelendiğini göstermiş ve sistemin matematik modelini çıkartarak fırçasız DA motorların nonlineer kontrolünü yapmıştır [14].

Anahtarlamalı relüktans motorları yapı olarak basittir, fakat kontrolü karmaşıktır. Bununla birlikte düşük maliyetli olup, rotor açısız pozisyonundan bağımsız sabit tork üretirler, ancak çalışma hızında çalışırlar, yüksek verimlidirler ve yüksek tork üretirler [9].

4. MATEMATİK MODELLEME

Döner elektrik makinelerinin tasarımındaki ilk adım D^2l çarpımının elde edilmesidir. Bu çarpım, öz yüklemelerin uygun değerlerinin seçilmesi ve makinenin hacmi ile orantılıdır. Liao ve arkadaşları iki katlı çıkıntılı sürekli mıknatıs (DSPM) motorların, motor yapılandırmasını, D^2l bağıntısını kullanarak ve değişik müşteri taleplerine göre en uygun tasarımla yapmıştır [15]. Bir elektrik makinasının etkin kısımlarının hacmi D^2l ile yakından ilişkilidir ve anma torku da kW/n ile orantılıdır [7]. Bir motorun başlangıç tork değeri:

$$T = \left(\frac{\pi}{2} B_{ort} ac\right) D^2 l \quad (\text{Nm}) \quad (1)$$

ile verilir. Burada;

- T = Başlangıç torku (Nm)
- ac = Tork akımına karşılık gelen öz elektrik yüklemesinin değeri (amper-iletken/m)
- B_{ort} = Ortalama akı yoğunluğu (Tesla)
- D = Rotor ve stator çapı (m)
- l = Stator nüve uzunluğu (m)

Fırçasız DA ve anahtarlamalı relüktans motorları arasından seçilen motorların tork, hız ve boyutlar gibi karakteristik parametreleri bilgisayar destekli bir benzetim programıyla çıkarılarak motorun analizi yapılır. Program çıktısı olarak tork, hız, akım, verim gibi değerleri grafikler halinde simüle edilir. Elde edilen veriler sürme devresiyle birleştirilir. Motor(lar) elektrikli tekerlekli sandalyenin arka tekerleklerine direkt yerleştirilir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada elektrikli tekerlekli sandalye için düşük devirli yüksek torklu ve dişlisiz direkt sürme için tasarlanmış motorların kullanımı ve böylece daha hafif bir yapıya ulaşılması düşünülmüştür. Olabildiğince küçük boyutlu olması planlanan motorun elektrikli tekerlekli sandalyeye uyarlanmasıyla benzerlerine göre daha hafif ve dolayısıyla ergonomik bir yapıya ulaştırılması önerilir.

Tasarlanan motor, elektrikli tekerlekli sandalyenin birbirinden bağımsız arka tekerleklerinin her bir merkezine redüktörleri kaldırılmış bir şekilde direkt olarak monte edilir. Bu sandalyenin mekanik görünümüleri çıkartılarak olası tüm boyutlandırılmaları elde edilecektir. Ayrıca bu motor(lar)ın uygun sürme devresi ile sürülecektir.

Bu yapılan boyutlandırma piyasada kullanılan diğer sandalyelerle karşılaştırıldığında sandalyenin hacim ve ağırlığının daha azaldığı ve maliyetinde de düşme

olduğu görülür. Ayrıca sandalyede kullanılan bu motorlar daha az teknik problemlere yol açar ve daha az bakım gerektirir. Bu da elektrikli tekerlekli sandalye kullanımına rahatlık ve kolaylık getirir.

KAYNAKLAR

- [1] Çağlar, D., 1982, Ortopedik Özürlü Çocuklar ve Eğitimleri (2.Basım). Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Yayınları No:115, Ankara.
- [2] www.bedd.gov.tr, (2005).
- [3] www.mpm.org.tr, (2005).
- [4] Attali, X., Pelisse, F., Looking back on the Evolution of Electric Wheelchairs, Medical Engineering Physics, 2001.
- [5] Booth, E., Booth, R.E., 1977, The Control of Electrically Powered Invalid Chairs and the Development of a 'touch' control system, Engineering in Medicine Volume 6, Issue 4, Pages 120-122.
- [6] Reswick, J.B., 1985, Automatic Transmission for Electric wheelchairs, Journal of rehabilitation R&D Volume 22, Issue 3, July 1985, Pages 42-51.
- [7] Gürdal, O., 2001, Elektrik Makinalarının Tasarımı, Nobel Yayın Dağılım, Ankara, 513
- [8] Bal, G., 2004, Özel Elektrik Makinaları. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 194.

[9] Miller, T.J., Switching Reluctance Motors and Their Control, Magna Physics Publishing and Clarendon Press, Oxford USA, 1993.

[10]

www.wheelchairnet.org/WCN_WCU/Research/StakeholderDocs/PDFs/motors.pdf (2005).

[11] Tarimer, İ., Redüktörsüz Mekanik Sistemler için Düşük Devirde ve Yüksek Torklu Elektrik Motor Tasarımları, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2003.

[12] Kasinathan, P., Grauers, A., Hamdi, E., S., Force Density Limits in Low-Speed Permanent-Magnet Machines Due to Saturation, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.20, No.1, March 2005.

[13] Iwabuchi, N., Kawahara, A., Kume, T., Kabashima, T., Nagasaka, N., 1991, A Novel Inductor Type High-Torque Motor with Rare-Earth Magnet, IEEE.

[14] Hemati, N., Leu, M.C., 1990, Robust Nonlinear Control of Brushless DC Motors in the Presence of Magnetic Saturation, Systems Engineering IEEE International Conference on, pages 601-604.

[15] Liao, Y., Lipo, A. T., Sizing and Optimal Design of Doubly Salient Permanent Magnet Motors.