



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2008, Volume: 3, Number: 2
Article Number: A0071

NATURAL AND APPLIED SCIENCES
ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEERING

Received: December 2007
Accepted: March 2008
© 2008 www.newwsa.com

Engin Hüner
Nazmi Ekren
Tahir Çetin Akıncı
University of Marmara
cetinakinci@marmara.edu.tr
Istanbul-Türkiye

TEKER MOTORLAR VE TEKER MOTORLARIN ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANIMINA İLİŞKİN BİR İNCELEME

ÖZET

Yapılan bu çalışmada da teker motorların geçmişten günümüze genel bakışı yapılarak bu konu üzerine yapılan çalışmalar ortaya konmuştur. Bununla birlikte irdelenen bu çalışmalarda teker motorların gelecekte elektrikli araçlarda kullanılabilecek başlıca motor tipi olduğu görülmüştür. Ayrıca teker motorla içten yanmalı motorun birlikte kullanıldığı hibrid araçlarında ticari olarak üretilmeye başlandığı belirlenmiştir. Nüfus yoğunluğu nedeniyle trafik yoğunluğunun da fazla olduğu şehirlerde hibrid araçlar kullanılması ile birlikte hava kirliliğinde önemli derecede azalmalar kaydedildiği ortaya konmuş ve hibrid sistemlerin verimliliğinin yüksek olması nedeniyle fosil yakıt tüketiminin düştüğü ve dünyadaki sınırlı kaynakların daha etkin biçimde kullanılabilmesinin önü açıldığı da yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır. Yapılan bu çalışma ile de teker motorun yapısı, sürücü sistemleri, kontrol sistemleri, geliştirilen prototipleri üzerine yapılan çalışmalar gözden geçirilmiştir. Böylece genel bir fikir edinilmesi ve gelecekte teker motor üzerine neler yapılabileceğinin ortaya konması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Teker Motor, Elektrikli Araçlar, Sürücü Sistemler

AN OVERVIEW WHEEL MOTOR AND USING IN ELECTRICAL VEHICLES

ABSTRACT

This paper is explained Wheel motor and depend on working this area hence this papers is represent Wheel motor that is main propulsion drive of future electrical vehicles. Also hybrid vehicles is constructed for commercial aim that hybrid vehicles is constituted internal combustion and electrical motor. Hybrid vehicles is more efficient decreasing air pollution that people density is especially very much. And hybrid systems efficient is more than others systems therefore fosil fuel consumption is decreasing and the over earth source is consumed more efficient that this is showed to the experimental results of other investigators. The paper are investigated the Wheel motor structures, drive systems, control systems and prototip of Wheel motors that is having investigated. In this way the paper aim common idea and obtain what are doing in future about Wheel motor.

Keyword: Wheel Motor, Electrical Vehicles, Driver Systems

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Wheel motorların Türkçe karşılık olarak teker motor denmektedir. Teker motor adından anlaşılacağı gibi tekere monte edilen, tekerle bütünleşik bir motor anlamına gelir. Elektrikli araçların gündeme gelmesinden itibaren elektrik motorları içten yanmalı motorların yerlerine ya da destekleyici bir sistem olarak düşünülmüş ve farklı tipte üretilen motorlar elektrikli araçlarda(EV) kullanılmıştır. İlk kullanımlarında daha çok bir elektrikli motorun kullanıldığı, gücün ise dişlilerle tekerleklere aktarıldığı sistemlerden günümüzde her bir tekerlek için ayrı bir motorun kullanıldığı ve doğrudan tekerleğe bağlandığı sistemler geliştirilmiştir. Çok motorlu sistemlerde kullanılan elektrikli motorların tekerleğe doğrudan bağlantısı nedeniyle de bu motorlar teker motor olarak adlandırılmıştır.

Yapılan bu çalışmada teker motorun genel yapısından bahsedilerek teker motorla ilgili yapılan çalışmalar gözden geçirilmiş ve gelecekte yapılacak çalışmaların neler olabileceği ortaya konmuştur.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Günümüzde hava kirliliğinin artması ve fosil kaynakların yakın bir gelecekte tükenmesi tehlikesine karşın otomobillerde kullanılan içten yanmalı motorların yerlerine yeni alternatifler geliştirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda hareket ettirici sitemde içten yanmalı motorların yerlerine değişik tipte elektrikli motorlar üretilmektedir. Bu motorlardan en önde gelenleri Wheel motor diye adlandırılan teker motorlardır.

Fosil esaslı doğal kaynakların gün geçtikçe tükenmesi ve bu kaynakları kullanan içten yanmalı araçların çevre üzerinde ki büyük tahribatı nedeniyle düşük emisyonlu sahip araçların geliştirilmesi ön plana çıkartılmıştır. Elektrikli araçlar ve bu araçların hareket düzeneklerinde kullanılan teker motorların üretilmesi, geliştirilmesi ve uygulanabilirliği elektrikli araçlarda önemli bir yere sahiptir.

3. TEKER MOTORLARIN YAPISI (THE STRUCTURE OF WHEEL MOTOR)

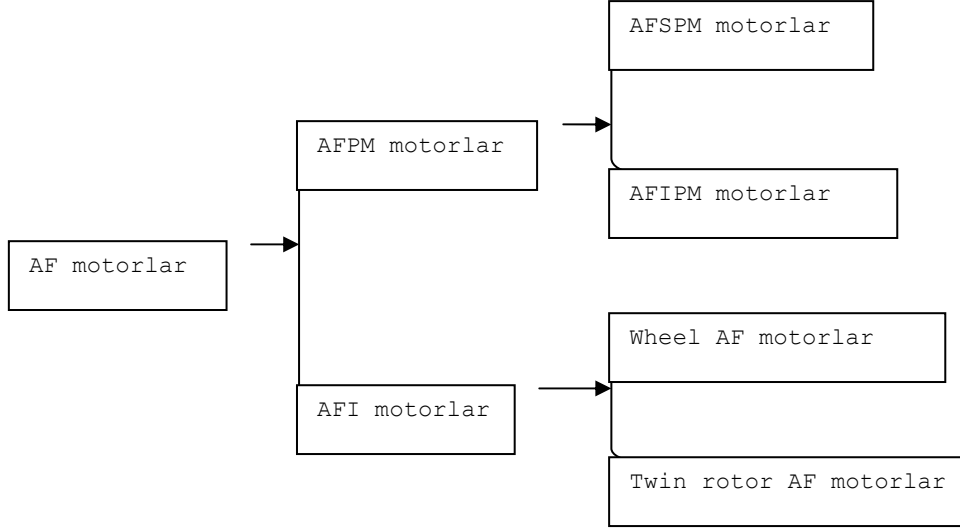
Elektrikli araçlarda(EV) farklı tipte motorlar önerilmiştir. Bunlar: DC fırçalı motorlar(sürekli mıknatıslı, sargılı), asenkron motorlar, anahtarlamalı relüktans motorlar ve sürekli mıknatıslı(PM) fırçasız DC motorlar. Karşılaştırıldıklarında PM fırçasız DC motorların basit yapısı, kolay üretilmesi, yüksek güvenilirlikleri, fırçasız olması nedeniyle az bakım gerektirmesi, yüksek güç yoğunluğu ve verimliliklerinin yüksek olması gibi nedenlerden dolayı tercih edildikleri görülmüştür[4].

Elektrikli araçlarda kullanılan teker motorları akıllarına göre de üçe ayırabiliriz. Bunlar: aksenal, radyal, enine(transverse) akılı olmak üzere üçtür. Elektrikli araçlarda kullanılmaya en uygun olan tip aksenal akılı motorlardır [3, 6 ve 8].

Eksenel akılı(AF) motorda direk aksenal olarak hava boşluğundan akı geçer. Genellikle stator halka, rotor ise disk yapısındadır. Torqu üreten aktif parça statorun iç çapından dış çapına kadar olan radyal uzaklıktaki bölümdür. AF motorda radyal aktif parçası değişmeden kutup sayısı arttırılabilir. Böylece aksenal uzaklık azalır ve güç yoğunluğu artar. Bundan dolayı da AF makineler düşük hızda yüksek tork üretebilirler ve makine yapısı da teker motor olarak kullanılmaya çok uygundur[6].

Eksenel akılı(AF) motorlar kendi içinde sürekli mıknatıslı ve indüksiyon olmak üzere ikiye ayrılırlar. Eksenel akılı asenkron(AFI) motorlar teker aksenal akılı(Wheel AF) ve iki rotorlu aksenal akılı(twin rotor AFI) olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılır. Eksenel akılı sürekli mıknatıslı motorlar ise kendi içinde aksenal akılı

slotsuz sürekli mıknatıslı(AFSPM) ve aksel akılı slotlu tipli senkron(AFIPM) motor olarak ikiye ayrılır[6].

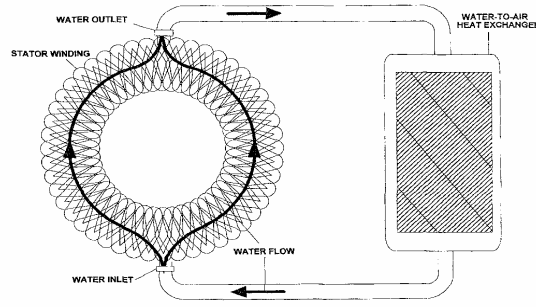


Şekil 1. Teker motorların çeşitleri
(Figure 1. Types of Wheel motors)

4. TEKER MOTORLARLA İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR (AN OVERVIEW ABOUT WHEEL MOTOR)

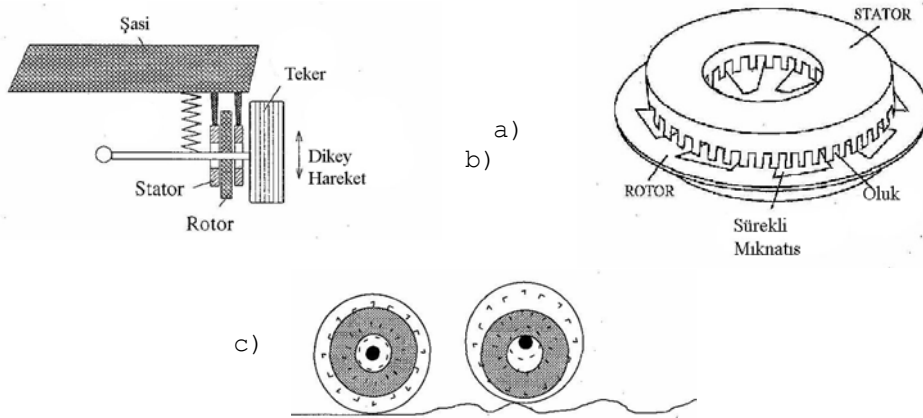
D. Patterson ve R. Spee güneş enerjili araç için aksel akılı sürekli mıknatıslı bir dc motor geliştirmişlerdir. Hibrid elektrikli araçlarda fırçalı dc motor, asenkron motor, sürekli mıknatıslı senkron motor gibi farklı motor tiplerinin kullanılabilmesini belirtmişlerdir. Fakat fırçasız sürekli mıknatıslı dc motorun düşük ağırlıkta yüksek güç yoğunluğuna ve yüksek verimliliğe sahip olduğu için ön plana çıktığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte aksel akılı geometrinin kullanılmasının radyal akı geometrisine göre iki tane üstünlüğünün bulunduğu bunlardan birincisinin teker motor tasarımı için aksel akılı geometrinin daha uygun olduğu, ikincisi ve daha önemlisi mekanik ayarlama yaparak akı zayıflatmasının mümkün olmasıdır. Ayrıca bu akı zayıflatılması verimlilik üzerine fazla etkisi yoktur. Hava aralığının artması bakır kayıplarını arttırmakla beraber tork düşmekte ve akı yoğunluğunun azalması ile birlikte demir kayıpları da azalmaktadır. Hava aralığındaki bu değişim radyal akılı geometride mümkün olmamaktadır[1].

F. Carricchi ve arkadaşları AFPM'in teker motor olarak uygulanması için çok bölümlü bir yapıya sahip ve de su soğutmalı bir motor geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada kapalı yapısı sayesinde çevre etkilerine maruz kalmadığı ayrıca düşük hızda sağladıkları yüksek tork sebebiyle AFPM'in en iyi seçenek olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan çok bölümlü yapısı ve su soğutmasıyla birlikte aksel akılı sürekli mıknatıslı motor(AFPM) az yer kaplayan, hafif, uzun süreli aşırı yük kapasitesine sahip bir yapıya sahip olmuş ve elektrikli araçlarda doğrudan sürülebilir teker motor uygulamasında kullanılabilir duruma gelmiştir[2].



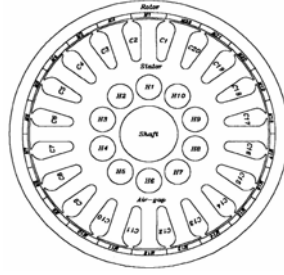
Şekil 2. Teker Motorlar için Soğutma Sistemi
(Figure 2. Cooling system for wheel motor)

B. Hredzak ve arkadaşları elektrikli araçlarda kullanılan teker motorlarda meydana gelen tork bozulmalarını önleyen bir kontrol önermiştir. Elektrikli araçlarda kullanılan teker motorun bağlantışı ve yapısı aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir. Teker motorun rotoru bozuk bir yola girdiği zaman dikey hareket etmekte ve bu hareket nedeniyle rotorun statorun merkezinde dikey yer değiştirmesine dolayısıyla da torkun dalgalanmasına neden olmaktadır. Bunu önlemek için bir vektör kontrol sistemi geliştirilmiştir. Bunun için akı değişimi motorun duru gözlemcisinden elde edilen verilerden akının değişimi hesaplanarak motora uygulanan akım modüle edilmiş ve girişe uygulanmıştır. Yeni geliştirilen vektör kontrol sayesinde tork dalgalanması akım modülasyonu ile başarılı bir şekilde giderilmiştir[3].



Şekil 3 a) Elektrikli araçlarda teker motor b) Teker motor c) Yol yüzeyi
(Figure 3. a) Wheel motor on EV b) Wheel motor c) Road surface)

King-Jet Tseng ve G. H. Chen doğrudan sürülen teker motor sürücüsünü bilgisayar destekli olarak tasarım ve analiz etmiştir. Önerilen motor sürekli mıknatıslı kare dalgalı motordur. Bu motorun rotoru rare earth mıknatıslardan oluşmuş ve rotor motorun dışına yerleştirilmiştir. Böylece elektrikli aracın her bir tekerleğini direkt olarak sürmek mümkün olabilmektedir. Motorun iç kısmını ise sargıların yerleştirildiği ve süspansiyon sisteminin de bağlı olduğu stator oluşturmaktadır. Elektrikli aracın doğrudan sürülebilmesi için gerekli olan düşük hızda yüksek tork gereksinimine göre tasarlanmış bunu gerçekleştirmek için de sonlu elemanlı elektromanyetik alan analizi yapılmıştır[4].



Şekil 4. Teker motorun açısız bölümlenmesi
(Figure 4. Radial section of Wheel motor)

M. Terashima ve arkadaşları dört tekerleği de teker motor olan yüksek performanslı elektrikli araç geliştirmek için yeni bir motor ve kontrolör tasarlamışlardır. Kontrolör mikro işlemci tabanlı olup üç fazlı inverteri içermektedir. Motor olarak ta sürekli mıknatıslı senkron motor geliştirilmiştir. Sm-Co mıknatıslarının kullanıldığı bu motorla yüksek çıkış torku sağlanmıştır. Ayrıca IGBT inverter ile yüksek hızda cevap verebilen sinüsoidal akım ve tork kontrolü gerçekleştirmişlerdir[5].

F. Profuma ve arkadaşları elektrikli araçlar için aksel akıllı makinelerin üstünlüklerinden bahsedip birbirleriyle karşılaştırmışlar ve aksel akıllı makinelerden sürekli mıknatıslı fırçasız dc motorun (AFIPM) en uygun seçenek olduğunu ortaya koymuşlardır[6].

H. Shimizu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada küçük konseptte üretilen elektrikli araç için teker motor sürücü sistemini kullanarak yeni bir tasarım öne sürmüşlerdir[7].

H.C. Lovatt ve arkadaşları güneş enerjili bir araç için bir teker motor tasarlamışlardır. Tasarlanan motor fırçasız sürekli mıknatıslı dc motordur. Fırçasız dc motorlar daha etkili(%97,5 değerleri %92-95) ve daha hafiftir(8,3kg değerleri 12-16kg). Bunun nedeni kullanılan mıknatısların yüksek akı yoğunluklu rare-earth mıknatıslarından oluşmasıdır. Bununla birlikte bilgisayar destekli olarak mıknatısların halbach mıknatıs düzenine göre yerleştirilmesidir. Kullanılan aracın ön tarafındaki tek tekerleğe tasarlanan doğrudan sürülebilir teker motor yerleştirilerek yüksek verimlilik için optimize edilmiştir[8].



Şekil 5. Teker motor parçaları, stator ve rotor
(Figure 5. Wheel motor assembly, stator and rotor)

F. Profumo ve arkadaşları güçlendirilmiş manyetik malzeme kullanarak yeni bir aksel akıllı iç sürekli mıknatıslı senkron motorun tasarımını sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirerek motoru üretmişlerdir. Üretilen AFIPM iki stator arasında bir rotorun bulunduğu çok bölümlü bir yapıya sahiptir. Üretilen bu yeni motorun rotor yapısı sayesinde hava aralığındaki akı yoğunluğu arttırılmış ve motor akı zayıflaması azaltılmıştır[9].



Lin Fong Teng ve arkadaşları sürekli mıknatıslı fırçasız DC motor sürücüsü için bir değişken yapı stratejisi tabanlı (VSS variable structure strategy) bir tork kontrol gerçekleştirmişlerdir. Elektrikli araçlarda kullanılan PM BLDC motorlarda geleneksel akım kontrolörü kullanıldığında tork ta dalgalanmalar olmaktadır. Bu geleneksel iç döngü (iner loop) kontrolörler bir referans akımla gerçek akımı eşleştirme prensibine göre çalışırlar ve böyle bir metot fark edilebilir tork dalgalanmalarına neden olmaktadır. Bundan dolayı bu çalışma beş fazlı PM BLDC için geleneksel akım kontrolörlerine alternatif olarak VSS tabanlı bir tork kontrol stratejisi sunmaktadır. Bu teknikle istenilen tork minimum akım ile başarılabilir[10].

F. Caricchi ve arkadaşları EV'lerde kullanılan teker motor sürücüsü için yeni bir kalıcı durum anahtarlı çevirici (Solid-State Commutator SSC) gerçekleştirmişlerdir. PM motorlarda genellikle akım ayarlamalı PWM gerilim kaynaklı kare veya sinüsoidal dalgalı çeviriciler kullanılır. Bu çalışmada ise stator yeni geliştirilen kalıcı durum anahtarlı (SSC) çevirici ile beslenmiştir. Önerilen yeni konfigürasyon 120 derecelik kare dönüştürücülü dalga üreten geleneksel fırçasız dc motorlar sürücüleri ile karşılaştırıldığında daha az tork dalgalanması ve daha yüksek tork ortalaması vermektedir. Bu metotta 180 derecelik kare dalgalı akım uygulanmaktadır. Ayrıca bu metotla anahtarlama kayıpları ihmal edilebilir. Çünkü anahtarlama frekansı düşüktür ve hemen hemen güç anahtarlarındaki komütasyonda sıfır akım geçmektedir. Önerilen dc-dc back boost dönüştürücü sistem ile motor ve regenerative konumda frenleme kolaylıkla yapılabilir. Motor olarak çalıştığında dc-dc dönüştürücü tork referans sinyaline göre motor akımını ayarlamaktadır. Regenerative moda geçtiğinde ise dönüştürücünün bi-directional yapısı ile mildeki kinetik enerji bataryalara elektrik enerjisi olarak aktarılabilir[11].

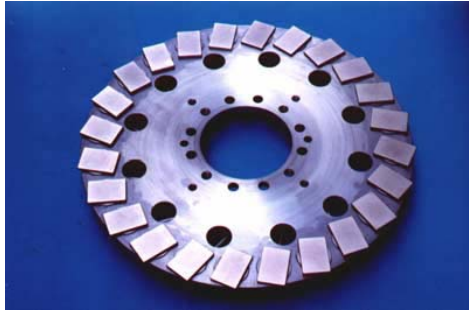
S. Sakai ve arkadaşları birbirinden bağımsız dört tekerleği de Wheel motor olan elektrikli aracın hareket kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma çerçevesinde önerilen robust dinamik yön moment kontrolü (DYC) simüle edilmiştir. Yapılan simülasyonda kaygan yolda kararlılık probleminin düşük yol sürtünmesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bunu için yeni kayma saptama metodu çekiş kontrol sistemi (TCS) içinde önerilmiştir. Deneysel sonuçlarda bu metodun aracın hızına gereksinim duymadan kayan tekerlekleri tespit ettiğini göstermiştir. Bu yüzden bu metot dönüşlerde ve frenlemelerde TCS kontrol sistemine büyük fayda sağlamaktadır[12].

S. Sakai ve arkadaşları dört teker motorlu elektrikli araç için yeni bir kayma belirleme metodu bulmuşlardır. Önerilen metot her bir motorun hızının ve akımlarının belirlenmesine dayanmaktadır. Geleneksel yöntemlere karşın aracın hızını bilmeye gerek yoktur. Önerilen metot motor torkuna bağlı olarak kaymayı belirlemektedir. Bu da elektrikli araçlarda çok kolaydır. Fakat içten yanmalı motorlarda bunu belirlemek imkansızdır. Önerilen metot "UOT electric march" üzerinde test edilerek kanıtlanmıştır[13].

Teker motorlar Eksenel akıllı (AF) motorlar, senkron ve asenkron tipleri olmak üzere üçe ayrılır. Teker motor prototipi geliştirmek üzere bir çok çalışma yapılmıştır. M. Goday Simoes ve arkadaşları düşük hızda yüksek torka sahip çok fazlı sürekli mıknatıslı fırçasız teker motorun prototipini yaparak elektrikli araç uygulamasında kullanmışlardır[14].

F. Caricchi ve arkadaşları eksenel akıllı sürekli mıknatıslı ve slotlu sargıya sahip motorda bakır kayıpları ve cogging torkun azaltılmasına yönelik deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmayı gerçekleştirmek için üretilen motorun mıknatıslarının konumu kolayca değiştirilebilecek bir düzeneğe sahiptir. Ayrıca stator sargılarının

slotlu şekilde yapılması motorda cogging torkun bakır kayıplarının ve akustik seslerin azaltılmasına yönelik bazı avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte slotlu stator sargıları sayesinde makine akı azalması durumlarında bile sürekli güç hız ilişkisini bozmayarak çalışabilmekte buda teker uygulamalarında kullanılmasında AFPM'ü iyi bir aday yapmaktadır. Yapılan çalışmanın üzerinde durduğu konu ise cogging tork ve bakır kayıplarını azaltmak üzerinedir. Bunu sağlamak içinde rotorun üzerinde bulunan mıknatısların açılarının değiştirilebileceği bir düzenek yapılmıştır. İkinci olarak stator sargılarının üzerini kapatan materyal PVC ve somaloy(manyetik özelliklere sahip) ile kapatılarak denenmiştir. Üçüncü olarak mıknatısların boyutları değiştirilmiştir. Bu özelliklerin değişimi cogging tork ve bakır kayıplarının üzerinde önemli etkilerinin olduğu tespit edilmiş ve uygun değerler saptanmıştır. Bununla birlikte mıknatısın genişliği ile slot pitch in oranının cogging tork üzerine önemli etkisi olduğu ortaya konmuştur ve mıknatısların kaydırılmasının cogging torkun azaltılması üzerine etkisi olduğu belirlenmiş fakat tamamen yok edemediği ve makinenin karmaşıklığını arttırdığını ortaya koymuştur. Rotor disklerinin açılal değişimi makinenin cogging torkunu azaltmış, uygun mıknatıs genişliği ise cogging torkun azaltılmasında önemli olduğu gösterilmiş, en önemlisinin de mıknatıs pitch in kısaltılması olarak belirlenmiştir[15].

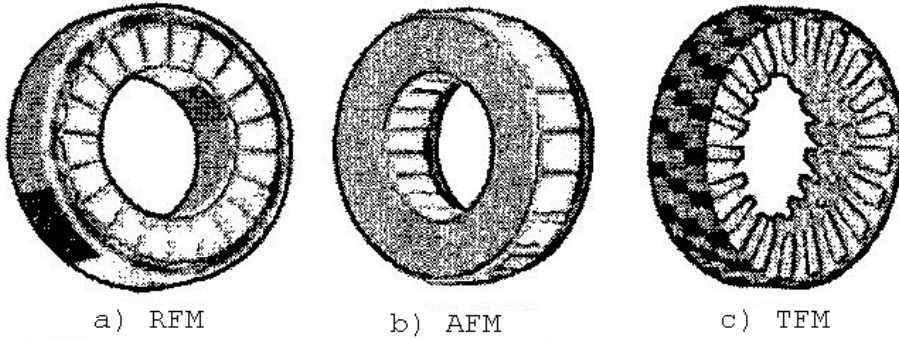


Şekil 6. Kaydırılmış mıknatıslı disk yüzeyi
(Figure 6. Disc surface with skewed magnets)

C. Espanet ve arkadaşları DC fırçasız bir teker motor tasarlamışlardır. Bunu yaparken kapsamlı bir analitik inceleme yapmışlar ve bunun için Pro@design programını kullanmışlardır. Üretilen prototipi de deneysel bir arabanın üzerinde denemişler ve teorik sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Teker motor olarak sürekli mıknatıslı senkron motor tercih edilmiştir. DC motorun göz önünde tutulmamasının sebebi fırçalı oluşu ve commutator probleminin olmasıdır. Asenkron motor seçilmemesinin sebebi ise senkron motorun daha fazla tork vermesi ve düşük hızda kontrolünün daha kolay olmasıdır. Reluktans motorun tercih edilmemesinin sebebi ise ses ve vibrasyon problemleridir. Senkron motorun yapısında Nd-Fe-B sürekli mıknatısları kullanılmıştır. Böylece çalışmanın geneli yüksek torka sahip teker motorun tasarımı ve optimisasyon problemleri üzerinde yoğunlaşmış ve üretilen prototip ile de istenilen sonuçlara ulaşılmıştır[16].

Y. Yang ve arkadaşları aksenal akıllı fırçasız sürekli mıknatıslı çok bölümlü bir teker motorun en uygun tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Optimal tasarımda iki temel vardır. Birincisi dalgalanmaları azaltarak verimliliği arttırmak, ikincisi ise omik kayıpları azaltarak torku maksimum yapmaktır. Yapılan çalışmada tork yönlendirmeli optimisasyon la omik kayıplar sınırlandırılmış ve bu da fazlar arası optimal dalga formuna ve stator, rotor arasındaki hava aralığındaki akıların oranını etkilemiştir[17].

Z. Rahman teker motorun zorlayıcı sistemi için enine(transverse), eksenel, merkezden çıkan yarıçapla ilgili(radyal) akıları değerlendiren bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışma 2D ve 3D durgun ve geçici sonlu eleman analizi ile radyal akı topolojisi için deneysel doğrulamayı içeren analitik incelemeleri sunmuştur. Karşılaştırma için 3 sürekli mıknatıslı motor topolojisi içinde bir teker motorun zorlayıcı sistemi için gerekleri ve sistem sınırları içinde sunulmuştur. TFM'nin göz önünde tutulan akısı sistem sınırları içine yakınsamamıştır. Faz sayısının azaltılması ve kutup sayısının çoğaltılması ile karşılaştırma için alternatif bir TFM tasarımı edilmiştir. Düşük güç faktörü ve düşük süreklilik SMC materyalinin uygulama için TFM de hoşnut etmemiştir. RFM'nin yapısı AFM'nin topolojisine göre daha iyi bir performans sağlamıştır. Bundan dolayı da prototip olarak seçilerek alan testi yapılmıştır[18].



Şekil 7. Üç topoloji a)RFM b)AFM c)TFM
(Figure 7. Three topologies a)RFM b)AFM c)TFM)

P. Cancelliere ve arkadaşları yaptıkları çalışmada eksenel akılı sürekli mıknatıslı senkron teker motor için yumuşak anahtarlamalı akım kaynaklı bir çevirici tasarlamışlardır. Hibrid olmayan elektrikli araçlar için verimlilik çok önemlidir. Teknik literatür ise yumuşak anahtarlamalı tekniklerin verimlilik üzerine %2-3 oranında etkisi olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada sürekli mıknatıslı senkron teker motorun uygulamalarda yüksek tork yoğunluğu nedeniyle tercih edildiği belirtilmiştir. Ayrıca değişik çeviricilerin özellikleri de belirtilmiştir. Sert anahtarlamalı akım kaynaklı çeviricilerin(CSI) bazı motor parçalarında kayıpları ve stresi çoğalttığı ortaya konmuştur. Sert anahtarlamalı gerilim kaynaklı inverter(VSI)'lerinde harmoniklerden dolayı demir ve bakır kayıplarına neden olduğu ayrıca gürültüye neden olduğu ve bilyelerin ömrünü azalttığı ortaya konmuştur. Bunların yanında yumuşak anahtarlamalı çeviriciler ise daha fazla maliyet ve alan gerektirmekte ve daha karmaşık kontrol algoritmalarına gerek duymaktadır. Ama genel olarak yumuşak anahtarlamalı inverter uygulamaları daha avantajlı olduğu yapılan çalışma ile ortaya konmuştur[19].

Y. Hori yaptığı çalışmada deneysel çalışma için üretilen "UOT Electric March II" adlı elektrikli araç için yüksek performanslı kilitlenmeyen fren sistemi, şasi hareket kontrolü, kayma kontrolü ve yol yüzey durumu tahmin edicisi tasarlamış ve deneysel olarak prototip araç üzerinde gerçekleştirmiştir. Makalede elektrikli araçların içten yanmalı motorlara göre bazı avantajlarından söz edilmiştir. Bunlar: motor torkunun hızlı ve tam olarak üretilebilmesi, motorların iki veya dört adet konulabilmesi ve motor torkunun tam olarak bilinebilmesidir. Bu özelliklerin bize sağladığı avantajlar ise şunlardır: 1) tork üretiminin hızlı ve tam olarak yapılabilmesidir. Elektrik motorun tork yanıtı içten yanmalı motor veya hidrolik fren sistemlerine göre 10-100

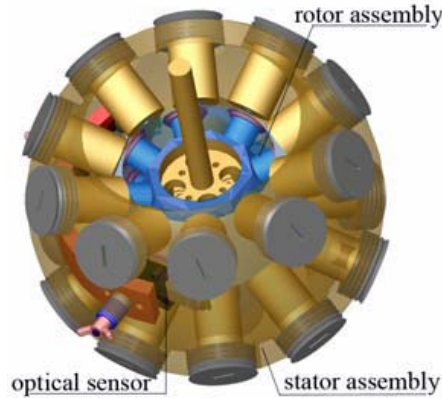
kere daha hızlıdır. Buda bize geri beslemeli kontrol yapmamıza olanak sağlayacak kadar zamanı kazandırır. Böylece ABS ve motorun ürettiği hızlanma ve yavaşlama torku ile çekiş kontrol(TCS) yapılabilir.

2) motor her bir tekerleğe bağımsız olarak bağlanabilir. Böylece araç kararlılık kontrolü(VSC) ve direk yön kontrolü(DYC) yapılabilir ki hiçbir içten yanmalı motora sahip olan araç bu kontrol yöntemlerini yapamaz.

3) motor torku kolayca ölçülebilir. Bu sayede basit bir sürücü kuvvet gözlemleyicisi tasarlanabilir. Böylece lastik ve yol yüzeyi arasındaki frenleme sürme kuvvetleri kolayca tahmin edilebilir. Buda bize yol durumu hakkında bilgi sağlar mesela yol buzlu olduğu zaman sürücüye uyarı verilebilir[20].

H. Fujimoto ve arkadaşları iki teker motora sahip elektrikli araç üstünde yol tahmin kontrolü ve hareket kontrolünü iki bozucu etikli gözlemleyici ile gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışma ölçülemeyen araç hızı, kayma açısı gibi parametrelere ihtiyaç duyan kontrolörden farklı olarak bu parametrelere ihtiyaç duymaz. Yapılan kapalı çevrim kontrolör teorik olarak analiz edilerek deneysel olarak ta doğrulanmıştır. İkili kontrolden iç döngü kontrolü kayma kontrolünü önlemiş, dış loptaki ise gözlemleyici ile birlikte yön momentindeki bozuklukları tahmin ederek gidermiştir[21].

Kok-Meng Lee ve arkadaşları küresel bir teker motor tasarlamışlar ve açık çevrim kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen küresel teker motorun(SWM) sürekli mıknatıslı 8 rotoru ve 10 stator sargısı mevcuttur. Teker motorun alternatif tasarımı birçok mobil aracın ki bunlar arabalar, botlar, helikopterler, su altı araçlarını, gyroscoplar ve makine araçlarının dönen shaftlarının yönlendirme kontrolü gereksiniminden ortaya çıkmıştır. Küresel motorların değişik formları mevcuttur. Bunlar: asenkron motorlar, direkt akım motorları, step motorlar, değişken relüktans küresel motorlar, ultrasonik motorlar gibi. Küresel motorların üzerine yapılan araştırmaların çoğu alternatif tasarım içerikleri, tork modelleri ve son zamanlarda geri beslemeli kontrol ve 3 serbestlik dereceli(3DOF) ölçüm için temassız sensör geliştirme üzerinedir. Küresel motor üzerine yapılan çalışmalar daha çok robotik teknolojilerin geliştirilmesi amacıyla hizmet etmektedir[22].



Şekil 8. Küresel teker motor
(Figure 8. Spherical Wheel motor)

B.M. Makhkamdjanov yaptığı çalışma özbekistandaki sanayileşme ile birlikte otomobil endüstrisinin gelişmesi ve içten yanmalı motorların çevreye verdiği zararlar nedeniyle hibrid bir araç sistemi üzerinedir. Bu araçta rejeneratif enerji üzerinde durulmuş olup hibrid aracın sürücü sistemi olarak hub teker motor öne sürülmüştür[23].

Yee-Pien Yang ve Tsan-Jen Wang sürekli mıknatıslı fırçasız DC teker motor için elektronik dişli sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem motoru besleyen akü grupları ile stator sargılarının farklı biçimlerde bağlantısına dayanır. Akü grupları paralel bağlanıp stator sargıları seri bağlanarak düşük gerilim ile maksimum akım sağlanarak düşük hızda yüksek tork sağlanmıştır. Akü grupları seri bağlanıp stator sargıları ise paralel bağlanarak yüksek gerilimde düşük akım sağlanarak yüksek hızda düşük tork elde edilmiştir. Böylece dört farklı bağlantı yapılarak her bir kademe için sabit güç altında farklı hızlar elde edilmiştir[24].

P. He ve arkadaşları teker motor ile gerçekleştirilmiş elektrikli araç için dinamik optimal çekiş kontrolü ve yön kontrolü iki araç üzerinde deneysel gerçekleştirilmiştir. Bu araçlardan bir tanesi Mitsubishi firmasının colt modelidir. Yön kontrol(yaw) için ileri yönlü(feedforward) kontrol ve durum geri beslemeli kontrol kullanılmıştır. Önerilen kontrol stratejileri iki araç üzerinde de gerçekleştirilerek kanıtlanmıştır[25].

G.E. Yinghui ve arkadaşları elektrikli araçlarda kullanılan PM fırçasız teker motor için dsp tabanlı yeni bir kontrol sistemi önermişlerdir. Elektrikli araç bir mikro Ev dir. Yani tamamen elektrikli bir araçtır. Dört tekerleğinde de bağımsız teker motor vardır ve birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilirler. Birbirinden bağımsız kontrol edilebilen teker motorlar sayesinde aracın viraj kontrolü iyi bir şekilde gerçekleştirilebilir. Çünkü virajlarda araçların dıştaki tekerlekleri içteki tekerleklere göre daha hızlı dönerler. Dolayısıyla teker motorlar kontrol edilerek her yol durumu için bu gerçekleştirilebilir. Ve araç emniyetli bir şekilde virajı alabilir. Bu çalışmada Ev için tasarlanan kontrol sisteminin virajlara uygulanması üzerine yapılmıştır[26].

Aşağıda görülen Mitsubishi firmasının colt modelinin elektrikli araç haline getirilmesinde kullanılan teker(hub) motorun şekli görülmektedir. Görüldüğü üzere motor yapı olarak hiçbir aktarım sistemi olmadan doğrudan olarak arabanın tekerleğine ürettiği gücü aktarmaktadır. Bu sayede arabanın her bir tekerleği birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmekte ve arabanın yol tutuşu, virajlarda kontrolü, frenleme anında kontrol edilmesi sağlanabilmektedir. Kullanılan teker motor sürekli mıknatıslı fırçasız doğru akım motorudur. Teker motor elektrikli araçlarda frenleme anlarında generatör olarak kullanılabilen ve frenleme ile birlikte ısı olarak kaybolan enerjinin %50 si kadarını elektriğe dönüştürebilmektedir. Böylece tüm sistemin verimliliğini artırmaktadır[27].



a)

b)

Şekil 9. Mitsubishi a)Teker motor b) EV
(Figure 9. Mitsubishi a)Wheel motor b)EV)

5. SONUÇ (SUMMARY)

Yapılan çalışmada EV'ler için en ideal seçimin geliştirilen motorlar arasında Eksenel Akıllı Sürekli Mıknatıslı(AFPM) fırçasız DC motor olduğunu ortaya koymuştur. AFPM'nin en büyük özelliği düşük hızlarda yüksek tork üretebilmesi ve yapısının teker motor uygulamaları için uygun olmasıdır. Ayrıca diğer motorlara göre verimi yüksek ağırlığı düşüktür. AFPM motorlar için yapılmış çalışmalar genellikle iki alanda yoğunlaşmıştır. Birincisi yeni prototip motorların tasarlanması, ikincisi de elektrikli araçlara(EV) uygulanması ve araç kontrol yöntemlerinin geliştirilmesidir. Bunlar dışında AFPM motorların sürücülerinin tasarlanması ve performanslarının artırılmasına yönelik çalışmalarda mevcuttur.

İleride yapılacak çalışmalar pratik uygulamalara yoğunlaşabilecek AFPM motorların elektrikli araçlarda(EV) kullanılmasına yönelik olacaktır. Bununla birlikte hibrid araçlarda da kullanımı ve araçların yol tutuş, kayma ve frenleme gibi kontrol uygulamaları AFPM motorlar kullanarak gerçekleştirilebilir. Teker motorlar gelecekte elektrikli araçlarda kullanılacak başlıca motor tipi olacak ve uygulamada daha çok kullanım alanı bulacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Patterson, D. and Spee, R., (1995). The Design and Development of an Axial Flux Permanent Magnet Brushless DC Motor for Wheel Drive in a Solar Powered Vehicle. IEE Transaction on Industry Applications, Volume:31, No:5.
2. Caricchi, F., Crescimbin, F., Mezzetti, F., and Santini, E., (1996). Multistage Axial-Flux PM Machine for Wheel Direct Drive. Transaction on Industry Applications, Vol.32, No:4. IEEE
3. Hredzak, B., Gair, S., and Eastham, J.F., (1996). Elimination of Torque Pulsations in a Direct Drive EV Wheel Motor. IEE Transaction on Magnetics. Volume:32, No:5.
4. Tseng, K.J. and Chen, G.H., (1997). Computer Aided Design and Analysis of Direct-Driven Wheel Motor Drive. IEE Transactions on Power Electronics, Volume:12, No:3.
5. Terashima, M., Ashikaga, T., Mizuno, T., Natori, K., Fujiwara, N., and Yada, M., (1997). Novel Motors and Controllers for High-Performans Electric Vehicle with Four In-Wheel Motors. IEE Transactions on Industrial Electronics. Vol.44, No:1.
6. Profumo, F., Zhang, Z., Tenconi, A., (1997). Axial Flux Machines: A New Viable Solution for Electric Cars. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume:44, No:1.
7. Shimizu, H., Harada, J., Blond, C., Kawakami, K., and Chan, L., (1997). Advanced Concepts in electric Vehicle Design. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume:44, No:1.
8. Lovatt, H.C., Ramsden, V.S., and Mccrow, B.C., (1997). Design of An In-Wheel Motor for a Solar-Powered Electric Vehicle. Conference Publication No:444 IEE.
9. Profumo, F., Tencozi, A., Zhang, Z., and Cavagnino, A., (1998). Novel Axial Flux Interior PM Synchronous Motor Realized with Powdered Soft Magnetic Materials. IEEE.
10. Tang, L.F., Tseng, K.J., and Luo, F.L., (1998). A VSS Torque Control Strategy for Multi-Phase PM Brushless DC Motor Drive. IEEE.
11. Caricchi, F., Crscimbin, F., Capponi, F.G., and Solero, L., (1999). A Novel Solid State Commutator PM Motor Arrangement for EV Application. IEEE.
12. Sakai, S., Sado, H., and Hori, Y., (1999). Motion Control in an Electric Vehicle with Four Independently Driven In-Wheel Motors. IEEE Transactions on Mechatronics, Vol.4, No:1.



13. Sakai, S., Sado, H., and Hori, H., (1999). New Skid Avoidance Method for Electric Vehicle with Independently Controlled 4 In-Wheel Motors. IEEE.
14. Simoes, M.G. and Vieira, P., (2000). A High Torque Low-Speed Multi-Phase Brushless Machine A Perspective Application for Electric Vehicles. IEEE.
15. Caricchi, F., Crscimbini, F., Capponi, F.G., and Solero, L., (2002). Experimental Study on Reducing Cogging Torque and Core Power Loss in Axial-Flux Permanent Magnet Machines with Slotted Windig. IEEE.
16. Espanet, C., Miraovi, A., and Kauffmann, J-M., (2003). Optimal Design of an High Torque DC Brushless In-Wheel Motor. IEEE.
17. Yang, Y-P., Lutt, Y., Cheung, C., Wang, J., and Wu, S., (2003). Multi Objective Design and Current Waveforms Control of Axial-Flux Brushless DC Wheel Motors for Electric Vehicles.
18. Rahman, Z., (2004). Evaluating Radial, Axial and Transverse Flux Topologies for 'In-Wheel' Motors. IEEE.
19. Cancelliene, P., Deli Colli, V., Di Stefano, R., and Marignetti, F., (2004). Soft Switching Current source Inverter with Modified Space Vector Modulation and Active Damping for an Axial Flux In-Wheel Motor with Fractional Slot Windig. 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference.
20. Hori, Y., (2004). Future Vehicle Driven by Electricity and Control Research on Four-Wheel Motored "UOT Electric March II". IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.51, No:5.
21. Fujimato, H., Saito, J., Tsumasaka, A., and Noyuchi, A., (2004). Motion Control and Road Condition estimation of Electric Vehicles with Two In-Wheel Motors. Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications.
22. Lee, K.M., Son, H., and Joni, J., (2005). Concept Development and Design of a Spherical Wheel Motor(SWM). IEEE International Conference on Robotics and Automation.
23. Makhkamdjanov, B.M., (2005). Cars with Hybrid Drive and Electrocarsa Way to Decision of the Ecological Problems in Uzbekistan. Renewable Energy Elseiver.
24. Yang, Y-P. and Wang, T-J., (2005). Electronic Gears for Electric Vehicles with Wheel Motor. IEEE.
25. He, P., Hori, Y., Kamachi, M., Walters, K., ve Yoshida, H., (2005). Future Motion Control to be Realized by In-Wheel Motored Electric Vehicle. IEEE.
26. Yinghui, G.E., Chunsteng, L.I., and Guangzhang, N.I., A Novel Control System of PM Brushless In-Wheel Motors Used for EV's.
27. <http://rmi.org>