

**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

FIRÇASIZ DC MOTORLARIN UYGULAMALARI

Güç Sistem Planlama Dersi
(Final Sınavı-Kısım 2)

**Hazırlayan
Nelson Luis, MANUEL**

**Öğretim Üyesi
Prof. Dr., Ertuğrul, ÇAM**

**Haziran-2021
KIRIKKALE**

İçindekiler

1	Giriş	1
2	BLDC Motorların Uygulamaları	2
2.1	Tarımsal uygulama için BLDC Motor	2
2.2	Klimalarda Kullanılan BLDC Motorlar	2
2.3	Elektrikli Scooter Uygulaması için BLDC Motor	3
2.4	Drone Uygulaması için Fırçasız DC Motor	3
2.5	Enerji Verimli Fan için BLDC Motor	3
2.6	Akışkan Pompalama Sistemi için BLDC Motor	4
2.7	Jet Board Uygulaması için BLDC Motor Tasarımı	4
2.8	Tekme scooter için tekerlek içi BLDC motor	5
2.9	Hafif Elektrikli Araç için BLDC Motor	5
2.10	Mikser-Öğütücü için BLDC Motor	5
2.11	Güneş klimasında kullanılan BLDC motor	6
2.12	Güneş Aracı için Fırçasız DC Motor	6
2.13	Dalgıç Pompa Uygulaması için BLDC Motor	7
2.14	Çamaşır Makinesi için kullanılan BLDC Motor	7
2.15	Elektro-Mekanik Aktüatör için BLDC Motor	7

3 Sonuçlar	9
Kaynaklar	11

1 Giriş

Bu araştırma çalışmasında fırçasız DC motor uygulamaları sunulmaktadır. Yapılan açıklamalar, söz konusu konuyla ilgili literatürde mevcut olan araştırma çalışmalarına dayanmaktadır.

Açıklamalar kısaca yapılmıştır. Her uygulama türünün referans kaynakları, okuyucunun ilgisini çekiyorsa daha ayrıntılı bir okuma için alıntılanmıştır.

Son olarak, bazı sonuç noktaları sunulmuştur.

2 BLDC Motorların Uygulamaları

Önceki giriş bölümünde kısaca açıklandığı üzere bu bölümde literatürde yayınlanmış makalelere dayalı uygulamaların açıklamaları yapılacaktır. Temel olarak açıklamalarda uygulamanın türü, çalışmanın amaçları ve sonuçları anlatılacaktır.

2.1 Tarımsal uygulama için BLDC Motor

Orijinal başlık: Solar powered BLDC motor drive for agricultural application

Yazar(lar): [Thomas, 2020]

Bu çalışmada, bir tarım makinesini çalıştırmak için BLDC motoru kullanılmıştır. BLDC motora güneş panelleri tarafından güç verilir ve güneş panellerinden maksimum gücü çıkarmak için bir algoritma uygulanır. Yazara göre dizel motor yerine BLDC motorunun kullanılması, BLDC motorun sunduğu avantajlardan kaynaklanmaktadır. Sistemin etkinliğini doğrulamak için simülasyonlar yapılmıştır.

2.2 Klimalarda Kullanılan BLDC Motorlar

Orijinal başlık: Design of synchronous reluctance motors with IE4 energy efficiency standard competitive to BLDC motors used for blowers in air conditioners

Yazar(lar): [Kerdsup and Kreuawan, 2017]

Bu çalışmada senkron relüktans motor tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan senkron relüktans motorun performansını değerlendirmek için yazarlar fırçasız bir DC motor kullanır. Karşılaştırma için referans alınan BLDC motor klima fanlarında uygulanmaktadır. Yazarlar, tasarlanan senkron relüktans motorunun, klima üfleycilerinde kullanılan bir BLDC motoruyla aynı performansı elde edebileceği sonucuna varmışlardır.

2.3 Elektrikli Scooter Uygulaması için BLDC Motor

Orijinal başlık: Bearing Fault Analysis of BLDC Motor for Electric Scooter Application

Yazar(lar): [Kudelina et al., 2020]

Bu makale, rulman arızaları ve bunların teşhis olanakları hakkında bir çalışma önermektedir. Bu araştırmada en yaygın rulman arızaları ele alınmış ve bu arızaların nedenleri açıklanmıştır. Deneylerde, elektrikli bir scooterda uygulama için BLDC motor kullanıldı. Bu çalışma, ivme sensörlerini kullanarak BLDC motordaki yatak arızasını tespit etmek için olası bir yöntem sunmaktadır.

2.4 Drone Uygulaması için Fırçasız DC Motor

Orijinal başlık: The Optimization of 12S-14P Brushless DC Motor for Drone Application

Yazar(lar): [Zulkifli and Sulaiman, 2021]

Bu çalışmada, motordan mümkün olan en yüksek torku elde etmek için dronelerde kullanılacak bir BLDC motoru tasarlanmış ve optimize edilmiştir. Optimizasyon işlemi sırasında vuruş torkunun etkileri dikkate alınmıştır. Tasarım JMAG yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Sonunda yazarlar, optimizasyondan önceki motor performansına kıyasla nispeten pürüzsüz ve optimize edilmiş bir tork sonucu sunmayı başardılar.

2.5 Enerji Verimli Fan için BLDC Motor

Orijinal başlık: Design and Implementation of BLDC Motor Controller For Energy Efficient Fan

Yazar(lar): [Patel et al., 2019]

Bu çalışma, fan kanatlarını sürmek için kullanılan ekonomik bir fırçasız DC motor kontrol yöntemini sunmaktadır. Yazarlara göre, önerilen fikir başarıyla uy-

gulandı ve düşük maliyetli bir bldc motor projelendirildi. Donanım, geniş bir hız aralığında test edildi ve aynı performanslara ulaşıldı.

2.6 Akışkan Pompalama Sistemi için BLDC Motor

Orijinal başlık: BLDC motor-driven fluid pumping system design: An extrapolated active learning case study for electrical machines classes

Yazar(lar): [Khan et al., 2020]

Bu makalede fırçasız DC motorla çalışan bir akışkan pompalama sistemi tasarlanmıştır. Başlangıçta çalışma bir okul sınıfı düzeyinde yapıldı. Yazarlara göre bu projenin arkasındaki ana stratejilerden biri, yeni mühendislik mezunlarını yüklerin karakteristik eğrisine odaklanarak elektrik motoru tasarımı pratiğine daha fazla dahil olmaya motive etmektir. Yeni ve nitelikli profesyoneller hazırlamak için kursiyerler ve alanda deneyimli profesyoneller arasında bilgi alışverişi gerçekleştirildi.

2.7 Jet Board Uygulaması için BLDC Motor Tasarımı

Orijinal başlık: Robust Design of BLDC Motor for Jetboard Application

Yazar(lar): [Mahmouditabar et al., 2021]

Bu makalede, Taguchi yöntemi kullanılarak fırçasız sabit mıknatıslı bir motorun tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmada jetboard uygulaması için 2 kW 4800 rpm BLDC motor tasarlanmıştır. Yazarlar, bir elektrik motoru tasarlarlarken dikkate alınması gereken önemli bir hususun, motor performansını önemli ölçüde etkilediği için kullanılan malzeme ve kütledeki üretim toleransları olduğunu vurgulamaktadır. Bu motivasyonla yazarlar, elektrik motorunun tasarım sürecinde bu istenmeyen faktörlerin alınması gerektiğini savundular. Yazarlar, jetboard uygulamalarında uygulanabilen bir bldc motor için sağlam bir tasarım sunar.

2.8 Tekme scooter için tekerlek içi BLDC motor

Orijinal başlık: Optimal design of an in-wheel BLDC motor for a kick scooter

Yazar(lar): [Markovic et al., 2010]

Bu makale, scooter’da uygulanan bir BLDC motoru için bir optimizasyon projesi sunmaktadır. Optimizasyon, genetik algoritma ve sayısal analiz için bir yazılım, yani sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılır. Bu makalenin katkılarından biri, aynı anda enerji verimliliğini en üst düzeye çıkarmak, dişli çark torkunu en aza indirmek ve termal kısıtlamayı hesaba katmak için yeni bir yaklaşımın tanıtılmasıdır. BLDC motor prototipi üretildi ve test edildi.

2.9 Hafif Elektrikli Araç için BLDC Motor

Orijinal başlık: BLDC Motor Design and Application for Light Electric Vehicle

Yazar(lar): [Mehmet et al.,]

Bu çalışmada elektrikli bir araç için bldc motor tasarımı yapılmıştır. Öncelikle hedeflenen motorun analitik tasarımı tamamlanmış, ardından modelleme için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sayısal analiz için kullanılan yazılım Ansys Maxwell idi. Elektrikli araç için prototip bldc motor, sonlu elemanlar yöntemi ile istenilen sonuçlara ulaşıldıktan sonra üretilmiştir. Son olarak prototip motor araca monte edilmiş ve testler sırasında beklenen performansta sorunsuz çalışır.

2.10 Mikser-Öğütücü için BLDC Motor

Orijinal başlık: Design of efficient BLDC motor for DC operated mixer-grinder

Yazar(lar): [Gholase and Fernandes, 2015]

Bu makale, evrensel motora verimli bir alternatif olarak düşük maliyetli bir ferrit mıknatıs tabanlı BLDC motor önermektedir. Yazarlar, gömülü mıknatıs tipi rotor tasarımının genellikle yüksek hızlı uygulama için tercih edildiğini, ancak yüksek armatür reaksiyonu ve artan çekirdek kaybından muzdarip olduğunu sa-

vundu. Bunun yerine, yüzeye monte halka kalıcı mıknatıslı tasarımın bu uygulama için en uygun olduğu bulunmuştur. Manyetik yüklemeyi iyileştirmek için rotor sarkmasının etkisi araştırılmıştır. Yazarlara göre, önerilen BLDC motoru düşük demir ve bakır kayıpları gösterdi.

2.11 Güneş klimasında kullanılan BLDC motor

Orijinal başlık: A novel scheme for torque ripple minimization of BLDC motor used in solar air conditioner

Yazar(lar): [Kommula and Kota, 2018]

Bu yazıda güneş enerjili BLDC motor için yeni bir tork dalgalanma minimizasyon şeması önerilmiştir. Motorun değişmeyen fazına ek voltaj eklenerek tork dalgalanmaları en aza indirilir. SIDO dönüştürücü güneş enerjisi ve motorun ihtiyaç duyduğu ana ve ek voltaj kaynaklarını sağlar. Güneş panelleri, PV özelliklerinin üçe bölünmesine dayanan basit ve etkili bir MPPT şeması ile donatıldı.

2.12 Güneş Aracı için Fırçasız DC Motor

Orijinal başlık: Design and Analysis of Permanent Magnet Brushless DC Motor for Solar Vehicle using Ansys Software

Yazar(lar): [Singh et al., 2017]

Bu makale, yıldız ve hibrit elektrikli araçlarda kullanılan 2 kW sabit mıknatıslı fırçasız DC motorların performans analizini sunmaktadır. Fırçasız DC motor performans özelliklerini analiz etmek için Sonlu Elemanlar Metodolojisi (FEM) kullanılır. FEM yaklaşımı için kullanılan yazılım Maxwell 3D idi.

2.13 Dalgıç Pompa Uygulaması için BLDC Motor

Orijinal başlık: Design and Thermal Network Modeling of BLDC Motor for Submersible Pump Application

Yazar(lar): [Shukla and Payami, 2020]

Bu makale, dalgıç pompa uygulaması için bir BLDC motor tasarımının termal analizini sunmuştur. Tasarım için düşük maliyetli bir ferrit mıknatıs tabanlı fırçasız doğru akım motoru seçilmiştir. Yazarlar, tasarlanan motorun yüksek yığın uzunluğuna sahip olduğunu ve bunun da yüksek ortalama tork ve yüksek verimliliğe neden olduğunu savundu. Kararlı durum termal ağ modeli, SMBLDC motorunun davranışını incelemek için oluşturulmuştur.

2.14 Çamaşır Makinesi için kullanılan BLDC Motor

Orijinal başlık: Design of a Sensorless Blde Motor Driver Using Field Oriented Control for a Washing Machine

Yazar(lar): [Bayır, 2019]

Bu tezin yazarına göre, fırçasız motorların endüstride artan kullanımı, bu motorlar için verimli sürücüler tasarlama zorunluluğunu doğurmuştur. Bu tezde, bir sürücü tasarımı çamaşır makinelerinde kullanılan fırçasız bir motor için gerçekleştirilmiştir. Bu tezde sürücü tasarımı iki ana aşamada yürütülür: (1) sistem modelleme ve simülasyon sonuçları ve (2) sürücü tasarımı için deneysel çalışma.

2.15 Elektro-Mekanik Aktüatör için BLDC Motor

Orijinal başlık: Design and FE Analysis of BLDC Motor for Electro-Mechanical Actuator

Yazar(lar): [Srinivas, 2015]

Bu makale, elektromekanik aktüatör için yüzeye monte BLDC Motorun tasarımını sunmaktadır. BLDC motoru aktüatörün verilen özelliklerini karşılamak

için analitik olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan motor, analitik hesaplamalarla elde edilen boyutlar üzerinde Sonlu Eleman Analizi (FEA) yapılarak doğrulanır. FEA analizleri, motorun yüksüz ve yüklü durumunda gerçekleştirilmiştir. Son olarak FEA ile yapılan sonuçlara göre motorun çeşitli yerlerindeki akı, akı yoğunluğu ve mıknatıslanma kuvveti vb. değerlerin belirtilen sınırlar içinde olduğu ve motorun istenilen özellikleri sağladığı sonucuna varılmıştır.

3 Sonuçlar

Bu çalışmada fırçasız DC elektrik motorlarının uygulamaları sunulmuştur. Bu alışma sayesinde, bu tip motorun diğerk motorlara (örneğin, asenkron motor ve dizel motor) göre sunduğu çeşitli avantajlar nedeniyle BLDC motorlarının uygulamalarının arttığı sonucuna varılabilir. alışmasının doğru akımda olması nedeniyle çiftlikler gibi uzak ve elektriğin olmadığı yerlerde kullanımını kolaylaştırdığı da söylenebilir. Bu çalışmadan çıkarılabilecek bir diğerk argüman ise, klasik otomobillerin çevreye verdiği zararını azaltmak için elektrikli otomobil kullanma eğiliminin artmasıyla birlikte BLDC motorunun giderek daha fazla tercih edildiğidir. BLDC motorunun elektrikli otomobillerde kullanılmasının yanı sıra son zamanlarda genel olarak otomobil endüstrisinde de tercih edildiği sonucuna varılabilir. Bu çalışmada rapor edilmemesine rağmen, BLDC motorları robotikte aktüatör olarak da kullanılmaktadır.

Kaynaklar

- [Bayır, 2019] Bayır, F. (2019). *Design of a Sensorless Bldc Motor Driver Using Field Oriented Control for a Washing Machine*. PhD thesis, Marmara Üniversitesi (Turkey).
- [Gholase and Fernandes, 2015] Gholase, V. and Fernandes, B. (2015). Design of efficient bldc motor for dc operated mixer-grinder. In *2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pages 696–701. IEEE.
- [Kerdsup and Kreuawan, 2017] Kerdsup, B. and Kreuawan, S. (2017). Design of synchronous reluctance motors with ie4 energy efficiency standard competitive to bldc motors used for blowers in air conditioners. In *2017 IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC)*, pages 1–6. IEEE.
- [Khan et al., 2020] Khan, K. R., Haque, M. M., Alshemary, A., and AbouArkoub, A. (2020). Bldc motor-driven fluid pumping system design: An extrapolated active learning case study for electrical machines classes. *IEEE Transactions on Education*, 63(3):173–182.
- [Kommula and Kota, 2018] Kommula, B. N. and Kota, V. R. (2018). A novel scheme for torque ripple minimization of bldc motor used in solar air conditioner. *Electrical Engineering*, 100(4):2473–2483.
- [Kudelina et al., 2020] Kudelina, K., Asad, B., Vaimann, T., Belahcen, A., Rassölkin, A., Kallaste, A., and Lukichev, D. V. (2020). Bearing fault analysis of bldc motor for electric scooter application. *Designs*, 4(4):42.
- [Mahmouditabar et al., 2021] Mahmouditabar, F., Gorji, M. G., and Vahedi, A. (2021). Robust design of bldc motor for jetboard application. In *2021 12th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC)*, pages 1–4. IEEE.
- [Markovic et al., 2010] Markovic, M., Muller, V., Hodder, A., and Perriard, Y. (2010). Optimal design of an in-wheel bldc motor for a kick scooter. In *2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, pages 292–296. IEEE.

- [Mehmet et al.,] Mehmet, A., Mustafa, E., and Fazilet, A. Bldc motor design and application for light electric vehicle. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2021(2):326–336.
- [Patel et al., 2019] Patel, B., Kishan, S., and Shukla, V. (2019). Design and implementation of bldc motor controller for energy efficient fan. In *ICTEA: International Conference on Thermal Engineering*, volume 2019.
- [Shukla and Payami, 2020] Shukla, A. and Payami, S. (2020). Design and thermal network modeling of bldc motor for submersible pump application. In *2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, pages 1–5. IEEE.
- [Singh et al., 2017] Singh, V. K., Marwaha, S., and Singh, A. (2017). Design and analysis of permanent magnet brushless dc motor for solar vehicle using ansys software. *International Journal of Engineering & Technical Research*, 6:4.
- [Srinivas, 2015] Srinivas, P. (2015). Design and fe analysis of bldc motor for electro-mechanical actuator. *Journal of Electrical Systems*, 11(1):76–88.
- [Thomas, 2020] Thomas, A. (2020). Solar powered bldc motor drive for agricultural application.
- [Zulkifli and Sulaiman, 2021] Zulkifli, M. A. N. and Sulaiman, E. (2021). The optimization of 12s-14p brushless dc motor for drone application. *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, 2(1).