

## MOSFET H Köprüsü ile Asenkron Motor Sürücü PCB Tasarımı

Enes Şahiner<sup>1\*</sup>, Can Kaya<sup>1</sup> ve Tuncay Soylu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Samsun Üniversitesi, Samsun, Türkiye  
\*enesahiner@gmail.com

**Özet** – Bu çalışma, Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SPWM) tekniği kullanılarak çok alanlı simülasyon ve model tabanlı tasarım için bir blok diyagram ortamı olan MATLAB/SIMULINK platformunda MOSFET H köprüsü kullanılarak gerçekleştirdiğimiz asenkron motor sürücü tasarımımızın Baskı Devre (PCB) tasarımına odaklanmaktadır. Çalışmanın ana amacı maksimum verim elde etmek ve düşük maliyet sağlamaktır. Bu hedefe ulaşmak, asenkron motoru sürmek için gerekli olan motor sürücü tasarımına ek olarak, PCB tasarımında kullanılan malzemelerin seçim nedenleri ve bu malzemelerin diğer alternatiflere göre sağladığı teknik ve maliyet avantajları ayrıntılı şekilde ele alınmaktadır. Ayrıca, tasarlanan bu sistemin üretim sürecinde düşük maliyetle maksimum verimi elde etmek amacıyla detaylı bir malzeme kalem bazlı yaklaşık fiyat analizi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan komponentlerin hem performans hem de dayanıklılık açısından en uygun olanlarının seçilmesi, tasarım sürecinin önemli bir aşaması olarak ele alınmıştır. Tasarım süreci boyunca yapılan analizler, maliyet-etkin, yüksek performanslı ve uzun ömürlü bir motor sürücü sistemi oluşturmayı amaçlamaktadır. Ayrıca bu sistemin çevresel etkileri ve sürdürülebilirliği de göz önünde bulundurulmuştur.

**Anahtar Kelimeler** – H köprüsü, Asenkron motor, PCB tasarımı, Motor sürücü, Düşük maliyet

## Asynchronous Motor Driver PCB Design with MOSFET H Bridge

**Abstract** – This study focuses on the Printed Circuit (PCB) design of our asynchronous motor drive design using MOSFET H-bridge in MATLAB/SIMULINK platform, a block diagram environment for multi-domain simulation and model-based design using Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) technique. The main objective of the study is to achieve maximum efficiency and low cost. To achieve this goal, in addition to the motor driver design required to drive the induction motor, the reasons for the selection of the materials used in the PCB design and the technical and cost advantages of these materials over other alternatives are discussed in detail. In addition, a detailed material item-based approximate price analysis has been carried out in order to achieve maximum efficiency at low cost in the production process of this designed system. The selection of the most suitable components in terms of both performance and durability is considered as an important stage of the design process. The analyses performed throughout the design process aim to create a cost-effective, high-performance and long-lasting motor drive system. Environmental impacts and sustainability of this system have also been taken into consideration.

**Keywords** – H bridge, Induction motor, PCB design, Motor driver, Low cost

### I. GİRİŞ

Asenkron motor sürücüleri, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ve yüksek verimlilik sağlayan elektrik motorlarıdır. Bu motorların kontrolü ve optimizasyonu üzerine yapılan araştırmalar, hem enerji tasarrufu hem de performans iyileştirmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Literatürde, asenkron motorların verimliliğini artırmak için çeşitli yöntemler ve kontrol teknikleri önerilmektedir.

Birçok çalışmada, asenkron motorların enerji verimliliğini artırmak için matematiksel modelleme ve optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Örneğin, Pirmatov ve arkadaşları, asenkron motorların statik ve dinamik modlarının elektromanyetik enerji dönüşümündeki enerji tasarrufu yöntemlerini belirlemişlerdir [1]. Ayrıca, Zhang ve ekibi, modelden bağımsız adaptif doğrudan tork kontrolü (DTC) yöntemini tanıtarak, asenkron motorların hız düzenlemesinde sistemin dayanıklılığını artırmayı hedeflemişlerdir [2]. Bu tür

kontrol yöntemleri, motorun performansını artırmak için kritik öneme sahiptir.

Asenkron motorların verimliliğini optimize etmek için kullanılan bir diğer yöntem, parçacık sürüsü algoritmasıdır. Tong, bu yöntemi kullanarak asenkron motorların verimliliğini artırmanın yollarını araştırmıştır [3]. Ayrıca, Wang, üç fazlı asenkron motorlar için doğrudan tork kontrolü teknolojisinin gelişimini incelemiş ve bu teknolojinin, vektör kontrolünden sonra gelen yüksek performanslı AC hız düzenleme teknolojisi olduğunu belirtmiştir [4]. Bu tür yenilikçi kontrol yöntemleri, motorların daha verimli çalışmasını sağlamaktadır.

Asenkron motorların kontrolü, genellikle karmaşık bir yapıya sahiptir. Yang ve arkadaşları, manyetik alan modülasyonu prensibi ve asenkron manyetik bağlantının iletim oranını hesaplama üzerine çalışmalar yapmışlardır [5]. Bu tür çalışmalar, motorların daha stabil ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için önemlidir. Ayrıca, Gong ve Li, asenkron motorların vektör kontrolü üzerine simülasyon

araştırmaları yapmış ve bu motorların kontrolündeki zorlukları ele almışlardır [6].

Asenkron motor kontrolünde yapay zeka ve bulanık mantık gibi modern yöntemlerin kullanımı da artmaktadır. Örneğin, Kirankumar ve arkadaşları, çok seviyeli inverter ile alan yönlendirmeli kontrolü incelemiştir [7]. Bu tür yenilikçi yaklaşımlar, motor kontrol sistemlerinin daha esnek ve dayanıklı olmasını sağlamaktadır.

Sonuç olarak, asenkron motor sürücüleri üzerine yapılan araştırmalar, enerji verimliliği, kontrol teknikleri ve optimizasyon yöntemleri açısından zengin bir literatüre sahiptir. Bu çalışmalar, asenkron motorların endüstriyel uygulamalardaki performansını artırmak için kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmada Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SPWM) tekniği kullanılarak MATLAB/SIMULINK ortamında tasarlanan H köprüsü ile asenkron motor sürücü tasarımının maksimum verim ve düşük maliyetle gerçekleştirilmesini konu almaktadır. Asenkron motor sürücü tasarımında kullanılan malzemelerin seçim nedenleri, maliyet analizleri ve tasarımın detayları ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Amacımız, üç faz asenkron motor sürücüsü olarak işlev gören entegre ve çok yönlü bir PCB devresi tasarlamak ve geliştirmektir. Bu bağlamda, motor sürücüsü ve kontrol yapıları, iletişim ve veri depolama çözümleri, görselleştirme ve kontrol arayüzleri, kullanıcı etkileşimi ve güç ölçüm modüllerine dair kapsamlı bilgiler sunulmuştur. Çalışmamız, hem akademik araştırmalar hem de endüstriyel uygulamalar için uygun, yüksek verimli ve güvenilir bir platform oluşturarak, gelecekteki projeler için önemli avantajlar sağlamayı hedeflemektedir.

## II. MATERYALLER VE METHOD

Bu kısımda, kullanılan donanım ve malzemeler, PCB tasarım süreci ve prototip üretimi ve test aşamaları yer almaktadır.

### A. Kullanılan Donanım ve Malzemeler

#### 1) STM32F103C8T6 Mikrodenetleyici

Projede kullandığımız STM32F103C8T6 mikroişlemcisi STMicroelectronics tarafından üretilen bir mikroişlemci olup tercih edilmesinde ARM Cortex-M3 mimarisi ve sunduğu geliştirme ortamları büyük rol oynamaktadır. Yaptığımız projenin SPI, I2C, CAN Bus, Timerlar ve I/O gibi gereksinimleri yukarıda belirtilen özelliklerden yola çıkarak minimum maliyetle maksimum verim elde edilebilmesi amacı ile projemizde kullanılmak üzere STM32F103C8T6 mikroişlemcisi tercih edilmiştir.



Şekil 1. STM32F103C8T6

Aynı serinin STM32F103C4 mikroişlemcisinin maliyeti daha düşük olmasına rağmen CAN Bus iletişim protokolü bulunmadığından dolayı proje için uygun görülmemiştir.

#### 2) OLED Ekran

Projemizde, 128x64 çözünürlüğe sahip 0.96 inç OLED grafik ekran kullanılmıştır. Bu ekranın tercih sebebi I<sup>2</sup>C bağlantısının bulunması, bu bağlantı ile yüksek hızlı veri iletimi sağlayarak ekranın hızlı ve verimli bir şekilde güncellenmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca LCD yerine OLED tercih edilme nedeni kendi ışığını üretmesi, arka ışık gerektirmemesi ve bu sayede düşük güç tüketimi sağlayarak adaptör ömrünün uzaması sağlamıştır.



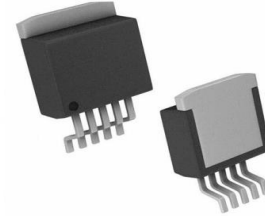
Şekil 2. OLED Ekran

#### 3) Buck Converter

Çeşitli bileşenler için gerekli olan farklı voltaj seviyelerini sağlamak amacıyla projemizde farklı tip iki adet Buck converter kullanılmıştır.

##### 3.1 LM2596S-5

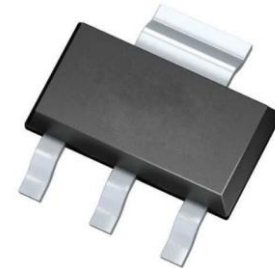
LM2596S-5.0, anahtarlama bir regülatör olup 12V'luk giriş gerilimini 5V'a düşürmek için kullanılmıştır. Bu regülatörün kullanılma amacı daha yüksek akım gereksinimi karşılamak, anahtarlama yapısı sayesinde enerji verimliliği sunarak ısınma problemlerini minimumda tutmaktır.



Şekil 3. LM2596S-5

##### 3.2 AMS1117-3.3

AMS1117-3.3, lineer regülatör olup projemizde 12V'luk giriş gerilimini 3.3V'a düşürmek için kullanılmaktadır. Mikrodenetleyici ve sensör gibi düşük voltaj gereksinimi olan bileşenlere enerji sağlamaktadır.

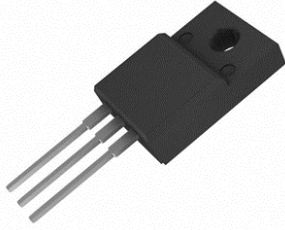


Şekil 4. AMS1117-3.3

#### 4) MOSFET

Projemizde, anahtarlama uygulamaları için FCPF099N65S3 MOSFET kullanılmıştır. Projede bu MOSFET'in tercih edilme sebebi diğer MOSFET'lere kıyasla yüksek akım ve

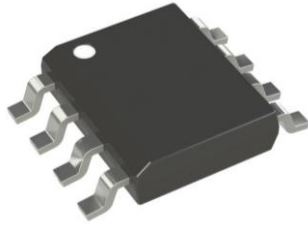
gerilim uygulamaları için uygun olması, Düşük Rds(on) ile ısınma problemlerinin minimize edilmesidir.



Şekil 5. FCPF099N65S3

#### 5) Gate Driver

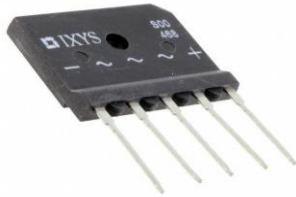
FCPF099N65S3 gibi yüksek akımlı MOSFET'leri 6A'lık çıkış akımı ile etkin bir şekilde sürebilme yeteneği sayesinde projemiz için TC4420COA gate driver'ı uygun görülmüştür. FCPF099N65S3 MOSFET için en az 13V gate sürücü gerilimi önerilmekte olup TC4420COA'nın 3V ila 18V arasındaki giriş gerilimide bu gereksinimi karşılamaktadır. Ayrıca aşırı akım koruması ve termal kapanma gibi güvenlik özellikleriyle öne çıkmaktadır.



Şekil 6. TC4420COA.

#### 6) Doğrultucu

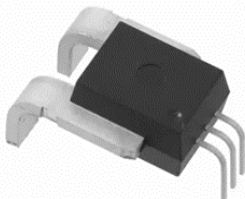
Yüksek verimli güç dönüştürme ve doğrultma işlemleri için DMA40U1800GU doğrultucusu kullanılmıştır. Motor sürücü sisteminizin temel bileşenlerinden biri olup üç fazlı AC gerilimi doğru gerilime (DC) dönüştürmekte ve motorumuz için gerekli gücü elde etmemize yardımcı olmaktadır.



Şekil 7. 238-DMA40U1800GU-ND.

#### 7) Akım Sensörü

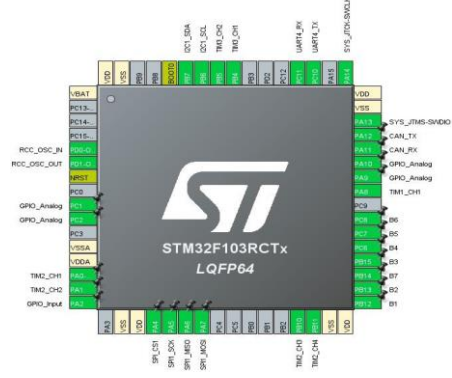
ACS758xCB-100B yüksek akım ölçümü için tasarlanmış olan bir akım sensörüdür. Projemizde motorun besleme akımını ölçmek için kullanılmaktadır. Akım ölçümü, motorun performansını değerlendirmek ve olası aşırı akım durumlarında koruma sağlamak için kritik öneme sahiptir. Ayrıca kullandığımız bu sensör AC ve DC akımlarını hassas bir şekilde ölçme yeteneğine sahip olup endüstriyel uygulamalar için kullanımı uygundur.



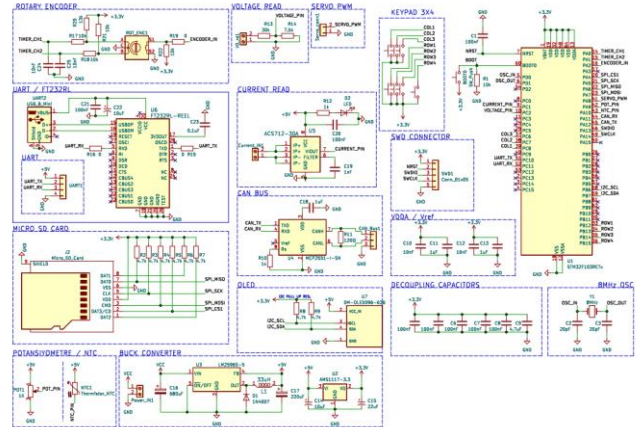
Şekil 8. ACS758xCB-100B

#### B. Şematik Tasarımı

Bu aşamada, STM32F103C8T6 mikrodenetleyicisinin çevre birim bağlantıları, motor sürücü devresindeki H-köprüsü yapılandırması ve MOSFET tetiklemeleri gibi kritik bileşenler optimize edilerek en verimli çalışma sağlanmış; tüm bileşenlerin özellikleri dikkate alınarak en uygun yerleşimle bağlantı yolları tasarlanmıştır.



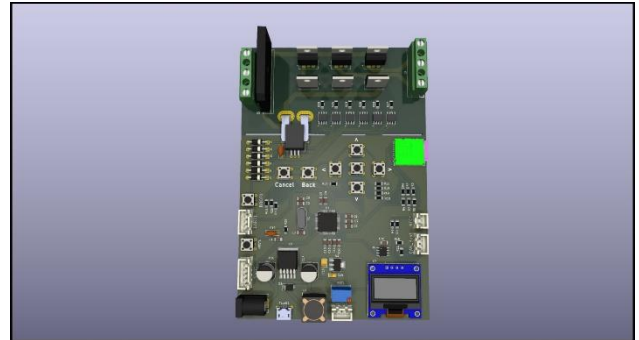
Şekil 9. Mikroişlemci I/O Konfigürasyonu



Şekil 10. Şematik Tasarımı

#### C. PCB Tasarımı

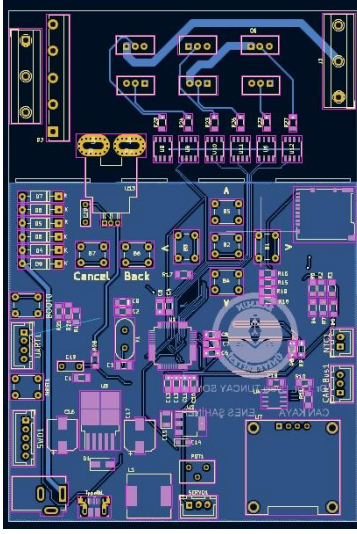
PCB tasarımında, motor sürücü devresinin yüksek verimle çalışabilmesi için çift katmanlı bir yapı tercih edilmiştir. Bu tasarım, sinyal yollarının güç yollarından ayrılmasına ve güç yollarının optimize edilmesine olanak sağlamaktadır. Yüksek akım taşıyan yollar geniş tutulmuş, ayrıca MOSFET'lerin sıcaklık yönetimi için ısı dağıtım stratejileri uygulanmıştır.



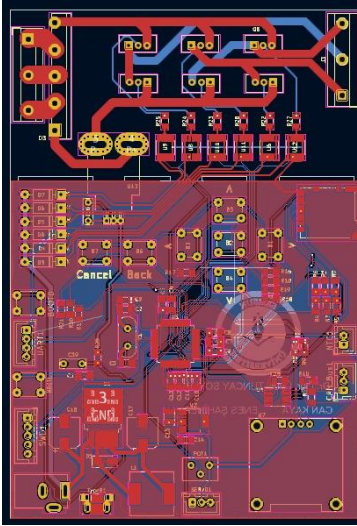
Şekil 11. PCB 3B görsel

Motor sürücü kısmındaki MOSFET'in güç besleme yolları, yüksek kalkış akımları gibi olası sorunların önüne geçilmesi

için PCB'de kaplamasız olarak yapılmış ve lehim veya tel ile desteklenmiştir. MOSFET bacak aralığından ve alan kısıtlamasından dolayı yollar kalınlaştırılmamış, bu çözüm tercih edilmiştir.



Şekil 12. PCB Çizimi



Şekil 13. PCB Çizimi

#### D. Malzeme Kalem Bazlı Fiyat Analizi

Tablo 1. Motor Sürücü Fiyat

Malzeme Kalemi	Malzeme Türü	Miktar	Birim Fiyat	Toplam Fiyat
10k	Direnç	8	0,19	1,52
4.7k	Direnç	8	0,19	1,52
1k	Direnç	2	0,12	0,24
1K	Direnç	2	0,2	0,4
30k	Direnç	2	12,5	25
7.5k	Direnç	2	0,48	0,96
120Ω	Direnç	1	0,48	0,48
FCPF099N65S3	MOSFET	6	167,648	1005,8904
8MHz	Kristal	1	4,85	4,85
M Power	Güç Kaynağı	1	90	90
Jack-DC	Dc Güç Giriş Konnektörü	1	7,08	7,08
USB_B_Mini	USB Konnektörü	1	12,996	12,996
Motor IN	Konnektör	1	5	5

Güç IN	Konnektör	1	5	5
Conn_01x02	Konnektör	1	2,5	2,5
Conn_01x03	Konnektör	2	1,37	2,74
Conn_01x04	Konnektör	1	1,8	1,8
Conn_01x05	Konnektör	1	139,76	139,76
SW_Push	Anahtar	9	1,68	15,12
1N4007	Diyot	6	0,61	3,66
100nF	Kondansatör	7	1,41	9,87
22uF	Kondansatör	1	3,8988	3,8988
1nF	Kondansatör	1	3,6	3,6
10nF	Kondansatör	2	0,62	1,24
4.7uF	Kondansatör	1	83	83
20pF	Kondansatör	2	0,31	0,62
680uF	Kondansatör	1	3,6	3,6
10uF	Kondansatör	1	160,826	160,8255
1uF	Kondansatör	3	0,78	2,34
220uF	Kondansatör	1	6,47	6,47
ACS758xCB-100B	Akım Sensörü	1	252,33	252,33
MCP2551-I-SN	CAN entegresi	1	63,35	63,35
Micro_SD	Micro SD Kart Giriş	1	95,7356	95,7356
TC4420COA	MOSFET Sürücü	6	63	378
LED	LED	1	5,66028	5,66028
33uH	Endüktör	1	117,939	117,9387
STM32F103RCTX	Mikrodenetleyici	1	80,82	80,82
DM-OLED096-636	OLED Ekran	1	162,45	162,45
DMA40U1800GU	Doğrultucu	1	479,69	479,69
AMS1117-3.3	Regülatör	1	2,42	2,42
LM2596S-5	Regülatör	1	74,727	74,727
Pcb	Baskı Devre Kartı	1	64,98	64,98
<b>Toplam</b>			<b>₺3.380,08</b>	

### III. SONUÇLAR

Tasarımını gerçekleştirdiğimiz H-köprüsü ile motor sürücü PCB devresinin performansı, entegre bileşenler ve kontrol sistemleri aracılığıyla kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Proje kapsamında, üç faz asenkron motor sürücüsü olarak işlev gören PCB, temel bileşenlerin ve modüllerin entegrasyonu sayesinde başarılı bir şekilde tasarlanmıştır.

Geliştirilen sistemde kullanılan FCPF099N65S3 MOSFET'ler, motor kontrol sinyalleri ile etkili bir şekilde tetiklenerek, motorun istenen performansı sergilemesine olanak tanımıştır. H-köprüsü konfigürasyonu, motor sürücüsünün yüksek verimlilikle çalışmasını sağlarken, TC4420COA gate sürücüsü ile kontrol edilen bu MOSFET'ler sayesinde enerji kayıpları minimize edilmiştir.

Projenin bir diğer önemli başarısı, motor besleme gerilimini düzenlemek, doğrultma görevini üstlenmek için kullanılan DMA40U1800GU doğrultucusu olmuştur. Bu bileşen, motorun stabil ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamakta kritik bir rol oynamıştır.

Devrede kullanılan UART, I2C, SPI ve CAN Bus protokolleri ile genişletilebilirlik ve veri iletişimi açısından önemli bir avantaj sağlamıştır. Micro SD kart modülü aracılığıyla, sistemin çalışma verileri etkili bir şekilde depolanmış ve geri çağırma işlemleri kolaylaştırılmıştır. Ayrıca görselleştirme ve kontrol aşamasında, I2C protokolü ile

bağlı OLED ekran, motor parametrelerinin ve sistem durumunun anlık izlenebilmesini sağlamıştır.

Sonuç olarak, projenin her aşamasında elde edilen sonuçlar, sistemin güvenilir ve verimli çalıştığını doğrulamakta ve hem akademik hem de endüstriyel uygulamalar için uygun bir platform sunduğunu göstermektedir.

#### IV. TARTIŞMA

Farklı iletişim protokolleri (UART, I2C, SPI, CAN Bus) sayesinde sistemin genişletilebilirliği ve veri yönetimi artırılmıştır. Motorun besleme akımının ACS758xCB-100B sensörü ile izlenmesi, aşırı akım koruma mekanizmalarıyla birlikte motor performansının sürekli olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, bu tasarım hem akademik araştırmalar hem de endüstriyel uygulamalar için güçlü bir platform oluşturmakta ve gelecekteki projeler için önemli avantajlar sunmaktadır.

#### V. SONUÇ

Sistem, yüksek verimlilik, düşük güç kaybı ve hassas motor kontrolü özellikleri ile öne çıkmakta olup, gelecekteki projelerde ve uygulamalarda önemli avantajlar sağlamaktadır.

#### REFERENCES

- [1] N. Pirmatov, A. Panoev, G. Samatova, & O. Berdiyrov, "Determination of methods of achieving the energy savings through mathematical modeling of static and dynamic modes of electromagnetic energy conversion in asynchronous motors used in feed crushers", *E3s Web of Conferences*, vol. 383, p. 04046, 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338304046>
- [2] Z. Zhang, S. Jin, G. Liu, Z. Hou, & J. Zheng, "Model-free adaptive direct torque control for the speed regulation of asynchronous motors", *Processes*, vol. 8, no. 3, p. 333, 2020. <https://doi.org/10.3390/pr8030333>
- [3] D. Tong, "Efficiency optimization of asynchronous motor with particle swarm algorithm incorporating parameter identification", *Journal of Physics Conference Series*, vol. 2522, no. 1, p. 012003, 2023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2522/1/012003>
- [4] L. Wang, "Study on direct torque control of three phase asynchronous motor", 2018. <https://doi.org/10.2991/mcei-18.2018.44>
- [5] C. Yang, D. Lu, Y. Hu, X. Chen, R. Yu, & L. Kong, "Magnetic-field modulation principle and transmission ratio calculation of field-modulated asynchronous magnetic coupling", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 535, p. 48-52, 2014. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.535.48>
- [6] Y. Gong and X. Li, "The simulation research and modeling of asynchronous motor's vector control", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 336-338, p. 484-488, 2013. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.336-338.484>
- [7] B. Kirankumar, Y. Reddy, & M. Vijayakumar, "Multilevel inverter with space vector modulation: intelligence direct torque control of induction motor", *Iet Power Electronics*, vol. 10, no. 10, p. 1129-1137, 2017. <https://doi.org/10.1049/iet-pe.2016.0287>