

# Tümleşik Modüler Motor Sürücü Sistemi (TMMS) Tasarımı

## Design of an Integrated Modular Motor Drive (IMMD) System

Mesut Uğur<sup>1</sup>, Ozan Keysan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
ugurm@metu.edu.tr

<sup>2</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
keysan@metu.edu.tr

### Özet

*Bu çalışmada, bir Tümleşik Modüler Motor Sürücü (TMMS) sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. TMMS teknolojisi avantajları ve dezavantajları yönünden incelenmiş, uygun motor sürücü topolojileri, güç yarıiletkenleri ve kapı sürücü teknikleri araştırılmıştır. TMMS sistemi için modüler bir fraksiyonel oluklu, kümelenmiş sargılı (FSCW), sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım (PM-BLDC) motoru tasarımı yapılmıştır. Galyum Nitrat (GaN) teknolojisine dayalı modüler motor sürücü güç katı tasarımı yapılmıştır. Tümleşik motor sürücü sistemine uygun optimum DA bara kondansatör seçimi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemin başarımı, motor sürücü için MATLAB/Simulink ortamında ve motor için Ansys/Maxwell ortamında yapılan benzetim çalışmaları ile elde edilmiştir. Sistem, güç yoğunluğu verim ve ısınma açısından değerlendirilmiştir.*

*Anahtar kelimeler: Tümleşik modüler motor sürücü, sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motoru, galyum nitrat*

### Abstract

*In this study, design of an Integrated Modular Motor Drive (IMMD) System is performed. IMMD technology is investigated in terms of its advantages and disadvantages, and suitable motor drive topologies, power semiconductor devices and gate drive techniques are investigated. Design of a modular fractional slot concentrated winding (FSCW) permanent magnet brushless direct current (PM-BLDC) motor is achieved for the IMMD system. A modular motor drive power stage design is performed based on Gallium nitride (GaN) technology. Selection of optimum DC bus capacitor suitable for the integrated motor drive system is achieved. The performance of the designed system is obtained via the simulations on MATLAB/Simulink for motor drive, and Ansys/Maxwell for the motor. The system is evaluated in terms of power density, efficiency and cooling.*

*Keywords: Integrated modular motor drive, permanent magnet brushless direct current motor, gallium nitride*

Geleneksel motor sürücü sistemlerinde, motor sürücü üniteleri bir pano içerisinde yer alır ve motora uzun kablolar ile bağlanırlar. Motorun ve sürücünün ayrı olarak bulunması, sistemin toplam hacminin ve ağırlığının artmasına, böylece toplam güç yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır. Özellikle elektrikli çekiş sistemlerinden ve havacılık ve uzay uygulamalarında güç yoğunluğunun azaltılması önemlidir. Buna ek olarak, uzun kablo bağlantılarından dolayı, darbe genişlik kiplenimi (PWM) operasyonu ile motor sargılarında geçici rejim yüksek gerilimleri oluşmakta, bu gerilimler yüzünden stator sargılarının izolasyonunun üzerinde kaçak akımlar meydana gelmekte ve bu da izolasyonların yıpranmasına neden olarak motor ömrünü kısaltmaktadır.

Son yıllarda, bahsedilen problemlere çözüm olabilecek, Tümleşik Motor Sürücüler (TMMS) kavramı ortaya atılmıştır. Buna göre, motor sürücü sisteminde yer alan tüm sürücü bileşenleri (güç katı, kontrol elektroniği, pasif elemanlar ve soğutucu) motor üzerine bütünleştirilebilir ve böylece tek bir tümleşik birim elde edilir. Bu sayede motor sürücü sisteminin güç yoğunluğu önemli ölçüde artırılabilir. Buna ek olarak, panoların ve bağlantı elemanlarının elimine edilmesinden dolayı % 20'ye varan maliyet azaltılması mümkün olmaktadır. Ayrıca, bağlantı kablolarının olmamasından dolayı motor ömrü uzatılabilir ve elektromanyetik girişim (EMI) problemleri en aza indirgenebilmektedir. Bu uygulamada sistem ayrıca, toplam gücü eşit olarak paylaşan alt parçalara bölünerek modüler hale getirilmektedir. Bu sayede, sistemin hata toleransı büyük oranda artmaktadır, yani sistem bir veya daha fazla birimde hata oluşması durumunda bile düşük güçte çalışmaya devam edebilmektedir. Bunun yanında, her bir birim ve sargı üzerindeki gerilim düşürülebilmekte ve böylece düşük dayanma gerilimine sahip güç yarıiletkenleri kullanılabilir hale gelmektedir. Isı üreten parçaların daha geniş bir alana yayılmasından dolayı da güç elektroniğinin ısıl başarımı iyileştirilmekte ve sıcak nokta oluşumu olasılığı azalmaktadır. Buna ek olarak, modüler yapı sayesinde, üretim, kurulum, bakım ve onarım maliyetleri düşürülebilmektedir.

### 1. Giriş

Tüm bu avantajların yanında, motorun ve sürücünün bütünleştirilmesinden dolayı pek çok zorluk meydana gelmektedir. İlk olarak, sürücüdeki tüm elemanları küçük bir hacme yerleştirmek, boyut optimizasyonu ve parçaların optimum yerleştirilmesini gerektirmektedir. Ayrıca, motorun ve sürücünün aynı anda soğutulması zordur ve detaylı ısı analiz gerektirmektedir. Buna ek olarak, tüm elektronik devre elemanları doğrudan fiziksel titreşime maruz kalmaktadır. Pasif elemanların boyutunu küçültmek için Galyum Nitrat (GaN) gibi yeni nesil geniş bant aralıklı (WBG) güç yarıiletkenlerinin yüksek anahtarlama frekansında kullanımı önerilmiştir. Bu yarıiletkenler ile ayrıca yüksek verimlere çıkılarak soğutucu boyutunu küçültmek de mümkündür. Yüksek frekansta GaN kullanıldığında, hem kapı sürücü devresinde hem de güç katında yer alan parazitik bileşenler kritik hale gelmekte ve devre yerleşim tasarımı önem kazanmaktadır.

Kümelenmiş sargılı motorlar üretim kolaylığı açısından ve modüler stator yapısına uygunluğundan dolayı tercih edilmiştir. Fraksiyonel oluklu PM-BLDC motorlar, yüksek güç yoğunluğuna, yüksek verime, düşük vuruntu momentine sahiptir ve hata toleransları iyidir.

## 2. Sayfa Düzeni ve Biçim

Sayfa düzeni için aşağıdaki kurallara uyulmalıdır. Hazır bir taslak (Word® ya da LaTeX) kullanmanız veya ayrıntıların kontrolü için örnek bir dosya takip etmeniz yazım düzeni isteklerini yerine getirmeniz açısından önerilir.

### 2.1. Temel Düzen Özellikleri

- Makale sayfaları, A4 (210 x 297 mm) kağıt boyutunda hazırlanmalıdır.
- Sol ve sağ kenarlarda 20 mm boşluk bırakılmalıdır.
- İlk sayfa dışında, üst kenarlarda 25 mm boşluk bırakılmalıdır. İlk sayfanın üst kenar boşluğu 30 mm olmalıdır.
- Alt kenarlarda 37 mm boşluk bırakılmalıdır.
- Başlık bölümü ve sayfa genişliğindeki şekiller dışında metin 80 mm genişliğinde iki sütundan oluşmalıdır.
- Sütunlar arası 10 mm boşluk bırakılmalıdır.
- Metin uzunluğu (sayfa başlığı ve altlığı hariç) en fazla 235 mm.
- Sayfa başlığı ve altlığı boş bırakılmalıdır (baskı ve EMO BİLİMSEL DERGİ CD-ROM için eklenecek)
- Paragraf girintisi ve satır aralıkları örnek dosya (PDF formatında) karşılaştırarak kontrol edilmelidir.

#### 2.1.1. Başlıklar

Bölüm başlıkları kalın ve ortalanmış olmalı, başlıkta sadece ilk kelimenin baş harfi büyük, başlığın gerisi küçük harflerle yazılmalıdır. Alt başlıklar ana başlıklarla aynı formatta yalnız sola dayalı olarak yazılmalıdır. Alt başlıkların altındaki diğer başlıklar da alt başlıklarla aynı formatta yalnız italik harflerle

kalınlaştırılmadan yazılmalıdır. Üç dereceden fazla başlık kullanılmamalıdır.

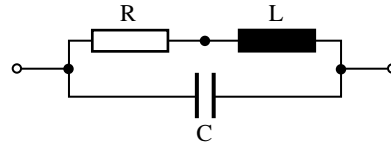
### 2.2. Yazı Tipi

Ana metin için *Times* veya *Times New Roman* yazı tipi kullanılmalıdır. Önerilen karakter boyutu ve aynı zamanda kullanılacak en küçük boyut 9'dur. Özel durumlarda diğer yazı karakterleri de kullanılabilir. En son PDF dosyasını oluştururken bütün yazı karakterlerinin eklenmesi unutulmamalıdır.

LaTeX kullanıcıları: Metin için *Computer Modern* yazı karakterleri kullanılmamalıdır. Biçim dosyasında *Times* belirtilmiştir. Mümkünse dosyanın en son şekli POSTSCRIPT yazı karakterleri kullanılarak hazırlanmalıdır. Bu ayrıntı gereklidir; çünkü örneğin, *non-ps Computer Modern* ile yazılan denklemleri ekranda okumak zordur.

### 2.3. Şekiller

Bütün şekiller sütuna (veya şekil iki sütunu da kaplıyorsa sayfaya) göre ortalanmalıdır. Şekillerin başlıkları her şeklin altına yazılmalı ve Şekil 1'de gösterilen düzende olmalıdır.



Şekil 1: Bir şekil örneği.

Şekiller koyu veya renkli bölgeler içeriyorsa, yüksek kaliteli, renksiz lazer yazıcılarda düzgün basılabilir olup olmadığı kontrol edilmelidir. Makale metninde kullanılan şekiller gri tonda sadece imgeler renkli tonda olabilir.

### 2.4. Tablolar

Bir tablo örneği Tablo 1'de verilmiştir. Tipine ve kullanım amacına göre değişik bazı tablolar da kullanılabilir. Tablonun başlığı tablonun üstünde olmalıdır.

Tablo 1: Bir tablo örneği

1. Sütun	2. Sütun
1	1
2	2
3	3

### 2.5. Denklemler

Denklemlerin her biri ayrı satıra yazılmalı ve numaralandırılmalıdır. Aşağıda bir denklem örneği verilmiştir.

$$x(t) = s(f_{\omega}(t)) \quad (1)$$

### 2.6. Köprüler

Makalede köprüler (*hyperlink*) kullanılabilir. Köprülerden konuyla ilgili (doküman, ses, çoklu-ortam vs.) daha geniş bilgiye ulaşma olanağını veren bağlantılar olarak yararlanılabilir. Köprünün yazı biçimi metinle aynı olup altı çizili olarak yazılmalıdır.

## 2.7. Sayfa Numaraları

Makaleye sayfa numaraları eklenmemelidir. Sayfa numaraları daha sonra dergi yetkililerince topluca eklenecektir. Makalelerde sayfa başlığı veya altlığı şeklinde üst ve alt bilgi kullanılmamalıdır.

## 2.8. Kaynakça

Kaynakçanın biçimi standart IEEE kaynakça biçimidir. Kaynaklar kullanılış sırasına göre numaralandırılmalıdır. Örneğin [1], [2] ve [3]...

## 3. Sonuçlar

Bu taslağı web sayfasında bulabilirsiniz.  
<http://bilimseldergi.emo.org.tr>

EMO BİLİMSEL DERGİ Yayın Kurulu makalelerinizi bu taslağa uygun bir şekilde hazırlayıp sorunsuz olarak dergi sekreteryasına ulaştırdığınız için tüm katılımcılara teşekkür eder.

## 4. Kaynaklar

- [1] Soyad, A. ve Soyad, B., "Makalenin Başlığı", *Yayınlandığı dergi adı*, Cilt No., Sayfa numaraları, Yayın yılı.
- [2] Soyad, A. (varsa Editör), *Kitabın adı*, Yayıncının adı, Yayın yeri, Yayın yılı.
- [3] Soyad, A. ve Soyad, B., "Makalenin Başlığı", *Sunulduğu derginin veya konferansın adı*, Yayın yılı, Sayfa numaraları.

## Ek A

### İtalik

$a$ ,  $A$ ,  $x$ ,  $f$ ,  $AB$  gibi matematiksel simgeler italik olmalıdır. Yunan harfleri, sayılar, parantezler ve noktalama işaretleri hiçbir zaman italik olmamalıdır.  $+$ ,  $\times$ ,  $=$ ,  $<$  gibi matematiksel simgeler ve  $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\log$  gibi kısaltmalar hiçbir zaman italik olmamalıdır. Aynı anda hem italik hem de koyu punto kullanılmamalıdır.

### Aralık

Noktalama işaretlerinden önce değil, sonra bir aralık bırakılır.  $+$ ,  $-$ ,  $\times$ ,  $=$ ,  $<$ ,  $\approx$  gibi simgelerden önce ve sonra birer aralık bırakılır. Açan parantezden sonra ve kapatan parantezden önce aralık bırakılmaz. Açan parantezden önce ve kapatan parantezden sonra aralık bırakılır. Metinde yanyana iki aralık bırakılmaz, yani aralık çubuğuna iki kez üstüste basılmaz. Bu durumu metni yazdıktan sonra kontrol ediniz.