**Ek.1. Giriş**

Bu raporun amacı ODTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü bünyesinde yürütülen **GaN Tabanlı bir Tümleşik Modüler Motor Sürücü Tasarımı ve Geliştirilmesi** projesinin birinci altı aylık döneminde gerçekleştirilen çalışmaları **1. Gelişme Raporu** olarak sunmaktır.

**Projenin amacı:** Bu projenin amacı, süreceği motor ile tümleşik olan, modüler yapıda ve yeni nesil **Galyum Nitrat (GaN)** transistörler içeren bir motor sürücü sistemi geliştirmektir.

Tümleşik modüler motor sürücü **(Integrated modular motor drive, IMMD)** teknolojisi, temelde güç yoğunluğunu arttırmak amacıyla, motor ile sürücüyü tek bir pakette entegre eden bir teknolojidir. Günümüze kadar kullanılagelen standart uygulamalarda motorlar, bir pano içerisinde yer alan ve uzun bağlantı kabloları ile bağlanan sürücüler aracılığıyla sürülmektedir. Bu uygulamanın başlıca dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

* Hacim, ağırlık artışı
* Düşük verim
* Uzun kablolardan dolayı oluşan yüksek gerilimler salınımları
* Entegrasyon zorluğu
* Bakım zorluğu
* Hata dayanıklılığı (fault tolerance) olmaması

Elektrik motorlarının günümüzde enerji piyasasının yüzde 45’ini oluşturduğu düşünülürse, elektrik motorları ve sürücülerinde enerji verimi artışının ekonomik ve çevresel anlamda çok büyük faydaları olduğu söylenebilir. Bu nedenle, yüksek verim hedeflenen IMMD uygulamaları son yıllarda popüler bir araştırma konusu haline gelmiştir. Özellikle elektrikli araçlar, çekiş sistemleri, servo motor sürücüleri ve robotik gibi uygulamalarda toplam boyutu veya ağırlığı düşürmek ve bu sayede güç yoğunluğunu arttırmak önemlidir. Konunun önem kazandığı bir diğer uygulama sahası da, özellikle ağırlık ve güvenilirliğin önemli olduğu havacılık ve uzay uygulamalarıdır. Buna ek olarak, endüstriyel motor sürücü uygulamalarında, kablo ile bağlanan sürücülerde meydana gelen yüksek geçici rejim gerilimleri motor izolasyonunun zamanla aşınmasına ve motor ömrünün kısalmasına neden olmaktadır. Sanayi tipi sürücülü motorlarda IMMD teknolojisine geçilmesi hem güvenilirliği arttırabilir hem de motor ömrünü uzatabilir.

Proje kapsamında geliştirilecek olan sistem aynı zamanda modüler yapıda olacaktır. Bu yapının sağladığı belli başlı avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

* Üretim ve montaj kolaylığı
* Bakım kolaylığı
* Hata ayıklama kolaylığı
* Hata dayanıklılığının artması
* Yedeklilik (redundancy)
* Kesitler arası belirli PWM teknikleri (interleaving gibi) uygulayarak pasif elemanların küçültülebilmesi

GaN tabanlı transistörler, yüksek hızlarda sürülebilme, düşük iletim durumu (ON-state) dirençleri ve bundan kaynaklı yüksek verim, yüksek sıcaklıklara dayanım gibi özelliklerinden dolayı güç elektroniği uygulamalarında son yıllarda önemli bir yer edinmeye başlamıştır. Bu özelliklerinden dolayı da, IMMD uygulamalarında öne çıkan bir yarıiletken adayıdır. Diğer bir taraftan, GaN transistörleri henüz ticari olarak yüksek gerilim değerlerinde bulunmamaktadır. Ayrıca, yüksek frekans operasyonundan dolayı, transistör sürücü devreleri ve güç katında meydana gelen parasitik etkilerdeki artış, devre tasarımını ve baskı devre yerleşimini kritik hale getirmektedir. Proje kapsamında hedeflenen çalışmaların bir bölümü, yüksek frekansta GaN transistörlerin kullanılabileceği çok seviyeli çevirici topolojilerini araştırmayı, karşılaştırmayı ve benzetim çalışmaları ile eniyilemeyi içermektedir. Ayrıca, üretilecek olan prototip ile birlikte GaN kullanımında meydana gelen parasitik yüksek frekans etkilerini donanımsal seviyede gözleme ve bunlara karşı önlem alma çalışmaları yapılacaktır. Bu çalışmalar kapı sürücü devresi ve güç katı devresinin yerleşim tasarımında eniyileme yapılarak yüksek frekansta çalışmadan dolayı meydana gelen etkileri en aza indirgemeyi içermektedir.

Motor ile sürücüyü tek bir pakete indirgemek çeşitli zorlukları da beraberinde getirmiştir. Bunlardan başlıcaları, motor yüzü kadar dar bir alana tüm sürücü elemanlarını sığdırma (boyut küçültme), birbirine çok yakın olan motoru ve sürücüyü aynı anda termal açıdan soğutabilme, güç elektroniği devrelerinin motora yakın bol titreşimli bir ortamda çalıştırılması ve benzeridir. Bu da konuda yeni araştırma ve geliştirme ihtiyacının doğmasına neden olmuştur. Bu proje kapsamında;

* Devre tasarımı ve optimizasyonu ile boyut küçültme (özellikle pasif elemanlar)
* Yeni nesil transistörler kullanılarak güç elektroniği tasarımı ile verim arttırma
* Termal tasarım ile tek bir soğutucu kullanarak motoru ve sürücüyü aynı anda soğutabilme
* Uzaysal tasarım (spatial design)
* Hata dayanıklılığı testleri (bir veya birden fazla modülün arızalanması durumunda sistemin düşük güçte çalışmaya devam edebilmesi)

gibi konuların araştırılması hedeflenmektedir. Bunun yanında, yukarıda sıralanan ihtiyaçları karşılayacak bir yapı, standart bir yapıya göre daha maliyetli olmaktadır. Bu sebeple, araştırma ve geliştirme bulgularından elde dilebilecek maliyet azaltmaya yönelik çalışmalar, IMMD uygulamalarının ticari olarak yaygınlaşmasını sağlayabilir. Bu çalışma ayrıca, motorlar ve sürücüler için durum izleme (condition monitoring), tahminli bakım (predictive maintenance) gibi uygulamaların da önünü açmaktadır. Projenin başarılı olması halinde bahsedilen konularla ilgili de çalışmalar başlatılması hedeflenmektedir.

Bu proje ile birlikte başlatılmak istenen araştırma ve geliştirme sürecinde gidilmek istenen nihai amaç, hem elektriksel açıdan (güç elektroniği), hem elektromekanik açıdan (motor), hem termal açıdan (soğutucu) hem de mekanik açıdan IMMD sisteminin detaylı modellenmesi ve tüm bu yapıların ortak bir potada birleştirilerek bir eniyileme çalışması yapılmasıdır. Bu proje kapsamında, temel yapıların modellenmesi, benzetim çalışması ile karşılaştırma ve tasarımın yapılması ve bir prototip geliştirilerek elde edilen bulguların doğrulanması hedeflenmektedir. Bunun yanında, proje çıktısı olarak bir IMMD donanımı elde edilmiş olursa, Elektrik Makinaları Laboratuvarı’nda ileride çeşitli araştırma ve geliştirme çalışmalarının test edilmesine olanak sağlanmış olacaktır.

Bu proje aracılığı ile IMMD teknolojisine ek olarak sunulması planlanan katkı ve ek bilgi/teknolojiler şu şekilde sıralanabilir:

* Motor sürücüsünde çok seviyeli çevirgeçlerin (multilevel converter) incelenmesi, karşılaştırılması ve benzetim çalışmaları ile eniyilenmesi
* Dağıtık ve modüler motor sargı konfigürasyonlarının incelenmesi ve karşılaştırılması
* Yüksek frekansta GaN transistörlerinin kullanımı ve sürücü devrelerinin tasarlanması
* Motor sürücü devresinde, hem kontrol ve transistör sürücülerinde hem de güç katında yüksek frekans etkilerinden dolayı meydana gelen parasitik etmenlerin modellenmesi
* Hem parasitik etmenler hem de uzaysal/mekanik açıdan optimum baskı devre kartı tasarımı ve üretimi
* Topoloji seçiminin ve PWM tekniklerinin DC bara kondansatörü boyutuna etkisinin modellenmesi
* DC barada kullanılacak kondansatör tiplerinin incelenmesi, karşılaştırılması ve benzetim çalışmaları ile eniyilenmesi
* Filtre endüktanslarının boyutunu küçültme ve sürücü baskı devre kartına entegre planar yapıda filtre endüktörlerinin denenmesi
* Motorun sürücü üzerindeki termal ve titreşimsel etkilerinin incelenmesi

Bu araştırma ve geliştirme projesi ile gerçekleştirilmesi hedeflenen çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

* Literatür araştırması:
  + Çok seviyeli motor sürücü topolojileri
  + Modüler motor sargı yapıları
  + GaN transistörleri ve sürüş teknikleri
  + DC bara kondansatör tipleri
  + Termal modeller ve soğutma teknikleri
* Modelleme ve benzetim çalışmaları
  + Motor sürücü güç katı topolojileri
  + DC bara kondansatörü
  + Yüksek frekans parasitik etmenler
  + PWM teknikleri
* Tasarım
  + GaN transistörlü güç katı
  + Kapı sürücü devreleri
  + Mikro-denetleyici ve haberleşme
  + Tümleşik filtre endüktörleri
  + Baskı devre kartı
* Gömülü yazılım
  + Motor kontrolü
  + PWM teknikleri
* Donanım ve test
  + Baskı devre kartı (güç katı ve kontrol) üretimi
  + Pasif yük ile testler
  + Motor ile testler
  + Performans testleri: verim, ısınma, titreşim