



Motor Sürücü Tasarımında Optimal Donanım Yapılarının Belirlenmesi

Sedat İN¹, Mert Yahya YILMAZ², Hasan TİRYAKİ*

*.1.2^İİstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding author : hasan.tiryaki@istanbul.edu.tr	Geliş Tarihi / Received Date	15.06.2020
¹ S.İN, orcid.org/0000-0001-7784-9334 ,	Kabul Tarihi / Accepted Date	16.06.2020
² M. Y. YILMAZ, orcid.org/0000-0003-2975-8790 ,	Yayın Tarihi / Published Date	20.07.2020

Alıntı / Citation :

İN, S., Yılmaz, M., Y., Tiryaki, H., (2020). *Motor Sürücü Tasarımında Optimal Donanım Yapılarının Belirlenmesi*, Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi, 1(1), 7-12.

Determination of Optimal Hardware Structures in Motor Drive Design

Özet – Günümüzde, çevresel konular ve ekonomiklik v.b doğrultusunda hibrit ile elektrikli araçların kullanımı hem dünyada hem de ülkemizde her geçen gün artmaktadır. Elektrikli motordan güç alarak hareket eden elektrikli otomobiller ile hem elektrik hem de hidrokarbon yakıt ile çalışan motor içeren hibrit tip otomobiller tasarlanmakta ve yaygın kullanıma sunulmaktadır. Bu çalışmada hibrit ve elektrikli araçlar için yüksek güç ve yüksek verim özelliklerini sağlayan 96V ile 150V gerilim aralığında çalışan bir Fırçasız Doğru Akım Motor (FDAM) sürücüsünün elektronik kart tasarımı yapılmıştır. Tasarım yapılırken dikkat edilmesi gereken donanım yapılarından bahsedilmiştir. Deney aracı olarak seçilen bir hafif ticari araç için tasarımı yapılan motor verileri kullanılarak, uygulama esnasında motorun ihtiyaç duyacağı parametreler (akım, gerilim vb.) referans alınmış, motor sürücü tasarımı bu parametreler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Fırçasız doğru akım motor sürücüsünün, yüksek güç değerlerinde anahtarlama yapıyor olması ve olası dış etkiler elektromanyetik girişe sebep olacaktır. Bu tasarımda oluşturulan motor sürücüsünün oluşacak olası elektromanyetik girişlerden mümkün olduğunca en az şekilde etkilenmesi amaçlanmış, uygun elektrik elemanları seçimlerine dikkat edilmiştir. Modüler bir yapı kullanılarak izolasyon sağlanması ve kolay entegre olabilmesi amaçlanmış, tasarımları yapılan motor sürücü bu doğrultuda oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fdam Motor Sürücü, Donanım Yapıları, ElektronikKart Tasarımı.

Abstract—Today, the use of hybrid and electric vehicles is increasing day by day in the world and in our country in line with environmental issues, economy, etc. Electric cars that move with the power of the electric motor and hybrid type cars, which are powered by both electric and hydrocarbon fuels, are designed and offered for widespread use. In this study, the electronic card design of a Brushless Direct Current (BLDC) motor driver working in the range of 96 V to 150 V and providing high power and high efficiency for hybrid and electric vehicles is mentioned. Hardware structures that should be considered while designing are mentioned. Using the engine data designed for a light commercial vehicle selected as a test vehicle, the parameters (current, voltage, etc.) that the engine will need during the application are taken as reference, and the motor driver design has been carried out in line with these parameters. The brushless DC motor driver's switching at high power values and possible external effects will cause electromagnetic input. The motor driver created in this design is intended to be least affected by possible electromagnetic inputs, and attention has been paid to the selection of suitable electrical elements. It is aimed to provide isolation and integrate easily by using a modular structure, and designed motor driver is created in this direction.

Index Terms: BLDC Motor Driver, Hardware Structures, Electronic Card Design.

I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

GELİŞEN teknoloji ve fosil yakıtların dünya üzerindeki azalışı yeni araç konseptlerinin doğmasına sebep olmuştur. Üretici firmalar içten yanmalı motorlar yerine yüksek enerji verimliliği sağlayan elektrikli ve/veya hibrit araçlara yönelmeye başlamıştır. Yeni konsept bu araçların en büyük dezavantajı menzil problemidir. Batarya teknolojisinin istenilen düzeyde geliştirme gösterememesi, maliyetlerinin yüksek olması ve batarya hücrelerinin yaşam döngüsünün istenilen sayılara ulaşmaması gibi problemlerden dolayı menzil problemi bir türlü çözülememiştir. Enerji depolanması problemleri çözülemediği için depolanan enerjinin en verimli şekilde kullanılması büyük önem kazanmıştır. Bunun sonucunda da farklı motor ve motor sürücü tipleri ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu modeller içerisinde en çok tercih edilenlerden biride fırçasız doğru akım motorlarıdır [1, 2].

Fırçasız doğru akım motorları yüksek verimliliğe sahip motorlar oldukları için “İçten Yanmalı Motorlu Taşıtlar İçin Yakıt Verimliliğini Artırıcı ve Yenilikçi Teknolojilerin Geliştirilmesi” başlıklı TÜBİTAK ARDEB 1003 projesinde fırçasız bir doğru akım motoru kullanılmasına karar verilmiştir. Fırçasız doğru akım motorlarının yüksek verimlilikte çalışabilmesi için motora ait sürücüye ait donanım yapısının da bir o kadar doğru ve çalışma prensiplerine uygun olarak tasarlanmış olması gereklidir [2, 3]. Sistemin maksimum verimlilikte ve maksimum güvenlikte çalışması için motor sürücü yapısının tasarım aşamaları büyük önem kazanmıştır. Sistem için üretilecek olan elektronik kartların tasarımı sırasında ortaya çıkabilecek tüm problemler değerlendirilerek gerekli testler ve analizler tasarım programları üzerinden yapılmaktadır. Kullanılan anahtarlama elemanlarının frekans değerleri ve komütasyon işleminde konum algılamak için kullanılacak olan hall effect sensör özel olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen özellikleri sağlamaya yönelik bir fırçasız doğru akım motoru sürücüsü tasarımı gerçekleştirilmiş ve kullanılan donanım yapıları hakkında detaylı bilgi verilerek dikkat edilmesi gereken unsurlar belirtilmiştir.

II. MOTOR SÜRÜCÜ SİSTEM YAPISI [MOTOR DRIVE SYSTEM STRUCTURE]

Motor Sürücüsistemi, dört ayrı elektronik kartı bünyesinde barındıran modüler bir sistemdir. Modüler bir yapı oluşturulması sayesinde fazların tetiklenmesi

aşamasında oluşacak sıcaklığın işlemciyi en az seviyede etkilemesi ve anahtarlama işlemlerinin en az gürültü ile en sağlıklı şekilde gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Sistem; Regüle Kartı, Kontrol Kartı, Güç Kartı ve motor içerisine yerleştirilecek olan Hall Sensör Kartı olmak üzere dört ana PCB ile ayrıştırılmıştır.

Regüle Kartı, Kontrol Kartı ve Güç Kartı tek bir paket içerisinde yer alacağı için tasarım bu doğrultuda yapılmıştır. Montaj deliklerine bağlanacak distanslardan bir kısmının aynı zamanda enerji iletim hattı olarak kullanılacağı göz önünde bulundurulmuş, montaj elemanlarının yüksek iletkenliğe sahip pirinç distanslar (öziletkenlik:17S) ile yapılmasına karar verilmiştir. Oluşturulan sisteme ait kartların birbiri ile ilişkisini gösteren görseller Şekil1 ve Şekil2 ile belirtilmiştir.



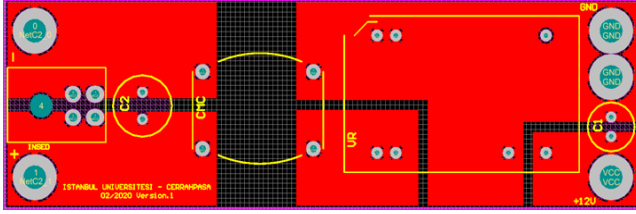
Şekil 1. Motor Sürücü Sistemine ait kartların sistem içerisinde yerleşimi ön görünümü



Şekil 2. Motor Sürücü Sistemine ait kartların sistem içerisinde yerleşimi yan görünümü

A. Regüle Kartı (Regulation Card)

Motor sürücü sisteminin ihtiyaç duyduğu 12 Volt gerilimin karşılanacağı karttır. Harici bir 12 V gerilim beslemesine ihtiyaç duymamak amacıyla tasarlanmıştır. 96 - 150 V arasındaki değişken gerilim girişini 12 V gerilim seviyesine indirir, böylelikle Kontrol Kartı, Güç Kartı, Hall Sensör Kartı gibi diğer birimlerin ihtiyaç duyduğu 12 V gerilim Regüle Kartına ait çıkışlardan sağlanır. Regüle kartına ait distanslar montaj elemanı olarak kullanımının yanı sıra enerji iletim hattı olarak da kullanılmaktadır. Kontrol kartı içerisinde motora aktarılan enerjinin elektriksel büyüklüğü regüle karta ait batarya girişlerinden pirinç distanslar ile kontrol kartına aktarılır ve kontrol kartında yapılan gerilim bölücü işlemi ile giriş gerilim seviyesi izlenebilir. Regüle karta ait 12 V çıkışlar Şekil3'de en sağ tarafta yer alan 3 adet hole aracılığıyla bağlanacak olan distanslar üzerinden gerçekleştirilir.

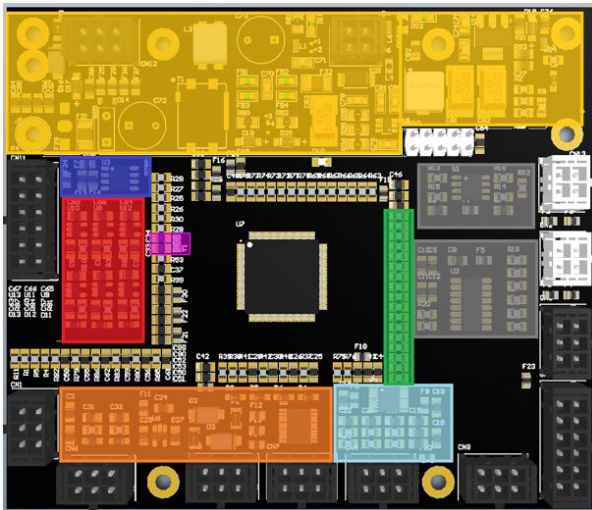


Şekil 3. Regüle Kartı elektronik kart tasarımı

B. Kontrol Kartı (Control Card)

Mikroişlemci ve çevresel birimlerin yer aldığı karttır. Giriş-Çıkış birimleri, haberleşme portları, analog dijital çevirici filtrelemeleri ve hall sensör girişleri bu kart içerisinde kontrol edilmektedir.

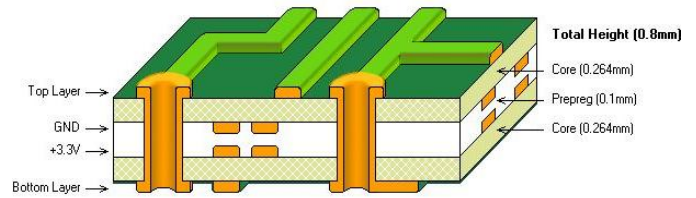
Kontrol kartına ait kart tasarımı yapılırken sistem şematik tasarımları ve PCB tasarımları ile beraber elektriksel malzemelerin kart üzerinde konumlandırılması da büyük önem teşkil eder [4, 5]. Doğru tasarım yapılmaz ise sistem istenen şekilde çalışmayabilir. Bu öngörü doğrultusunda, harici hafıza birimi işlemciye yakın bir şekilde konumlandırılmıştır. İşlemci besleme girişlerinde oluşacak çığ gerilim dengesizliklerini önlemek için kullanılan kapasiteler, işlemcinin bağlı bulunduğu pinine oldukça yakın konumlandırılmıştır. Analog ölçümler ile dijital ölçümlerin yapılacağı yerler birbirlerinden uzak tutulmuş ve olası parazitler engellenmeye çalışılmıştır. Harici sinyal üretici olan osilatör işlemciye oldukça yakın konumlandırılmıştır[6].Haberleşme bağlantıları birbirlerine yakın ve analog yapılarla uzak konumlandırılmıştır. Şekil 4’de kontrol kartı tasarımı ve çevresel birimlerin kart üzerindeki konumlandırılmaları gösterilmiştir.



Şekil 4. Kontrol kartı tasarımı ve çevresel birimlerin kart üzerindeki konumlandırılmalarının gösterimi

Şekil4’de gösterilen görselde sarı kutucuk ile işaretli alan sistemin çalışması için gerekli olan enerji dönüşümlerinin yapıldığı gerilim dönüşüm kısmıdır. Koyu mavi kutucuk ile işaretlenen kısım harici hafıza biriminin olduğu kısımdır. Kırmızı kutucuk ile işaretlenen birim ADC (Analog Digital Converter) girişleri için kullanılan buffer filtrelemeli opampların olduğu kısımdır. Pembe kutucuk ile işaretlenen kısım sinyal üreticinin olduğu kısımdır. Turuncu kutucuk ile gösterilen alan IO (Giriş-Çıkış) bağlantılarının olduğu kısımdır. Açık mavi kutucuk ile gösterilen alan hall sensör veri akışının olduğu alandır. Yeşil kutucuk ile gösterilen alan Güç Kartında mosfetlerin sürülmesini sağlayan tetik darbelerinin aktarıldığı alandır. Gri kutucuk ile gösterilen yapı haberleşme bağlantılarının olduğu kısımdır.

Kart tasarımı aşamasında elektriksel sinyallerin birbirinden izole halde iletilmesi en önemli unsurlardan birisidir [7]. Yapılan çalışmada yoğun sinyal hatlarının bulunması nedeniyle çakışmalar söz konusu olmaktadır. Bu elektrik sinyallerinin çakışmasını engellemek için sinyal hatlarının alt ve üst yollar aracılığıyla taşınmasına karar verilmiştir [8]. Fakat bu tasarımlarda iletim hatlarının birbirlerine yakın noktalardan geçmesi alt ve üst tabakalarda olsalar dahi parazit etkileri oluşturabilir ve sistem istenilen şekilde çalışmaz. Öngörülen bu sıkıntıları çözmek için tasarım, 4 katlı PCB teknolojisi kullanılarak yapılmıştır [9]. Böylelikle sinyal izolasyonu daha rahat sağlanacaktır. Dört katlı kontrol kartı sandviç modeli kullanılarak yapılmaktadır. Söz konusu yapı Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Dört katlı PCB sandviç modeli [9]

Şekil 5’de gösterilen dört katlı PCB sandviç modelinde üst ve alt katmanlar sinyallerin geçiş yapması için kullanılmaktadır. İç ve dahili olan 2 katman ise birisi toprak hattı diğeri besleme hattı olarak kullanılmaktadır [10]. Böylelikle oluşturulan kart alt ve üst katmanları kapasitif bir yapı ile izole etmektedir. Besleme ve toprak hatları bu yapı içerisinde bir kapasitör gibi davranıyor denilebilir.

C. Güç Kartı (Power Card)

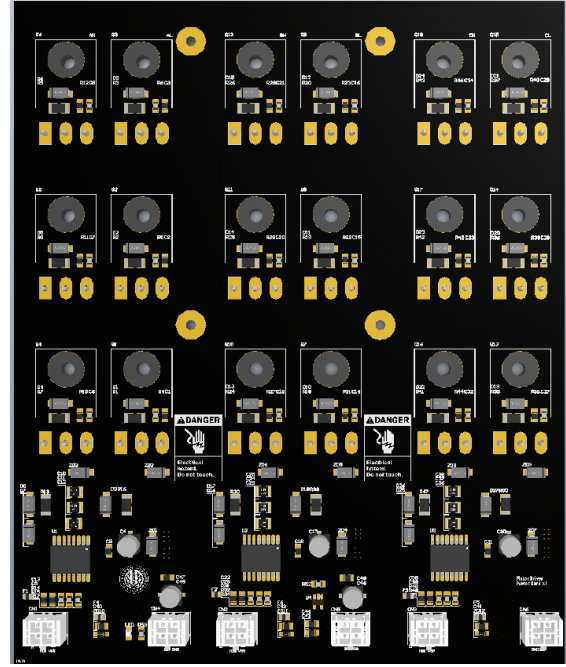
Güç Kartı Motor Sürücü sisteminin en fazla görev üstlenen ve en dikkat edilmesi gereken birimdir. Tüm faz tetikleme işlemleri bu kart üzerinde gerçekleşir. Yüksek güç anahtarlamalarının yapılması nedeniyle sistem fazlasıyla ısınabilmektedir. Sistem tasarımı yapılırken mosfetlerin kart üzerinde konumlandırılmasında soğutucu heat sink yapılarının kullanımı şarttır.

Tasarlanan 96-150V gerilim aralığında çalışacak olan motor için araç ağırlığı ve ivmelenmeler göz önüne alındığında motorun çalışma esnasında yüksek güç tüketiminde bulunacağı ve bu nedenle motor sürücü yapısının yüksek akım değerlerine olanak sağlaması gerektiği anlaşılmıştır. Motor sürücü fazlarının yaklaşık 400A değerlerinde akım çekeceği yapılan motor analizlerinde ortaya çıkmıştır. Bu güç değeri güç kartı üzerinden geçirilmek istendiğinde, fazlara ait iletim hatlarında yüksek ısılarla ve sistemin düzgün çalışmamasına neden olacaktır. Bu doğrultuda iletim hattı olarak elektronik kart içerisinde oluşturulacak bir iletim hattı yerine, güç kartına alt tarafından yerleştirilecek olan bakır baraların kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılan bu bara yapıları ile elektriksel yoğunluk daha iyi dağılım gerçekleştirilmiş ve kullanılan baraların katman kalınlığı nedeniyle ısınmanın önüne geçilmiştir.

Güç kartına ait kart tasarımı üzerinde toplamda 18 adet mosfet kullanılmaktadır. Bu mosfetler altışarlı olarak her faz için ayrılmıştır. Bu altılı mosfet grubunda 3 tanesi high seviyesinin anahtarlarken geri kalan 3 tanesi de low seviyesini anahtarlamaktadır. Üç ayrı mosfet kullanılarak yapının oluşturulması yüksek akım geçişinin neden olduğu bir durumdur. Üç ayrı mosfet kullanılarak oluşturulan yapı sayesinde giriş yapacak olan akım paralel kollardan dağılacak ve tek bir mosfet üzerinden 400A akış yerine 3 mosfet üzerinde paralel dağılım yaparak akış gerçekleşecektir.

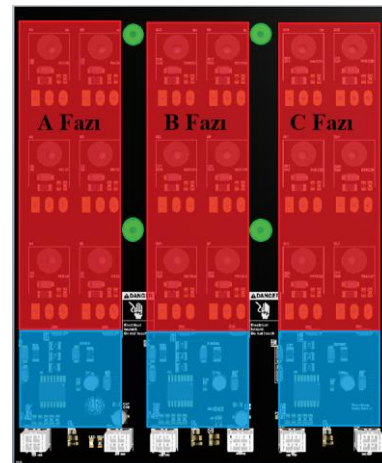
Bu ve benzeri paralelleme yapılarında eğer anahtarlama yapıyorsa paralelleme yapılarının oluşturulması aşamasında empedans eşitliği büyük önem arz etmektedir. Paralel yapılar arası empedans farkı çok yüksek olduğu durumlarda anahtarlamalar gecikmeler ile oluşabilir bu da istenmeyen komütasyon gecikmelerini doğurabilir. Yapılan analizler sonucu kapı sürücüyü en uzak paralel kol ile kapı sürücüyü en yakın kol arası gecikme yaklaşık 560 pikosaniye mertebesindedir. Mosfet datasheet verileri göz önüne alındığında rise time süresi 105 nanosaniye fall time ise 74 nanosaniye

mertebesindedir. Oluşan geçikme yükselme ve düşme sürelerinin yaklaşık %0.7'si kadardır. Bu süre göz ardı edilebilir bir süredir [11]. Şekil 6'da güç kartının tasarımı görülmektedir.



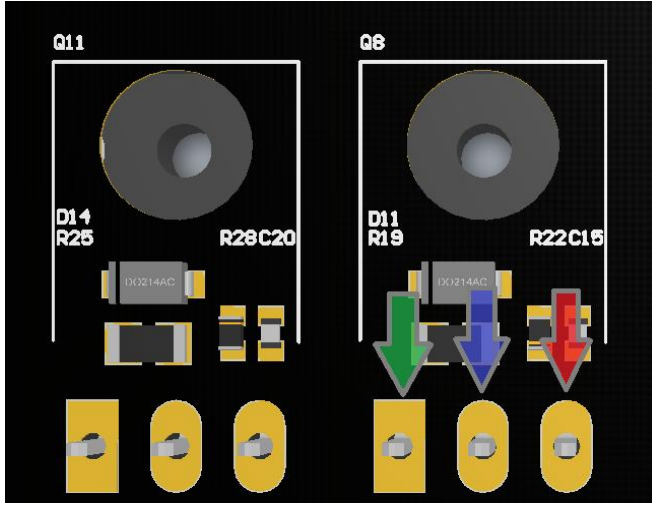
Şekil 6. Güç Kartı

Şekil6 ile gösterilmiş olan kart sadece mosfetlere ait tetikleme bağlantılarını barındırmaktadır. Asıl enerji geçişinin olacağı faz bağlantıları bu kart üzerinde yer almamaktadır. Enerji akışı Şekil8'de işaretlenen deliklere (Her mosfet için geçerli.) güç kartının alt yüzeyinden 3 kat olarak yerleştirilmiş olan bakır bara plakalar sayesinde sağlanmıştır. Aşağıda verilen Şekil 7'de ise faz dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 7. Faz Dağılımları

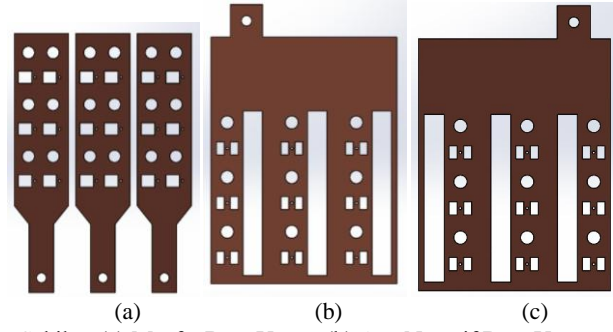
Şekil7’de faz gruplandırılmaları kırmızı kutucuklar ile gösterilmiştir. Yeşil yuvarlaklar ile gösterilen hole bağlantıları kontrol kartının montajı için kullanılan deliklerdir. Mavi kutucuk ile işaretlenen yapı kapı sürücülerin bulunduğu yapıdır. Şekil 8’de mosfet pinlerinin bağlantı delikleri gösterilmiştir.



Şekil 8. Mosfet pinleri bağlantı delikleri

Şekil8’de gösterilen görselde yeşil ok ile işaretlenen delik mosfete ait gate bacağıdır. Mavi ok ile gösterilen delik mosfete ait drain ucudur ve kart üzerinde sadece montaj amaçlı lehimlemesi yapılmaktadır, elektriksel bir bağlantısı mevcut değildir. Kırmızı ok ile gösterilen delik mosfete ait source bacağıdır. Source bacağı koruma amaçlı kullanılan kapasite, direnç ve diyot yapılarının dışında herhangi bir enerji akışı için karta bağlı değildir. Drain ve source bacaklarına ait faz bağlantıları kartın altına yerleştirilen bakır baralar aracılığıyla sağlanmıştır. 96 – 150 V gerilime sahip motora giden enerji hattı tamamıyla bu baralar üzerinden geçmektedir.

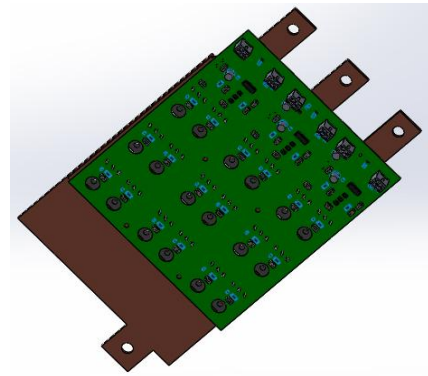
Bakır baralar 3 katlı olarak yerleştirilmektedir. Bu üç kat bara yapısı içerisinde ana pozitif, ana negatif, mosfet bağlantılarına sahip bara hatlarıdır. Oluşturulan yapıda ana pozitif hattı mosfetlerin drain pinlerine lehimlenecek bağlantıya sahiptir. Bu mosfetlerin source pinleri ise motora ulaşacak olan faz çıkışlarına aittir. Her faz bloğu için diğer faz bloklarından ayrı bir faz bloğu barası mevcuttur [12]. Şekil 9’da kullanılan bara yapıları gösterilmiştir.



Şekil 9. (a) Mosfet Bara Yapısı (b) Ana Negatif Bara Yapısı (c) Ana Pozitif Bara Yapısı

Şekil9 (a)’da üç adet birbirinin aynısı bara yapısı verilmiştir. Bu yapı fazlara ait bağlantıları içermektedir (her bir barayı bir fazı işaret etmektedir). Bu yapı üzerindeki mosfet bağlantıları sadece source pinleri ile gerçekleştirilir. Mosfetin aktifleşmesi durumunda Şekil 9 (b) ve Şekil 9 (c) ile gösterilen ana negatif ve ana pozitif baralardan hangi seviye aktifleştirildiyse (örneğin high mosfetler için aktifleşme durumunda ana pozitifbara) o seviyeye ait bara yapısındanbağlı bulunduğu mosfetlere ait drain pinlerinden enerji çekilecek ve mosfetin source bacağına bağlı bulunduğu faz çıkışına aktarılacaktır. Böylelikle baralar arası güç akışı ve fazlama eylemlerigerçekleşmektedir.

3 katlı bara yapılarının kart üzerindeki bağlantıları ve montajı Şekil 10’da gösterildiği gibi yapılmıştır.

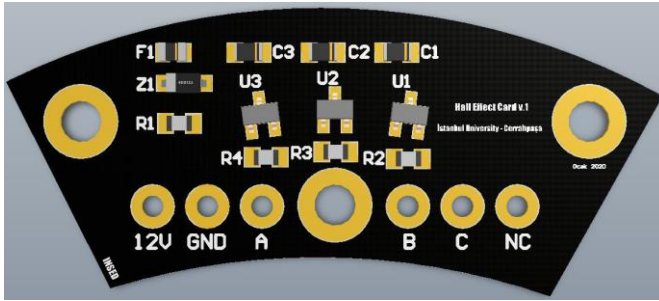


Şekil 10. Güç kartı ve Baraların montajlı hali

Şekil 10’da gösterildiği üzere oluşturulan bu yapıda faz blokları ve ana negatif ile ana pozitifin birbirinden izole edilmesi önemlidir. Bakır baraların birbirleri ile temasları söz konusu olursa yüksek ark oluşacak ve sisteme büyük zararlarverecektir. Bu nedenle bakır baraların aralarında yüksek elektriksel izolasyon özelliğine sahip yalıtkan kağıtlar kullanılmıştır.

D. Hall Sensör Kartı (Hall Card)

Motor sürücü sistemine entegre olmayan tek karttır. Hall sensör kartı motor içerisinde konumlandırılan ve motor mıknatıslarının konum bilgilerini veri iletim hattı aracılığıyla (Şekil 11’de görülen kart üzerindeki A, B, C bağlantıları) motor sürücüyü aktarmak ile görevlidir.



Şekil 11. Hall Sensör Kartı

Hall Sensör Kartına ait tasarım Şekil11’de gösterilmiştir. Bu tasarım içerisinde en önemli parametre hall sensörlerdir. Kullanılan hall sensörlerin ürün kalitesinin yanı sıra motor yapısına uygun bir şekilde kart üzerinde konumlandırılması önemlidir. Hall sensör yapısı motor için özel üretilmiş ve motorun mıknatıslarına tam karşılık gelecek açıyla yerleştirilmiştir. Şekil 11’de görülen kartın şekli ve sensörlerin açılar ile konumlandırılması, motor içerisinde bulunan ring mıknatıslara tam karşılık sensörlerin gelmesi gerekliliğinden dolayıdır.

III. SONUÇ [CONCLUSION]

Motor sürücülerin maksimum verimde çalışması için yüksek verimliliğe sahip komponent seçiminin yanısıra uygun kart tasarımı da oldukça önemlidir. Bu çalışmada motor sürücü tasarımı için kullanılması gereken donanım yapılarından bahsedilmiştir. Tasarım dört farklı kartın bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. Regüle kartı ile sistemin dışa bağımlılığı azaltılmıştır. Kontrol kartının modüler olması, güç kartı ile kontrol kartı arasındaki izolasyonu arttırmıştır. Hall Sensör kartı motor içerisine mıknatısların açısıyla yerleştirilmiş veri doğruluğu arttırılmıştır. Sistemin modüler bir yapıya sahip olmasının avantajlarına değinilmiş, motorun ihtiyaç duyduğu enerjinin kart üzerinden aktarılması yerine, kullanılan bakırbarayapıları ile enerjinin aktarılması önerilmiştir. Böylelikle fazlar üzerinde oluşan empedans farkedilebilir ölçüde azalacaktır. “İçten Yanmalı Motorlu Taşıtlar İçin Yakıt Verimliliğini Arttırıcı ve Yenilikçi

Teknolojilerin Geliştirilmesi” başlıklı TÜBİTAK ARDEB 1003 projesinde kullanılacak olan araca ait motor sürücünün bu doğrultuda tasarlanması uygun bulunmuştur.

TEŞEKKÜR [ACKNOWLEDGMENT]

Bu çalışma TÜBİTAK ARDEB Mühendislik Araştırma Grubu tarafından 216M252 numaralı 1003 projesiyle desteklenmiştir.

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 33416

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] Tiryaki H., Çağışlar A. S., Akgündoğdu A., Kocaarslan İ., “Elektrikli Araçlar İçin Fırçasız Doğru Akım Motorlarında Değiştirilebilir Manyetik Alan Uygulaması (Commutable Magnetic Field on Brushless Direct Current Motor for Electrical Vehicle)”, Int.J.Eng. Research & Development, Vol.8, No.2, pp. 37-45, June 2016.
- [2] Tiryaki H., Akgündoğdu A., Erdoğan G., Karadeniz O., Şahin U., Yılmaz M. Y., Durak Y., Kocaarslan İ., “Verimlilik Yarışları İçin Bir Elektrikli Otomobilin Gerçeklenmesi (Bir Elektromobilin Aerodinamik, Mekanik, Elektrik ve Elektronik Olarak Gerçeklenmesi)”, World Electro Mobility Conference (WELMO’17), İzmir, 43-55, 04-05 Mayıs 2017.
- [3] Tiryaki H., Akgündoğdu A., “Bir Elektrikli Otomobilin Tasarımı ve Üretimi”, in: Mühendislik Alanında Akademik Araştırmalar, ISBN: 978-605-288-390-7, Prof.Dr. Serdar SALMAN, Eds., Gece Kitaplığı, Ankara, pp. 73-102, Nisan 2018.
- [4] Texas Instruments “Best Practices for Board Layout of Motor Drivers” January 2019
- [5] Texas Instruments “Op Amps for Everyone - Chapter 17 Circuit Board Layout Techniques” Dallas, 2008
- [6] Atmel “Best Practices for the PCB Layout of Oscillators Application Note” San Jose, 2016
- [7] Analog Dialogue Volume 41 Number “Reducing Ground Bounce in DC-to-DC Converters—Some Grounding Essentials” 2007 (Syf:2-10)
- [8] David L. Jones “PCB Design Tutorial” June 29th 2004
- [9] <https://www.htglobalcircuits.com/en/free-engineering/> [Ziyaret Tarihi: 20.01.2020]
- [10] https://www.allpcb.com/4_layer_pcb.html [Ziyaret Tarihi: 12.01.2020]
- [11] International Rectifier “IRFP4668PbF Datasheet” 233 Kansas St., El Segundo, California 90245
- [12] E. Özkop “Elektrikli Araçlar için Motor Sürücü Tasarımı” Gebze, Şubat 2018.