

FARKLI ELEKTRİK MOTORLARINDA TEK BİR SÜRÜCÜ İLE GENELLEŞTİRİLMİŞ ALGILAYICISIZ HIZ DENETİMİ ve UYGULAMASI

Yrd. Doç. Dr. Derya Ahmet Kocabaş
İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi
Elektrik Müh. Böl. Öğr. Üyesi
derya.kocabas@itu.edu.tr

1. Giriş

Elektrik makineleri motor çalışma durumunda endüstriyel sürüş sistemlerinde mekanik güç ihtiyacını karşılayabilmektedir. Bu durum farklı yük durumlarında motor hız ve momentinin denetlenebilir olmasını zorunlu kılmaktadır. Farklı elektrik motorları için farklı hız ve moment denetim yöntemleri ve donanımları mevcuttur.

Endüstride motor olarak en geniş güç yelpazesinde ve en çok kullanılan elektrik motorları asenkron motorlardır. Mıknatıslı motorlar yüksek verimleri ile asenkron motorların en büyük rakipleridir, ancak çok büyük güçlerde imalat henüz sınırlıdır. Gelişmekte olan sürekli mıknatısların güçleri yükseldikçe ve maliyetleri azaldıkça daha büyük güçlerde mıknatıslı makinelerin kullanımının ve mıknatıslı motorların yaygınlaşmasının önü açılmaktadır. Bu tip makineler çoğunlukla küçük güçlü uygulamalarda tercih edilmektedir. Sürekli mıknatıslı senkron motorlar, fırçasız doğru akım motorları ve sürekli mıknatıs destekli senkron relüktans motorlar, uyarma sargılı ya da rotoru sargılı elektrik motorlarına göre daha yüksek verime sahip olsalar da karmaşık sürücü devreleri olmadan kullanılmaları imkansızdır. Bu motorların hız ve moment denetimleri klasik asenkron motorlara göre daha karmaşıktır.

Bu makalede farklı tiplerdeki elektrik motorlarından, yukarıda bahsedilen asenkron, sürekli mıknatıslı senkron (PMSM), fırçasız doğru akım (BLDC-FDAM) ve sürekli mıknatıs destekli senkron relüktans motorları için kontrol yöntemleri yüzeysel olarak incelenecek, yapıları farklı bu elektrik motorlarının hepsini algılayıcısız alan yönlendirmeli kontrol yöntemi ile sürme yeteneğine sahip tek bir çoklu motor sürücü devresine bir giriş yapılacak ve uygulama örneği verilecektir.

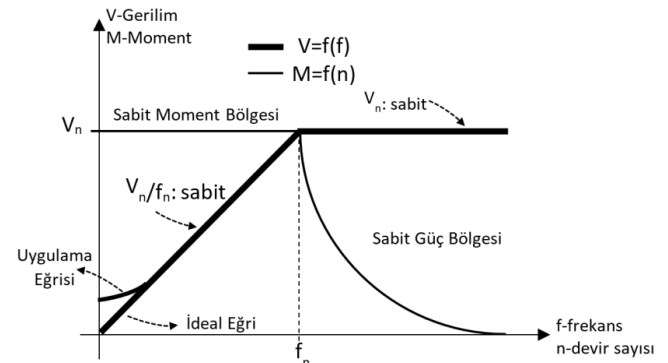
2. Üç Fazlı Alternatif Akım Makinelerinin V/F (Skaler) Kontrolü

Asenkron motorların moment ifadesi incelendiğinde momentin gerilim, frekans, kutup sayısı ve rotor direncine bağlı olduğu görülür. Tek başına gerilimi veya frekansı değiştirmenin manyetik büyüklükler ve devrilme momenti açısından sakıncaları mevcuttur. Kutup sayısının değiştirilmesi için özel imalat yapılması gereklidir. İlave rotor direnci eklenmesi ancak bilezikli asenkron motorlarda mümkündür. Çift kafesli veya akım yığılmalı motorlarda etkin rotor direncinin farklı hızlarda değişimi kalkış anı için kullanılırken hız denetiminde rotor direncini değiştirerek

istenilen hıza ulaşmak mümkün değildir. Kullanılan en yaygın hız denetimi yöntemi makinede manyetik akıyı sabit tutma temelindeki skaler kontrol tabir edilen yöntemdir.

Asenkron motorlarda endüklenen gerilim, sargı büyüklüklerinin dışında frekansa ve manyetik akıya bağlıdır. Ancak endüklenen gerilimi doğrudan okuyabilmek mümkün değildir. Belirli yaklaşıklıkla küçük sargı akımları için besleme geriliminin endüklenen gerilime eşit olduğu düşünülürse, gerilimin frekansa oranı (V/f) sabit tutulacak şekilde ayar yapıldığında motorda manyetik akı büyüklüklerinin yaklaşık aynı kaldığı kabul edilebilir. Ancak akım değerinin yüklemeye ile değiştiği, hatta büyük kayma değerlerinde çok büyüdüğü düşünülürse, düşük hızlarda besleme geriliminin endüklenen gerilime yaklaşık eşit olduğu yaklaşımı doğru sonuçlar vermemeye başlar. Büyük kayma değerlerinde endüklenen gerilim sabit kalacak şekilde besleme gerilimi frekansa daha yavaş azaltılarak düzeltme yapma yoluna gidilir.

Frekansın bu orana bağlı olarak değiştirilmesi beraberinde senkron hızı da değiştirdiğinden hız ayarı etkin bir biçimde yapılabilir. Devrilme momenti V/f oranının sabit tutulması ile belirli yaklaşıklıkla sabit kalır. Ancak V/f oranı sabit tutularak yapılan hız ve moment ayarında bu yöntem anma gerilimi ve frekansın altındaki değerlerde geçerlidir. Anma gerilimine ve anma frekansına kadar ayar yapılan bölgeye bu sebepten dolayı "sabit moment bölgesi" ismi verilir. Anma geriliminin üstüne çıkılmayacağından, anma frekansındaki senkron hızın üstüne çıkmak için frekans artırılırken gerilim anma değerinde sabit kalır ve V/f oranı sabit tutulamaz; küçülür. Buna bağlı olarak manyetik akı azalırken devrilme momenti karesel olarak azalır. Bu çalışma bölgesi ise "sabit güç bölgesi" olarak adlandırılır.



Şekil 1: Asenkron Motorun V/F (Skaler) Kontrol Eğrileri

3. Üç Fazlı Alternatif Akım Makinelerinde Vektör Denetimi

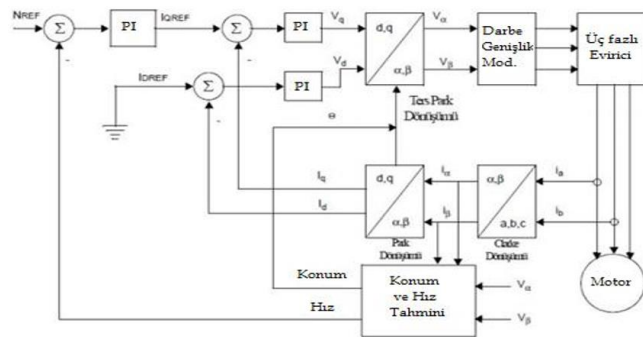
Skaler kontrol yönteminde asenkron makinede akı ve akımın sadece büyüklükleri ile ilgilenilir. Oysa motor milinde endüklenen moment, akı ve akım fazörlerinin büyüklükleri dışında aralarındaki faz açısına da bağlıdır. Bu sebeple bu büyüklüklerin vektörel olarak değerlendirildikleri Doğrudan Moment Kontrolü (Direct Torque Control) ve Alan Yönlendirmeli Kontrol (Field Oriented Control) olarak anılan kontrol yöntemleri uygulanır.

Doğrudan Moment Kontrolü yönteminde stator akısının büyüklüğü sabit kalacak şekilde eksen takımı seçilir; stator ve rotor akıları arasındaki göreceli açı büyüklüğü kontrol edilerek moment denetimi yapılır. Alan Yönlendirmeli Kontrol'de 3 fazlı elektrik makinesi bir doğru akım makinesine benzetilerek stator veya rotor büyüklüklerinin üzerinde seçilen eksen takımlarına göre akımı moment üreten bileşen ve akı (hız) bileşeni olarak ikiye ayırarak denetim altyapısı oluşturulur ve kontrol yöntemi uygulanır. Matematiksel dönüşüm için Clark ve Park dönüşümleri kullanılır. Bu yöntem mıknatıslı makinelere uygulandığında mıknatısların manyetik alanı ile stator manyetik alanı birbirine dik tutulmaya çalışılır.

Temel mantık olarak asenkron ve senkron makineler benzer şekilde kontrol edilseler de asenkron makinelerde rotor direnci ve değişiminin kestirilmesi gerekli iken mıknatıslı makinelerde rotorun konum bilgisinin elde edilmesi veya kestirilmesi öne çıkar.

4. Alan Yönlendirmeli Denetim Yöntemleri

Alan yönlendirmeli kontrol yöntemi ile elektrik makinelerin denetiminde farklı gruplamalar yapılabilir. Bütün yöntemlerde rotor konumunun bilinmesi gereklidir. Konum bilgisi doğrudan ölçülebileceği gibi farklı yöntemlerle de rotor konumu kestirilebilir. Rotor konumunun doğrudan ölçülmesi için ilave ölçüm düzenekleri ve bağlantılar gerekir. Konum bilgisini o anki motor verilerinden yola çıkıp hesaplayarak kestiren yöntemler de mevcuttur. Bu yöntemler model tabanlı yöntemler, işaret basma yöntemleri ve yapay zeka algoritmaları olarak gruplandırılabilir.



Şekil 2: Algılayıcısız Alan Yönlendirmeli Kontrol Temel Gösterimi

Model tabanlı durum kestiriciler uyarlanabilir (adaptif) ve uyarlanabilir olmayan (non-adaptif) yöntemler olarak ikiye ayrılır. Uyarlanabilir olmayan yöntemlerde stator gerilimi ve akımını izleyen konum kestirme yöntemleri kullanılmaktadır. İşaret basma yöntemlerinde motordaki endüktans değişimlerinden yola çıkılarak konum tahmini yapılır ve yüksek frekanslı gerilim veya akım işareti temel motor akımının üzerine bindirilerek akımdaki harmonik bilgisinden konum bilgisi

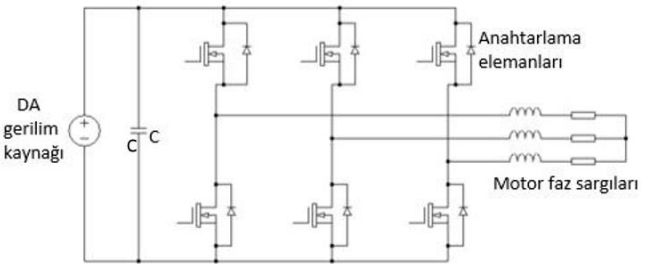
alınır. Yapay zeka algoritmaları kullanıldığında ise genetik algoritma, bulanık mantık gibi doğa tabanlı yöntemlerle veri seti oluşturularak konum tahmini yapılır.

Alan yönlendirmeli kontrol 3 fazlı stator sargı yapısına sahip olan başta asenkron motor olmak üzere sürekli mıknatıslı senkron motor, fırçasız doğru akım motoru ve sürekli mıknatıslı destekli senkron relüktans motora uygulanabilir.

5. Algılayıcısız Alan Yönlendirmeli Kontrol için Sürücü Devreler ve Bileşenleri

Bir sürücü sistemi DA güç kaynağı, evirici, motor, yük ve denetleyiciden oluşur. DA güç kaynağı klasik bir kontrolsüz doğrultucu olabileceği gibi doğru gerilim barası denetimi ihtiyacı olan uygulamalarda bir anahtarlama güç kaynağı (SMPS) da kullanılabilir. Eviriciler alan yönlendirmeli kontrolün temel elemanlarıdır. Denetleyiciler ise alınan geri besleme bilgisini işleyerek eviricide bulunan güç elektroniği anahtarlarının kapı kontrol işaretlerini üreten birimlerdir.

Eviriciler doğru gerilimden 3 fazlı çıkış gerilimi üreten temelde 6 ayrı güç elektroniği anahtarından, bunların ters bağlı gövde diyotlarından ve anahtar sürücü devrelerinden oluşur. Bu elemanlar çalışma akımı ve frekansına göre belirlenir. Küçük güçlü yüksek frekanslı uygulamalarda MOSFET tercih edilirken büyük güçlü uygulamalarda IGBT tercih edilir. Bu seçim sürücü verimliliği göz önünde bulundurularak yapılır. Denetleyiciden gelen bilgiye göre hangi anahtarın, hangi zamanda ateşleneceği bilgisi üretilir. 3 fazlı evirici topolojisi, üst ve alt koldaki anahtarların ayrı olarak kontrol edildiği üç adet yarım-köprü biriminden oluşmaktadır. Herhangi bir kısa devre durumunun yaşanmaması için anahtarlardan birisi açık konumdayken diğeri kapalı konumda tutulmalıdır.

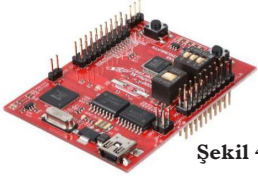


Şekil 3: 3 Fazlı Evirici Güç Katı Temel Devresi

Eviricide ateşleme açıları denetlenerek istenilen genlik, frekans ve faz açısında gerilim üretmek mümkündür. Gerilim ve frekansın birbirlerinden bağımsız halde ayarlanabilir olması eviricilerin V/f tabanlı motor kontrolünde kullanımını sağlar. Motorun verimliliğini arttırmak adına harmoniklerin yok edilmesi gerektiğinden evirici çıkışında çeşitli modülasyonların uygulanması gerekir. Alan yönlendirmeli kontrol uygulamaları açısından uzay vektör modülasyon yöntemi elverişli bir yöntemdir.

Denetleyici olarak farklı sistemler kullanılabilir. Algılayıcısız alan yönlendirmeli kontrol yöntemleri karmaşık matematiksel işlemler barındırdığından sayısal işaret işleyici (DSP-Digital signal processor), DSP tabanlı mikrodenetleyici (DSC), FPGA (Field Programming Gate Array) gibi hızlı ve karmaşık işlem yapabilme yeteneğindeki sistemlerin kullanılması zaruridir. Motor kontrol uygulamalarının performansı ve ekonomikliği açısından, endüstride DSP'nin motor kontrolü

için gerekli belirli özelliklerini içeren mikrodenetleyiciler (DSC) ön plana çıkar. Denetleyicilerin ihtiyaç duyduğu programlama dili ve arayüz vasıtası ile yazılımların hazırlanması ve kullanıma hazır hale getirilmesi de gereklidir.



Şekil 4: DSP Tabanlı Bir Mikrodenetleyici

Sürüş sisteminin bileşenleri dışında, bu sistemde paydaş olarak bulunan sistemlerin doğru şekilde işleyebilmesi için sürülen motor ve yük sisteminin bilgilerinin de içerilmesi gerekir. Sürülecek olan motorun matematiksel modeli, devre parametreleri gereken doğruluk mertebelerinde bilinmelidir. Bu bilgiler tekil motorlar için kurulan sistemlerde tasarımcı tarafından girilebileceği gibi ticari ürünler ilk bağlantılarında motorun tipinin belirlenmesinden sonra parametre belirleme işlemini kendileri de yapabilmektedirler. Motor tipi ve devre parametrelerinin sisteme girilmesini takiben motor uygun besleme büyüklüklerinde çalışmaya başlayabilir. Buradan itibaren konum kestirme yöntemleri devreye girer.

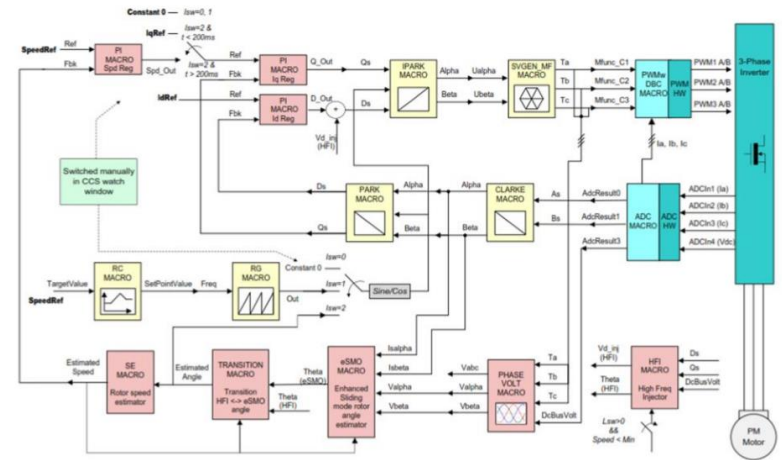
Model tabanlı kontrol yöntemleri uygulama kolaylığı ve ekonomikliği açısından diğer konum kestirme yöntemlerinden ayrıştırılabilir. Model tabanlı kontrol yöntemleri, temelde matematiksel yöntemler üzerine kurulu olup, hesaplanan bilginin hatasının küçültmeye odaklı farklı tahmin algoritmalarından oluşur. Kullanılan gözleyicilere örnek olarak MRAS (Model Reference Adaptive Systems), Luenberger, Kaygan Kipli Gözleyici (Sliding Mode Observer) ve Genişletilmiş Kalman Süzgeci verilebilir. Bu modellerin geliştirilmiş sürümleri de kullanılabilirken paralel iki gözleyici kullanan uygulamalar da mevcuttur.

Motor tipinin ve kullanılacak gözleyici tipinin belirlenmesinden sonra DSP'nin programlanması sırasında ihtiyaçların belirlenmesi gerekir. Mikrodenetleyiciler işaretlerin sayı dizilerine çevrilmesini sağlayıp sayısal yöntemlerle hesaplanarak dönüştürülmesi veya işlenmesini sağlarlar. Bu işlemleri DSP dediğimiz özel olarak üretilmiş işlemciler sayesinde yaparlar. Sisteme gelen analog işaretler analog-sayısal dönüştürücü (ADC-Analog/Digital Converter) ile ayrık zamanlı örneklenmiş işaretlere dönüştürülür ve sayısal değerler elde edilerek işaret olarak işlenebilir hale getirilir. İstenilen işlemlerin yapılmasının ardından ihtiyaç duyulursa işaretin sayısal-analog dönüştürücüden geçirilerek analog hale getirilmesi de mümkündür.

Kullanılacak DSP tabanlı mikrodenetleyici için piyasada farklı markaların ürünleri mevcuttur. Üretici firmalar kullanıcılara kolaylık sağlamak amacı ile her bir motor tipi için modelleri ve "makro" tabir edilen hazır kısa yazılımları kurarak kütüphaneye yerleştirmişlerdir. Bu hazır yazılımlar "dönüşümler ve hız algoritmaları" (Clarke ve Park Dönüşümleri, Kayan Kipli Gözleyici, Faz Gerilimi Hesaplayıcı, Akı ve Hız hesaplayıcıları ve kestiricileri), "kontrol" (İşaret üretimi, PID kontrolör, uzay vektörü modülasyonu (SVM-Space Vector Modulation) ve "çevre birimleri" (DGM teknikleri, ADC, motor sensörü ara birimleri) başlıkları altında gruplandırılabilir.

Örneğin üç fazlı köprü evirici ile sürülecek bir motorda eviricideki güç anahtarları için gerekli olan altı adet darbe

genişlik modülasyonu (DGM) işareti, sayısal işaret işleyici ile uzay vektörü modülasyonu (SVM) tekniği kullanılarak üretilebilir. Motorun faz akımları eviricinin çıkış tarafından seri dirençler yardımıyla ölçülüp DSP'nin analog-dijital çeviricisine (ADC) sinyal olarak gönderilebilir. Eviricinin DA-bara gerilimi de ölçülerek yine DSP'ye ADC aracılığıyla gönderilip SVM tekniği ile elde edilen anahtarlama fonksiyonları belirlenebilir. Böylelikle motor sargılarına uygulanacak olan üç faz geriliminin oluşturulması mümkün olabilir. Gözleyici algoritması hazırlanarak, sistemden ölçülecek olan akım ve gerilim büyüklüklerini kullanarak konum ve hız tahmini yapılabilir. Elde edilen rotor açısı bilgileri rotor hızına dönüştürülüp referans hız ile karşılaştırılabilir. Kontrolörden geçen hata işaretleri PI kontrolörlerden geçirilip ters matematiksel dönüşümlerle evirici kontrol devresi kontrol edilebilir.



Şekil 5: Algılayıcısız Alan Yönlendirmeli Kontrol'de Mikrodenetleyici İçin Makroları Gösteren Kontrol Blok Şeması

Bu tip parametre tabanlı tasarımlarda ortaya çıkacak sonuçun sistemden elde edilen bilgilerin doğruluğuna dayandığı asla unutulmamalıdır. Ölçüm devrelerinin tasarımı bu açıdan önemlidir. Devre parametreleri açısından bakılırsa, üretici firmalar tasarımcılara kolaylık sağlamak amacı ile bazı motor parametrelerinin otomatik olarak belirlenmesi imkanını sunarken bazı değişkenlerin kullanıcı tarafından girilmesi gerekebilir. Kullanılan modele ve motor tipine göre parametre değişimlerinin de dikkate alınması gerekebilir.

6. Evirici Tasarımı

3 fazlı bir evirici ile doğru kontrol yöntemi ve algoritmalar kullanarak asenkron motor, sürekli mıknatıslı senkron motor, fırçasız doğru akım motoru ve mıknatıslı destekli senkron relüktans motor tahrik edilebilir. Tasarlanacak eviricinin kabaca aşağıdaki özellikleri içermesi sağlanabilir.

- Eviricinin mikrodenetleyici ile uygun elektriksel bağlantı uçlarına sahip olması gerekir.
- Motor akımı ve gerilimine göre uygun yarı iletken anahtarlar seçilmelidir.
- 6 anahtarın tek bir tümleşik yapı (kılıf) içinde bulunduğu 3 fazlı köprü evirici devresine sahip Akıllı Güç Modülü (IPM) kullanılabilir.
- Uygun ölçme elemanları ve dönüştürücüler sayesinde kısa devre, yüksek akım ve yüksek sıcaklık korumaları eklenebilir. Klasik cam sigortaların yanı sıra IPM üzerinde yerleşik olan yüksek akım ve sıcaklık korumaları devreye sokulabilir.

- Devrenin AA giriş tarafında çalışma gerilimine veya şekline göre köprü doğrultucu veya SMPS kullanılabilir.
- Elektromanyetik girişimi engellemeye yarayan filtre kullanılmalıdır.
- Eviricideki güç anahtarlarının motor fazlarının üzerine uygulayacağı gerilimin bulunduğu hat olan bir DA barası oluşturulmalıdır. Evirici çalışması sırasında çekilecek akım sonucu bara üzerinde oluşacak gerilim düşümünü ve dalgalanmasını baskılamak adına bir kapasite grubu konulmalıdır.
- DA baranın bağlantısı yanlış yapıldığı takdirde kapasiteler ters yönde besleneceğinden, bu durumu önlemek için giriş kısmına sigorta ve ters kutuplu bağlanmış diyotlar konulmalıdır.
- Tasarlanacak devre üzerinde IPM ve sayısal tümdevrelerin ihtiyacı olan 15 V, 5 V gibi farklı gerilim değerleri sağlamak üzere iç ihtiyaç güç kaynağı beslemesi tasarlanmalıdır.
- Kart üzerindeki DA bara gerilimi ve 3 faz gerilim, gerilim bölücüler ve alçak geçiren filtrelerden geçirildikten sonra DSP'nin uçlarına uygulanabilecek seviyeye getirilerek ADC kanalları ile okunmalıdır.
- Ayrıca şebeke faz gerilimleri, sıfır gerilim geçişleri, faz akımları, faz akımlarının toplamı, DA bara gerilimi, DGM çıkışları, aşırı akım koruması, sıcaklık koruması bilgileri mikrodenetleyici giriş ve çıkışları üzerinde planlanmalıdır.
- DA barası ve 3 fazlı gerilim için uygun bağlantı uçları, kullanılacak soğutucu için bağlantı ucu, devrenin iç ihtiyacı için kullanılacak 15 V, 5 V, 3.3 V gibi küçük seviyeli doğru gerilim bağlantı uçları için yerleşim planlaması ve fiziki çıkışlar belirlenmelidir.

7. Farklı Motorların Kontrolü

Temel anlamda üç fazlı sargı içeren asenkron, sürekli mıknatıslı senkron, fırçasız doğru akım ve sürekli mıknatıslı destekli senkron relüktans motorların alan yönlendirmeli kontrolü için benzer devre kullanılabilir. Anılan her bir motor tipi için hazır kontrol paketlerini içeren ürünleri pazarlayan üretici firmalar mevcuttur. Yapılması gereken bu farklı motorlar için yazılım değişikliği yapılmasıdır. Farklı motorlar için farklı ara yüzler tasarlanabilir. Algılayıcısız alan yönlendirmeli kontrol ile temel anlamda yapılan işlemler motorların herhangi bir algılayıcı kullanmadan konum ve hız bilgilerinin, ölçülebilen işletme büyüklükleri cinsinden hesaplanarak kestirilmesi gerekir. Bu işlem yukarıda isimleri verilen 4 ayrı motor için temel anlamda özdeş olarak gerçekleştirilebilir. Mikrodenetleyiciyi üreten firmalar artık bir denetleyici içine birden fazla motorun matematiksel modelini koyabilmektedirler. Bu durum tasarımcı açısından yazılım ortamında motor tipini seçerek matematiksel modelin doğrudan yüklenmesi kolaylığını sağlamaktadır. Herhangi bir bilgisayardan DSP

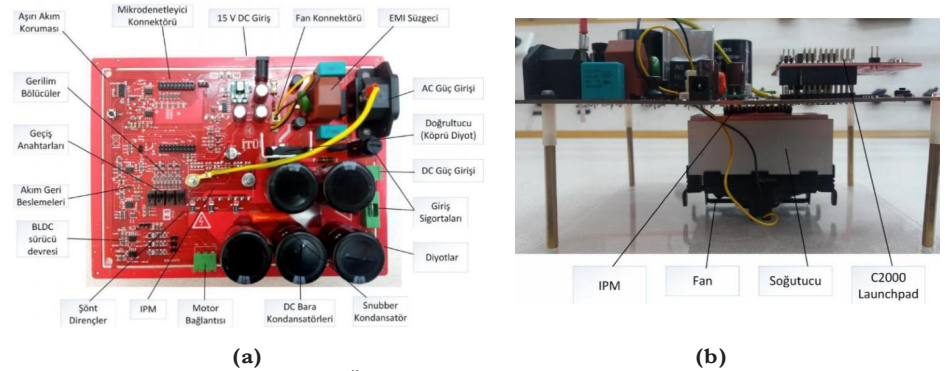
tabanlı mikrodenetleyiciye bağlanarak bu seçimin yapılmasının ardından çoğu denetleyici motorun parametrelerini otomatik olarak belirleyebilmektedir. Kalan elle girilmesi gereken bilgilerin de girilmesi sonrasında denetleyici ile seçilen motoru sürececek eviricinin kontrol edilmesi mümkündür.

8. Uygulama Örneği

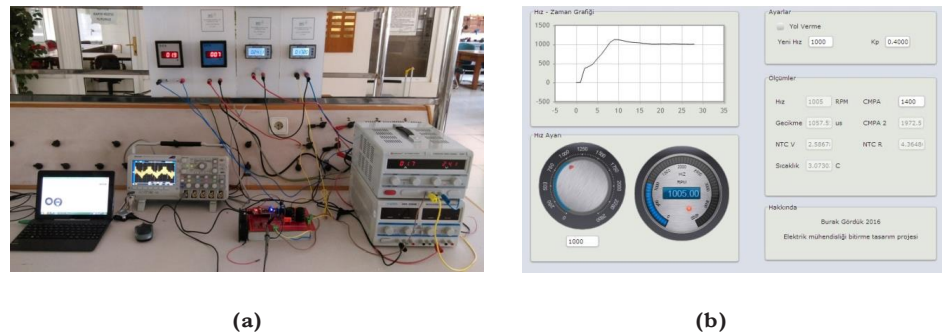
Bahsedilen yöntem ve altyapı kullanılarak İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü öğrencileri tarafından TÜBİTAK (2209-B-Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı) ve EMO İstanbul Şubesi destekli bir çalışma ile 220 V, 50 Hz şebekeden beslenebilen, 1 kW'a kadar güçlerdeki ve birbirlerinden farklı gerilim mertebelerinde olabilecek asenkron, sürekli mıknatıslı senkron, fırçasız doğru akım ve sürekli mıknatıslı destekli senkron relüktans motorlarını sürebilen bir algılayıcısız alan yönlendirmeli kontrol uygulayabilen bir sürücü devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Evirici taşıyıcı frekansı 10 kHz olarak seçilmiştir. Bu sürücü ile

- 1kW, 220 V (faz arası), 50 Hz gerilimli asenkron motor,
- 800 W, 220 V (faz arası), 4000 min-1 sürekli mıknatıslı senkron motor,
- 750 W, 24 V, 2000 min-1 fırçasız doğru akım motoru,
- 500 W, 220 V (faz arası), 4000 min-1 sürekli mıknatıslı destekli senkron relüktans motor

başarılı bir şekilde sürülmüştür. Farklı motorlar için farklı düzenekler ile ölçümler yapılmıştır. Tasarlanarak üretilen devrenin üstten ve yandan görüntüsü, deney düzeneği örneği ve arayüz örneği Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 6: Tasarlanmış Sürücünün Üstten (a) ve Yandan (b) Görünümü



Şekil 7: (a) Tasarlanan Devre ile Laboratuvar Çalışması (b) Tasarlanan Arayüz Örneği

Proje Yürütücüsü: Yrd. Doç. Dr. Derya Ahmet Kocabaş

Proje Araştırmacıları: Araş. Gör. Mehmet Onur Güllübağ, Araş. Gör. Ahmet Kubilay Atalay, Araş. Gör. Gökhan Altıntaş

Proje Çalışanları: Burak Görük, Burç Özdemir, Hakan İncesu

Ödül: EMO İstanbul Şubesi, 11. Bitirme Projesi Ödülleri, Yarışma 1.'si