

TÜRKİYE'DE VE DÜNYADA

OTOMASYON

Türkiye'nin Otomasyon Dergisi ARALIK 2010/12 Sayı: 222 Fiyatı: 6 TL

DOSYA

PROSES KONTROL ve ENSTRÜMANTASYON

**Baraj Yönetim
SCADA SİSTEMİ**

Üretimde
BARKODLU OTOMASYON
Sistemleri ile İzlenebilirlik

GIDA ENDÜSTRİSİNDE
Örnek Biyolojik
Aritma Uygulaması

FOKUS
SU/ATIK SU

BİLEŞİM
YAYINLILIK A.Ş.

ISSN 1303-4820
9771303482022

Otomasyon
EURASIA

Motor ve Sürücülerde Çıkış Pasif Süzgeçlerinin Kullanımı

Y. Mühendis N. Onur Çetin
ocetin@eee.metu.edu.tr
Doç. Dr. Ahmet M. Hava
hava@eee.metu.edu.tr
Elektrik ve Elektronik
Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

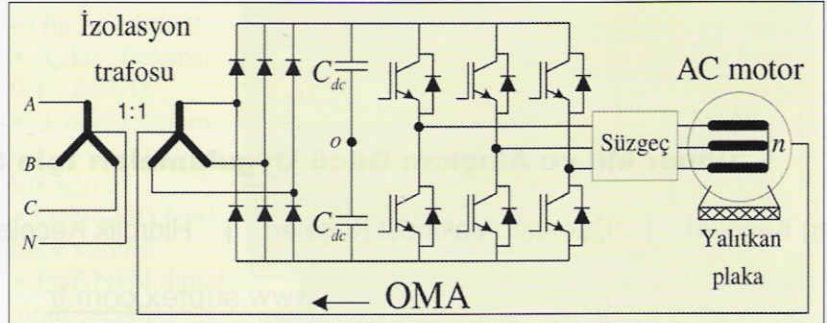
Eviricinin ürettiği yüksek frekanslı ve keskin uçlu gerilim darbeleri motor üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Motor sargıları ile motor karkası arasındaki kısa mesafe nedeniyle bu iki iletken yüzey arasında yüksek frekanslarda etkili olan parazitik kapasitif elemanlar bulunmaktadır ve motorun ortak mod eşdeğer devresi bu elemanları kapsamaktadır.

1. Giriş

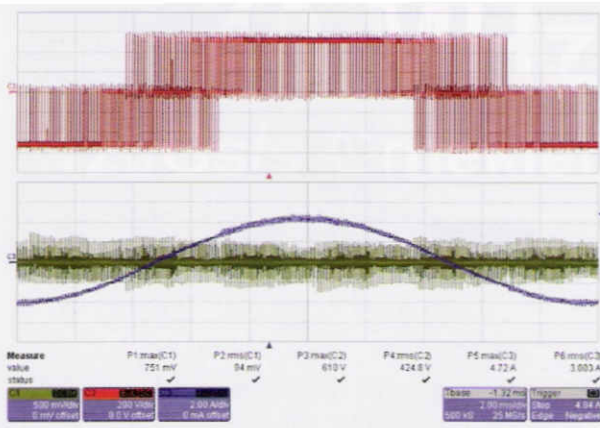
Elektrik motorlarının eviricilerle (sanayideki yaygın kullanım adı olan motor sürücü ya da kısaca sürücülerle) hız/konum/moment ayarı için denetlenmesi günümüzde oldukça yaygındır. Bu yaklaşım enerji verimliliğini ve hareket denetim kalitesini arttırdığı için, günümüzde sanayideki motorların yarısından fazlası sürücülerden beslenmektedir ve uzun vadede uygulamadaki motorların hemen hemen hepsinin sürücü üzerinden besleneceği de yaygınca öngörülmektedir. Ancak eviricinin ayrı zamanlı bir yapıda olmasından kaynaklı olarak uygulamada çeşitli sorunlar belirlemekte ve bu sorunların giderilmesi gerekmektedir. Evirici çıkışındaki gerilim ve akım saf sinüs olmayıp, gerilim yüksek frekanslı dikdörtgen darbelerden, akım ise bu gerilimin integrali fonksiyon olarak sinüs üzerine bindirilmiş kırırtıları kapsayan dalgalardan oluşur. Temel frekanstaki bileşenler motorda hareketi sağlarken, diğer yüksek frekanslı bileşenler istenmeyen etkiler yaratır.

Özellikle gerilimin keskin uçlu yükseliş ve iniş uçlarının süresi mikrosaniyenin altında olduğundan, bu işaretler motora uygulandığında istenmeyen yüksek frekans tepkileri oluşur. Tüm bu bozucu etkilerin motora ve sürücü sistemine zarar vermesini engellemek üzere uygulamada sürücü ile motor arasında çeşitli süzgeçler yerleştirilmelidir. Bu çalışmada eviricinin motor üzerindeki istenmeyen etkileri tartışılacak, ardından süzgeç çözümlerinin bu etkileri giderişi deneysel verilerle gösterilecek ve süzgeçlerin etkinlikleri karşılaştırmalı değerlendirilecektir.

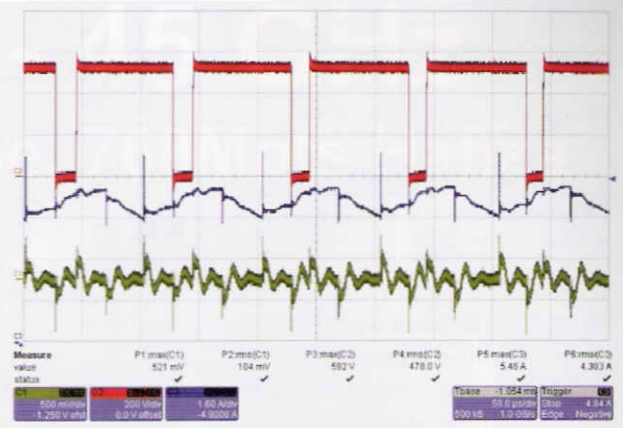
Şekil 1’de standart üç fazlı bir motor sürücünün devre şeması gösterilmektedir. İzolasyon trafosu ve süzgeç kısımları istenmeyen etkileri gözlemlene ve bastırma amacıyla test düzeneğine eklenmiş olup, uygulamada bulunmayabilir. Şebeke geriliminin üç fazlı diyotlu doğrultucu ile doğrultulmasıyla elde edilen DC bara gerilimi, iki düzeyli, üç fazlı, üç iletkenli evirici ile DC’den AC’ye dönüştürülür ve motor ter-



Şekil 1. Üç fazlı, iki düzeyli eviricili motor sürücü devresi



Şekil 2. Hiçbir süzgeç yok iken motor terminal gerilimi (kırmızı, 200V/bölme), motor faz akımı (mavi, 2A/bölme), OMA (sarı, 0.5A/bölme, 2ms/bölme)



Şekil 3. Hiçbir süzgeç yok iken motor terminal gerilimi (kırmızı, 200V/bölme), motor faz akımı (mavi, 1A/bölme), OMA (sarı, 0.5A/bölme, 50µs/bölme, mikroskopik gösterim)

minallerine uygulanır. Eviriciler, devrenin normal çalışma modlarında ya iletimde ya da kesimde olan yarı-iletken anahtarlardan oluşur. En yaygın anahtarlama yöntemi olan darbe genişlik modülasyonu (DGM) yöntemi ile istenen şiddet ve frekansta çıkış gerilimi elde etmek için anahtarlar belli frekans ve darbe şablonu kullanılarak anahtarlanır.

Uygulamada, standart motor sürücülerinde IGBT yarı-iletken anahtarlar kullanılır. IGBT'lerin iletime girme ve kesme süreleri tipik olarak 0.1-1µs değerlerindedir [1]. Standart 50Hz frekanslı ve faz arası 400Vrms gerilimli şebekeden beslenen sürücülerde DC bara gerilimi ise yaklaşık 550V civarındadır. Bu durumda motor, değişim hızı 0.5-5 kV/µs seviyesinde olan gerilimlere maruz kalır. Şekil 2'de anahtarlama frekansı 10 kHz ve DC bara gerilimi 500V olan 4kW'lık asenkron motor sürücü düzeninde motor boştaki çalışırken motor faz arası terminal gerilimi, faz akımı, ve motorun gövdesinden kaynağa akan kaçak akım (ortak mod akımı, OMA) görülmektedir. Şekil 3'te ise birkaç DGM periyodunda bu büyüklükler mikroskopik olarak gösterilmiştir. Motora uygulanan gerilimler dikdörtgen darbelerden oluşmakta, faz akımında

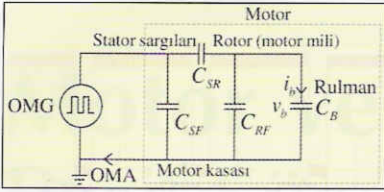
kıpırtı ve gürültüler oluşmakta, kaçak akım ise yüksek frekanslı olup tepe değer olarak yaklaşık 1A seviyesine yükselmektedir.

2. Eviricinin Motor Üzerindeki Olumsuz Etkileri

Eviricinin ürettiği yüksek frekanslı ve keskin uçlu gerilim darbeleri motor üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Motor sargıları ile motor karkası arasındaki kısa (mm ve altında) mesafe nedeniyle bu iki iletken yüzey arasında yüksek frekanslarda etkili olan parazitik kapasitif elemanlar bulunmaktadır ve motorun ortak mod eşdeğer devresi bu elemanları kapsamaktadır [2]. Şekil 4'te stator sargıları, rotor ve motor karkası arasındaki eşdeğer kondansatörler gösterilmektedir [3]. Güvenlik nedeniyle, iletken yapıda olan motor karkası topraklandığından, uygulamada, anahtarlama anında değişim hızı yüksek olan ortak mod gerilimi (OMG), motordan toprağa parazitik kondansatörler üzerinden büyük şiddette kaçak akımlara [ortak mod akımı (OMA)] neden olur.

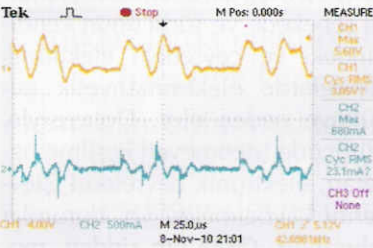
Özellikle birkaç kilovat ve altında küçük güçlü motor uygulamalarında OMA'nın tepe değeri anma faz akımı değeri ile karşılaştırılabilir seviyede olabilir [2]. Şekil 4'ten de görüleceği üzere,

OMG'nin bir kısmı rulman üzerinde paylaşılır (mil gerilimi, vb) ve dolayısıyla OMA'nın bir kısmı da rulmandan geçer. Özellikle mil gerilimi belli bir eşiği geçtiğinde rulman üzerindeki yağ tabakasında dielektrik delinmeye ve bunun sonucunda sivri rulman akımlarına sebep olur. Bu akım yağın bozulmasına, dolayısıyla da sürtünmenin artmasına neden olur ve rulmanlara zarar verip kısa sürede bozulmalarına neden olur [2]. Yüksek frekansta yayılım yaptıkları için, OMG ve OMA ayrıca sürücünün beslendiği şebekede ve sürücünün kendisindeki ve çevredeki elektronik devrelerde elektromanyetik gürültüye neden olur. Dolayısıyla, sürücüde istenmeyen kesilme hataları, elektronik devrelerin işlevlerini kaybetmeleri vb. durumlar oluşabilir. OMA'nın şiddeti, motor tipi, boyutu, yapısı ve topraklama yöntemi vb. etkenlere bağlıdır [1]. Şekil 2 ve Şekil 3'te motordan toprağa akan OMA gösterilmektedir. Deneyde kullanılan, anma akımı 8A olan motor için OMA tepe değeri 0.75A'e ulaşmaktadır. Şekil 5'te motorun rulman gerilimi ve OMA'sı gösterilmektedir. Rulman gerilimi yaklaşık 6V'a ulaşmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü gibi rulman gerilimi 9V'un üzerine çıktığında dielektrik delinme oluşmaktadır.



Şekil 4. Motorun ortak mod eşdeğer kondansatörleri [2]

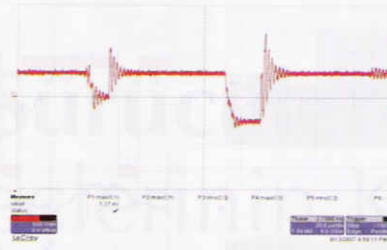
Keskin uçlu gerilim darbelerinin yarattığı bir diğer olumsuz etki ise uzun kablolu motor uygulamalarında, yansıma nedeniyle motor terminallerinde aşırı gerilim yükselmesidir. Bu durumlarda motor terminallerinde DC bara geriliminin iki katından daha yüksek gerilim oluşabilmekte, bunun sonucunda genellikle motorların stator sargılarının ilk bobininde dielektrik delinme oluşmakta ve dolayısıyla motor arızalanmaktadır [3]. Şekil 7'de görüldüğü gibi sürücü ile motor arasında 70m uzunluğunda kablo bulunduğunda 500V DC bara için motor terminal gerilimi 1300V'a kadar çıkmaktadır. Bu değer kötü anahtarlama teknikleri ve daha uzun kablo mesafeleri ile daha yüksek seviyelere taşınır, ve motor ve sürücülerde kronik arıza kaynağına dönüşür.



Şekil 5. Hiçbir süzgeç yok iken rulman gerilimi (sarı, 4V/bölme) ve OMA (mavi, 0.5A/bölme), 25µs/bölme



Şekil 6. Rulmanda dielektrik delinme durumu, rulman gerilimi (sarı, 4V/bölme), OMA (mavi, 0.5A/bölme), 10µs/bölme



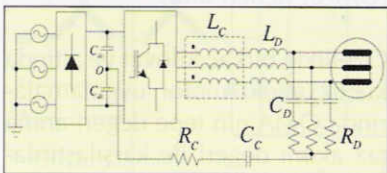
Şekil 7. 70m kablo kullanıldığında motor terminal gerilimi (500V/bölme), 20µs/bölme

Özet olarak, eviriciler bir taraftan motor denetimini kolaylaştırıp, enerji tasarrufu sağlarken, öteki taraftan motorları istenmeyen bozucu etkilere maruz bırakır, hatta bozucu etkiler eviricilerin çalışmasını da engelleyici boyuta ulaşabilir. Dolayısıyla, bozucu etkileri gidermek için uygulanabilir (ekonomik ve başarılı) çözümler gereklidir. Bu çözümler içinde en kolay uygulanabilenler pasif süzgeç çözümleri olup bir sonraki bölümde ayrıntılı incelenecektir.

3. Pasif Süzgeç Çözümleri

Pasif süzgeç çözümleri en basitinden en karmaşığına kadar hepsini kapsayan bir devre diyagramında Şekil 8'de gösterilmiştir. Bunlardan biri, birkaçı, ya da hepsini kapsayan süzgeç çözümleri Tablo 1'de özetlenmiştir ve faydaları karşılaştırmalı değerlendirilmiştir. Bu aşamada çözümler en basitinden en karmaşığına doğru birkaç önemli yapı üzerinde durularak deneysel incelemeler üzerinden anlatılacaktır.

OMA azaltmada en basit yöntem bir ortak mod bobininin (OMB) sürücü çıkışı ile motor arasına seri olarak eklenmesidir. (Şekil 8'de sadece LC'nin eklendiği durum)



Şekil 8. Pasif süzgeçlerin motor sürücüsünde kullanımı

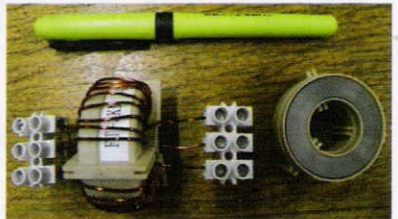
Süzgeç tipi	Motor üzerindeki sorunlar			
	Motor aşırı gerilimi	OMG	OMA	Rulman gerilimi ve akımı
Çıkış reaktörü (L_p)	-	-	-	-
Ortak mod bobini (L_c)	--	-	+	+
Sinüs süzgeç (L_p, C_p, R_p)	++	--	-	-
Saf sinüs süzgeç ($L_c, C_c, R_c, L_p, C_p, R_p$)	++	++	++	++

-- etkisiz - kısmen etkili + etkili ++ çok etkili

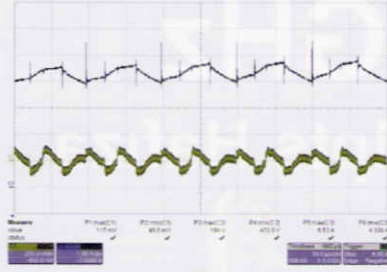
Tablo 1. Çıkış Pasif Süzgeçleri ve Başarımları

[2]. OMB'lerin ortak mod indüktansı çok yüksek olup, OMA'ya yüksek impedans gösterir, ancak fazarası indüktansı oldukça düşük olup, motor faz akımını etkilemez. Geleneksel ferrit çekirdeklerin yerine, yeni geliştirilen nanokristal çekirdekler kullanılarak daha az sarım sayılı ve daha küçük boyutlu OMB'ler tasarlanabilir [2]. Şekil 9'da deneyde kullanılan, nanokristal çekirdekli OMB ve iç yapısı gösterilmektedir. Nanokristal çekirdek çok ince nanokristal yapıda ferromagnetik malzemenin yassı banttan sarılmasıyla üretilmiştir.

Şekil 10'da OMB eklendiği durumda motor faz akımı ve OMA gösterilmektedir. OMB'nin eklenmesi faz akımını etkilememektedir (parazitik bileşende cüzi bir azaltma haricinde) ve faz akımı OMB olmadığı durumdakiyle aynıdır. Hiçbir süzgeç kullanılmadığında 0.75A olan OMA tepe değeri, OMB eklendiğinde 0.11A'e, 100mA olan OMA rms değeri ise 50mA'e düşmektedir. Şekil 11'de OMB eklendiği durumda rulman gerilimi ve OMA birlikte gösterilmektedir. Görüldüğü gibi tek başına OMB eklemek OMA'yı



Şekil 9. Deneyde kullanılan nanokristal malzemeli OMB ve çekirdek iç yapısı

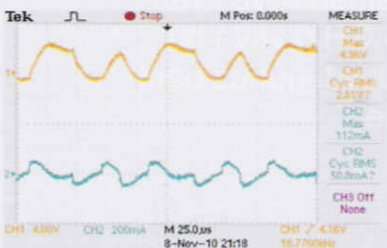


Şekil 10. OMB eklendiğinde motor faz akımı (mavi, 1A/bölme) ve OMA (sarı, 0.2A/bölme), 50µs/bölme

0.11'A e düşürürken, rulman gerilimini önemli ölçüde düşürmektedir. Rulman gerilimi yine 5V'a ulaşmaktadır.

Uzun kablo uygulamalarında motor terminalindeki aşırı gerilimi azaltmak için kullanılan en basit yöntem Şekil 8'de LD ile gösterilen çıkış reaktörü kullanmaktır. Ancak çıkış reaktörü kullanmak her zaman başarılı sonuç vermemektedir. Bazı uygulamalarda kablo kapasitansı ile reaktör arasındaki salınımdan dolayı motor terminal gerilimi daha da yükselmektedir [2]. Aşırı gerilim sorunu için en etkili çözüm yöntemi sinüs süzgeç (Şekil 8'de LDCDRD elemanları) kullanmaktır. Bu sayede motor terminal gerilimleri sinüs olup aşırı gerilim ve motor akım kısırtısından kaynaklanan sorunlar tamamen giderilir. Şekil 12'de ticari bir sinüs süzgeç gösterilmektedir.

Sinüs süzgecin yıldız noktası CC ve RC elemanları ile DC baranın orta noktasına bağlanarak Şekil 8'de görülen saf sinüs süzgeci



Şekil 11. OMB eklendiğinde rulman gerilimi (sarı, 4V/bölme) ve OMA (mavi, 0.2A/bölme), 25µs/bölme



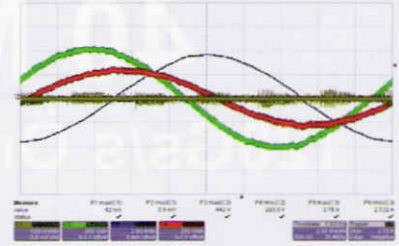
Şekil 12. Ticari sinüs süzgeç

(SSS) ile motora paralel düşük impedanslı bir OMA yolu oluşturulur ve OMA'nın motor yerine süzgeç üzerinden dolaşması sağlanır [2]. Bu sayede OMB ve sinüs süzgecinin katkılarını ek olarak, motor üzerindeki OMG de bastırılarak rulman gerilimi ve rulman akımları da yok edilir. Sonuç olarak SSS ile motor üzerindeki evirici kaynaklı tüm sorunlar tam çözülür [2].

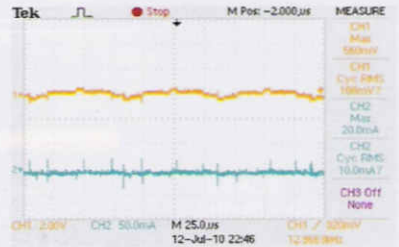
Şekil 13'de görüldüğü gibi SSS eklendiğinde motor terminal gerilimi ve faz-nötr gerilimi saf sinüs olmakta ve motor akımındaki kısırtı giderilmektedir. Ayrıca rulman gerilimi ve OMA tepe değerleri de sırayla 0.5V ve 20mA gibi SSS kullanılmadığı duruma göre ihmal edilebilir seviyelere düşmektedir. (Şekil 14). Sonuç olarak SSS kullanıldığında motor üzerindeki tüm olumsuz etkiler giderilmekte ve evirici, motor başarımı açısından ideal bir DC-AC dönüştürücü haline gelmektedir.

4. Sonuçlar

Bu makalede eviricinin motor üzerinde yarattığı sorunlar ve bunların çıkış pasif süzgeçleriyle giderilme yöntemleri incelenmiştir. Ekonomik ve etkin çıkış pasif süzgeçlerinin başarımları incelenip deneysel olarak değerlendirilmiştir. Deneysel verilerle gösterildiği gibi, nanokristal çekirdekli ortak mod bobini kullanılarak ortak mod akımı etkin biçimde azaltılabilir. Saf sinüs süzgeç kul-



Şekil 13. SSS eklendiğinde motor faz gerilimi (kırmızı, 200V/bölme), motor terminal gerilimi (yeşil, 200V/bölme), motor faz akımı (mavi, 2A/bölme), OMA (sarı, 100mA/bölme), 2ms/bölme



Şekil 14. SSS eklendiğinde rulman gerilimi (sarı, 2V/bölme), OMA (mavi, 50mA/bölme), 25µs/bölme

lanılarak evirici çıkış gerilimi saf sinüs haline getirilir. Ayrıca OMA, rulman gerilimi ve akımı da tamamen bastırılabilir. Bu sayede motor üzerindeki evirici kaynaklı bütün olumsuz etkiler ortadan kaldırılabilir ve tahrik sisteminin ömrü artırılıp, çevreye elektromanyetik gürültünün yayılması da engellenebilir.

Kaynaklar

- [1] E. Ün, A.M. Hava, "Gerilim Kaynaklı Eviricilerde Ortak Mod Gerilimi, Akımı, Etkileri ve Bastırılma Yöntemleri," 12. Ulusal Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Kongresi, 14-18 Kasım 2007, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, sayfa 33-38.
- [2] N. O. Çetin, "Design and implementation of advanced pulse width modulation techniques and passive filters for voltage source inverter driven three-phase ac motors," M.Sc. thesis, Middle East Tech. Univ., Turkey, Jul. 2010.
- [3] N. O. Çetin, A. M. Hava, "Gerilim Kaynaklı Eviricilerde Ortak Mod Gerilimi ve Akımının Pasif Yöntemlerle Azaltılması," ELECO 2010, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 2-5 Aralık 2010, Bursa.