

# MAKİNA İMALAT

## Sürücü ve Motor Arasında Yüksek Frekans Etkilerini

# Bastırıcı Süzgeçlerin Kullanımı

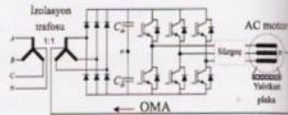
Eviriciler bir taraftan motor denetimini kolaylaştırıp, enerji tasarrufu sağlarken, öteki taraftan evirici çıkışındaki keskin uçlu gerilimler motorları istenmeyen bozucu etkilere maruz bırakır. Pasif süzgeçler bu bozucu etkileri gidermek için ekonomik ve başarılı çözümlerdir

Y. Müh. N. Onur Çetin, Doç. Dr. Ahmet M. Hava /  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü / ODTÜ

**E**lektrik 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 temel işlevi dc gerilimi ac gerilime dönüştürmek olan eviricinin ayırık zamanlı bir yapıda olmasından kaynaklı çeşitli sorunlar belirlemekte ve bu sorunların giderilmesi gerekmektedir. Evirici çıkışındaki gerilim ve akım saf sinüs olmayıp, gerilim yüksek frekanslı dik-dörtgen darbelerden, akım ise bu gerilimin integral fonksiyonu olarak sinüs üzerine bindirilmiş kıpırtıları kapsayan dalgalardan oluşur. Temel frekanstaki bileşenler motorda hareketi sağlarken, diğer bileşenler istenmeyen etkiler yaratır. Özellikle gerilimin keskin olan 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 yüksek frekans bastırıcı süzgeçler yerleştiril-

melidir. Bu çalışmada eviricinin motor üzerindeki istenmeyen etkileri tartışılacak, ardından süzgeç çözümlerinin bu etkileri giderişi deneysel verilerle gösterilecek ve süzgeçlerin etkinlik düzeyleri karşılaştırmalı değerlendirilecektir.

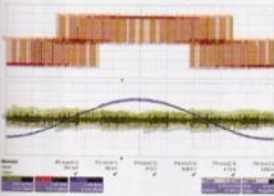
Şekil 1'de standart üç fazlı bir motor sürücünün devre şeması gösterilmektedir. İzolasyon trafosu ve süzgeç kısımları istenmeyen etkileri gözlemleme ve bastırma amacıyla test düzeneğine eklenmiş olup, uygulamada bulunmayabilir. Şebeke geriliminin üç fazlı diyotlu doğrultucu ile doğrultulmasıyla elde edilen DC bara gerilimi, iki düzeyli, üç fazlı, üç iletkenli evirici ile DC'den AC'ye dönüştürülür ve motor terminallerine uygulanır. Eviriciler yarı-iletken anahtarlardan oluşur ve devrenin normal çalışma modlarında anahtarlar iletimde ya da kesimde. En yaygın anahtarlık modülasyonu (DGM) yöntemi ile istenen şiddet ve frekansta çıkış gerilimi elde etmek için anahtarlar belli frekans ve darbe şablonu kullanılarak anahtarlanırlar.



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

Uygulamada, standart motor sürücülerinde kullanılan yarı-iletken anahtarlar IGBT anahtarlarıdır. IGBT'lerin iletme

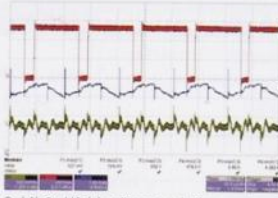
girme ve kesme süreleri tipik olarak 0.1-1µs değerlerindedir [1]. Standart 50Hz, fazarası 400Vrms şebekeden beslenen sürücülerde DC bara gerilimi ise yaklaşık 550V civarındadır. Bu durumda motor, değişim hızı 0.5-5 kV/µs seviyesinde olan gerilimlere maruz kalmaktadır. Şekil 2'de anahtarlar frekansı 10 kHz ve DC bara gerilimi 500V olan 4kW'lık asenkron motor sürücüsünde motor boşta çalışırken motor fazarası 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 kıvrıtı ve gürültüler oluşmakta, kaçak akım ise yüksek frekanslı olup tepe değer olarak yaklaşık 1A seviyesine yükselmektedir. Bu uygulamada evirici anahtarlama yöntemi olarak uzay vektör darbe genişlik modülasyonu (SVPWM) kullanılmıştır [2]. Diğer DGM yöntemlerinde de benzer sonuçlar söz konusudur [3].



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

### 1. Eviricinin motor üzerindeki olumsuz etkileri

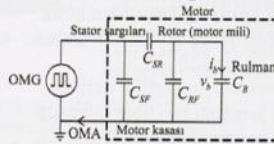
Eviricinin ürettiği yüksek frekanslı ve keskin uçlu gerilim



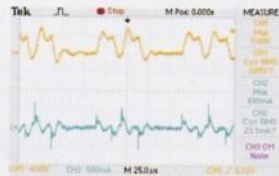
Şekil 3. Hiçbir süzgeç yok iken motor terminal gerilimi (kırmızı, 200V/bölme), motor faz akımı (mavi, 1A/bölme), OMA (sarı, 0.5A/bölme), zaman: 50µs/bölme, mikroskopik gösterim.

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 [3]. Şekil 4'te stator sargıları, rotor ve motor karkası arasındaki eşdeğer kondansatörler gösterilmektedir [4]. Güvenlik nedeniyle, iletken yapıda olan motor karkası topraklandırıldığından, 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 [3]. Şekil 4'ten de görüleceği üzere, OMG'nin bir kısmı rulman üzerinde paylaşılır 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 neden olur. Bu akım yağın bozulmasına, dolayısıyla da sürtünmenin artmasına (yüzeyde aşınmaya)

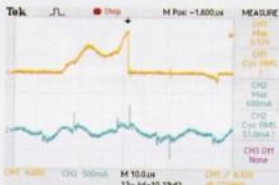
neden olur ve rulmanlara zarar verip kısa sürede bozulmalarına neden olur [3]. Yüksek frekansta yayılım yaptıkları için, OMG ve OMA ayrıca sürücünün beslediği şebekede ve sürücünün kendisindeki ve çevredeki elektronik devrelerde elektromanyetik gürültüye neden olur, dolayısıyla sürücüde istenmeyen kesilme hataları (nuisance trip), 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 8A anma akımlı motor için OMA tepe değeri 0.75A'e ulaşmaktadır. Şekil 5'te motorun rulman gerilimi ve



Şekil 4. Sürücü sisteminde ortak mod kondansatörlerinin baskın olduğu yüksek frekans eşdeğer devresi [3].



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.



# MAKİNA İMALAT

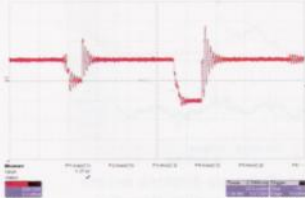
**Tablo 1. Çıkış pasif süzgeçleri ve başarımları**

Süzgeç tipi	Motor üzerindeki sorunlar Motor aşırı gerilimi	OMG	OMA	Rulman gerilimi ve akımı
Çıkış reaktörü (LD)	-	--	-	-
Ortak mod bobini (LC)	--	--	+	+
Sinüs süzgeç (LDCDRD)	++	--	-	-
Saf sinüs süzgeç (LCCRC-LDCDRD)	++	++	++	++

(- )etkisiz, (-)kısım etkilili, (+)etkilili, (++)çok etkili

OMA'sı gösterilmektedir. Rulman gerilimi yaklaşık 6V'a ulaşmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü gibi rulman gerilimi 9V'un üzerine çıktığında dielektrik delinme oluşmaktadır. Şekil 5 ve 6'daki ölçümler evirici anahtarlama tekniği olarak bu istenmeyen etkilerin en aza indirildiği yöntem olan yakın komşu DGM yöntemi (NSPWM) [2] uygulanarak elde edilmiş olup, diğer yöntemlerde bu istenmeyen etkilerin boyutu daha da fazladır.

Keskin uçlu gerilim darbelere yarattığı bir diğer olumsuz etki ise uzun kablolu motor uygulamalarında, gerilim yansıması 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 [4]. Şekil 7'de görüldüğü gibi sürücü ile motor arasında 70m uzunluğunda kablo bulundu-



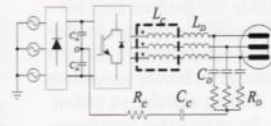
Şekil 7. 70m kablo kullanıldığında motor terminal gerilimi (500V/bölme), 20µs/bölme.

ğunda 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.

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

### Pasif süzgeç çözümleri

Pasif süzgeç çözümleri en basitinden en karmaşığa kadar hepsini kapsayan bir devre diyagramında Şekil 8'de gösterilmiştir. Bunlardan biri, birkaçı ya da hepsini kapsayan süzgeç çözümleri Tablo 1'de özetlenmiş ve faydaları karşıla-



Şekil 8. Pasif süzgeçlerin motor ve sürücü arasında kullanımı.



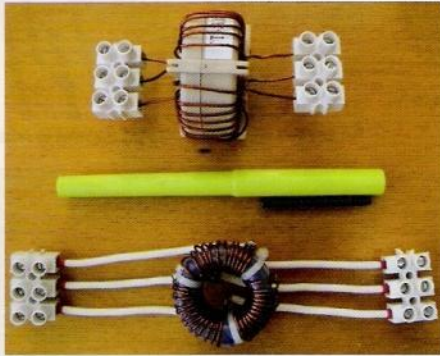
Şekil 9. Denei düzeneği.

tırmalı değerlendirilmiştir. Bu aşamada çözümler en basitinden en karmaşığa doğru birkaç önemli yapı üzerinde durularak Şekil 9'da gösterilen denei düzeneği ile yapılan incelemeler üzerinden anlatılacaktır. Bu deneylerde üstün ortak mod özellikleri olan NSPWM anahtarlama yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin, özellikle Saf Sinüs Süzgeç (SSS) uygulamasında kullanımına yönelik çözümler [5]'te ayrıntılandırılmıştır.

OMA azaltmada en basit yöntem bir ortak mod bobininin (OMB) sürücü çıkışı ile motor arasında seri olarak eklenmesidir (Şekil 8'de sadece LC'nin eklendiği durum) [3]. OMB'lerin ortak mod indüktansı çok yüksek olup, OMA'ya yüksek impedans gösterir, ancak faz arası indüktansı oldukça düşük olup, motor faz akımını etkilemez. OMB'ler ile OMG pek değişmez ancak OMA etkin biçimde bastırılabilir. OMB tasarımında geleneksel olarak düşük maliyetli ferrit çekirdekli manyetik malzeme kullanılır. Ancak yakın

# MAKİNA İMALAT

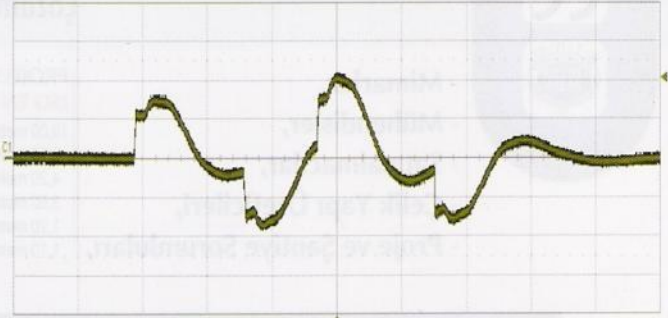
zamanda geliştirilen nanokristal çekirdekli manyetik malzemeler daha az sarım sayısı ve daha küçük boyutlarla daha etkin OMA bastırma özelliklerinden dolayı yaygınlaşmaktadır [3]. Şekil 10'da deneyde kullanılan, ferrit ve nanokristal çekirdekli OMB'ler gösterilmektedir. Tablo 2'den de görüldüğü gibi OMB'ler yaklaşık olarak benzer boyuttadır ve sarım sayıları da birbirine yakındır. Fakat nanokristal çekirdekli OMB'nin ortak mod indüktansı ferrit çekirdeğinin 2.5 katıdır. Dolayısıyla OMA bastırma başarımı daha yüksektir. Uygulamanın gereksinimine göre OMA bastırma başarımı artışı ile OMB boyutu küçültme miktarı eniyilebilir.



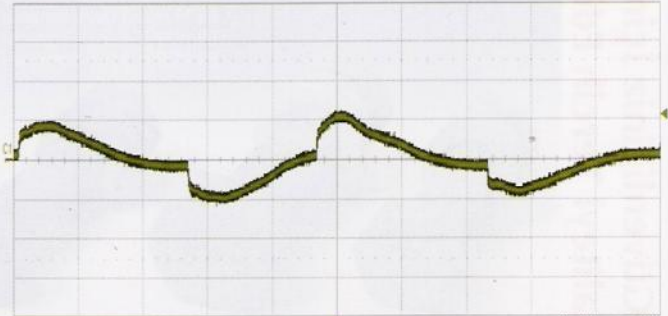
Şekil 10. Deneyde kullanılan nanokristal (üstte) ve ferrit (altta) malzemeli OMB'ler.

Lcm: Ortak mod indüktansı  
N: Faz başına sarım sayısı  
Bsat: Doyum akı yoğunluğu  
DÇ: Dış çap  
İÇ: İç çap  
Y: Yükseklik

Şekil 11'de OMB'lerin eklendiği durumlarda OMA gösterilmektedir. Hiçbir süzgeç kullanılmadığında 0.75A olan OMA tepe değeri, ferrit OMB eklendi-

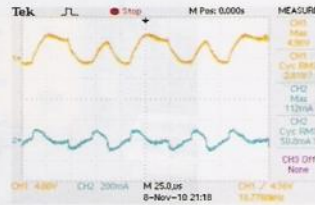


Şekil 11. (a)



Şekil 11. (b)

Şekil 11. (a) Ferrit (b) Nanokristal OMB eklendiğinde OMA (0.1A/bölme), 10µs/bölme.



Şekil 12. Nanokristal çekirdekli OMB eklendiğinde rulman gerilimi (sarı, 4V/bölme) ve OMA (mavi, 0.2A/bölme), 25µs/bölme.

ğinde 0.21A'e, nanokristal OMB eklendiğinde ise 0.11A'e düşmektedir. Şekil 12'de nanokristal OMB eklendiği durumda rulman gerilimi ve OMA birlikte gösterilmektedir. Görüldüğü gibi tek başına OMB eklemek OMA'yı etkin biçimde azaltırken, rulman gerilimini önemli ölçüde



Şekil 13. Ticari sinüs süzgeç.

düşürmemektedir. Rulman gerilimi yine 5V'a ulaşmaktadır.

Uzun kablo uygulamalarında motor terminallerindeki aşırı gerilimi azaltmak için kullanılan en basit yöntem Şekil 8'de LD ile gösterilen çıkış reaktörü kullanmaktır. Ancak çıkış reaktörü kullanmak her zaman başarılı

Tablo 2. OMB'lerin özellikleri

	Lcm (mH)	N	Bsat (T)	DÇ (mm)	İÇ (mm)	Y (mm)
Ferrit	2.2	12	0.4	36	23	15
Nanokristal	5.5	9	1.2	45	21	19



# MAKİNA İMALAT

sonuç vermemektedir. Bazı uygulamalarda kablo kapasitansı ile reaktör arasındaki salınımdan dolayı motor terminal gerilimi daha da yükselebilmektedir[3]. Aşırı gerilim sorunu için en etkili çözüm yöntemi sinüs süzgeç (Şekil 8'de LDCDRD elemanları) kullanılmaktadır. Bu sayede motor terminal gerilimleri sinüs olup aşırı gerilim ve motor akım kısırtısından kaynaklanan sorunlar tamamen ortadan kaldırılır. Şekil 13'de ticari bir sinüs süzgeç gösterilmektedir.

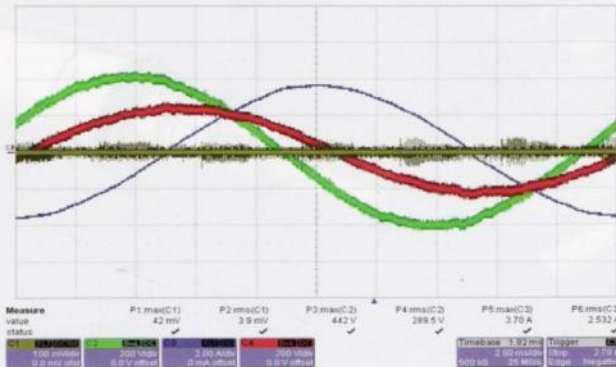
Sinüs süzgecin yıldız noktası CC ve RC elemanları ile DC baranın orta noktasına bağlanarak Şekil 8'de görülen SSS ile motora paralel düşük impedanslı bir OMA yolu oluşturulur ve OMA'nın motor yerine süzgeç üzerinden dolması sağlanır[5]. Bu sayede OMB ve sinüs süzgecin katkılarına ek olarak, motor üzerindeki OMG de bastırılarak rulman gerilimi ve rulman akımları da yok edilir. Sonuç olarak SSS ile motor üzerindeki evirici kaynaklı tüm sorunlara tam çözüm getirilmektedir[5].

Şekil 14'de görüldüğü gibi SSS eklendiğinde motor terminal gerilimi ve faz-nötr gerilimi saf sinüs olmakta ve motor akımın-

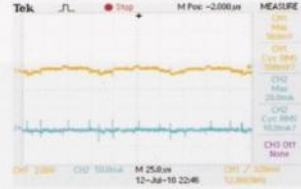
daki kırıptı giderilmektedir. Ayrıca rulman gerilimi ve OMA tepe değerleri de sırayla 0.5V ve 20mA gibi SSS kullanılmadığı duruma göre ihmal edilebilir seviyelere düşmektedir (Şekil 15). Sonuç olarak SSS kullanıldığında motor üzerindeki tüm olumsuz yüksek frekans etkileri giderilmekte ve evirici, motor başarımı açısından ideal bir DC-AC dönüştürücü haline gelmektedir.

## 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, ortak mod bobini kullanılarak ortak mod akımı etkin biçimde azaltılabilir. Saf sinüs süzgeç kullanılarak 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 artırılır, çevreye elektromanyetik gürültünün yayılması da engellenebilir. **im**



Şekil 14. 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 15. SSS eklendiğinde rulman gerilimi (sarı, 2V/bölme), OMA (mavi, 50mA/bölme), 25µs/bölme.

## 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, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, sayfa 33-38.

(2)A.M. Hava and E. Ün, "Performance analysis of reduced common mode voltage PWM methods and comparison with standard PWM methods for three-phase voltage source inverters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 24, no. 1, pp. 241-252, Jan. 2009.

(3)N.O. Çetin, "Gerilim Kaynaklı Eviricilerle Sürülen Üç Fazlı AA Motorları için Gelişmiş Darbe Genişlik Modülasyon Tekniklerinin ve Pasif Süzgeçlerin Tasarım ve Gerçeklenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2010.

(4)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.

(5)N.O. Çetin and A.M. Hava, "Interaction Between The Filter and PWM Units in The Sine Filter Configuration Utilizing Three-phase AC Motor Drives Employing PWM Inverters," IEEE-ECCE 2010 Conference, September 2010, Atlanta, Georgia, USA, pp. 2592-2599.

# makinatek

Mart 2011/03 Fiyatı 6 TL SAYI 161



## DOSYA

Hidrolik  
Pnömatik

## PERSPEKTİF

Tasarımını  
Geliştirmeyen  
Sıkıntı Yaşıyor

## GÜNCEL

Strateji  
Belgesi,  
Sektör İçin  
Milattır

## FUAR

WIN 1'inci  
Faz Yine  
Kazandı

BİLESİM  
YAYINCILIK A.Ş.

## AYIN KONUĞU

AKDER Yönetim Kurulu Başkanı

# MEHMET KURTÖZ



17-20 Mart 2011 Büyükdere İstanbul