

Gerilim Kaynaklı Eviricilerde Ortak Mod Gerilimi, Akımı, Etkileri ve Bastırma Yöntemleri

Emre Ün Ahmet M. Hava

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara

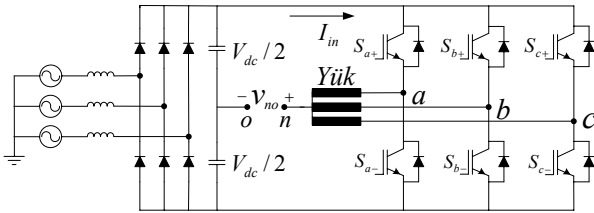
e-posta: un@metu.edu.tr hava@metu.edu.tr

Özet

Gerilim kaynaklı eviricilerle sürülen asenkron motorlarda ortak mod gerilimi (OMG) ve buna bağlı oluşan parazitik ortak mod akımı (OMA) oluşmaktadır. OMG ve OMA'nın nedenleri ve evirici tipine göre değişimi tanımlanmıştır. OMA'nın yarattığı olumsuzluklar incelenmiş ve OMG ve OMA'yı bastırma yöntemleri araştırılmıştır. Yöntemlerin başarımı teori ve deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Evirici anahtarlama darbe şablonu ile OMG'nin azaltılması ve ortak mod indüktansı ile de OMA'nın iyice bastırılması yaklaşımının en ekonomik ve yüksek başarılı yöntem olduğu deneysel olarak gösterilmiştir.

1. Giriş

Gerilim kaynaklı eviriciler (GKE) DC gerilimin AC gerilime dönüştürülmesinde kullanılır. İstenen şiddette ve frekansta AC gerilim üretebilen bu güç elektroniği cihazları yaygın olarak kesintisiz güç kaynaklarında ve AC motor sürücülerinde kullanılır. GKE'ler, motor sürücü uygulamasında çıkış geriliminin frekans ve şiddetini geniş bir aralıkta ve yüksek doğrulukta ayarlayarak motor hızı denetiminin kalitesini ve motorun enerji verimini yükseltirler. Bu nedenle motor sürücü uygulamaları gittikçe artmakta olup geniş vadede motorların büyük çoğunluğunun GKE'lerle sürüleceği beklenmektedir. Şekil 1'de standart üç fazlı bir motor sürücünün devre diyagramı gösterilmektedir. Şekildeki sürücünün DC bara gerilimi, şebeke geriliminin üç fazlı diyotlu doğrultucu ile doğrultulmasından sonra kondansatörlerle süzülmesiyle elde edilir. DC bara gerilimi, iki düzeyli, üç iletkenli, üç fazlı GKE ile DC den AC ye dönüştürülüp motor terminallerine uygulanır.

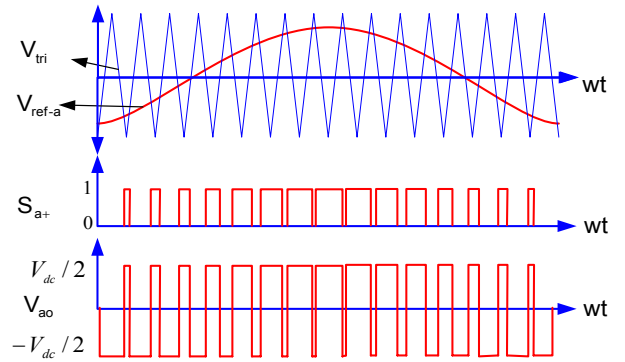


Şekil 1: Üç fazlı iki düzeyli eviricili motor sürücü devresi.

GKE'ler yarı-iletken anahtarlardan oluşup, devrenin normal çalışma modlarında anahtarlar, ideal anahtar gibi ya iletimde ya da kesimde olurlar. Dolayısıyla, sabit DC bara geriliminden beslenen GKE'lerin çıkış gerilimleri dikkörtgen dalga biçimlidir.

İstenen şiddet ve frekansta çıkış gerilimi elde etmek için anahtarlar belli sıklıkta ve darbe şablonu kullanılarak anahtarlanır. Anahtarların anahtarlama frekansı düşük (kHz'nin altında) ve motorun kaçak indüktansları küçük olduğunda motordan akan akımın harmonik bileşenleri güçlü olup titreşim, gürültü ve kayıplara neden olurlar. Bu nedenle anahtarlama kayıplarının izin verdiği ölçüde anahtarlama frekansı yükseltilir. Uygulamada kW mertebesinde güçlerde tipik olarak 10-20 kHz, MW mertebesinde güçlerde ise 1-5 kHz arasında frekanslarda anahtarlama yapılır. Topolojik yapı itibarı ile Şekil 1'de gösterilen iki düzeyli eviricili motor sürücü devresi birkaç MW ve altı güçlerde en yaygın olarak kullanılan devredir.

İki düzeyli eviricide en yaygın anahtarlama yöntemi darbe genişlik modülasyonu (DGM) yöntemi olup, bu yöntem sabit anahtarlama frekansı ($f_s=1/T_s$) kullanarak ve evirici çıkış gerilim darbelerinin genişliğini ayarlayarak temel frekansta bir sinüs gerilimi üretme mantığına dayanır. Bunun için anahtarlama frekansında bir üçgen dalga (taşıyıcı) ile üretilmek istenen frekans ve şiddette bir sinüs dalgası (modülasyon dalgası) karşılaştırılır ve iki dalganın kesişme noktaları anahtarların anahtarlama anlarını belirler (Şekil 2). Eviricinin her bir bacağı için bir sinüs dalgası sözkonusudur ancak taşıyıcı dalga tüm fazlar için ortaktır. Her bir evirici bacağının alt ve üst anahtarlarının mantık durumları birbirini tamamlar ($S_{a+}=1 \rightarrow S_{a-}=0$). Kısadevre hatasını önlemek üzere, anahtarlama geçiş bölgelerinde her iki anahtar da t_d boşa zamanı süresince kesimde çalışmada bırakılır. Böylece evirici çıkışında dikkörtgen gerilim darbeleri oluşur. Bu gerilim darbelerinin T_s 'deki ortalamaları alındığında çıkışta temel frekansta sinüs biçimli olan bir gerilim dalgası (referans dalgayla özdeş) elde edilir.



Şekil 2: Darbe genişlik modülasyonu.

Eviricinin ürettiği gerilimler keskin uçlu darbelerden oluşur ve bu darbeler motor üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Uygulamada, anahtarlama anında değişim hızı yüksek olan Ortak Mod Gerilimi (OMG) motorda büyük şiddette kaçak akımlara (Ortak Mod Akımı (OMA)) neden olur. OMG ve OMA motor yataklarında bozulma, sürücünün elektronik devrelerinin girişim sonucu aldığı hatalı işaretlerden kaynaklı sürücü hatalı kesilmeleri (nuisance trip), benzer biçimde çevredeki elektronik yüklerin bu gürültüleri kapması sonucu bozulmalar, işlev kaybı, vb. sorunlara neden olur [1]. Dik uçlu gerilim darbelerinin yarattığı bir diğer etki ise uzun kablolu motor uygulamalarında, yansıma nedeniyle gerilim yükselmesi olup, yükselme sonucu genellikle motorların stator sargılarının ilk bobininde dielektrik delinme oluşmakta ve dolayısıyla motor arızalanmaktadır [1]. Bu çalışmada eviricinin yüksek hızlı değişen OMG'sinin yarattığı bu sorunlar ve sorunlara pratik yaklaşımlar incelenecektir.

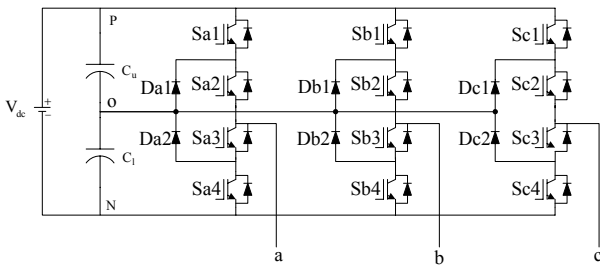
2. OMG ve Evirici Topolojileri

Şekil 1'deki iki düzeyli eviricide OMG motorun stator sargılarının yıldız bağlantı noktası ile DC baranın orta noktası arasındaki gerilim farkı olup, (1) de formülü verilmiştir.

$$v_{no} = (v_{ao} + v_{bo} + v_{co})/3 \quad (1)$$

Bu eviricide, her üç bacağında artı yada eksi DC baraya bağlanması durumunda, OMG $V_{dc}/2$ şiddetinde, diğer durumlarda ise $V_{dc}/6$ şiddetindedir. Anahtarlama anlarında ortak mod geriliminin değişimi her zaman $V_{dc}/3$ şiddetindedir.

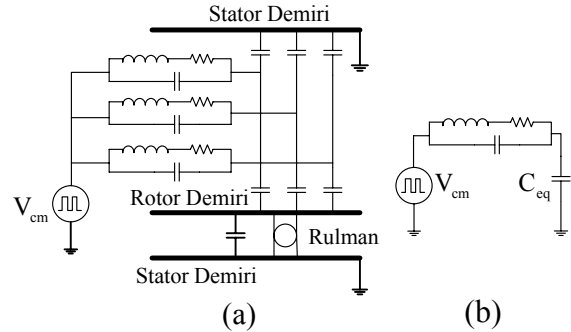
Şekil 3'te gösterilen üç düzeyli üç fazlı nötr noktası bağlantılı eviricide de OMG (1) deki gibidir. Faz çıkış gerilimi anlık olarak üstteki, ortadaki yada alttaki iki anahtarın iletimde olmasına göre sırasıyla $+V_{dc}/2$, 0 yada $-V_{dc}/2$ değerini alır. Adından anlaşılacağı üzere, üç farklı çıkış gerilim düzeyi seçeneği sunan bu evirici tipinde, çıkış geriliminin anahtarlama anındaki değişimi daha düşüktür. Bu eviricide OMG, anahtar konumuna göre $V_{dc}/2$, $V_{dc}/3$, $V_{dc}/6$ veya 0 şiddetindedir. Ayrıca anahtarlama anında OMG'nin değişimi $V_{dc}/6$ kadar olup, iki düzeyli eviricidedekinin yarısı kadardır [2]. Yüksek gerilim uygulamalarında kullanılan daha yüksek düzeyli eviricilerde OMG'nin anahtarlama anındaki değişimi daha da düşük olur. Burada tanımlanan OMG değerleri eviricilerin topolojik özelliği olup, değişik DGM uygulamalarında bunlardan bazıları OMG'yi istenen değerlerde tutmak ya da eviriciden başka boyutlarda başarımlar sağlamak amacıyla yaratılmayabilir.



Şekil 3: Üç fazlı üç düzeyli evirici devre topolojisi.

3. OMG'nin Motor ve Şebekeye Etkileri

OMG, eviricideki anahtarların konumuna göre belirlendiği için her anahtarlama anında hızlı bir değişim gösterir. Uygulamada, standart motor sürücülerinde kullanılan yarı iletken anahtarlar IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) anahtarlardır. IGBT'lerin iletime girme ve kesme süreleri tipik olarak 0.1-1µs arasındadır. Standart fazarası 400 Vrms şebekeden beslenen sürücülerde DC bara gerilimi ise yaklaşık 550 V civarındadır. Bu durumda OMG'nin değişimi 1-2 kV/µs seviyesinde olmaktadır. Bu hızlı değişim özellikle motor sürücü uygulamalarında büyük sorunlar oluşturmaktadır. Zira motor sargıları ile motor karkası arasındaki kısa mesafe nedeniyle bu iki iletken yüzey arasında yüksek frekanslarda etkili olan bir eşdeğer parazitik kondansatör bulunmaktadır ve motorun ortak mod ayrıntılı eşdeğer devresi bu elemanları kapsamaktadır (Şekil 4) [3], [4]. Güvenlik nedeniyle iletken yapıda olan motor karkası topraklandığından, yüksek frekansta motordan toprağa parazitik kondansatör üzerinden parazitik ortak mod akımı (OMA) akar. Özellikle küçük güçlü motor uygulamalarında OMA'nın tepe değeri anma akımı ile karşılaştırılabilir seviyede olabilir. Bu akım motor rulmanlarına zarar verip kısa sürede bozulmalarına neden olur (Şekil 5). Yüksek frekansta yayınımlar yaptıkları için, OMG ve OMA ayrıca sürücünün beslendiği şebekede ve sürücünün kendi elektronik devrelerinde elektromanyetik gürültüye neden olurlar ve dolayısıyla çeşitli istenmeyen kesilme hataları (sürücünün kendisinde de dahil olmak üzere), elektronik devrelerin işlevlerini kaybetmeleri vb. durumlar oluşabilir.



Şekil 4: Üç fazlı AC motor ve sürücünün yüksek frekans ortak mod ayrıntılı (a) ve basitleştirilmiş (b) eşdeğer devreleri.



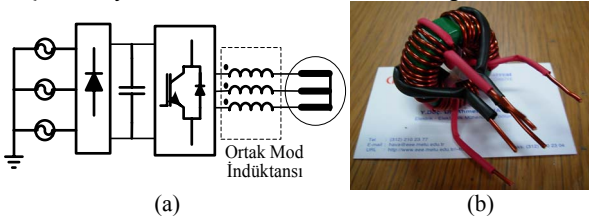
Şekil 5: Yüksek OMG/OMA sonucu yüzeyi aşınmış rulman.

OMG'den kaynaklanan OMA'nın şiddeti, motor tipi, boyutu, yapısı ve topraklama yöntemi vb. etkenlere bağlıdır [5]. Büyük motorlarda sargı-şasi arası eşdeğer kondansatör değeri küçük motorlarınkine göre daha büyük olduğundan, OMA da daha büyük olur. OMA'yı yol üzerindeki impedans ta etkiler ve yolun yüksek frekandaki impedansı yüksekse OMA da azalır. Örneğin seramik izolasyonlu rulmanlarda OMA az olur. Hava aralığının göreceli olarak büyük olduğu bazı tip sürekli mıknatıslı motorlarda da OMA nispeten az olur. Ancak modern sürücülerin kullanıldığı her uygulamada az ya da çok OMA oluşur ve olumsuz etkiler yaratır. Özellikle DC bara geriliminin, anahtarlama hızının ve frekansının yüksek olduğu evirici tipi sürücü uygulamalarında OMA zararlı boyutlara ulaşır ve sistem başarımının sağlanması açısından bastırılmalıdır.

4. OMG/OMA Azaltma Yöntemleri

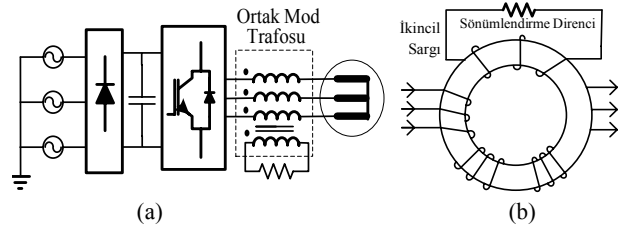
OMG ve OMA çeşitli yöntemlerle azaltılabilir. Bunlardan biri devre topolojisini değiştirerek standart iki düzeyli evirici yerine üç veya daha çok düzeyli evirici kullanma mantığına dayanır. Ancak bu yaklaşım evirici ve dolayısıyla sürücü fiyatını önemli ölçüde arttırıp büyük güç ve gerilim uygulamaları dışında tercih edilmez. Daha yaygın olarak evirici topolojisini değiştirmeden ve yapıya eklemelerle gerçekleştirilen pasif ve aktif OMG/OMA azaltma/bastırma yöntemleri kullanılır [4], [6], [7]. Pasif yöntemler sadece pasif eleman kullanarak azaltma/bastırma sağlarken, aktif yöntemler pasif ve aktif elemanları kapsar.

Pasif yöntemlerin en basiti tek bir ortak mod indüktansının evirici çıkışı ile motor arasına seri olarak eklenmesidir (Şek. 6.a). Ortak mod indüktansında üç fazın sargıları ferrit malzemeden yapılmış bir toroid çekirdekte aynı yönde akı yaratacak şekilde sarılır (Şek. 6.b). Dengeli üç faz akımlarının toplamı sıfır olduğundan, normal mod akımları (normal akımlar) çekirdekte net bir akı oluşturmaz ve normal mod indüktansı çok küçüktür (ihmal edilebilir) ancak ortak moddaki akımlar net bir akı yaratır ve dolayısıyla ortak mod indüktansı çok büyük olup OMA'ya direnç gösterir. Tipik uygulamalarda kullanılan ferrit çekirdekler yüksek frekanslarda manyetik geçirgenliklerini (μ) kaybederken, OMA indüktansında kullanılan çekirdekler yüksek frekanslarda (onlarca kHz mertebesindeki anahtarlama frekansı ve katları ile yarı iletken anahtarların açılıp kapanma hızı dv/dt ile ilgili olan ve tipik olarak MHz mertebesinde olan frekanslarda) geçirgenliklerini korumalıdır ki, OMA etkince bastırılabilsin. OMA indüktansı motor sürücülerde ve bir çok güç elektroniği uygulamasında çok yaygın olarak kullanılır ve motor uygulamasında kullanıldığında OMA'nın tepe değerini önemli boyutta azaltmak olanaklıdır [4]. Ancak özellikle artan güçlerde gerekli indüktansı sağlayan yüksek sarım sayısı temel frekandaki kayıplar nedeniyle, çekirdek sayısı ise fiyat ve boyut artışı nedeniyle arttırılmaz ve etkin bastırma sağlanamaz.



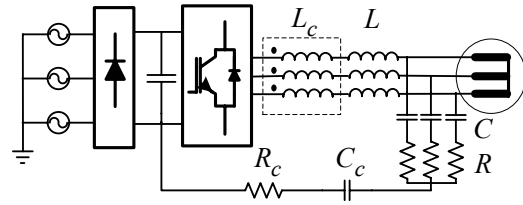
Şekil 6: Ortak mod indüktansı ve motor sürücüsünde kullanımı.

OMA'yı pasif devrelerle bastırmanın daha etkin yolu (ortak mod indüktansına göre) ortak mod trafosu kullanmaktır (Şek 7.a). Ortak mod trafosunun ortak mod indüktansından farkı, trafonun bir adet ikincil sargısının olması ve bu sargının bir sönümlendirme direncine bağlanmasıdır (Şek 7.b). Trafoyla OMA'nın hem tepe değeri düşürülür hem de direnç sayesinde hızlıca sönümlenmesi sağlanır ve böylece rms değeri düşürülmüş olur [4]. Sönüm direncinin seçimi tasarımda önemli olup, optimum değerden sapmada başarımlar çok düşük olur. Uygun bir tasarımla ortak mod trafosu ortak mod indüktansı ile aynı etkili ama boyut (fiyat) olarak çok daha küçük (1/3 katı) yapılabilir[4].



Şekil 7: Ortak mod trafosu ve motor sürücüsünde kullanımı.

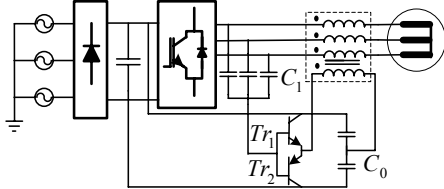
OMA'nın motordan akmasını engellemek için bir başka yaklaşım bu akımın evirici üzerinden (kısa yoldan) yolunu kapatması için başka bir yol sağlamaktır. Bu amaçla Şekil 8'de gösterilen RLC süzgeç devresi kullanılabilir. Devredeki küçük boyutlu ortak mod indüktansı L_c OMA'yı azaltırken, L, C ve R elemanları standart çıkış süzgeci görevi yapar. R_c ve C_c OMA'nın yolunu kısaltır ve akımın motor yerine süzgeç üzerinden dolmasını sağlar [6]. Yöntemin başarımı için C_c , motor ortak mod eşdeğer kondansatöründen çok daha büyük olmalıdır (yaklaşık olarak 100 kat).



Şekil 8: RLC tipi pasif OMA süzgecin motor sürücüsünde kullanımı.

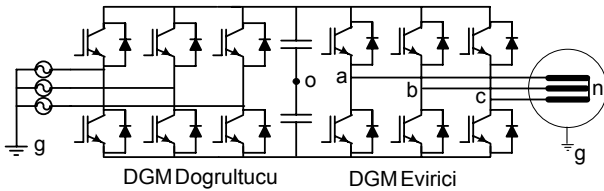
OMA'yı bastırmak için yukarıda anlatılan pasif yöntemlerden başka hem pasif elemanların hem de yarı iletken anahtarların kullanıldığı aktif süzme teknikleri de kullanılabilir [7]. Şekil 9'da gösterilen yöntemde, evirici ile motor arasına bağlanan ortak mod trafosunun ikincil sargısına yarım köprü evirici yapısı kullanılarak evirici DC barasından karşı gerilim uygulanır. Uygulanan gerilimin şiddeti $V_{dc}/2$ olup işareti ise anahtarlar T1 ve T2 nin konumuna bağlıdır. Üretilen gerilim ortak mod trafosunun birincil sargısında OMG'ye karşı yönde ve olabildiğince yakın şiddette ise motora uygulanan OMG'nin etkisi azaltılmış ve dolayısıyla OMA bastırılmış olur. Bunun için trafonun sarım oranlarının uygun olması gerekir. Bu süzgeçte aktif süzgeç bir kontrollü gerilim kaynağı gibi davranır. C_1 kondansatörleri çok küçük boyutta olup, OMG'nin polarite bilgisini taşır ve OMG'nin etkisini bastırmak için gerekli anahtar konumunu belirler. Aktif süzgeç yapısında orta noktadan az da olsa bir miktar akım çekildiği için C_0 kondansatörlerinin orta

noktası kayabilir (0 olmayabilir). Kayma ve salınımı %1-2 mertebesinde az tutmak için yeterince büyük değerde C_0 kondansatörleri kullanmak gerekir. Bu tip aktif süzgeç kullanılan uygulamalarda OMG ve OMA başarılı bir şekilde azaltılır. Aktif süzgeçteki gecikmelerden dolayı bastırma az bir miktar zayıflar. Yöntem karmaşık, pahalı ve güvenilirlik açısından sorunludur.



Şekil 9: Aktif OMA süzgeçli motor sürücü devre diyagramı.

Şebekeye diyotlu doğrultucu yerine DGM doğrultucu üzerinden bağlanan motor sürücü uygulamalarında OMG ve etkilerini azaltmanın bir yolu DGM doğrultucu ve DGM evirici darbe şablonlarının birbirine uyumlu olarak programlanmasıdır [8]. Şekil 10'da devre diyagramı gösterilen bu topolojide, OMA'yı engellemek için doğrultucu ve eviricinin DGM işaretleri uygun şekilde programlanarak V_{og} ve V_{no} gerilimlerinin birbirine ters işarette, eşit yada yakın büyüklükte olması ve böylece OMA'yı süren gerilimin olabildiğince az olması sağlanır. Bu şartlar sağlandığında motor yıldız noktasının toprağa göre gerilimi V_{ng} , $\pm V_{dc}/3$ yada 0 değerini alır. Bu sayede gerek OMG gerekse OMA düşürülmüş olur. Ancak DGM doğrultucu rejenerative yük uygulaması veya girişte yüksek güç kalitesi gerektiren azınlık uygulamalarda ekonomik olabilmektedir. Doğrultucunun DGM şablonu ile OMG/OMA azaltma yöntemi bu nedenle yaygın kullanılmamaktadır. Ayrıca çalışma noktasına bağlı olarak ve özellikle düşük evirici çıkış geriliminde çalışmada, OMG $\pm 2V_{dc}/3$ değerini alır. DGM doğrultucusuz sürücüde oluşan tepe OMG olan $\pm V_{dc}/2$ 'den daha büyük olan bu gerilim sürücü için zararlı olduğundan bu yaklaşım tek başına kullanılmaz ve ek süzgeçlerin kullanımı kaçınılmazdır.



Şekil 10: DGM doğrultucu-eviricili motor sürücü devresi.

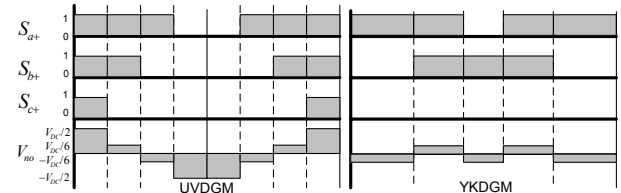
Diyotlu doğrultucu girişli ve iki düzeyli eviricili standart sürücüde anahtarlama şablonunun uygun seçilmesi ile OMG/OMA kaynağından zayıflatılarak (az üretilerek) ek süzgeç yapılarına olan gereksinim azaltılır. Özellikle kullanılan anahtarlama şablonunun eviricinin anahtarlama dalgacıkları, yarı iletken anahtarlama kayıpları ve gerilim doğrusallığı gibi karakteristiklerinin de üstün nitelikte olması durumunda bu yöntemler tercih edilir, çünkü yöntemin maliyeti olmayıp sadece darbe şablonunun farklı programlanması ile sonuca ulaşılır. Bölüm 2'de anlatıldığı gibi, anahtarların konumlarına bağlı olarak iki düzeyli eviricide OMG $\pm V_{dc}/2$ veya $\pm V_{dc}/6$ değerlerini alabilir (Çizelge 1). DGM yöntemleri çizelgedeki anahtar

konumlarının kombinasyonları ile oluşturulur ve her bir DGM yönteminin kendine özgü bir OMG karakteristiği vardır [9]. Sinüsoidal DGM, uzay vektör DGM (UVDGM), süreksiz modülasyonlu DGM gibi geleneksel yöntemlerde OMG $\pm V_{dc}/2$ değerine ulaşır. OMG azaltıcı DGM yöntemlerinde ise $\pm V_{dc}/2$ değerlerine neden olan anahtar konumları kullanılmaz, ancak bilinen OMG azaltıcı yöntemlerin [3], [10] darbe şablonunun diğer karakteristiklerinin başarımı kötü olduğu için tercih edilmezler [9]. Yazarların geliştirdiği yakın komşu DGM (YKDG) yönteminde hem OMG azaltılır hem de diğer karakteristiklerin başarımı yüksektir [11], [12].

Çizelge I. İki düzeyli evirici anahtar konumları ve OMG

$S_{a+} S_{b+} S_{c+}$	V_{ao}	V_{bo}	V_{co}	V_{no}
000	$-V_{dc}/2$	$-V_{dc}/2$	$-V_{dc}/2$	$-V_{dc}/2$
100	$V_{dc}/2$	$-V_{dc}/2$	$-V_{dc}/2$	$-V_{dc}/6$
110	$V_{dc}/2$	$V_{dc}/2$	$-V_{dc}/2$	$V_{dc}/6$
010	$-V_{dc}/2$	$V_{dc}/2$	$-V_{dc}/2$	$-V_{dc}/6$
011	$-V_{dc}/2$	$V_{dc}/2$	$V_{dc}/2$	$V_{dc}/6$
001	$-V_{dc}/2$	$-V_{dc}/2$	$V_{dc}/2$	$-V_{dc}/6$
101	$V_{dc}/2$	$-V_{dc}/2$	$V_{dc}/2$	$V_{dc}/6$
111	$V_{dc}/2$	$V_{dc}/2$	$V_{dc}/2$	$V_{dc}/2$

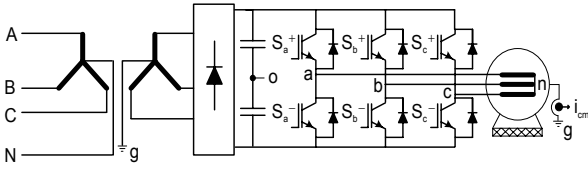
YKDG bir süreksiz modülasyon yöntemi olup, yöntemde her DGM periyodunda fazlardan biri DC baranın artı ya da eksi terminaline kilitlenirken, diğer iki fazda anahtarlama yapılır. Her 60° 'de bir kilitlenen fazın sırası değişir. Bu yöntemin bir DGM periyodundaki anahtar işaretleri ve karşılık gelen OMG Şekil 11'de verilmiştir. Şekilde ayrıca karşılaştırma amacıyla UVDGM işaretleri de gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi, YKDG yönteminde OMG $\pm V_{dc}/6$ değerlerini almaktayken UVDGM yönteminde $\pm V_{dc}/2$ değerli yüksek OMG oluşmaktadır. Yöntem hem süreksiz modülasyon özelliği nedeni ile anahtarlama kayıplarının azaltılmasını sağlar, hem de doğrusallık bölgesinde yöntemin anahtarlama dalgacıkları geleneksel yöntemlerle karşılaştırılabilir boyuttadır. YKDG yönteminin gerilim doğrusallık bölgesi yaklaşık geleneksel UVDGM yönteminin üst yarısından oluşmaktadır. Bu nedenle YKDG yöntemi yüksek modülasyon bölgesinde uygulanabilir ve düşük modülasyon bölgesinde de geleneksel bir yöntemin kullanılmasını gerektirir [12]. Anahtarlama şablonu üzerinde yapılan bu tür değişikliklerle OMG azaltılır ancak dv/dt değişmez ($\Delta V = V_{dc}/3$). Bu nedenle uygulamada OMA'daki azalma OMG'deki azalma kadar olmaz. Ayrıca anlatılan YKDG yönteminin iki düzeyli eviriciye uygulanmasına benzer olarak, çok düzeyli eviricilerde de benzer biçimde uygun anahtarlama şablonları kullanılarak OMG ve OMA azaltılabilir. Bu çalışmada YKDG ve UVDGM'nin OMG/OMA özellikleri deneylerle incelenecektir.



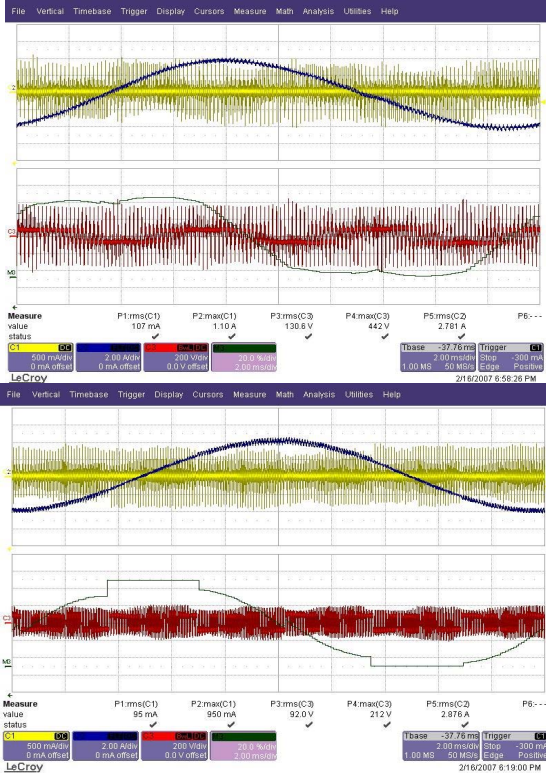
Şekil 11: UVDGM ve YKDG'nin darbe şablonu ve OMG'si.

5. Deneysel Sonuçları

YKDGM ve UVDGM yöntemlerinin deneysel OMA/OMA başarımları Şekil 12’de gösterilen 4kW’lık asenkron motor sürücü düzeneği ile incelenmiştir [11]. DGM darbe şablonu ve sürücü denetim algoritması TMS320F2808 DSP ile programlanmıştır. DC bara gerilimi 500 V, çıkış faz gerilimi 180.3 V_{rms} ve frekansı 51 Hz’dir. Motor boşta çalışmaktadır. DGM frekansı YKDGM için 10 kHz ve UVDGM için 6.6 kHz olarak seçilmiş böylece eşit anahtarlama sayısı sağlanmıştır. Şekil 13’te her iki yöntemin faz akımı, modülasyon işareti, OMA ve OMA’sı gösterilmiştir. YKDGM’de OMA ve OMA’nın hem tepe hemde rms değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. YKDGM kullanıldığında, UVDGM’ye göre OMA tepe değeri 1.1A’dan 950mA’ye düşmüştür. dv/dt değeri değişmediğinden OMA az değişmiştir. OMA’da ki azalma çok daha belirgindir. YKDGM kullanıldığında OMA tepe değeri UVDGM’deki 442 V’dan 212 V’a, OMA rms değeri ise 130 V’dan 92 V’a düşmüştür.



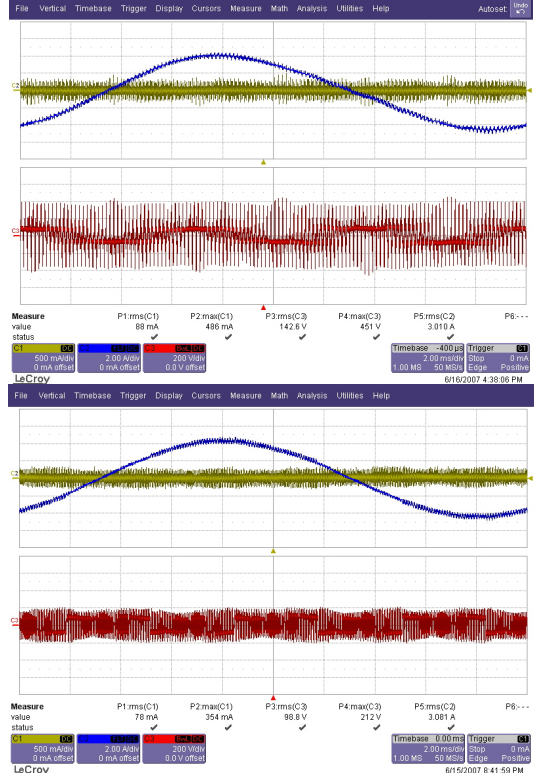
Şekil 12: Asenkron motor sürücüsünde OMA/OMA ölçme düzeneği.



Şekil 13: UVDGM (üst) ve YKDGM (alt) yöntemlerinde motor faz akımı (mavi, 2A/bölme), OMA (sarı, 0.5A/bölme), OMA (kırmızı, 200V/bölme) ve modülasyon dalgası (yeşil, 0.2birim/bölme).

Ortak mod indüktansının OMA üzerindeki bastırıcı etkisini incelemek için deney düzeneğinde evirici ile motor arasında ortak mod eşdeğer indüktans değeri yaklaşık 2.1 mH olan bir ortak mod indüktansı eklenmiştir. Bu indüktansın normal moddaki eşdeğeri ise ihmal edilebilir düzeydedir. Ortak mod indüktansı bir adet toroid ferrit çekirdeği kullanılarak ve faz başına 12 sarı sarılarak üretilmiştir. Çekirdeğin dış çapı, iç çapı ve yüksekliği sırasıyla 36mm, 23mm ve 15mm’dir. Çekirdeğin bağlı ilk manyetik geçirgenliği (μ_r) 12000 olup evirici OMA frekans spektrumu bölgesinde sağladığı yüksek indüktans karakteristiği ile OMA’yı bastırmaya uygun özelliktedir.

Ortak mod indüktansı eklendikten sonra ilk olarak UVDGM yöntemi kullanılmış ve indüktansın OMA başarımına etkisi incelenmiştir ve deney sonuçları Şekil 14’te üstte verilmiştir. OMA’nın rms değeri indüktans eklenmeden önceki duruma göre 107 mA’dan 88 mA’ye; tepe değeri ise 1.10 A’dan 486mA’ye düşmüştür. Aynı indüktans YKDGM ile birlikte kullanıldığında elde edilen deney sonuçları Şekil 14’te alta verilmiştir. OMA’nın rms değeri indüktansın UVDGM yöntemi ile birlikte kullanıldığı duruma göre 88mA’dan 78mA’ye tepe değeri ise 486 mA’dan 354 mA’ye düşürülmüştür. Bu değerler UVDGM yönteminin kullanıldığı duruma göre oldukça düşüktür. Daha büyük bir çekirdek kullanarak OMA’yı bastırma oranlarını arttırmak olanaklı olmakla beraber ekonomik olmayıp boyutları da arttırdığından tercih edilmemiştir. Ortak mod indüktansı yöntemlerinin OMA karakterlerini önemli ölçüde değiştirmemiştir.



Şekil 14: Ortak mod indüktansı eklendiğinde UVDGM (üst) ve YKDGM (alt) yöntemlerinde motor faz akımı (mavi, 2A/bölme), OMA (sarı, 0.5A/bölme), OMA (kırmızı, 200V/bölme) dalgaları.

Ferrit çekirdekten yapılan ortak mod transformatörü büyük boyutlu manyetik çekirdek gerektirmiş ve kısmen faydalı sonuç doğurmuş, ancak ekonomik ve pratik olmayışı nedeniyle bu değerlendirmeler kapsam dışı bırakılmıştır. Bu amaca uygun manyetik çekirdek tipi olan nanocrystalline malzeme ile tasarlanan ortak mod transformatörü daha iyi sonuç verecektir.

Yapılan deneysel çalışmalar OMG'yi bastırmak için DGM yöntemleri ve darbe şablonunun uygun seçilmesinin uygun yöntem olduğunu, ancak bunun OMA'yı bastırmak için yeterli olmadığını göstermiştir. Aynı şekilde sadece pasif eleman kullanılarak OMA bastırma başarımı da istenen düzeye ulaşamamaktadır. Bu nedenle en iyi başarımlar, her iki yöntemin birlikte kullanılması ile sağlanmıştır. YKDGM ile OMG azaltılıp, bu OMG'nin yaratacağı OMA'yı bastırmak için de küçük bir ortak mod indüktansı kullanılarak akım yoluna karşı büyük impedans oluşturulmuştur. Böylece en etkin, basit ve ekonomik OMG/OMA bastırımı gerçekleştirilmiştir.

6. Sonuçlar

Bu bildiride gerilim kaynaklı eviricilerde OMG ve OMA incelenmiş, bunların uygulamada yarattığı sorunlara değinilmiş, ve çözüm yöntemleri incelenip değerlendirilmiştir.

Değişik evirici topolojileri ve bunların OMG ve OMA üzerindeki etkileri incelenmiştir. Evirici düzeyinin artırılması ile (örneğin üç düzeyli evirici topolojisiyle) ara gerilim basamakları oluşturulup ΔV (ve dv/dt) azaltılması olanaklı hale gelmekte, ancak OMG değeri anahtarlama şablonuna bağlı olarak yüksek kalabilmektedir. Ancak üç düzeyli evirici, karmaşa ve fiyatı yükseldiğinden OMG/OMA azaltmakta tercih edilmemektedir.

Basit yapı ek donanım gerektiren pasif süzgeçler, ve özellikle bunlardan ortak mod indüktansı, OMG'yi etkilemeyip seri impedans ile OMA'yı başarıyla bastırıldığından uygulamada tercih edilir. Ancak hantal yapıdadır. Aktif süzgeçler karşı gerilim indükleyerek OMG'yi bastırır ve dolayısıyla OMA'yı yokeder. Ancak karmaşık elektronik donanım nedeniyle yaygın değildir. DGM doğrultucular ise hem pahalı çözüm olduklarından hem de başarımları sınırlı bir çalışma bölgesinde yeterli olduğundan OMG/OMA bastırmada çözüm değildirlir.

Standart iki düzeyli eviricide uygun DGM şablonuyla OMG'yi bastırmak, hiçbir ek maliyet getirmemesi ve sadece yazılım değişikliği gerektirmesi nedeniyle tercih edilebilir. Bu yaklaşımın uygulandığı YKDGM yöntemi ve bunun diğer DGM yöntemlerine üstünlüğü deneysel sonuçlarla gösterilmiştir. Ancak yöntem OMG'yi başarılı biçimde bastırmasına rağmen OMA'yı yeterince bastırmak için hala pasif süzgeçlere (küçük bir ortak mod indüktansına) gereksinim bulunmaktadır. YKDGM, pasif süzgeçlerle birlikte kullanıldığında hem OMG hemde OMA başarılı biçimde bastırılır. Karma çözümün oluşturulduğu bu yaklaşımın başarılı sonuçlar verdiği deneysel çalışmalarla ispatlanmıştır.

OMG ve OMA'nın etkilerini önerilen yöntemlerle ekonomik ve etkin biçimde azaltarak motor ve sürücünün ömrü artırılıp, çevreye OMG ve OMA gürültüsünün yayılması da engellenebilir.

Kaynakça

- [1] J.M. Erdman, R.J. Kerkman, D.W. Schlegel, and G.L. Skibinski, "Effect of PWM inverters on AC motor bearing currents and shaft voltages," *IEEE Trans. on Ind. Applicats.*, vol. 32, pp. 250-259, March/April 1996.
- [2] B. Üstüntepe, A.M. Hava, "Üç-fazlı üç-düzeyleli nötr Noktası bağlantılı evirici ve uygulamaları," *ELECO 2006, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 6-10 Aralık 2006, Bursa, sayfa 126-130.
- [3] M. Cacciato, A. Consoli, G. Scarcella and A. Testa, "Reduction of common-mode currents in PWM inverter motor drives," *IEEE Trans. on Ind. Applicats.*, vol. 35, no 2, pp. 469-476, March-April 1999.
- [4] S. Ogasawara and H. Akagi "Modeling and damping of high-frequency leakage currents in PWM inverter-fed AC motor drive systems," *IEEE Trans. on Ind. Applicats.*, vol 32, no 5, pp. 1105-1114, September-October 1996.
- [5] A. Mütze and A. Binder "High frequency stator ground currents of inverter-fed squirrel-cage induction motors up to 500 kW," Proc. 10th European Conference on Power Electronics and Applications (*EPE*), Toulouse, 2003, bildiri no: 027 (CD-ROM).
- [6] H. Akagi, H. Hasegawa and T. Doumoto "Design and performance of a passive EMI filter for use with a voltage-source PWM inverter having sinusoidal output voltage and zero common-mode voltage," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol 19, pp. 1069-1076, July 2004.
- [7] S. Ogasawara, H. Ayano and H. Akagi "An active circuit for cancellation of common-mode voltage generated by a PWM inverter," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol 13, pp. 835-841, September 1998.
- [8] H.D. Lee and S.K. Sul "Common-mode voltage reduction method modifying the distribution of zero-voltage vector in PWM converter/inverter system," *IEEE Trans. on Ind. Applicats.*, vol. 37, pp. 1732-1738, November/December 2001.
- [9] E. Ün and A.M. Hava, "Performance analysis and comparison of reduced common mode voltage PWM and standard PWM techniques for three phase voltage source inverters," *IEEE-APEC 2006 Conf.*, Dallas, Texas, March 2006, pp. 303-309.
- [10] Y.S. Lai and F.S. Shyu, "Optimal common-mode voltage reduction PWM technique for inverter control with consideration of the dead-time effects-part I: basic development," *IEEE Trans. on Ind. Applicats.*, vol 40, no. 6, pp.1605 - 1612, November/December 2004.
- [11] E. Ün and A.M. Hava "A near state PWM method with reduced switching frequency and reduced common mode voltage for three-phase voltage source inverters," *IEEE-IEMDC Conf.*, pp. 235-240, May 2-5, 2007, Antalya.
- [12] E. Ün and A. M. Hava, "Performance characteristics of the reduced common mode voltage near state PWM method," Proc. 12th European Conference on Power Electronics and Applications (*EPE*), Aalborg, Denmark, September 2007, bildiri no: 091 (CD-ROM).