

## Üç-Seviyeli Bir Eviricinin Tasarım ve Uygulaması

Çetin ELMAS<sup>1</sup>, Okan BİNGÖL\*

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü / ANKARA

\*Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü / ISPARTA

Alınış tarihi:22.11.2006, Kabul:05.05.2008

**Özet:** Bu makalede, üç-seviyeli diyot-tutmalı bir evirici tasarlanarak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen üç-seviyeli evirici ile, iki-seviyeli eviricilerin beslediği asenkron motorun faz akımları ve fazlararası gerilimleri karşılaştırılmıştır. Uygulama sonuçlarına göre üç-seviyeli eviricinin beslediği asenkron motorun faz akımları ve fazlararası gerilimlerinin harmonik bileşenlerinin iki seviyeli eviriciye göre daha düşük olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Üç-seviyeli evirici, Modülasyon teknikleri, Uzay vektör DGM

## Design and Implementation of a Three Level Inverter

**Abstract:** In this paper, a three-level neutral-point clamped (NPC) inverter is designed and implemented. Phase currents and line to line voltages of the three-level inverter are compared with a two-level inverter fed induction motor. Experimental results show that three-level inverter fed induction motor has been shown harmonic components of phase currents and line to line voltages waveform more less than two-level inverter.

**Key Words:** Three-level inverter, Modulation techniques, Space vector PWM

### Giriş

Son yıllarda yarıiletken güç elemanlarının anahtarlama frekanslarında ve kapasitelerindeki hızlı gelişmeler ile birlikte güç elektroniği teknolojisinde sürekli ilerlemelerin sonucunu, statik güç dönüştürücüsü ve endüstriyel motor sürücü sistemlerinde birçok değişiklik meydana gelmiştir (Lee vd., 1994). Bu değişikliklerin sonucunda, üç-seviyeli gerilim beslemeli darbe genişlik modülasyonlu (DGM) eviriciler ortaya çıkmıştır. Üç-seviyeli gerilim beslemeli eviriciler, yarıiletken güç elemanlarının birbirine seri bağlanması ile birlikte iki-seviyeli gerilim beslemeli eviricilere göre daha yüksek gerilim uygulamalarında kullanılmaya başlamıştır. Asenkron motorlarda (ASM) istenmeyen harmonikler, motor kayıplarının artmasına böylece motor veriminin düşmesine, momentte salınımların oluşmasına ve elektromanyetik girişime sebep olmaktadır (Nabae vd., 1981; Elmas ve Bingöl, 2003; Holtz, 1994). Bu nedenle, değişken hızlı yüksek performanslı alternatif akım (AA) sürücü sistemlerinde kullanılan gerilim beslemeli DGM eviricilerin çıkışındaki gerilim ve akımların harmonik bileşenlerinin düşük genlikte olması istenir. Bu harmonikler, yüksek anahtarlama frekanslarında farklı DGM yöntemleri kullanılarak veya eviricilerin çıkış gerilim dalga şeklinin birçok gerilim seviyesinden oluşması sağlanarak en aza indirgenebilir.

Klasik iki-seviyeli eviricilerde, çıkış gerilimi dalga şeklinin seviyesi, iki seviyeden ( $-V_{dc}/2, V_{dc}/2$ ) oluşurken her faz kolundaki anahtar sayısı iki olup eviricideki toplam anahtar sayısı altıdır. Bunun yanında, üç-seviyeli nötr-nokta tutmalı eviricinin çıkış gerilimi dalga şeklinin seviyesi üç seviyeden ( $-V_{dc}/2, 0, V_{dc}/2$ ) oluşurken, her faz kolundaki anahtar sayısı dört olup,

eviricideki toplam anahtar sayısı onikidir. Bununla birlikte seviye sayısı arttıkça kullanılan anahtar sayısı da artacağından dolayı, evirici daha yüksek gerilim uygulamalarında da kullanılabilir.

Literatürde üç önemli çok-seviyeli gerilim beslemeli evirici vardır (Lai ve Peng, 1996).

- Diyot-tutmalı çok-seviyeli eviriciler
- Kondansatör-tutmalı çok-seviyeli eviriciler
- Seri bağlı tam köprü çok-seviyeli eviriciler

İlk pratik çok-seviyeli evirici 1981 yılında Nabae ve arkadaşları tarafından üç-seviyeli nötr-nokta tutmalı (NNT) evirici olarak önerilmiştir. NNT evirici, diyot-tutmalı evirici olarak da bilinmektedir. Diyot-tutmalı çok-seviyeli eviricilerde birbirine seri bağlanmış kondansatörler arasındaki düğüm noktası ile giriş gerilimi çeşitli seviyelere bölünür (Nabae vd., 1981). Diyot-tutmalı çok-seviyeli eviriciye alternatif olarak, 1992 yılında Meynard ve Foch tarafından kondansatör-tutmalı evirici önerilmiştir (Meynard ve Foch, 1992). Kondansatör-tutmalı eviricinin yapısı diyot-tutmalı eviriciye benzemektedir. Tek fark tutma diyotları yerine, tutma kondansatörleri kullanılmaktadır. Seri bağlı tam köprü çok-seviyeli evirici genel yapı itibarıyla, önceki iki eviricinin yapısı ile aynıdır. Marchesoni ve arkadaşları bu eviricinin ilk uygulamasını gerçekleştirenlerdendir (Marchesoni vd., 1990). Eviricinin çıkışında arzu edilen gerilimi elde etmek için, birbirinden bağımsız birden fazla bir fazlı tam köprü olan eviriciye ihtiyaç vardır. Her bir Fazlı tam köprü evirici için, ayrı DA kaynağı gerekmektedir.

Bundan dolayı uygulama alanları biraz sınırlandırılmıştır. Üç-seviyeli eviricilerin temel avantajları aşağıda verilmiştir (Zhang, 1995; Celanovic ve Boroyevich, 2000).

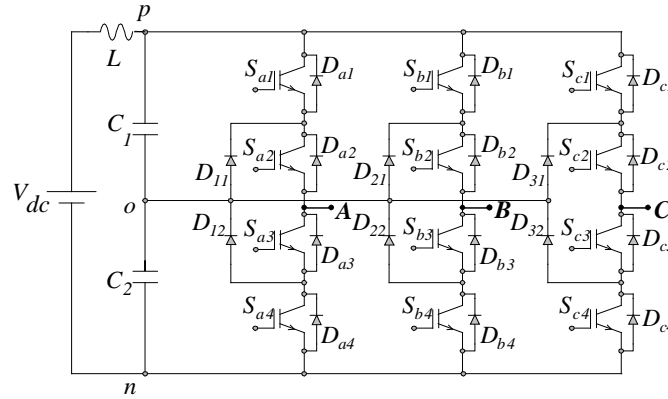
- ✓ Yüksek güçlü uygulamalarda kullanılırlar.
- ✓ Anahtarlar seri bağlanarak daha yüksek gerilim istenen uygulamalarda kullanılabilirler.
- ✓ Aynı anahtarlama frekansında üç-seviyeli eviricinin çıkış dalga şeklinin harmonik bileşenlerinin genliği iki seviyeli eviricilere göre daha iyidir. Böylece daha düşük anahtarlama frekanslarında çalışılabilir.
- ✓ Motor sargıları üzerindeki gerilim oranı  $dv/dt$  düşüktür.

Bu çalışmada, üç-seviyeli nötr-nokta tutmalı evirici tasarlanarak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Üç-seviyeli eviricinin beslediği ASM' a ait sürme sisteminde kullanılan donanım; sayısal işaret işlemci (Sİİ), yalıtma

ünitesi, IGBT sürücü devresi, IGBT modülü, akım algılama devresi, pozisyon algılayıcı, doğrultma devresi ve güç kaynaklarından oluşmaktadır. Sİİ haricindeki her bir düzenek ayrı ayrı tasarlanmış olup daha sonra birleştirilmiştir. Uygulama sonuçlarına göre, üç-seviyeli eviricinin beslediği asenkron motorun faz akımları ve fazlar arası gerilimlerinin harmonik bileşenleri iki seviyeli eviriciye göre daha düşük olduğu görülmüştür.

## Üç-Seviyeli Eviricilerde Uzak Vektör DGM Tekniği

Şekil 1'de eviricinin her bir fazı iki tutma diyodu ( $D_{11}, D_{12}$ ), dört anahtar ( $S_{a1}, S_{a2}, S_{a3}, S_{a4}$ ) ve dört bypass diyotundan ( $D_{a1}, D_{a2}, D_{a3}, D_{a4}$ ) oluşmaktadır. Üç-seviyeli eviricide her faz kolunun 3 anahtarlama durumunun olması itibariyle ( $3^3 = 27$ ) anahtarlama durumuna sahiptir.



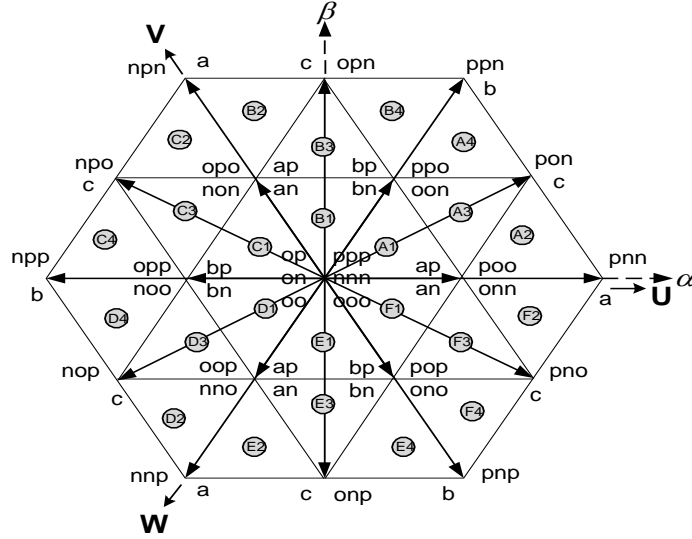
Şekil 1. Üç-seviyeli nötr-nokta tutmalı evirici

Çizelge 1'de bir faza ait anahtarlama durumları gösterilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, gerilim vektörleri anahtarlama durumlarına göre iç içe iki altgenin çeşitli noktalarına konumlandırılmış olup genliklerine göre, dört gruba ayrılır. Bunlar, büyük gerilim vektörleri olan  $a$  ve  $b$  grubu gerilim vektörleri olup genlikleri  $2V_{dc}/3$ 'tür ve dıştaki altgenin köşelerinde konumlanmışlardır. Orta gerilim vektörü olan  $c$  grubu gerilim vektörünün genliği  $V_{dc}/\sqrt{3}$ 'tür ve dıştaki altgenin orta noktalarında konumlanmışlardır. Küçük

gerilim vektörleri olan  $(ap, an)$  ve  $(bp, bn)$  grubu gerilim vektörleri olup genlikleri  $V_{dc}/3$ 'tür ve içteki altgenin köşelerinde konumlanmışlardır. Sıfır gerilim vektörleri olan  $(op, on, oo)$  grubu gerilim vektörlerinin genliği ise sıfır olup, orijinde konumlanmışlardır. Şekil 2'de dıştaki altgen altı sektöre (A, B, C, D, E, F) sahiptir. Aynı zamanda her bir sektörde dört adet bölge (1, 2, 3, 4) bulunmaktadır. Altgendeki toplam bölge sayısı  $24$ 'dür (Celanovic ve Boroyevich, 2000).

Çizelge 1. Üç-seviyeli eviricinin anahtarlama durumları ( $x = a, b, c$ )

Anahtarlama Durumu	$S_{x1}$	$S_{x2}$	$S_{x3}$	$S_{x4}$	$V_{xo}$
p	1	1	0	0	$+V_{dc}/2$
o	0	1	1	0	0
n	0	0	1	1	$-V_{dc}/2$



Şekil 2. Üç-seviyeli DGM eviricinin anahtarlama durumları

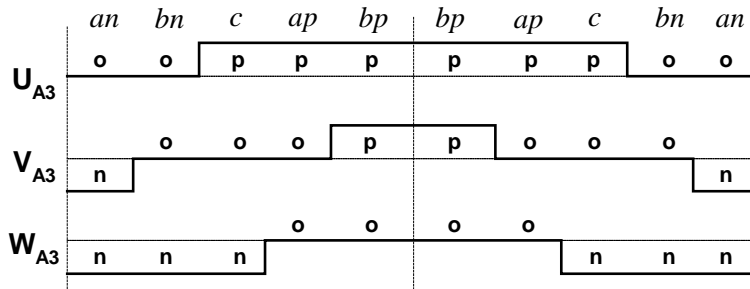
Uzay vektör DGM yöntemine göre referans gerilim uzay vektörü, üç fazlı eviricinin çıkış gerilimleri Eşitlik 1 kullanılarak elde edilir.

$$\vec{V}_{ref} = V_\alpha + jV_\beta = 2/3(V_a\vec{a}^0 + V_b\vec{a}^1 + V_c\vec{a}^2) \quad \vec{a}^1 = e^{j2\pi/3} \quad (1)$$

$T_s$  örnekleme zamanı olup gerilim vektörlerinin süreleri Eşitlik 2 kullanılarak bulunur.

$$V_{ref} T_s = V_1 t_1 + V_2 t_2 + V_3 t_3 \quad T_s = t_1 + t_2 + t_3 \quad (2)$$

Referans gerilim vektör bileşenleri ( $V_\alpha, V_\beta$ ) kullanılarak, referans gerilim vektörünün altgen içerisinde hangi sektör ve bölgede olduğu bulunur. Eşitlik 2' deki gerilim vektör süreleri kullanılarak her faz için iletim süreleri elde edilir. Böylece anahtarların iletim durumları belirlenmiş olur. Şekil 3' de A. sektör 3. bölge için DGM anahtarlama sinyallerinin şekilleri verilmiştir. Uygulanan DGM yöntemi ile Şekil 1'deki ( $C_1$  ve  $C_2$ ) kondansatörleri üzerindeki gerilim dengesizliği en aza indirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3. A. sektör 3. bölge için DGM anahtarlama sinyalleri

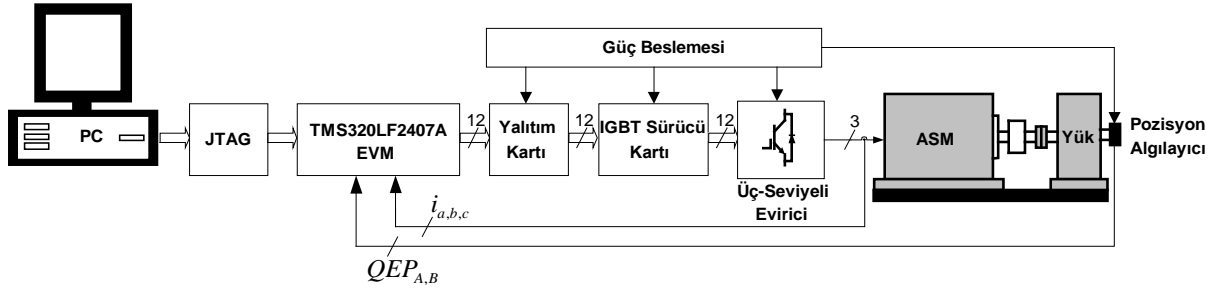
### Üç-Seviyeli Nötr-Nokta Tutmalı Eviricinin Tasarım Basamakları

Üç-seviyeli evirici tarafından beslenen ASM'un sürme sistemindeki donanım; Sİİ, yalıtma ünitesi, IGBT sürücü devresi, IGBT modülü, akım algılama devresi, pozisyon algılayıcı, doğrultma devresi ve güç kaynaklarından meydana gelmektedir. Sİİ haricindeki her bir düzenek ayrı ayrı tasarlanıp uygun bir şekilde birleştirilmiştir (Bingöl, 2005).

Sİİ tarafından üretilen sinyaller yalıtma ünitesi vasıtasıyla IGBT sürücü devresini kontrol etmektedir. IGBT sürücü devresi ile IGBT güç anahtarların çalışması sağlamaktadır. Bunların yanında ASM' un hız denetimi doğru bir şekilde gerçekleştirebilmek için akım algılama

devresinden elde edilen akım bilgisi ile ASM' un miline bağlı olan pozisyon algılayıcısından elde edilen pozisyon bilgisi Sİİ' ye aktarılmaktadır.

Üç-seviyeli eviricinin beslemesi için gerekli DA gerilim, IXYS firmasına ait VUO82-16NO7 isimli üç fazlı tam dalga doğrultmaçla sağlanmaktadır. DA gerilim çıkışına seri olarak filtre bobini bağlanmış olup, filtre bobini çıkışına ise seri bağlı iki adet 2200µf 450V DA kondansatörünün bağlantısı yapılmıştır. Bu iki kondansatörün orta noktası sıfır noktası olarak eviriciye bağlanmıştır. Kondansatörlerin diğer uçlarında ise DA bara gerilimi bulunmaktadır. Eviricinin devreye bağlantısı ve sistemin genel blok şeması Şekil 4' de verilmiştir.



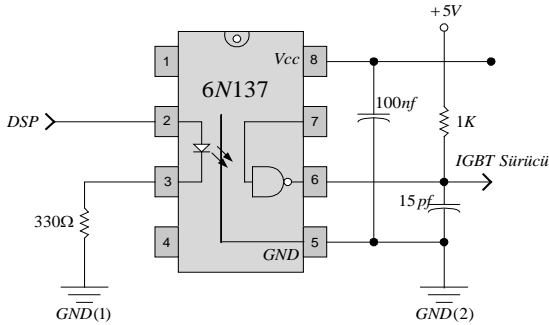
Şekil 4. Sistemin deneysel düzeneği

### Sayısal İşaret İşlemci

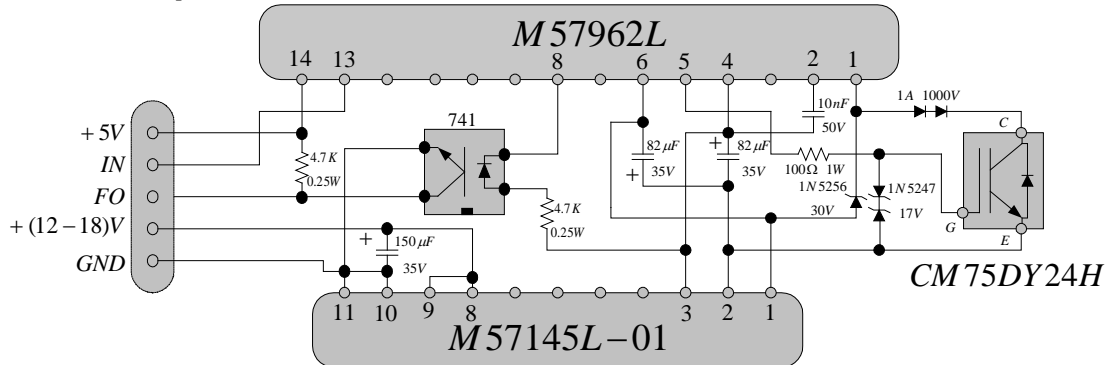
Çalışma frekansının yüksek olmasının yanında analog bilgiyi dijital bilgiye dönüştürme (çevrim) zamanının kısa olması sebebiyle Texas Instrument firması tarafından üretilen TMS320LF2407A kodlu işlemci yapılan uygulama da tercih edilmiştir (Texas Instruments, 2001). İşlemci 25 ns (40Mhz) komut işleme hızına sahiptir. TMS320LF2407A Sİİ'nin olay yöneticisi (event manager) özellikle motor ve hareket kontrol uygulamalarında faydalı birçok özelliğe sahiptir.

### Yalıtma Ünitesi

Eviricideki toplam oniki yarıiletken güç anahtarların kontrolü, Sİİ tarafından üretilen anahtarlar sinyalleri ile sağlanmaktadır. Sİİ ile IGBT sürücü devresi arasındaki yalıtılması gerekmektedir. Bu işlem için yüksek hızlı opto izolatör elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan bu çalışmada 6N137 opto izolatörü seçilmiştir. Seçilen opto izolatörün bir kanalına ait bağlantı şeması Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Opto izolatör devresi



Şekil 6. IGBT sürücü devresi

### IGBT Modülü

IGBT güç anahtarlama elemanı olarak Mitsubishi firması tarafından üretilen CM75DY24H modülü kullanılmıştır. Her bir modül kendi içerisinde yarım köprü bağlantı şekli oluşturacak şekilde iki IGBT güç anahtarlama

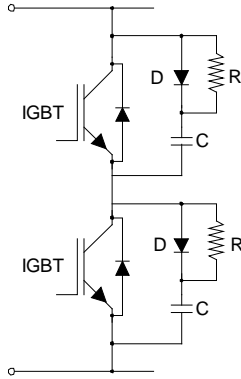
Sİİ'nin çıkış terminal gerilimi 3.3 V'tur. Yalıtım kartı kullanılarak hem IGBT sürücü devresinin çalışması için gerekli olan 5 V edilir hem de IGBT sürücü devresi ile Sİİ arasında yalıtım işlemi yapılmış olur.

### IGBT Sürücü Devresi

Üç-seviyeli eviricide bulunan IGBT güç anahtarların çalışması için bir sürme devresine gerek vardır. Burada her bir IGBT güç anahtarının yalıtılmış bir DA kaynağından beslenmesi gerekmektedir. Bu işlem için Mitsubishi firması tarafından üretilen M57145L-01 isimli yalıtılmış tip DA-DA dönüştürücü kullanılmıştır. M57145L-01, 12 ile 18 V arası DA gerilimle beslenmekte ve çıkışında IGBT güç anahtarının çalışmasını sağlayacak gerilimi üretmektedir. IGBT sürücü olarak aynı firma tarafından üretilen M57962L isimli devre elemanı kullanılmıştır. Sürücü devresi içerisine yerleştirilen opto izolatör ile giriş ve çıkış birbirinden yalıtılmıştır. Kısa devre olma durumunda koruma sağlamak için hata çıkışı Sİİ tarafından okunarak yazılımda işlenebilir. Hata sinyali elde edildiğinde çeviricinin çalışması durdurulabilir. Sürücüdeki hata çıkışı da aynı şekilde opto izolatör kullanılarak yalıtılmıştır. Şekil 6'da her iki devre elemanının kullanıldığı bir IGBT güç anahtarına ait bağlantı şeması verilmiştir.

elemanından oluşmaktadır. Her bir IGBT güç anahtarlama elemanının kendine ait çok hızlı kendini yenileyebilen bypass diyodu bulunmaktadır. Üzerinden 75 A'ye kadar akım geçirebilmektedir. Tutma gerilimi 1200 V'tur. İletim ve kesim durumlarında IGBT güç anahtarlarının zarar

görmemeleri için korunması gerekmektedir. Bunun için snubber devresi tasarlanmıştır. Uygulamada IGBT modülleri üzerinden iki yönlü akım geçişi sağlandığı için hazır snubber kondansatörleri kullanılmamıştır. IGBT güç anahtarlama elemanları soğutucular üzerine monte edilmiş olup, snubber devre elemanları ise IGBT güç anahtarlama elemanları üzerine yerleştirilmiştir.



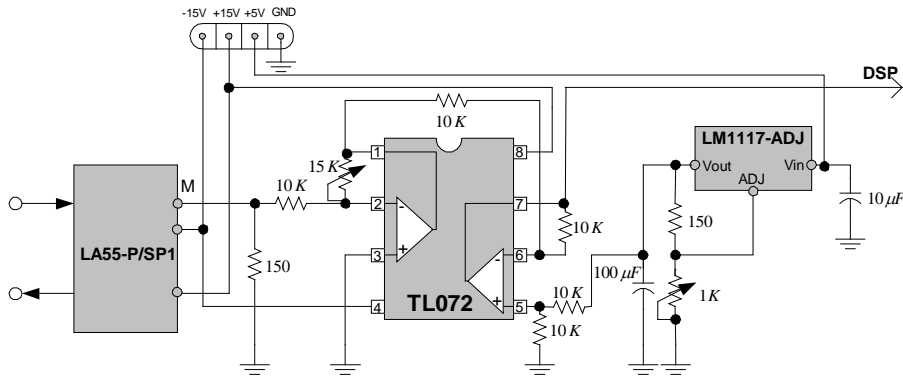
Şekil 7. IGBT modülü ile snubber devresi

Snubber devresindeki elemanların seçimi anahtarlama frekansı dikkate alınarak yapılmıştır. Snubber devresindeki RC zaman sabiti anahtarlama frekansının yaklaşık üçte biri ( $\tau = T_s / 3 = (1/3) / f_s$ ) olarak seçilebilir (Mitsubishi Electric, 1998). Evirici güç devresi 20kHz'lik anahtarlama frekansını karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Her bir IGBT'ye ait snubber devresindeki elemanların değerleri  $R=2 \times (33 \Omega, 17W)$  ve  $C=220nF$  olup hızlı diyot olarak IXYS firmasına ait

DSE120-12A adlı diyotu kullanılmıştır. Şekil 7'de IGBT modülü ile snubber devre bağlantısı gösterilmiştir.

### Akım Algılama Devresi

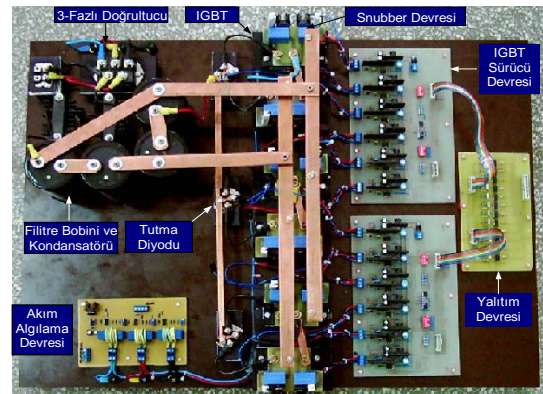
ASM' un hız denetiminde, motorun çektiği faz akımlarının doğru okunması gerekmektedir. Tasarlanan Üç-seviyeli eviricide büyük güçlü motorlarında çalıştırılacağı düşünülerek 50 A'lık akım algılayıcıları kullanılmıştır. Akım algılayıcı olarak LEM firması tarafından üretilen LA 55-P modeli kullanılmıştır. Algılayıcının dönüştürme oranı 1:1000'dir. Akım algılayıcıdan elde edilen analog değerler Sİİ'ye doğrudan aktarılamamaktadır. Akım algılayıcısı, şebekenin negatif alternansında aynı şekilde negatif değerlik vermektedir. Sİİ'nin analog giriş katı sadece pozitif sinyalleri sayısal değere dönüştürebilmektedir. Bu yüzden okunacak akım sinyalinin Sİİ tarafından okunacak değerliklere taşınması gerekir. Bu işlem için ölçme tam skala aralığı belirlenir. Akım algılayıcıdan alınan sinyaller bu ölçme aralıklarını sağlayacak şekilde işlemsel yükselteç ile yükseltilir. Sİİ işlemcinin 0 ile 3.3 V tam skala analog giriş aralığı olması sebebiyle, negatif alternansların okunması için algılayıcı çıkışındaki sinyaller 1.6 V DA sinyal ile işlemsel yükselteçte toplanır. Devrede işlemsel yükselteç olarak TL072 kullanılmıştır. Bu şekilde algılayıcıdaki sinüsoidal sinyalin başlangıç noktası 1.6 V DA değerine çekilmiştir. Aynı zamanda Sİİ'nin ADC girişi için LM1117-ADJ ayarlı gerilim regülatörü kullanılarak 0 ile 5V arasında gerilim ayarı yapılabilmektedir. Üç-seviyeli evirici için tasarlanan akım algılama devresi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Akım algılama devresi

### Pozisyon Algılayıcı

ASM' un gerçek pozisyonun algılanmasında motor miline bağlı Autronics firmasına ait çift kanallı ENB-1024-3-1 (A ve B) artımlı (incremental) algılayıcı kullanılmıştır. Bu algılayıcı her devirde A ve B kanallarından ayrı ayrı ve az kaydırmalı olarak 1024 darbe üretmektedir. A ve B kanallarından üretilen bu darbeler Sİİ'ye sayısal konnektörün QEP1 ve QEP2 pinlerinden işlemciye aktarılır. Elde edilen bu sinyaller kullanılarak motorun gerçek pozisyon ve hız bilgisi elde edilir. Üç-seviyeli eviriciye ait güç devresinin genel görünüşü Şekil 9'da verilmiştir.



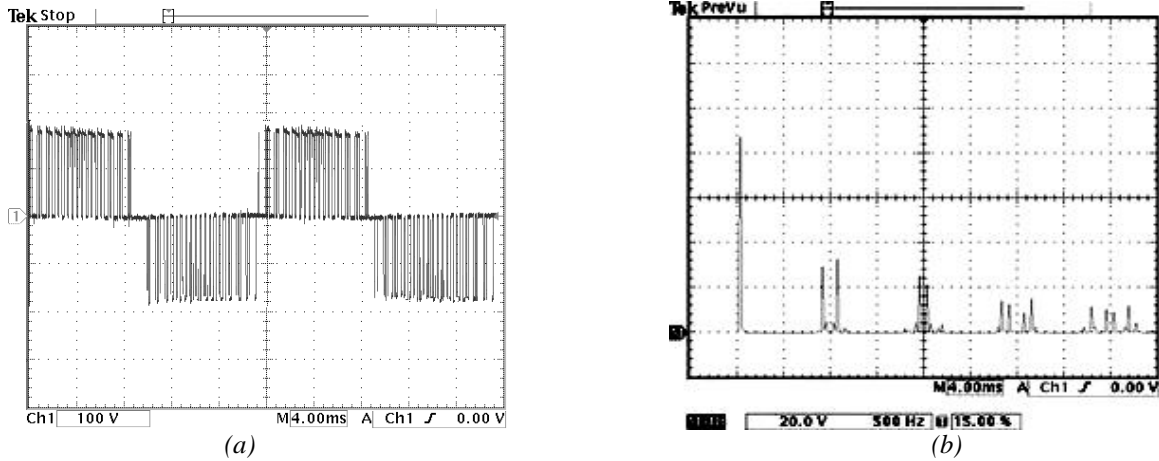
Şekil 9. Güç devresinin genel görünüşü

## Deneyel Sonuçlar

Üç-seviyeli ve iki-seviyeli eviricilerin beslediği ASM' un alan yönlendirmeli denetiminin uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Her iki evirici içinde uzay vektör DGM tekniği kullanılmıştır. Uygulama çalışmaları sırasında eviricilerin besleme gerilimi DA 180V olup anahtarlama frekansı 1 kHz olarak alınmıştır. Uygulamada TMS320LF2407A Sİİ ile denetim gerçekleştirilmiştir. Uygulama verilerinin elde edilmesinde motor hız tepkisi için takogeneratör çıkışı ve faz akımı içinde akım algılayıcı çıkışı kullanılmıştır. Bu çıkışlardan elde edilen veriler Tektronix firmasının ürettiği TDS3014 sayısal osiloskop ile disket sürücü kullanılarak diskete kaydedilerek bilgisayar ortamına

aktarılmıştır. Uygulamada Siemens firması tarafından üretilen 3 fazlı, 3 kW, 380 V, 50 Hz, yıldız bağlı, 4,1 A ve 1420 d/d değerlerine sahip ASM kullanılmıştır. Boş ve kısa devre deneyleri yapılarak motora ait parametreler bulunmuş olup uygulama çalışmalarında kullanılmıştır.

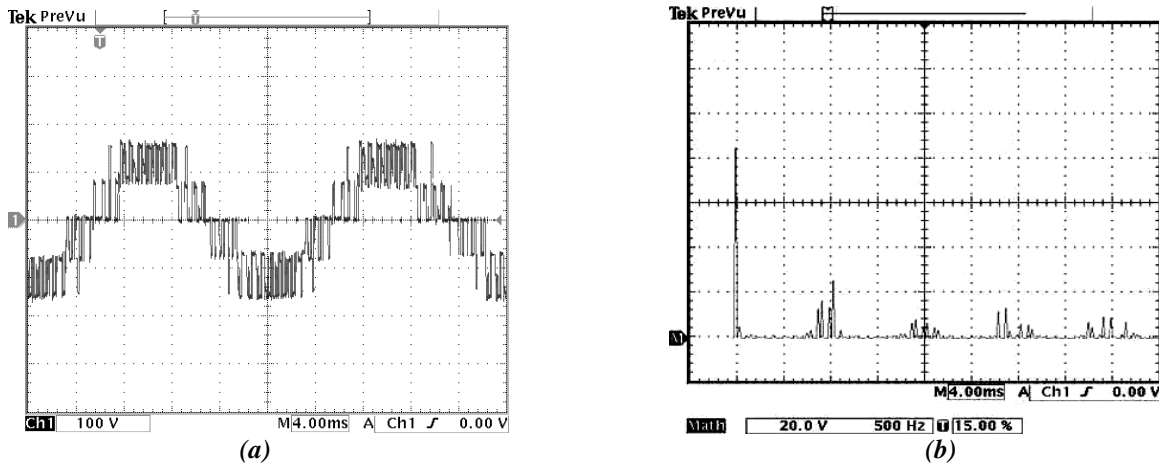
Şekil 10'da, iki-seviyeli evirici tarafından beslenen ASM' un 1500 d/d durumunda boşa çalışırken (a) fazlararası gerilimi ve (b) fazlararası geriliminin harmonik analiz uygulaması sonuçları gösterilmiştir. Fazlararası gerilim, 0V ve 180V olmak üzere iki seviyeden oluşmaktadır. 1 kHz anahtarlama frekansında, temel bileşen ve temel bileşen dışındaki harmonikler, harmonik analizi sonucundan görülmektedir.



Şekil 10. İki-seviyeli eviricinin beslediği ASM' un uygulama sonuçları a) Fazlararası gerilimi b) Harmonik analizi

Şekil 11'de, üç-seviyeli evirici tarafından beslenen ASM' un 1500 d/d durumunda boşa çalışırken (a) fazlararası gerilimi ve (b) fazla arası geriliminin harmonik analiz uygulaması sonuçları gösterilmiştir. Fazlararası gerilim,

0V, 90V ve 180V olmak üzere üç seviyeden oluşmaktadır. 1 kHz anahtarlama frekansında, temel bileşen ve temel bileşen dışındaki harmonikler, harmonik analizi sonucundan görülmektedir.



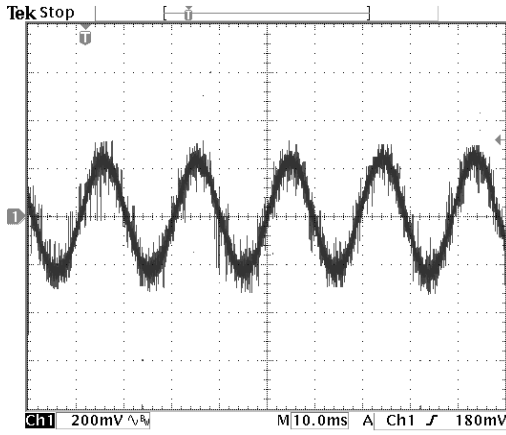
Şekil 11. Üç-seviyeli eviricinin beslediği ASM' un uygulama sonuçları a) Fazlararası gerilimi b) Harmonik analizi

Şekil 10 ve Şekil 11 incelendiğinde, üç-seviyeli eviricinin fazlararası gerilimi üç seviyeden oluşurken, iki-seviyeli eviricinin fazlar arası gerilimi ise iki seviyeden oluşmaktadır. Ayrıca fazlararası geriliminin harmonik analiz sonucunda, üç-seviyeli eviricinin harmonik

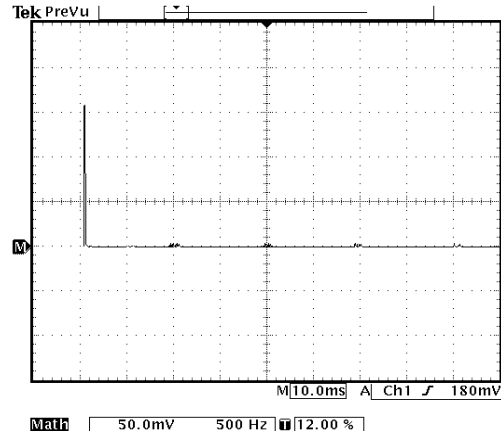
analizinin, iki-seviyeli eviricinin harmonik analizine göre harmonik bileşen genliklerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 12’de, iki-seviyeli evirici tarafından beslenen ASM’ un 1500 d/d durumunda boşta çalışırken (a) faz akımı ve (b) faz akımının harmonik analiz uygulama sonuçları gösterilmiştir. Şekil 12 (a)’da görüldüğü gibi akım algılayıcıdan elde edilen faz akımının dikey eksenindeki her

bir karenin değeri 200 mV olup, yaklaşık olarak 0.571 A değerindedir. Aynı şekilde Şekil 12 (b)’de ise dikey eksenindeki her bir karenin değeri 50 mV olup, yaklaşık olarak 0.142 A değerindedir.



(a)

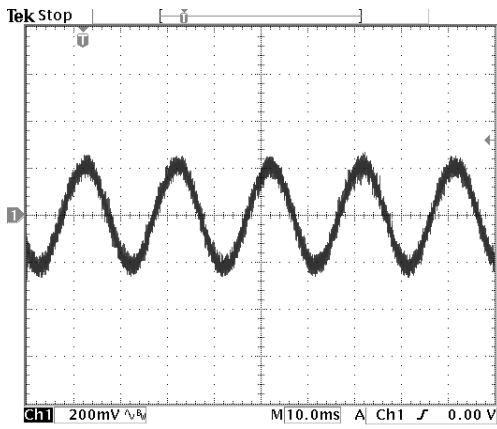


(b)

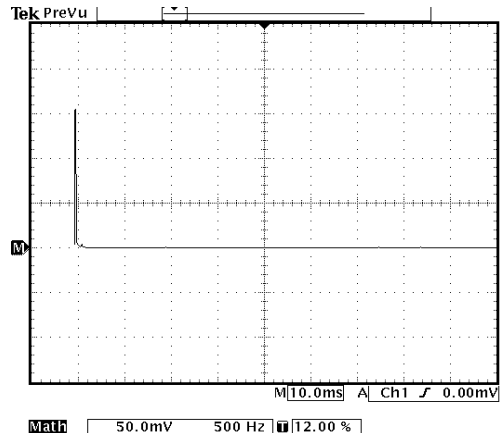
Şekil 12. İki-seviyeli eviricinin beslediği ASM’ un uygulama sonuçları a) Faz akımı b) Harmonik analizi

Şekil 13’de, üç-seviyeli evirici tarafından beslenen ASM’ un 1500 d/d durumunda boşta çalışırken (a) faz akımı ve (b) faz akımının harmonik analiz uygulama sonuçları gösterilmiştir. Şekil 13 (a)’da görüldüğü gibi akım algılayıcıdan elde edilen faz akımının dikey eksenindeki her

bir karenin değeri 200 mV olup, yaklaşık olarak 0.571 A değerindedir. Aynı şekilde Şekil 13 (b)’de ise dikey eksenindeki her bir karenin değeri 50 mV olup, yaklaşık olarak 0.142 A değerindedir.



(a)



(b)

Şekil 13. Üç-seviyeli eviricinin beslediği ASM’ un uygulama sonuçları a) Faz akımı b) Harmonik analizi

Şekil 12 ve Şekil 13 incelendiğinde, üç-seviyeli eviricinin beslediği asenkron motorun faz akımının iki-seviyeli eviriciye göre sinüsoidal daha yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca faz akımlarının harmonik analiz sonucunda, üç-seviyeli eviricinin harmonik analizinin, iki-seviyeli eviricinin harmonik analizine göre harmonik bileşen genliklerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

modülü, akım algılama devresi, pozisyon algılayıcı, doğrultma devresi ve güç kaynaklarından oluşmaktadır. Üç-seviyeli ve iki-seviyeli eviricilerin beslediği ASM’ un faz akımları ve fazlar arası gerilimleri karşılaştırılmıştır. Uygulama sonuçlarına göre, üç-seviyeli eviricinin beslediği ASM’ un fazlar arası geriliminin ve faz akımının harmonik bileşen genliklerinin iki-seviyeli eviriciye göre daha düşük olduğu görülmüştür.

## Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada üç-seviyeli nötr-nokta tutmalı evirici tasarlanmış olup uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen üç-seviyeli nötr-nokta tutmalı evirici ile ASM’ un hız denetimi sağlanmıştır. Sistemde kullanılan donanım; Sİİ, yalıtma ünitesi, IGBT sürücü devresi, IGBT

## Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde 569 nolu proje finansman desteği sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimine teşekkür etmektedirler.

**Kaynaklar**

- Bingöl, O. 2005. Yapay Sinir Ağı İle Modellenen Alan Yönlendirmeli Bir Asenkron Motorun Üç Seviyeli Evirici İle Hız Denetimi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 106-117.
- Celanovic, N., Boroyevich, D. 2000. A Comprehensive Study of Neutral- Point Voltage Balancing Problem in Three- Level Neutral- Point- Clamped Voltage Source PWM Inverters, IEEE Transactions on Power Electronics, 15, 242–249.
- Elmas, Ç., Bingöl, O. 2003. Üç-Seviyeli Evirici İle Asenkron Motor Hız Denetimi, 3<sup>rd</sup> International Advanced Technologies Symposium. Ankara, Turkey, 445-456.
- Mitsubishi Electric, 1998. Mitsubishi Semiconductors Power Modules Mos, General Considerations for IGBT and Intelligent Power Modules. [http://www.mitsubishichips.com/Global/files/manuals/powermos3\\_0.pdf](http://www.mitsubishichips.com/Global/files/manuals/powermos3_0.pdf), September.
- Holtz. J. 1994. Pulsewidth Modulation for Electronic Power Conversion. Proceedings of the IEEE, 82, 8, August, 1194-1214.
- Lai, J. S., Peng, F. Z. 1996. Multilevel Converters-A New Breed of Power Converters. IEEE Transactions on Industry Applications, 32, 509-517.
- Lee, Yo-H., Suh, B.S., Hyun, D.S. 1994. A Novel PWM Scheme for a Three-Level Voltage Source Inverter With GTO Thyristors. IEEE Transactions on Industry Applications, 32, 1151–1157.
- Marchesoni, M., Mazzuchalli, M., Tenconi, S., 1990. Anon Conventional Power Converter for Plasma Stabilization, IEEE Trans., on Power Electronics, 5, 212-219.
- Meynard, T. A., Foch, H. 1992. Multi-Level Conversion: High Voltage Choppers and Voltage-Source Inverters. IEEE Power Electronics Specialists Conference, 1, 29 June-3 July, 397-403.
- Nabae, A., Takahashi, I. Akagi, H. 1981. A New Neutral-Point- Clamped PWM Inverter. IEEE Transactions On Industry Applications. IA-17, 518–523.
- Texas Instruments, 2001. TMS320LF2407 Evaluation Module Technical Reference, (1-1) (c-7)
- Zhang, J. 1995. High Performance Control Of A Three-Level IGBT Inverter Fed AC Drives, Industry Applications Conference, Thirtieth IAS Annual Meeting, IAS'95, 1, 8-12 October, 22-28.