

# UVA ANAHTARLAMA İŞARETLERİNİN MİKRODENETLEYİCİLERLE ÜRETİLMESİ

T. ERFİDAN  
Kocaeli Üniversitesi Müh.Fak. Elektrik Mühendisliği Bölümü, 41100, Kocaeli  
tarik@kou.edu.tr

S. ÜRGÜN  
Kocaeli Üniversitesi Müh.Fak. Elektrik Mühendisliği Bölümü, 41100, Kocaeli  
urgun@hotmail.com

B. ÇAKIR  
Kocaeli Üniversitesi Müh.Fak. Elektrik Mühendisliği Bölümü, 41100, Kocaeli  
bcakir@kou.edu.tr

## Özet.

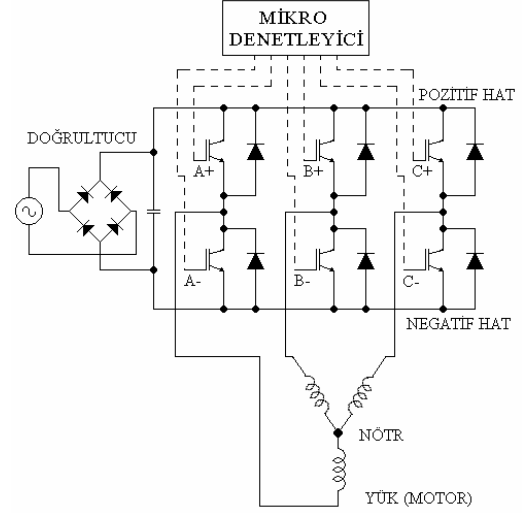
Üç fazlı Darbe Genişlik Ayarı (DGA) eviriciler yüksek güçlü ve verimli endüstriyel uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde anahtarlama teknolojileri geliştirilerek, basit mikrodeneleyicilerle elde edilebilen ve verimi DGA yönteminden daha üstün olan Uzak Vektör Ayarı (UVA) yöntemi geliştirilmiştir. Bu makalede üç fazlı IGBT eviricilerle beslenen asenkron motorun yüksek verimli denetimi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar DGA ve UVA yöntemleri için gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

## I. GİRİŞ

Uzak Vektörlerinin Ayarı (UVA), üç fazlı eviriciler için sinüsoidal gerilim üretmekte kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Şekil 1'de evirici arabirimli motor sürücü sistemi görülmektedir. Burada yük olarak endüksiyon, relüktans ya da fırçasız DA motoru kullanılabilir. Şekil 1'de denetim biriminin ürettiği işaretler yarı iletken anahtara gönderilmekte ve evirici ile yüke sinüsoidal gerilim verilmektedir. Sinüsoidal ağırlıklı DGA, anahtarlama işaretlerini sabit frekansta yarı iletken anahtara iletir. Şekil 1'in üst tarafındaki yarı iletken anahtarlara gönderilen DGA işaretleri  $120^\circ$  faz farkı olmalıdır. Alt taraftaki yarı iletken anahtarlara gönderilen DGA işaretleri, üst taraftaki yarı iletken anahtarlara gönderilen işaretlerin tümleyeni olmalı ve bu DGA işaretleri ani akım değişimlerini engelleyecek ölü zamanı içermelidir.

İstenen sinüsoidal ağırlıklı DGA işaretleri PIC mikrodeneleyicinin EEPROM saklayıcısı veya ek hafıza birimi (EPROM) kullanılarak elde edilebilir. Değişken genlikli sinüsoidal sinyaller üretmek için sinüs tablosu değişik değerler için ölçeklendirilebilir.

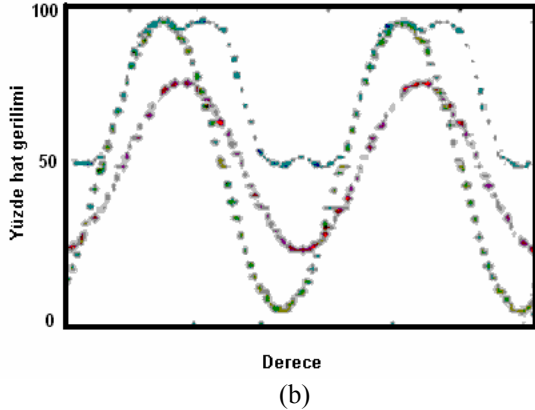
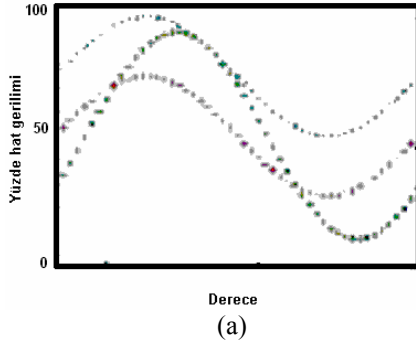
Mikrodeneleyicilerle bilgi tablosundan okunan değerler bir'den fazla okunarak düşük frekanslı işaretler ya da okuma işlemi atlama yapılarak yüksek frekanslı işaretler elde edilebilir.



Şekil 1 Tipik evirici beslemeli DHS sistemi

Şekil 2.a' da filtrelenmiş en büyük genlikli sinüsoidal ağırlıklı DGA çıkış gerilimleri görülmektedir. Bu eğriler, ölçülen faz gerilimlerinin yüzde değerleridir ve burada negatif hat referans alınmıştır. Şekil 2.'deki eğrilerden faz-faz gerilimlerinin genlikleri evirici faz geriliminin yalnızca %86'sıdır. Burada faz-faz gerilimi  $V_{AB}$ 'nin pozitif ya da negatif faz gerilimlerine ulaştığı kabul edilebilir. Örneğin, Şekil 1'deki A+ ve B- anahtarları iletimde olursa  $V_{AB}$  evirici faz gerilimine eşit olur. Bu düşük faz-faz gerilimi sinüsoidal ağırlıklı DGA yönteminin en önemli sakıncasıdır. Burada UVA yöntemi kullanılsaydı motora daha büyük genlikli gerilimler uygulanabilirdi.

Motor denetiminde faz-nötr gerilimi ( $V_{AN}$ ) ve indüklenen faz gerilimi her bir fazdan geçen akımı belirler. Faz akımları da motor momentini belirlemektedir. Böylece, faz-nötr geriliminin sinüsoidal olmasının önemli olduğu ve faz gerilimlerinin neye benzediğinin önemli olmadığı görülür. UVA ile faz gerilimi sinüsoidal üretilmez, fakat faz-nötr yada faz-faz gerilimleri Şekil 2.b'de görüldüğü gibi sinüsoidaldir. Bundan başka faz-faz geriliminin genliği evirici faz geriliminin tamamına ulaşır ve buda göstermektedir ki UVA sinüsoidal gerilim üretmek için büyük bir üstünlüğe sahiptir.

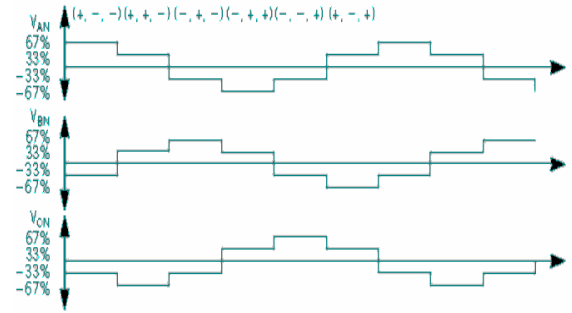


Şekil 2. (a) UVA ile elde en büyük çıkış gerilimi  
(b) UVA ile elde edilen hat-hat ve hat-nötr gerilimleri

UVA'yı tamamlamak için sinüsoidal ağırlıklı DGA algoritması kullanılabilir ve EPROM sinüs tablosu Şekil 2.b'de görülen faz gerilimi dalga şekli ile yer değiştirebilir. Gerçekte, Şekil 2.b'de görüldüğü gibi sonsuz sayıdaki faz gerilimleri aynı faz-nötr gerilimlerini üretebilir. Öyleyse, neden bilinen diğer DGA yöntemleri yerine UVA kullanılsın? Bu sorunun cevabı UVA'nın vektör denetim şemasına çok uygundur. UVA'nın cazip olmasının diğer nedeni de faz gerilim eşitliklerinin basit bir şekilde uygulanabilir olmasıdır. İyi bir UVA algoritması hat gerilimini hesaplayabilir ve burada  $60^\circ$ 'lik bilgi içeren basit ve küçük bir bilgi tablosu yeterli olacaktır. UVA denklemlerinin basit hesaplamaları vardır çünkü negatif sayılar içermezler.

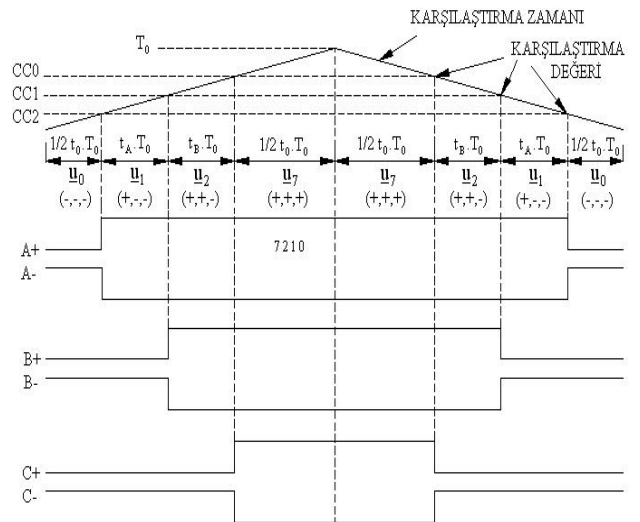
## II. UVA YAPISI ve 6-ADIMLI KLASİK DGA YÖNTEMİNE ÜSTÜNLÜKLERİ

UVA'da mikrodenetleyici algoritmasının ve fazla ayarın (over modulation) açıklanması için ilk olarak bilinen altı-adım yöntemi ile UVA'nın sinüsoidal hat-nötr gerilimini nasıl ürettiğine bakalım. Şekil 3'te eviriciden altı-adım yöntemi kullanılarak elde edilen saf dirençli ve dengeli yükteki gerilimler görülmektedir. Her bir adımda evirici anahtarları sabit konumdadır. Eviricini konumu (x,x,x) işaret sistemi ile gösterilir. Örneğin evirici konumu (+,-,+) ise transistör A+, B- ve C+'nın iletimde olduğu belirtilir.



Şekil 3. 6-adımlı eviricinin ürettiği faz gerilimleri

UVA'nın açıklanmasının bir yolu da, altı adım yönteminde adımların ortadan kaldırılması için karmaşık ortalama tekniğinin kullanıldığını belirtmesidir. Gerekli gerilim evirici konumları (+,-,-) ve (+,+,-) arasında kabul edilirse, UVA bir DGA çevriminde ( $T_0$ ),  $t_A$  anında uygulanan ilk durum (+,-,-) ve bir sonraki  $t_B$  anında ki durum (+,+,-) arasında yaklaşım yapabilir. Eğer DGA çevriminde kullanılmayan her hangi bir zaman varsa, UVA kullanılmayan bu zaman ( $t_0$ ) boyunca evirici konumunu (+,+,+) ya da (-,-,-) yaparak yüke sıfır gerilim uygular. Bu tip UVA uygulamaları her bir evirici konumunun etkin olduğu zaman dilimleriyle ilgilendir. Şekil 4 simetrik DGA için anahtarlama dizisini ve  $T_0$ ,  $t_A$ ,  $t_B$  ve  $t_0$  anları ile bu dizinin ilişkisini göstermektedir. Bu çeşit simetrik DGA'nın üstünlükleri vardır çünkü çok az anahtarlama sayısı içerir ve düşük moment titreşimleri üretilir.



Şekil 4. Simetrik UVA işaretlerinin elde edilmesi.

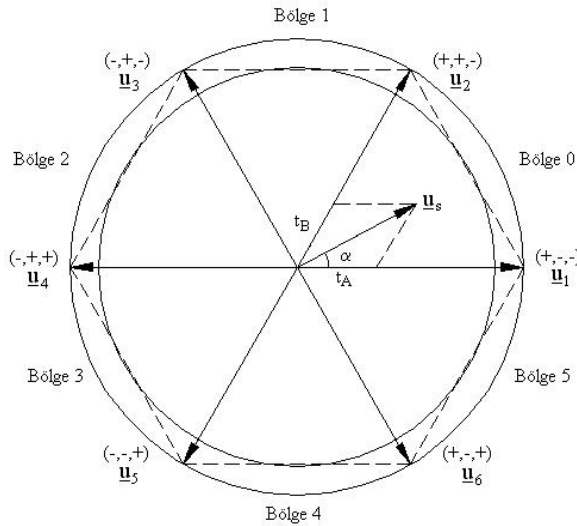
Şekil 4.'teki uygulama PIC16F877 işlemcisi temel alınarak yapılmıştır. Karşılaştırma zamanı, çıkış uçlarını anahtarlama yaparak simetrik DGA işaretleri üretir. Bu işaretler karşılaştırma zamanı ve karşılaştırma seviyesi kullanılarak yapılır. Karşılaştırma değeri ve  $t_A$ ,  $t_B$  ve  $t_0$  arasındaki ilişki Şekil 4'ten görülebilir.

$$\begin{aligned}
CC0 &= (t_0/2) * T_0; \\
CC1 &= ((t_0/2) + t_A) * T_0; \\
CC2 &= (1 - (t_0/2)) * T_0;
\end{aligned} \quad (1)$$

Altı-adım yöntemi gerilimlerinin grafiksel olarak gösterimi için  $t_A$  ve  $t_B$  değerlerinin hesaplanması gerekir. Altı-adım yönteminde faz-nötr gerilimlerinin uzay vektörüne dönüştürülmesi ve vektörlerin karmaşık düzlemde çizilebilmesi için Şekil 5'te görülen vektörler üretilir. Denklem 2 kullanılarak üç fazlı niceliklerde dönüşüm yapılabilir ve bu durumda faz-nötr gerilimlerinin uzay vektörü toplamları sıfır olur.

$$\mathbf{u}_s = V_{AN}(t)e^{j0} + V_{BN}(t)e^{j2\pi t} + V_{CN}(t)e^{-j2\pi t} \quad (2)$$

Şekil 5'te altı adet ayrıık uzay vektörü vardır ve her bir vektör altı-adım çalışmanın bir konumuna denk gelir.



**Şekil 5.** Hat-nötr gerilimlerinin altı-adımlı uzay vektörlerine dönüştürülmesi ve vektörlerin karmaşık düzlemde çizilmesi.

Burada  $\mathbf{u}_s$ ,  $\alpha$  açısına ve  $U$  genliğine sahip uzay vektör gerilimidir. Eğer sinüsoidal üç faz gerilimleri doğrudan uzay vektörüne dönüştürülürse,  $U$  değeri her zaman sabit kalır fakat  $\alpha$  sabit oranda artar. Eğer  $\alpha$  yavaş bir şekilde artıyorsa UVA algoritması her bir anahtarlama çevriminde  $U$  ve  $\alpha$ 'yı sabit kabul eder. Altı temel vektör haricindeki her hangi bir vektör için gerilim iki vektör arasındadır. Algoritma, komşu iki temel vektör arasında bir yaklaşım yapmalıdır. İki komşu temel vektör üzerinde  $\mathbf{u}_s$  gösterimi  $t_A$  ve  $t_B$  değerlerini verir. Denklem 3 kullanılarak  $\mathbf{u}_s$  Bölge 0'da ki  $t_A$  ve  $t_B$  değerleri belirlenir.

$$\begin{aligned}
t_B &= 2U(3^{-1/2})\sin(\alpha); \\
t_A &= U[\cos(\alpha) - (3^{-1/2})\sin(\alpha)]; \\
t_0 &= T_0 - t_A - t_B;
\end{aligned} \quad (3)$$

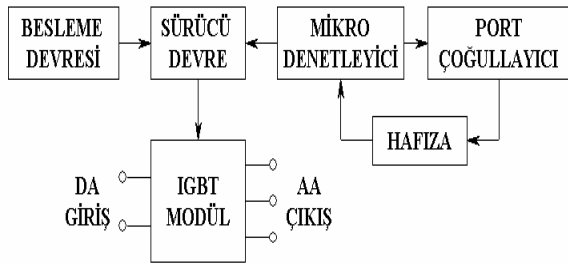
UVA için verilen denklemler gösteriyor ki  $\mathbf{u}_s$  vektörü altıgen vektörlerin dışında bulunduğu fiziksel olarak mümkün olmasa da  $t_0$  negatif olmaktadır. Bunun anlamı  $U$  genliğinin uzunluğu Şekil 5'te gösterilen iç dairenin yarı çapından büyüktür, fakat bu mümkün olamaz. İç daire ve altıgen arasındaki gerilimler ulaşılabilir fakat sinüsoidal olarak üretilemezler çünkü vektör altıgen sınırı kesmeden  $360^\circ$  dönemez. Yukarıdaki  $t_A$  ve  $t_B$  denklemleri  $\mathbf{u}_s$  vektörü Bölge 0'da olduğunda geçerlidir. Eğer  $\mathbf{u}_s$  Bölge 0'ın dışında ise denklemin sonuçları hala kullanılabilir fakat algoritma vektör Bölge 0'da oldukça vektörü  $60^\circ$ 'lik artımlarla geri çevirir. Mikrodenetleyici uygun anahtarlama durumlarına göre  $t_A$  ve  $t_B$  değerlerini uygular.

### III. UVA'NIN BİLGİ TABLOLARI İLE UYGULANMASI

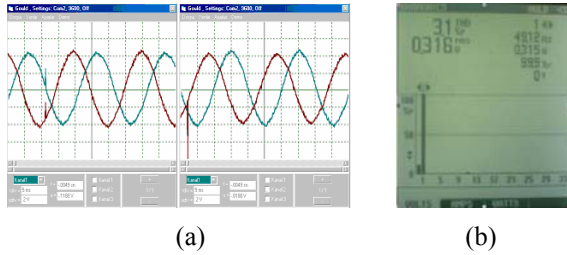
Karşılaştırma değerinin hesaplanması için  $t_A$ ,  $t_B$  ve  $t_0$  değerlerinin hesaplanması gerekir. Bu değişkenlerin de hesaplanabilmesi için sinüs ve kosinüs değerlerinin bilinmesi ve birkaç çarpma işleminin yapılması gerekir. Yapılacak bütün işlemler için 8-bit'lik mikrodenetleyici yapısı uygundur. Örneğin karşılaştırma zamanı için 0'dan 0xFF değerine kadar bir saat çevrimi programlanırsa, mikrodenetleyici karşılaştırma değerlerini 8-bit olarak saklar. Eğer, Bölge sıfır 256 açıdan oluşuyorsa  $\alpha$  açısının gerçek değeri  $0,235^\circ$  dir. Bu derecedeki doğruluk bütün hız denetimli sistemler için ihtiyaçtan ötesidir. Her bir bölgedeki 256 açılık bölünmenin manası  $\alpha$ 'nın 11-bit'ten fazla yer tutmasıdır. Bu uzunluk uygundur çünkü en önemli üç bit bölgeyi gösterir ve en az ağırlıklı 8-bit bölge içindeki açı değerlerini gösterir. Mikrodenetleyici bu değerleri iki byte'a saklayabilir. En az ağırlıklı byte her zaman  $t_A$  ve  $t_B$  denklemlerinde kullanılır, çünkü bu değerler her zaman sıfırdan büyük olacaktır. Mikrodenetleyici negatif değerleri her zaman göstermeyebilir. Mikrodenetleyici aynı işlevi  $t_A$  içinde yapar. Bununla beraber,  $t_A$  içinde alıştırma yapılırsa bilgi tablosunun  $t_B$  ile aynı olduğu görülür fakat değerler ters işaretlidir. Mikrodenetleyici  $t_A$  ve  $t_B$  için değerleri aynı bilgi tablosunda saklayabilir. Çünkü tablo 256 byte uzunluktadır, aynı gösterge ( $\alpha$ )  $t_A$  ve  $t_B$  için yeniden elde edilir. Mikrodenetleyici basit olarak göstergenin tümleyenini alır. Böylece mikrodenetleyici  $t_A$  ve  $t_B$  değerlerini büyük açı değerleri için iki bilgi tablosu ve iki çarpım işlemi kullanarak elde eder.

#### IV. DENEYSEL SONUÇLAR

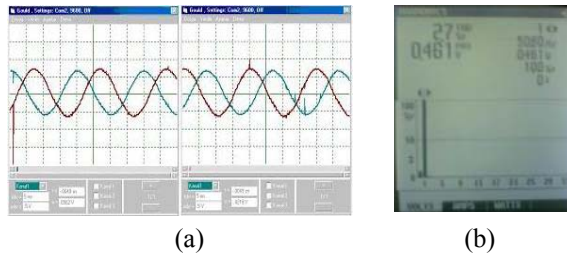
UVA ve DGA'nın pratik olarak gerçekleştirilmesi için Şekil 6. 'da blok şeması verilen devre kurulmuştur. Yük olarak dengeli R-L ( $R=47\Omega$   $L=700mH$ ) kullanılmıştır. Şekil 7. 1.5kHz anahtarlama frekanslı DGA'ya ait iki faz akımı ve faz akımındaki harmonikleri ve Şekil 8. ise 1kHz anahtarlama frekanslı UVA'ya ait iki faz akımı ve faz akımındaki harmonikleri göstermektedir.



Şekil 6. Uygulama devresinin blok şeması.



Şekil 7. 1.5 kHz anahtarlama frekanslı DGA'da (a) Faz akımları, (b) Yük direnç gerilimi üzerindeki harmonikler.



Şekil 8. 1 kHz anahtarlama frekanslı UVA (a) Faz akımları, (b) Yük direnç gerilimi üzerindeki harmonikler.

Şekil 7.'de anahtarlama frekansı 1,5 KHz olan DGA'lı blok devre ile akım dalga şeklindeki toplam harmonik bozulmanın %3,1 ve temel bileşenin tepe değerinin 0,316A olduğu görülmektedir. Aynı uygulama, Şekil 8'de de görüldüğü gibi daha düşük frekanstaki (1KHz) UVA'lı blok devre ile akım dalga şeklindeki toplam harmonik bozulmanın %2,7 ve temel bileşenin tepe değerinin 0,461A olarak elde edilmiştir.

Dolayısıyla sonuçlar incelendiğinde, anahtarlama frekansının düşük olmasına rağmen yük akımı üzerindeki harmonik etkiler UVA'lı uygulamanın DGA'ya göre daha iyi olduğu açıktır. Aynı zamanda yük akımının genliği, yani hat geriliminden yararlanma oranı, UVA'nın DGA'dan daha fazla olduğu gözlenmiştir.

#### V. SONUÇLAR

Bu çalışmadan görüleceği üzere UVA, sayısal denetime uygunluğu, ucuz maliyetli PIC mikrodenetleyiciler ile kolaylıkla elde edilebilmesi, klasik yöntemlere göre daha fazla D.C. hat gerilimini kullanması ve daha az harmonik bileşenler üretmesi gibi avantajlarından dolayı klasik DGA yöntemlerinin yerine kullanılması çok daha uygundur.

#### KAYNAKLAR

1. S.Bolognani, M.Zigliotto, "Space Vector Fourier Analysis of SVM Inverters in the Overmodulation Range", IEEE 0-7803-2795-0, 1996
2. P.C.Luk, K. Khanlchi, "A Low Cost Pc-Based User Interactive Induction Motor Drive System", IEEE, 0-7803-2775-6/96, 1996
3. S.Mazumder, "Complete Mathematical Analysis of Ripple Current as a function of the Modulation index for Direct Indirect and bus Clamped Space Vector Modulation Techniques", IEEE, 0-7803-3946-0/97, 1997
4. C.B.Jacobina, A.M.N.Lima, E.R.C.da Silva, "PWM Space Vector Based in Digital Scaler Modulation", IEEE 0-7803-3840-5/97, 1997
5. ERFİDAN T., ÜRGÜN S., ÇAKIR B., KARABAĞ Y., "Geliştirilmiş DGA İşaretlerinin PIC Mikrodenetleyicilerle Üretilmesi", II. Otomasyon sempozyumu, Manisa sayfa: 61-66, EMO yayın no: SK/2003/4, 10/2003
6. (S. ÜRGÜN, T. ERFİDAN, Y. KARABAĞ, B. ÇAKIR) "Üç Fazlı Eviricilerin Mikro-Denetleyici İle Denetimi", International Journal of Computational Intelligence, Vol. 1 No. 2, pp. 462-466. 09/2003