

# Oc faz tam dalga denetlenebilir silisyum doğrultmaçlardan oluşan köprünün çözümlenmesi

Kurtça Doğan , Arda Kısakürek

UDK: 621.382.233:621.314.6

## ÖZET

Bu yazıda üç faz tam dalga denetlenebilir silisyum doğrultmaçlardan (DSD) oluşan köprünün çözümlenmesi yapılmıştır. DSD'lerin ateşleme sırası belirlenmiş ve çıkış dalga şekli ile DSD üzerindeki gerilimin dalga şekli çeşitli gecikme açıları için tartışılmıştır. Köprünün gecikme açısına göre evirgeç (inverter) olarak çalışması da anlatılmıştır.

## SUMMARY

*Operation of the three-phase full trave silicon controlled rectifier bridge is analysed.*

*Triggering sequence of the SCR's is determined and waveforms and voltage waveforms across the SCR's for various delay angles are discussed.*

*Inverter mode of operation in relation to the delay angle is described.*

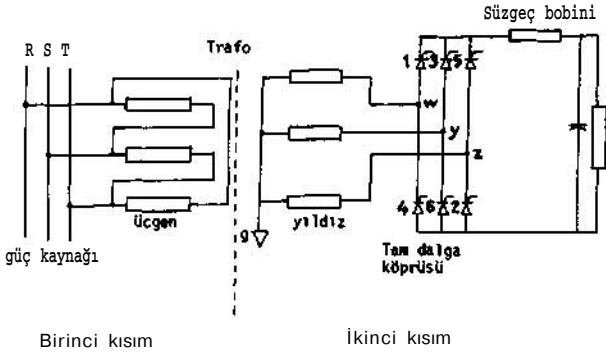
İncelememize güç kaynağı, trafo, tam dalga köprüsü, süzgeç bobini, süzgeç sığacı ve yükten oluşan sistemi göz önüne alarak başlayalım (Şekil 1).

Burada güç kaynağı Uç fazlıdır; trafo üçgen-yıldız bağlanmıştır; tam dalga köprüsünün koruma devreleri (snubber) çözümlenmeyi yalınlaştırmak için yok kabul edilmiştir; yükün niteliği ise ele alınmamış, çözümlenme herhangi bir yük için yapılmıştır.

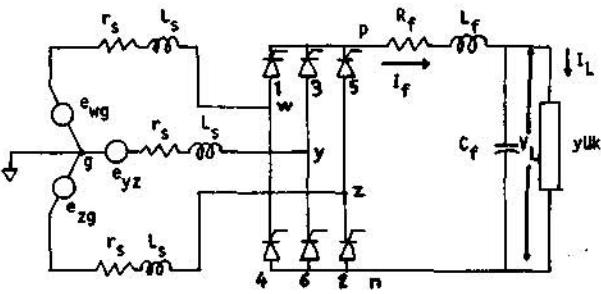
Sistemin trafodan sonraki bölümünü göz önüne alırsak, g toprak gerilimi olmak üzere, trafoyu gerilim kaynakları, endüktans ve dirençlerden oluşmuş kabul edebiliriz. Aynı şekilde, süzgeç bobinleri direnç ve endüktans olarak modellenenebilir (Şekil 2).

Şekil 2'de ewg,W noktasının toprağa göre gerilimini, yani, trafonun üçgen kısmının bir kolundaki gerilimini göstermektedir.  $e_{yg}$  ve  $e_{zg}$  de öteki kolların gerilimleridir.  $r_s$  ve  $L_s$  trafonun her bir kolunun direnç ve endüktans değerleri, Rf ve Lf ise süzgeç bobininin direnç ve endüktans değerleridir, p noktası, köprünün doğru akım yolunun artı noktası ile birleştiği yeri; n noktası ise köprünün, doğru akım yolunun eksi noktası ile birleştiği yeri göstermektedir.

Kurtça Doğan ve Arda Kısakürek, NASAŞ



Şekil 1. Üç fazlı DSD'lerden oluşan tam dalga köprüsü.



Şekil 2. Birinci şeklin, ikinci kısmının idealize edilmiş devre elemanları ile gösterilmesi.

İf köprüden geçen akım,  $V_L$  yük gerilimi,  $I_L$  ise yük akımıdır. DSD'ler genel tanıma uyularak Şekil 2'deki gibi numaralanmıştır. Yani, 1 inci DSD W ile P noktası arasında yer almaktadır, vb.

Şekil 3a'da sırası ile  $V_{wg}$ ,  $V_{yg}$  ve  $V_{zg}$  gerilimleri görülüyor. Bir kez daha hatırlatalım ki bunlar her fazın nötr noktasına göre gerilimleridir. Gerilimler arasında  $120^\circ$  faz açısı vardır. Şekil 3a'nın çizimi  $ut$ 'nin çeşitli değerlerine göre yapılmıştır, tüt " $30^\circ$  iken  $Yzg=0$ ,  $V_{wg} \ll +/3/2 V_c.b.$  ve  $V_{yg} \ll -/J/2 V_c.b.$  dir.  $ut = 60^\circ$  iken  $V_{wg} \ll +/V_c.b.$  ve  $V_{yg} \ll -/B \ll -/2 V_c.b.$  dir.  $ut = 90^\circ$  de  $V_{yg} \ll -/0$  olur.  $V_{wg} \ll -/T/2 V_c.b.$ ,  $V_{zg} \ll -/5/2 V_c.b.$  dir.

Şekil 3a'yı bakarak hangi DSD'leri, ne zaman ateşleyeceğimize karar vermeliyiz:

$ut \ll 30^\circ$  iken  $V_{wg}$  en artı ve  $V_{yg}$  ise en eksidir. Şu halde akım w den hareketle yükten geçerek y ye gelmelidir, bu ise yolun w, DSD1, p, yük, n, DSD2 ve y noktalarından geçmesini gerektirir. Böylece  $ut = 30^\circ$  için 1 inci ve 6 inci DSD'lerin ateşlenmesi gerekir,

$ut \ll 90^\circ$  iken  $V_{wg}$  en artı ve  $V_{zg}$  en eksidir. Şu halde akım, w den hareketle yükten geçerek z ye gelmelidir; bu ise yolun w, DSD1, P yük n DSD2 ve z noktalarından geçmesini gerektirir. Bunun içinse,  $ut \ll 90^\circ$  iken 1 inci ve 2 nci DSD'ler ateşlenir. Burda 6 ncı DSD yerine 2 nci DSD ateşlenmiştir.

Aynı şekilde düşünmeye devam edilerek  $ut \ll 150^\circ$  için 3 üncü ve 2 nci DSD'lerin;  $ut \gg 210^\circ$  için 3 üncü ve 4 üncü DSD'lerin;  $ut = 270^\circ$  için 5 inci ve 4 üncü DSD'lerin;  $ut = 330^\circ$  için 5 inci ve 6 ncı DSD'lerin ateşlenmesi gerektiği bulunur. Burada dikkati çeken bir nokta, her bir DSD'nin 2 kez üst üste ateşlendiği ve sonra da sırasını bir başka DSD'ye bıraktığıdır.

Altı DSD'nin her biri bir dönem boyunca köprünün iletimine değişik zamanlarda katılmak zorundadır. Bu zorunluluk üç fazlı köprünün yapısından gelir. Bunun sonucu olarak bir köprüde altı değişik tip ateşleme olması gerekir. Şu halde her değişik ateşleme aralığı  $60^\circ$  olmalıdır. Halbuki bir dönem boyunca herhangi bir faz-nötr geriliminin, öteki faz-nötr gerilimlerine göre arttığı süre ancak  $120^\circ$  dir (fazlar arası  $120^\circ$  dir).  $60^\circ$  de bir ateşleme olması gerekliliği ile bir fazın  $120^\circ$  lik süre içinde ötekilerden daha arttığı düşünülürse, artı olan faza ilişkin DSD'nin iki kez peşpeşe iletimde bulunma gerekliliği kendiliğinden ortaya çıkar.

Sonuçta, Şekil 3b'deki ateşleme sırası elde edilir.

Yukarıda anlatıldığı gibi, bir dönem boyunca birbirinden  $60^\circ$  farklı 6 adet ateşleme olması gerekir. Yani 6 adet değişim aralığı olmalıdır. Her değişim aralığında bir grup DSD iletimden çıkarak, yeni bir grup iletime girmektedir (Şekil 3c). Örneğin 1 inci değişim aralığında (commutation) 5 inci DSD iletimden çıkararak 1 inci DSD iletime girer. 2 nci değişim aralığında ise 6 ncı DSD iletimden çıkararak 2 nci DSD iletime girer.

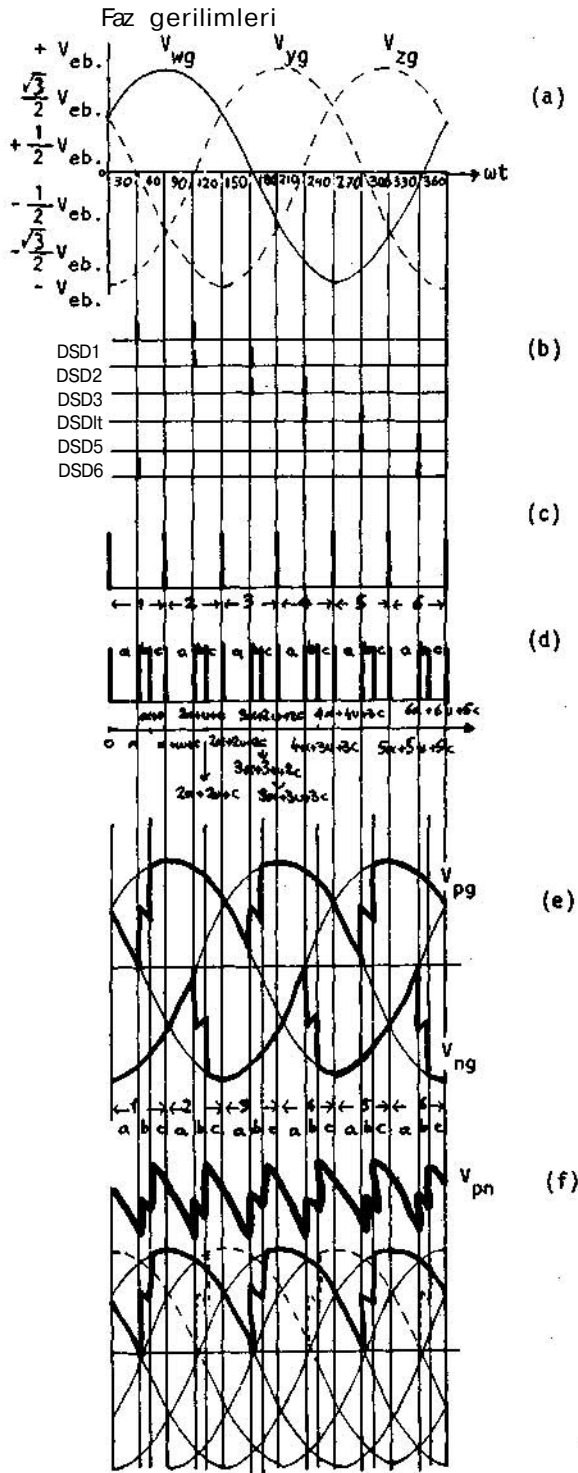
Yine değişim aralığının incelenmesi ile üç ayrı tip iletim görülür, örneğin, 1 inci değişim aralığının bir bölgesinde 5 ve 6 ncı DSD'ler, bir bölgesinde 1 ve 6 ncı DSD'ler ve bir bölgesinde de 1,5 ve 6 ncı DSD'ler iletimdedirler. Bu nedenle her değişim aralığı üç alt bölgeye ayrılır (a, b ve c). a bölgesine gecikme, b bölgesine değişim (commutation) ve c bölgesine de serbest iletim denir (Şekil 3d). a bölgesi a gecikme açısı ile, b bölgesi ise u değişim açısı ile tanımlanır [1].[2].

$0 < ut < a$  iken yani 1 inci değişim aralığının a gecikme bölgesinde sadece 5 ve 6 ncı DSD'ler iletimdedir. Akım yolunu çizerek (Şekil 4), akımın z, DSD5, p, yük, n, DSD2 ve y noktalarını izlediğini görürüz. Bu durumda  $V_{pn} - V_{pg} - V_{ng}$  olur. öte yandan iletimde olan DSD kısa devre, yani üzerindeki gerilim düşümü yok varsayılırsa  $V_{pg} - V_{zg}$  ve  $V_{ng} \gg V_{yg}$  dir. Buradan  $V_{pn} - V_{zg} - V_{yg}$  olur.

Şekil 3e'nin la aralığında 5 inci DSD iletimde olduğundan  $V_{pg} - V_{zg}$  ve 6 ncı DSD iletimde olduğundan  $V_{ng} - V_{yg}$  dir.

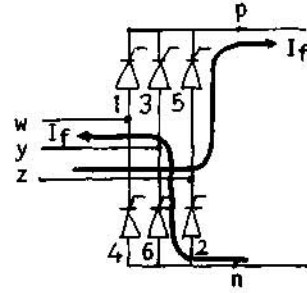
$V_{pn}$ 'yi bulmak için Şekil 3f'de la aralığında iki gerilimin farkı alınır. Yani  $V_{pg}$  aynen çizilir.  $V_{ng}$  ise önündeki eksi işaretinden dolayı  $ut$  eksenine göre simetriği alınarak çizilir. Bu iki eğri her nokta için toplanınca,  $V_{pn}$  Şekil 3f'nin la aralığı için bulunur.

$ut \ll a$  iken 1 inci DSD'ye geçit gerilimi uygulanır (DSD ateşlenir). Başka bir deyişle,  $V_{wg}$  gerilimi de devreye girer.

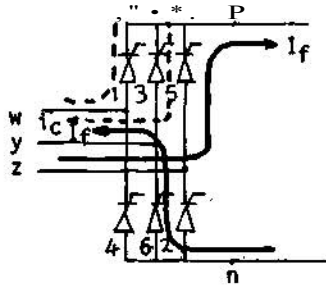


Şekil 3.  $30^\circ$  lik gecikme açısı için çıkış dalga şekli t

- w,y,z noktalarının nötr noktasına göre gerilim dalga şekilleri
- DSD'lerin ateşleme sırası
- Altı adet değişim aralığı
- Değişim aralıklarının alt bölgeleri
- Köprünün p ve n noktalarının nötr noktasına göre dalga şekilleri
- Köprünün çıkış dalga şekli



Şekil 4.  
 $0 < ut < a$  için akım yolu.



Şekil 5.  
 $0 < ut < a + u$  için akım yolu  
 $I_{DSD5} = I_f - I_c$

$a < ut < a + u$  iken, yani, lb aralığında hâlâ  $V_{zg} > V_{yg}$  dir.

Başka bir deyişle, z, y ye göre artıdır. Akım 5 inci ve 6 ncı DSD'lerden akmaya devam eder. Bu anda, 1 inci DSD de iletimdedir, öte yandan  $V_{wg} > V_{yg}$  olduğundan 1 inci DSD'nin akımı  $I_c$  değişim akımı olarak 5 inci DSD'nin üzerinden ters yönde akar (Şekil 5).

Yine  $V_{wg} > V_{zg}$  olduğundan 1 inci DSD'den geçen akımın bir bölümü 6 ncı DSD'den akar. Bu son durumu ihmal edersek, sadece IR ve  $I_c$  olarak akım yollarını Şekil 5'deki gibi çizebiliriz. Bu durumda  $V_{pn}$  gerilimi  $V_g$ ,  $V_{yg}$  ve  $V_{zg}$  gerilimlerinin cebirsel toplamıdır.

Şekil 3e'den görüldüğü gibi lb aralığında  $V_{pg} = V_{wg} + V_{zg}$  ve  $V_{ng} = V_{yg}$  dir.  $V_{pg}$  ve  $V_{ng}$ 'nin cebirsel toplamı alınarak Şekil 3f de lb aralığı için  $V_{pn}$  gerilimi bulunur.

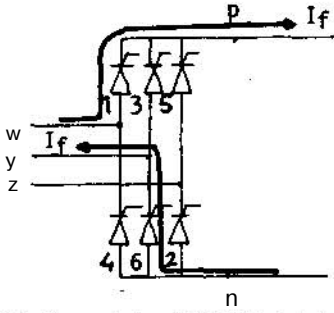
$u + 0 < ut < u + 0 + c$  iken, yani, lc aralığında değişim bitmiştir. 5 inci DSD'den iletim ve tükama yönünde akan akımların toplamı tutma akımı altına düşmüş ve 5 inci DSD kesime gitmiştir. İletimde sadece 1 inci ve 6 ncı DSD'ler vardır. Bu durum için akım yolu Şekil 6'daki gibidir.

Şekil 3e'de lc aralığında  $V_{pg} - V_{wg}$  ve  $V_{ng} - V_{yg}$  dir. Şekil 3f'de ise lc'de  $V_{pn}$  gerilimi bulunmuştur.

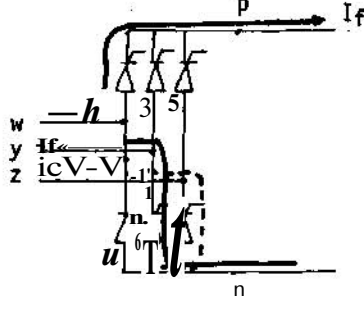
Şimdi ikinci aralığı inceleyelim.

$ct + u + c < ut < 2a + u + c$  iken akım yolu Şekil 6'daki gibidir. Söz konusu edilen gerilimler ise Şekil 3e'de  $V_{wg}$  ve  $V_{zg}$  dir.  $V_{pn}$  ise Şekil 3f'deki gibidir. Dikkat edilirse  $2a$  aralığı lc aralığının dalga şekilleri ve akım yolları açısından bir devamıdır.

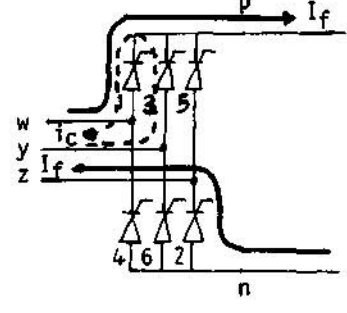
$2a + u + c < wt < 2a + 2u + c$  için akım yolu Şekil 7'deki gibidir. Burada 2 ncı DSD iletime girmiştir ama 6 ncı DSD iletimden çıkmamıştır. 6 ncı DSD



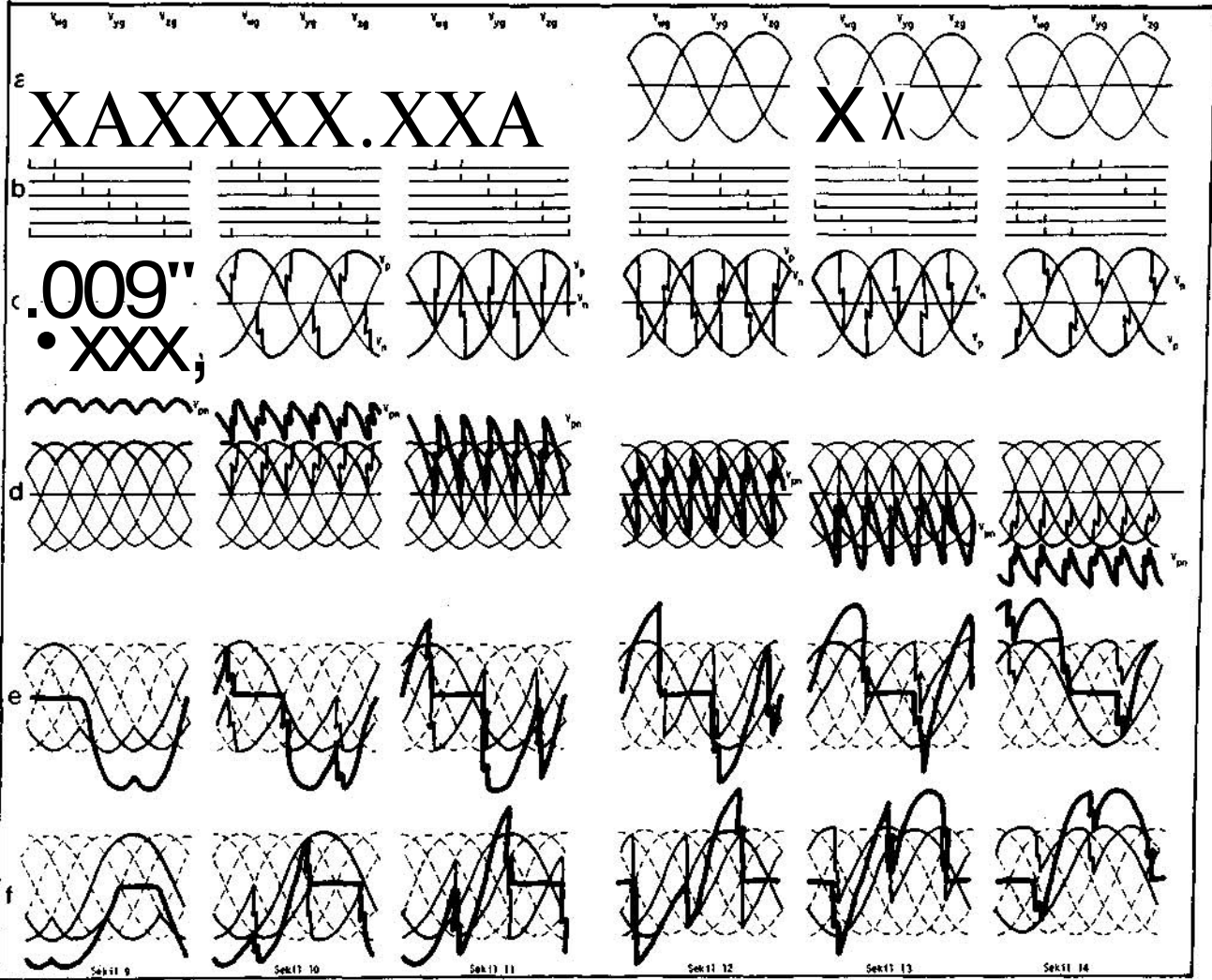
Şekil 6.  $\alpha + u < \omega t < \alpha + u + c$   
ifin akım yolu.  
İletimde yalnızca  
1 inci ve 6 ncı  
DSD'ler var.



Şekil 7.  $\alpha + u + c < \omega t < 2\alpha + 2u + c$   
için akım  
yolu  
 $I_{DSD6} = I_f - I_c$



Şekil 8.  $3\alpha + 2u + 2c < \omega t < 3\alpha + 3u + 2c$   
için akım  
yolları.



Şekil 9.  $\alpha = 0^\circ$  için dalga şekilleri.

Şekil 10.  $\alpha = 30^\circ$  için dalga şekilleri.

Şekil 11.  $\alpha > 60^\circ$  için dalga şekilleri.

Şekil 12.  $\alpha = 90^\circ$  için dalga şekilleri.

Şekil 13.  $\alpha > 120^\circ$  için dalga şekilleri.

Şekil 14.  $\alpha = 150^\circ$  için dalga şekilleri.

Not: Şekil 9, 10, 11, 12, 13, 14 için;

- a) Uç faz gerilimi
- b) Ateşleme vuruşları
- c) p ve n noktalarının dalga şekilleri
- d) Çıkış dalga şekli
- e) 1 inci DSD üzerindeki dalga şekli
- f) 4 üncü DSD üzerindeki dalga şekli

üzerinden  $V_{wg} > V_{yg}$  olduğundan İR akar, ama  $V_{yg} > V_{zg}$  olduğundan da ters yönde  $I_c$  akar.  $I_c$  akımı y, DSD6, n, DSD2 ve z yolunu izler. 6 ncı DSD, İR- $I_c$  tutma akımına eşit olana kadar iletimde kalır. 2u aralığında bütün faz gerilimleri hesaba katılır (Şekil 3e ve 3f).

$2a + 2u + c < ut < 2a + 2u + 2c$  iken iletimde yalnızca 1 inci ve 2 ncı DSD'ler vardır.

$2a + 2u + 2c < ut < 3a + 2u + 2c$  iken akım yine 1 inci ve 2 ncı DSD'lerden akar.  $V_{wg}$  ve  $V_{zg}$  gerilimleri söz konusudur.

$3o + 2u - 2c < t) < 3a + 3u + 2c$  için akım yolları Şekil 8'de çizilmiştir. Burada 3 üncü DSD iletime geçer. 1 inci DSD üzerinden birbirine ters yönlü iki akım akar.

İncelememizi bu biçimde sürdürebiliriz.

Şimdi de ilk ateşleme vuruşunun, yani, 1 inci ve 6 ncı DSD'lere uygulanan gerilimin, ait - 0 dan başlayarak cot'nin daha büyük değerlerine doğru kaydırıldığını düşünelim.

Şekil 9b'de 1 inci ve 6 ncı DSD'lerin ateşleme vuruşları tüt "0 da uygulanmıştır.

Şekil 10b'de ilk ateşleme vuruşu  $oot > 30^\circ$  de uygulanmıştır.

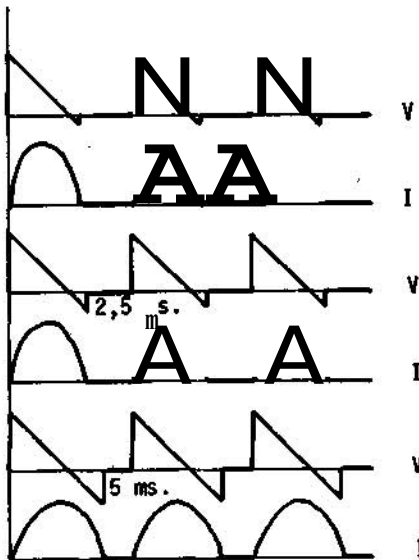
Şekil 11b'de ilk ateşleme vuruşu  $ut < 60^\circ$  de uygulanmıştır.

Şekil 12b'de ilk ateşleme vuruşu  $ut * 90^\circ$  de uygulanmıştır.

Şekil 13b'de ilk ateşleme vuruşu  $ut - 120^\circ$  de uygulanmıştır.

Şekil 14b'de ilk ateşleme vuruşu  $ut - 150^\circ$  de uygulanmıştır.

Şekil 9, 10, 11, 12, 13, Uc'de ilk ateşleme vuruşunun uygulandığı zamana bağlı olarak  $V_p$  ve  $V_n$  gerilimlerinin alacağı şekiller görülmektedir.



Şekil 15.  $a = 90^\circ$  için çıkış gerilim ve akımın dalga şekilleri (Gecikmesiz, 2,5 ms gecikmeli, 5 ms gecikmeli).

Şekil 9, 10, 11, 12, 13, 14d'de ise yine çeşitli ateşleme açıları için elde edilen çeşitli  $V_p$  gerilimleri vardır.

Şekil 9, 10, 11, 12, 13, 14e'de 1 inci DSD üzerindeki dalga şekli ve f de ise 4 üncü DSD üzerindeki dalga şekli görülmektedir.

Şekil 9e'yi elde etmek için  $V^{\wedge} = V_{wg} - V_{py}$  bağıntısı kullanılır [3], [4].

Bu eğrilerin incelenmesinde şu noktalar dikkati çeker: Gecikme açısının  $60^\circ$  den büyük olması durumunda köprünün eksi yarısı, köprünün artı yarısından daha artı olur. Yani, bazı durumlarda  $V_n$ ,  $V_p$  den daha artıdır. Yük direnili ise, ters akım DSD'leri kesime sokacağından bu durum hiçbir zaman görülmez ve  $V_p = 0$  olur. Ama, yük endüktif ise akan akım hemen kesilmeyeceğinden, çıkış gerilimi eksi olabilir. Bu durumda akımın kesileceği süre, yük devresinin zaman değişmezi ile belirlenir. Şekil 15'de,  $90^\circ$  faz gecikmesi için kesintili akımın tipik dalga şekli verilmiştir. Gecikme açısı  $90^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında ise sistem evirgeç olarak çalışır; çünkü güç akışı, yükün motor olması halinde DA kısmından AA kısmına doğru olur. Bu durumda p noktası eksi, n noktası ise artıdır [3].

#### KAYNAKLAR

- [1] Lipe, Thomas A., Analog Computer Simulation of a Three-Phase Full-Wave Controlled Rectifier Bridge. Proc. IEEE, Cilt 57, s.2137-2146, Aralık 1969.
- [2] Tsivitse, P.J., Electrical Design and Performance Features of New "RPM", Rectified Pover Motors. Reliance Electric Company C-5007-1.
- [3] Ludbrook, A., ve R.M.Murray, A Simplified Technique for Analyzing the 3-Phase Bridge Rectifier Circuit. IEEE Transactions on Industry and General Applications, s.182-187, Mayıs/Haziran 1965.
- [4] Dale, R.G., Detailed Analysis of the 3-Phase Full-Wave Rectifier Bridge and Its Output Performance Characteristics. IEEE Uinter General Meeting bildirisi, New York, Ocak/Şubat 1963.
- [5] Rice, J.B., ve E. Latrence Nickels, Commutation du/dt Effects in Thyristor 3-Phase Bridge Converters, IEEE Transactions on Industry and General Applications, Cilt IGA-4 s.665-672, Kasım/Aralık 1968.

#### GENEL KAYNAKLAR

- Kısakürek, A. ve K.Doğan, "Denetlenebilir Silisyum Doğrultmaçlar". Elektrik Mühendisliği, 224/Ağustos 1975, s.367-378.
- Alexandrovitz ve Z.Zabar, "Analog Computer Simulation of Thyristorized Static Switch as Applied to DC motor Speed Control". IEEE Trans. Ind. Electronics and Cont. Inst., - Cilt IECI-18, s.1-6, Şubat 1971.