

Sıfır Akım Anahtarlama Tek Fazlı Evirici Benzetimi

Nihat ÖZTÜRK
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, sert anahtarlama ve yumuşak anahtarlama bir fazlı tam köprü DA/AA evirici için güç anahtarlarındaki anahtarlama kayıplarının benzetim çalışması yapılarak karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışmaları Orcad kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sert anahtarlama evirici devresine, sıfır akım geçiş sağlayan bir rezonans kol ve bir yardımcı anahtar eklenerek yumuşak anahtarlama evirici elde edilmiştir. Eviriciler aynı yük ve anahtarlama frekanslarında çalıştırılarak anahtarlama kayıpları incelenmiş ve önerilen yumuşak anahtarlama yönteminin analizi sunulmuştur. Yumuşak anahtarlama eviricide anahtarlama kayıplarının önemli bir oranda azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Anahtarlama kaybı, sıfır akım anahtarlama, yumuşak anahtarlama

Simulation of Single Phase Inverter with Zero Current Switching

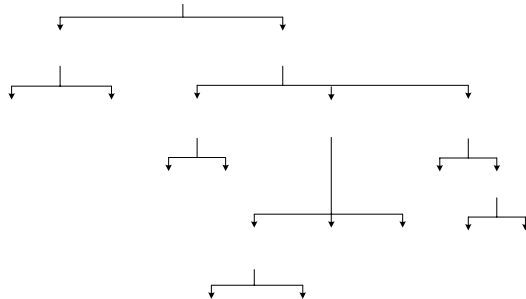
ABSTRACT

In this study, switching losses in a single phase hard switching and soft switching inverters have been compared using Orcad simulation program. The soft switching inverter is obtained by inserting a resonance bank into the hard switching inverter. Both hard and soft switching inverters were tested under the same switching frequency and load conditions. Considerable amount of reduction on switching losses in soft switching inverter proposed were achieved.

Keywords: Switching loss, zero current switching, soft switching

1. GİRİŞ

Evirici temel olarak, doğru akım (DA) enerjisini, genliği ve frekansı ayarlanabilen alternatif akım (AA) enerjisine çevirme işlemi yapan çeviricilerdir. Girişindeki DA gerilim sabit veya değişken olabilir. AA çıkışı anahtarlama işlemleri ile elde edilir ve elde edilen dalga şekli gerilim parçacıklarından oluşur. Burada amaç, genliği ve frekansı kontrol edilebilen bir gerilim üretmektir. Anahtarlama modunda çalışan eviriciler, AA motor sürücü sistemlerinde, kesintisiz güç kaynakları, indüksiyon ısıtma gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır. DA-AA çeviricilerin sistematik sınıflandırması Şekil-1'de verilmektedir (1-5).



Şekil – 1 DA/AA çevirici/eviricilerin sınıflandırılması

DA/AA ve DA/DA çevirici/eviricilerde, yüksek performans ve yüksek güç yoğunluğu için yüksek anahtarlama frekansı gerekir. Böylece üretilen sinyallerdeki dalgalanma ve pasif elemanların boyutlarında küçülme sağlanabilir. Bununla beraber yüksek anahtarlama frekansı, anahtarlama elemanlarındaki güç kayıplarını, anahtar üzerindeki gerilim/akım baskılarını, ısınma sınırlarını, di/dt ve dv/dt 'den dolayı elektromanyetik etkileşimini (EMI) arttırmaktadır. Bu kayıp ve gürültülerin azaltılması ve frekansın yükseltilebilmesi, ancak sert anahtarlama yerine yumuşak anahtarlama (YA) tekniklerinin kullanılmasıyla sağlanabilmektedir. YA'lı eviricinin anahtarlama frekansı artarken anahtarlama kayıplarında ve anahtar baskılarında azalma olmaktadır (5-13).

Literatürde YA için bir çok farklı yaklaşım önerilmektedir, Bellar ve diğerleri bu yaklaşımları Şekil-1'de verildiği gibi sınıflandırmaktadır. Rezonans DA hatlı eviriciler (RDCL) basitliği ve uygulama kolaylığından dolayı tercih edilmektedir. Bu eviricilerde anahtarlama elemanları üzerindeki aşırı gerilim problemi oluşur. Ayrık darbe modülasyonu kullanılması, eviricide istenmeyen harmoniklere sebep olur. Ana güç yolu üzerine bağlanan rezonans elemanlar, yüksek reaktif enerjinin dolaşımına neden olur, bu da ek kayıplar meydana getirir. RDCL'de oluşan bu kısıtlamalar yük rezonanslı eviriciler içinde geçerlidir. Bu tip eviriciler daha çok sabit yük uygulamaları için tasarlanmaktadır (5-16).

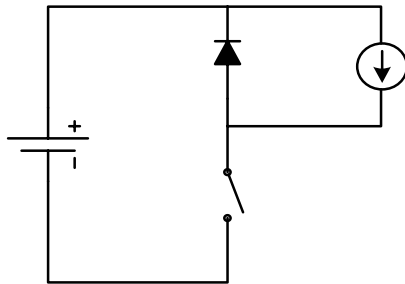
McMurray eviriciler, tüm ana ve yardımcı anahtarlar için sıfır akım birleşme sağlar fakat bu tip eviricilerde, ana anahtarın iletim geçişinde diyot ters dönüşüm problemi vardır, ek olarak yardımcı anahtarlar DA hat geriliminin iki katı gerilime maruz kalırlar (10-16).

Bu çalışmada önerilen yöntem ile ana ve yardımcı anahtarlar, üzerlerinde akım ve gerilim baskısı olmadan nerdeyse sıfır kayıpta iletim ve kesime götürülürler. Akım ve gerilim bilgisinin algılanması için ek sensörlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Aynı zamanda yöntemin DGM evirici yapılarıyla beraber kullanılma avantajı da bulunmaktadır.

2. SERT ANAHTARLAMALI EVİRİCİLER

Eviriciler DA/AA çevirme işlemi, sabit genlikteki gerilim veya akımı yarı iletken anahtarlama elemanları vasıtasıyla belli aralıkta ani olarak kesip kaynaktan yüke aktararak gerçekleştirirler. Bu gücün kesilmesi esnasında iki tarafın birleşme noktası olan yarı iletken anahtarlar üzerinde, hem anahtarların yapısından, hem de devre elemanların yapısından dolayı kayıp bir enerji meydana çıkar. Bu tip çevirici/evirici yapıları sert anahtarlama (SA) olarak adlandırılır. SA'nın ana nedeni, evirici devresinde bulunan enerji depo eden elemanlardır. Üzerinde enerji biriken devre elemanları ile kaynak ortak birleşme noktası olan yarı iletken devre elemanlarında birleşir. Bu birbirine eşit olmayan iki güç aynı barada toplandığında bir güç aktarımından dolayı anahtar üzerinde bir kayıp meydana gelir.

Yarıiletken anahtarların çalışması, kararlı ve geçici çalışma olmak üzere iki durumda incelenebilir. Kararlı çalışmada, yarıiletken iletim durumunda ise, üzerinden devre akımı geçer ve emiter kollektör arası bir gerilim düşümü olur. Yarıiletken anahtar kesimde ise, uçlarında yaklaşık kaynak gerilimi görülecek ve özelliğine göre çok düşük bir sızıdırma akımı geçirecektir. Geçici çalışma durumu, anahtarın iletime veya kesime giderken göstermiş olduğu davranışlarıdır. Bu geçici çalışma durumlarında yarıiletken malzemeler üzerlerindeki baskıdan dolayı delinmeye, yani bozulmaya uğrayabilirler (17).



Şekil-2 SA'lı Endüktans anahtar paralel devresi

Eviricilerde kullanılan bir yarıiletken anahtarda meydana gelen güç kayıpları Şekil-2 ve Şekil-3 ile açıklanabilir. Şekil-2'de güç anahtarlarının devredeki durumu, kaynak gerilimi ve yük akımı gösterilmiştir. Güç anahtarlarının iletime ve kesime götürülüşleri esnasında üzerinde meydana gelen kayıplar ise Şekil-3'te

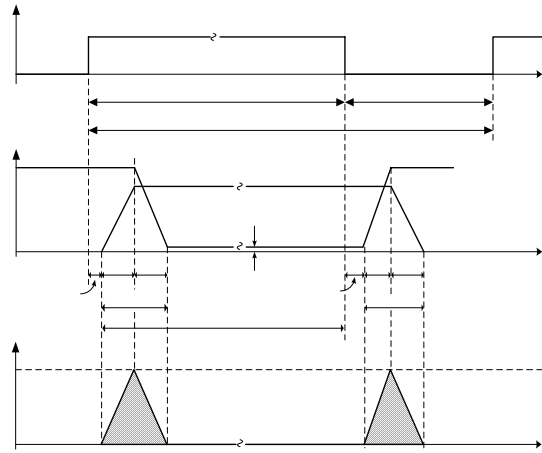
verilmiştir. İletim durumuna geçiş süresince elemandaki kayıp enerji;

$$W_{c(iletim)} = \frac{1}{2} V_d I_{yük} t_{c(iletim)} \quad (1)$$

olarak yazılabilir. Anahtar bir kez kapandığında iletim süresince enerji kaybı W_{iletim} olarak ifade edilir. Bu değerde;

$$W_{iletim} = V_d I_{yük} t_{iletim} \quad (2)$$

şeklin de hesaplanabilir. İletim kayıpları, iletim süresine, bu süre boyunca anahtar üzerinden geçen akıma ve anahtar üzerindeki gerilim düşümüne bağlıdır. Tüm yarıiletken güç anahtarları iletim süresince yarıiletken malzemenin yapısına bağlı olarak iletim süresince birkaç volt gibi küçük bir gerilim düşümü meydana gelir. Dolayısıyla iletim kayıplarının sonradan müdahale ile azaltılması mümkün değildir.



Şekil 3. Genel anahtarlama karakteristikleri (a)Denetim Sinyali (b)Anahtar dalga şekilleri, (c) Ani anahtar güç kayıpları

Kesimde ki enerji kaybı ise;

$$W_{c(kesim)} = \frac{1}{2} V_d I_{yük} t_{c(kesim)} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanabilir. Yukarıdaki eşitliklerde ve şekillerde:

V_d : Kaynak Gerilimi (V)

$V_{sürme}$: Yarıiletken tetikleme sinyali (V)

V_T / I_T : Anahtar üzerindeki gerilim düşümü (V) ve anahtar akımı (A)

$t_{d(iletim)} / t_{d(kesim)}$: İletimde akım / Kesimde gerilim yükselme geçikmesi (s)

t_{ri} / t_{rv} : İletimde akım / Kesimde gerilim yükselme süreleri (s)

t_{fv} / t_{fi} : İletimde gerilim / Kesimde akım düşme süreleri (s)

$I_{yük}$:Yük akımı (A)

$t_{c(iletim)} / t_{c(kesim)}$:İletim/Kesim geçiş aralığı (s)

$W_{c(iletim)} / W_{c(kesim)}$:İletim/Kesim geçiş aralığı enerji kaybı (Joule)

P_T : Anahtar güç kaybı (W)

Şekil-3.c'de çizilen ani güç kaybı, açma ve kesme aralıkları süresince anahtarda büyük bir ani güç kaybının oluştuğunu göstermektedir. Bu kayıp enerjiye anahtarlama kaybı denir ve $W = W_{c(iletim)} + W_{c(kesim)}$ olarak ifade edilir. Sonuç olarak yarı iletken anahtarlarda güç kaybı anahtarlama frekansı ve anahtarlama geçiş zamanı ile doğrusal olarak değişecektir.

Anahtarlama konumunda çalışan eviricilerde anahtarlama gerilimlerinin azaltılması, anahtara seri ve paralel bağlı diyotlardan ve pasif bastırma elemanlarından oluşan bastırma devrelerinin kullanılmasıyla sağlanabilir. Bu bastırma devreleri sistemlerin kayıplarını etkili bir şekilde azaltmaz. Bu devreler anahtarlama esnasında oluşan enerjiyi kondansatör veya endüktans elemanlarına aktarır. Ancak bu tür devrelerde, meydana gelen anahtarlama kayıpları söndürme devresine kaydırılmakta ve bu nedenle de toplam verimde herhangi bir artış sağlanmamaktadır (5,6,10,16).

3. YUMUŞAK ANAHTARLAMALI EVİRİCİLER

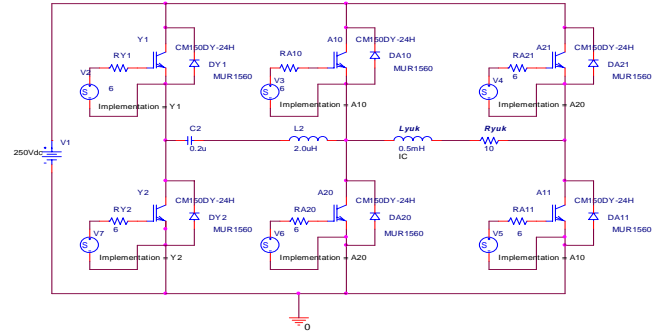
Yumuşak anahtarlama tekniğinin temeli, yarı iletken devre elemanları üzerindeki akım/gerilim veya her ikisi de sıfır değerindeyken anahtarların iletim/kesime götürülmesine dayanır. YA tekniklerinin bir çoğu DA/DA çeviriciler için uygulanmaktadır. Bu çeviriciler genellikle sabit bir yükü kontrol etmektedirler. Ancak aynı prensibin AA güç kaynaklarına uygulanması daha karmaşık bir işlemdir. DA giriş ve AA çıkış arasında ileri ve geri güç akışı gerektirir (5,8,11-12,18).

YA eviriciler, hassas tasarlandıkları ve denetimleri yapıldığında anahtarlama konumlu eviricilerde özellikle, Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) ile kontrol edilen eviricilerde oluşan anahtarlama kayıplarını minimize etme potansiyeline sahiptir (5-8).

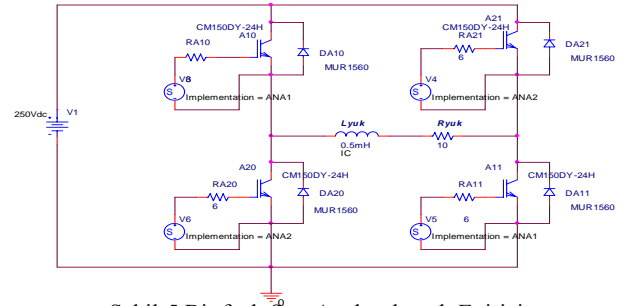
DA-DA/AA eviricilerde rezonans kolun ana güç akışı yolunun üstünde yer alması, anahtarlama elemanları üzerinde yüksek gerilim/akım baskıları aynı zamanda ek kayıpları da meydana getirmektedir (11-12). Bunun yerine rezonans şebekenin ana iletim yolundan çıkarılması ve sadece anahtarlama aralığı boyunca aktif edilerek rezonans dolaşım enerjisinin mümkün olan en küçük seviyede tutulması gerekmektedir. Bununla beraber rezonans enerji, yükteki değişimlere bakmaksızın yumuşak anahtarlama şartlarını gerçekleştirmek için yeterli olma ve hem de rezonans şebeke denetleyici kontrol sinyalleri ile uyumlu çalışmalıdır. Bu sinyaller genellikle DGM tipi denetleyici tarafından sağlanır. Bu gereklilikleri sağlamak için, yumuşak geçişli DGM çevrim (sıfır gerilim geçişli (ZVT) ve sıfır akım geçişli (ZCT)) teknikleri geliştirilmiştir (5-18).

Önerilen YA yöntemi Şekil-4'de gösterilmektedir. Bu yöntemde hem ana, hem de yardımcı anahtarlar için sıfıra yakın bir akım değerinde anahtarlama yapma imkanı sağlanmaktadır. Anahtarlar üzerinde ek baskılar oluşmamaktadır. Yöntemin DGM evirici yapılarına uygulanması da mümkündür. Ana anahtarlardan geçen yük akımı iletim ve kesim anlarından önce, yardımcı dev-

reye saptırıldığından akımın sıfırdan geçiş noktasının algılanması için harici akım sensörlerine ihtiyaç duyulmamaktadır.



Şekil-4. Önerilen Sıfır Akım Anahtarlama Evirici Yöntem



Şekil-5 Bir fazlı Sert Anahtarlama Evirici

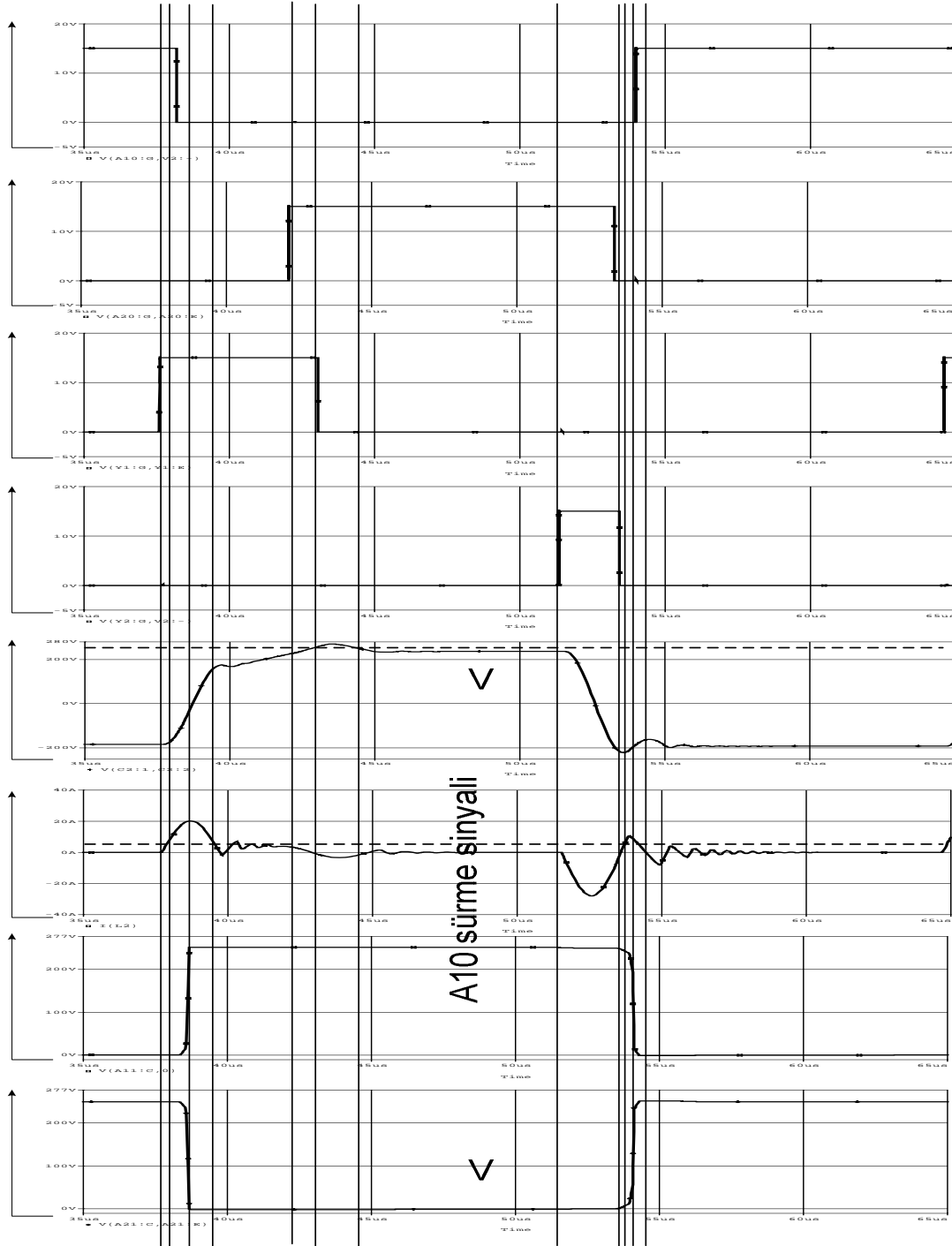
Geleneksel SA ile önerilen YA yönteminin karşılaştırılması için aynı yük ve aynı çalışma şartlarında Orcad'de oluşturulan devreden yararlanılmaktadır. Orcad genel amaçlı devre tabanlı benzetim programıdır. Hazır yarıiletken anahtar modelleri sayesinde, ayrıntılı analizlerin gerektiği durumlarda tercih edilmektedir (19). SA'lı evirici Şekil-5'de görülmektedir. Sıfır akım anahtarlama yöntemde ise bu devreye ek olarak iki yardımcı anahtar ve bir rezonans kol ilave edilmiştir. Rezonans devre elemanlarının değeri *Mod-VIII*'deki kriterler göz önünde bulundurularak $L_r = 2.0\mu H$ ve $C_r = 0.22\mu F$ olarak seçilmiştir. Rezonans frekansı 239.9KHz ve periyodu ise 4.16 μs dir. Analiz, $I_{yük} < 0$ durumu, $I_{yük} > 0$ durumunun eşleştiği olduğundan, sadece $I_{yük} > 0$ şartları için ayrıntılı şekilde verilmektedir. Hem SA, hem de YA'lı devrede anahtarlama frekansı 27kHz'dir. Görev periyodu %50'dir, V_{dc} bara gerilimi sabit 250 voltur. Ana anahtar ile yardımcı anahtarın denetimi birbirine bağımlı olmadığından, normal DGM çalışma yapan devrelere DGM sinyallerinde herhangi bir modifikasyon veya kısıtlama yapılmadan uygulanabilir. Burada en önemli husus yardımcı anahtarların devreye alınma zamanlamasıdır.

3.1. Devrenin Çalışması

Devrenin çalışma dalga eğrileri Şekil-6'da verilmektedir. Devrenin çalışması şöyle özetlenebilir: A10 ve A11 ana anahtarı iletimden çıkmak üzere iken, buna paralel bağlı Y1 yardımcı anahtarı devreye alınarak, rezonans koldan geçen akım kısa sürede yük akımı seviyesine çıkartılmaktadır. Rezonans kol akımı, yük akımına eşit olduğu noktadan sonra, A10 ve A11'in ters

paralel diyotları iletme gireceğinden, bunların sürme sinyali kesilerek, A10 ve A11'in sıfır akım altında kesim yapılması sağlanmaktadır. Rezonans kol akımı yön değiştirdikten sonra, yani Y1'in ters paralel diyotu ile-

verilmektedir. Devrenin çalışması dokuz moda incelenebilir. Dokuz moda ait eşdeğer devre eğrileri Şekil-6'da verilmiştir.



Şekil-6. YA eviricinin eşdeğer devre eğrileri

time girdikten sonra, Y1 anahtarının sürme sinyali kaldırılabilir. Bu durumda, hem A10 ve A11, hem de Y1 anahtarları kayıpsız kesime götürülebilmektedir. Bu aralıklardaki YA eviricinin eşdeğer devreleri Şekil-7'de

Mod -I (t_0-t_1) : t_0 anında Y1 anahtarı devreye alınarak yardımcı devrede rezonans başlatılır. t_1 anında i_r akımı $i_{yük}$ akımına ulaşacaktır. Şekil-6(e)'de olduğu gibi C_r gerilimi bu aralık boyunca pozitif yönde

artacaktır. Eşdeğer modeli Şekil- 7(a)' da verilen bu aralığa ait devreye Kirchhoff gerilim yasasının (KGY) uygulanması sonucu rezonans endüktans akımı (i_{lr}) ve rezonans kondansatörü gerilim (v_{cr}) denklemleri şöyle oluşur;

$$i_{lr}(t) = \frac{V_{c0}}{Z_0} \sin(\theta) \quad (4)$$

$$v_{cr}(t) = -V_{c0} \cos(\theta) \quad (5)$$

denklemden kullanılan V_{c0} : Rezonans kondansatörün başlangıç değeri (V)

Z_0 : Eşdeğer devre empedansı (Ω)

\square : Açılmalık frekans (rad/s)

Mod -II (t1-t2-t3) : $i_r > i_{yük}$ olmasından sonra bu iki akım arasındaki fark DA10 ve DA11 diyotlarını iletme sokacaktır. t2 anında i_r akımı tepe değerine ulaştığında, A10 ile A11 anahtarları sıfır akım altında kesime götürülebilir. Şekil-6(f)'de görüldüğü gibi tepe değerine ulaşan i_r akımı t2 anından sonra azalmaya başlar ve t3 anında tekrar yük akımı seviyesine inmektedir. Şekil-7 (b)'deki devreye KGY uygulanması ile;

$$i_{lr}(t) = i_{l0} \cos(\theta) + \frac{-V_{c0}}{Z_0} \sin(\theta) \quad (6)$$

$$v_{cr}(t) = V_{c0} \cos(\theta) + i_{l0} Z_0 \sin(\theta) \quad (7)$$

denklemlerde;

i_{l0} : Rezonans endüktansın başlangıç değeri (A)

Mod -III (t3-t4) : Bu aralık boyunca $i_{yük}$ akımı, rezonans kol vasıtasıyla devresini tamamlayacaktır. Aralık $V_{cr} = V_{dc}$ gerilimi eşitliği sağlanana kadar devam eder. Bu aralıkta, salınımlı devre özelliği görülür. Eşdeğer devreye KGY uygulanması ile;

$$i_{lr}(t) = e^{-\alpha t} (A \cos(\beta t) + B \sin(\beta t)) \quad (8)$$

$$v_{cr}(t) = V_{da} - L \frac{di}{dt} - R_y i(t) \quad (9)$$

denklemlerde;

V_{da} : Evirici besleme gerilimi (V)

\square Neper frekansı (sönüm katsayısı) (rad/s)

\square Doğal frekans (rad/s)

A, B = Çözüm katsayıları

Mod -IV (t4-t5) : $V_{cr} = V_{dc}$ eşitliğinden sonra rezonans tekrar başlayacaktır. t4 anında A20 ve A21 anahtarları kayıpsız bir şekilde devreye alınabilir. t5 anında $i_r = 0$ olması ile bu aralık sona erer. Eşdeğer devreye KGY uygulanması sonucu;

$$i_{lr}(t) = i_{l0} \cos(\theta) + \frac{V_{dc} - V_{c0}}{Z_0} \sin(\theta) \quad (10)$$

$$v_{cr}(t) = V_{dc} - (V_{dc} - V_{c0}) \cos(\theta) + i_{l0} Z_0 \sin(\theta) \quad (11)$$

Mod -V (t5-t6-t7) : $V_{cr} > V_{dc}$ olduğundan Y1'in ters paralel diyotu DY1 iletimdedir ve bu aralıkta Y1 anahtarı kayıpsız şekilde kesime götürülebilir. i_r akımının sıfır olması ile devrede rezonans sona erer ve t6 zamanından sonra devre t7'ye kadar DGM çalışmasına devam eder. Eşdeğer devre denklemleri şöyle oluşur;

$$i_{lr}(t) = i_{l0} \cos(\theta) + \frac{V_{dc} - V_{c0}}{Z_0} \sin(\theta) \quad (12)$$

$$v_{cr}(t) = V_{dc} - (V_{dc} - V_{c0}) \cos(\theta) + i_{l0} Z_0 \sin(\theta) \quad (13)$$

Mod -VI (t7-t8) : t7 anında A20 ve A21 iletimde ve yük akımı negatif değerdedir, t7 anında Y2 yardımcı anahtarı devreye alınarak L_r ve C_r 'den oluşan kolda, rezonans başlatılır. Rezonans kol akımı i_r , negatif tepe değerine kadar yükselir. t8 anında rezonans kol akımı yarı periyodunu tamamlayarak tekrar sıfır değerine ulaşır. t8 anında A20 ve A21 anahtarlarının sürme sinyali kaldırılabilir. Bu aralıktaki eşdeğer devre denklemleri;

$$i_{lr}(t) = \frac{-V_{c0}}{Z_0} \sin(\theta) \quad (14)$$

$$v_{cr}(t) = V_{c0} \cos(\theta) \quad (15)$$

Mod -VII (t8-t9) : t8 anından sonra rezonans devam edecektir ve i_r akımı pozitif yönde yükselmeye başlayacaktır. Y2 anahtarı pozitif yönde geçen bu i_r akımını iletmez, bu yüzden Y2'nin ters paralel diyotu DY2 iletime geçer. t8 anından sonra Y2 anahtarı sıfır akım iletimi altında kesime götürülebilir. Devre çalışmasını sürdürerek t9 anında i_r akımı $i_{yük}$ akımına eşit olur. Şekil-7 (f)'deki devrenin denklemi şöyle oluşur;

$$i_{lr}(t) = i_{l0} \cos(\theta) + \frac{-V_{c0}}{Z_0} \sin(\theta) \quad (16)$$

$$v_{cr}(t) = V_{c0} \cos(\theta) \quad (17)$$

Mod -VIII (t9-t10-t11) : Rezonans kol akımı t9'den sonra $i_{yük}$ akımından büyük olacağından bu iki akım farkı DA10 ve DA11 yardımcı diyotlarından geçerek devresini tamamlar. t10 anında i_r akımı pozitif tepe değerine ve kondansatör gerilimi ise sıfır değerine ulaşır. t10 anında A10 ile A11 anahtarları kayıpsız bir şekilde iletime geçirilir. Bundan dolayı t10 zamanının bilinmesi gerekir bu değer aşağıdaki eşitliklerden çıkartılabilir.

$$i_{lr}(t) = i_{l0} \cos(\theta) + \frac{-V_{c0}}{Z_0} \sin(\theta) \quad (18)$$

$$v_{cr}(t) = V_{c0} \cos(\theta) + i_{l0} Z_0 \sin(\theta) \quad (19)$$

t_{10} aralığının oluşması için mutlak koşul, $i_r > i_{yük}$ olmasıdır. Bundan dolayı rezonans kol elemanları seçilirken denklemler (20-23) göz önünde bulundurularak bu koşul sağlanmalıdır. K değeri 1'den büyük seçilmelidir.

$$K = \frac{i_{ritepe}}{i_{yük}} \quad (20)$$

$$Z_0 = \frac{V_{dc}}{K * i_{yük}} \quad (21)$$

$$L_s = Z_0 \frac{T_0}{2\pi} \quad (22)$$

$$C_s = \frac{L_s}{Z_0^2} \quad (23)$$

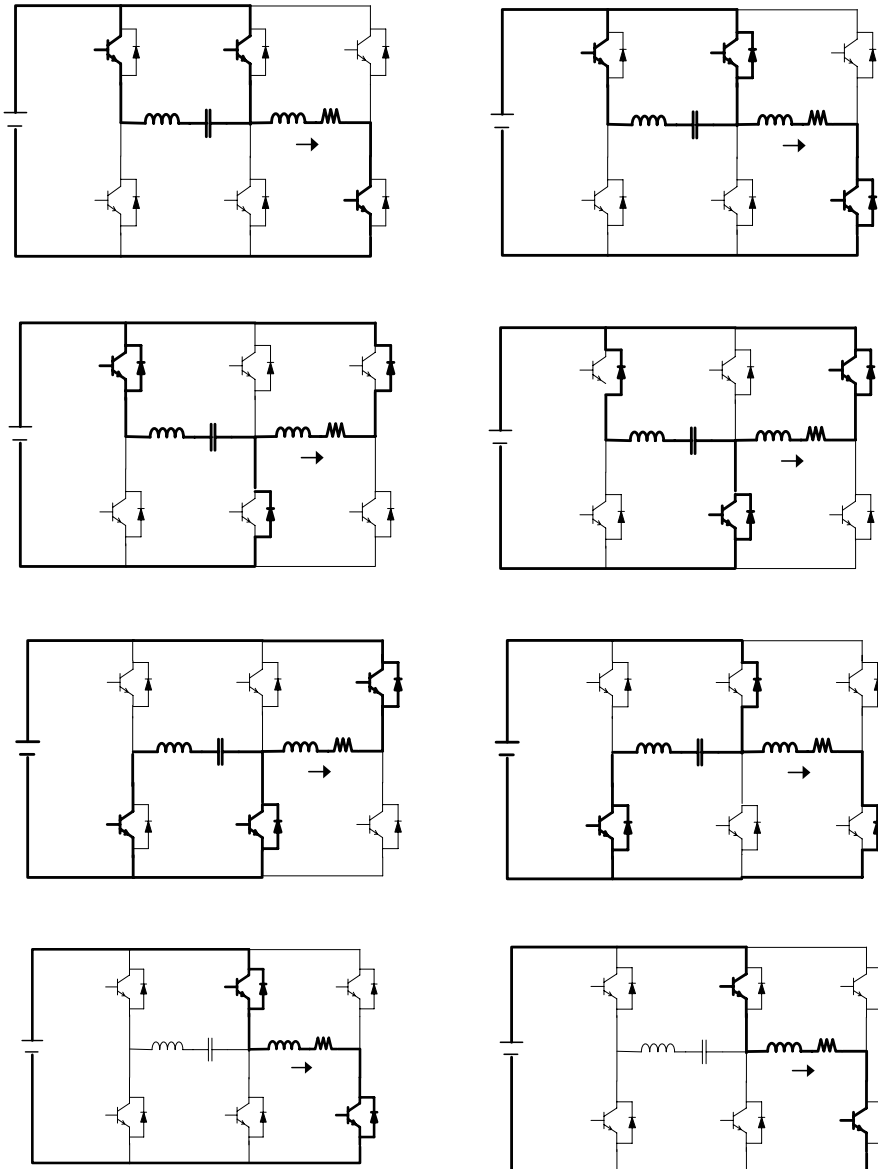
t_{10} zamanında A10 ile A11 anahtarlarının iletme girmesiyle rezonans kol akımı i_r , kaynak geriliminin

tamamının rezonans kola uygulanması nedeniyle sıfıra doğru azalacaktır. Bu aralık, akımın t_{11} zamanında sıfır olmasıyla sona erer. Şekil -7(g)'deki eşdeğer devre yardımıyla devre denklemleri şöyle oluşturulur.

$$i_r(t) = i_{i0} \cos(\theta) - \frac{V_{dc} + V_{c0}}{Z_0} \sin(\theta) \quad (24)$$

$$v_{cr}(t) = -V_{dc} + (V_{dc} + V_{c0}) \cos(\theta) + i_{i0} Z_0 \sin(\theta) \quad (25)$$

Mod -IX ($t_{11}-t_0$) : t_{11} 'den sonra yardımcı devrenin ana devre ile bağlantısı kalmaz. Bu aralıkta devre normal DGM çalışmayı devam ettirecektir. Aralık boyunca C_r rezonans kondansatörü negatif gerilim ile yüklüdür. Rezonans kolun bu aralıkta ana devre ile bir bağlantısı yoktur.



Şekil-7. Eşdeğer Devreler

4. ANAHTARLAMA KAYIPLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Her anahtarlama için oluşan enerji kaybı akım ve gerilim denklemleri kullanılarak analitik olarak bulunabilir (20). Bölgelere ayrılan akım ve gerilim eğrileri aşağıdaki şekilde lineerleştirilerek hesaplama yapılmıştır.

$$v_{ce}(t) = K_v \times t \quad (26)$$

$$K_v = \frac{v_{mak} - v_{min}}{\Delta t} \quad (27)$$

$$i_c(t) = K_i \times t \quad (28)$$

$$K_i = \frac{i_{mak} - i_{min}}{\Delta t} \quad (29)$$

Bu eşitlikte; v_{ce} : Kolektör ve emiter arası gerilim (V)

i_c : Anahtar akımı (A)

Güç kaybı ise

$$W_{KAYIP} = \int_{t_0}^{t_1} V_{ce}(t) I_c(t) dt \quad (30)$$

$$P_{KAYIP} = \frac{1}{T} \sum W_{KAYIP} \quad (31)$$

ifadesiyle hesaplanmıştır. Yukarıdaki ifadeler Şekil-8 için açılırsa;

$$W_{SKesim} = \int_{37,92e^{-6}}^{38,0e^{-6}} 1,98e^{13} t^2 dt + \int_{38,0e^{-6}}^{38,103e^{-6}} 2,9759e^{13} t^2 dt + \int_{38,103e^{-6}}^{38,205e^{-6}} 3,8359e^{16} t^2 dt + \int_{38,205e^{-6}}^{38,243e^{-6}} 5,2918e^{16} t^2 dt$$

$$W_{SKesim} = 14,54 \mu j \text{ olarak bulunur.}$$

$$W_{Siletim} = 284,03 \mu j \text{ olur.}$$

Denklemler (31)'in uygulanması ile sert anahtarlama kaybı;

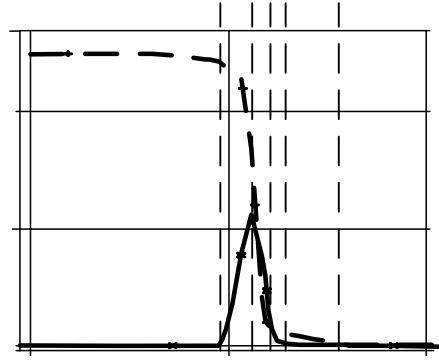
$$P_{SKAYIP} = \frac{1}{27000} (14,54 + 284,03) \times 10^{-12} = 8,06 \text{ Watt}$$

Yukarıdaki eşitliklerin aynı şekilde önerilen yöntem için uygulanması ile YA kaybı;

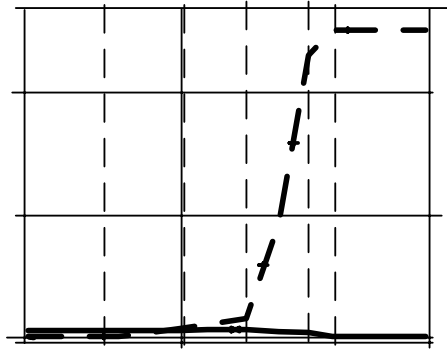
$$P_{YKAYIP} = \frac{1}{27000} (0,79 + 40,5) \times 10^{-12} = 1,11 \text{ Watt}$$

olarak bulunur.

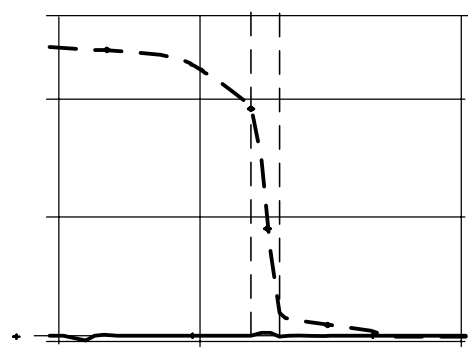
Buna göre anahtarlama kayıplarında %86 oranında iyileştirme yapıldığı görülmektedir. Her iki anahtarlama yapısı için anahtarın iletim durumunda iken oluşan kayıplar birbirlerine eşit olacağından sistemin toplam verimine etkileri de aynı olacaktır.



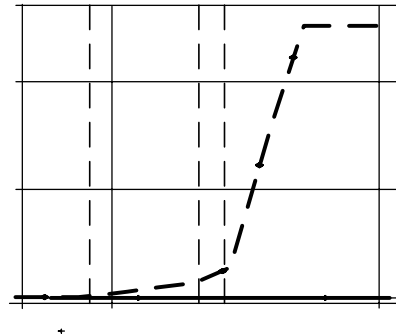
Şekil-8 SA Kesim Geçişi



Şekil-9 SA İletim Geçişi



Şekil-10 YA Kesim Geçişi



Şekil-11 YA İletim Geçişi

Kesim anındaki anahtarlama kayıpları Şekil-8 ve Şekil-10'da, iletim kayıpları ise Şekil-9 ve Şekil-11'de görülmektedir. Önerilen yöntemde fazladan altı yardımcı anahtarlama elemanı ve her faz için rezonans elemanların kullanılması dezavantajı bulunmaktadır. Ayrıca önerilen yöntemde yardımcı anahtarların devreye alınma zamanlamasının iyi bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Bunun için gelişmiş programlanabilir devre elemanından faydalanmak gerekmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada SA ve YA'lı bir tek tam köprü DA/AA evirici devreleri aynı yük ve anahtarlama frekanslarında çalıştırılarak, her iki devredeki anahtarlama kayıpları karşılaştırılmıştır. Geliştirilen YA yönteminde; rezonans kol ana güç yolu üzerinden taşınarak, rezonans koldan dolayı oluşan ek kayıplar giderilmiştir. Rezonans kol sadece anahtar iletim ve kesim geçişlerinde devreye alındığından, yük akımına bozucu bir etki göstermemektedir. Bu geçişlerden sonra rezonans kolun, ana devre ile bağlantısı kalmamaktadır. Ana ve yardımcı anahtarlar üzerindeki maksimum gerilim baskısı, kaynak gerilimi seviyesindedir. Bu baskı birçok YA yönteminde daha büyük değerdedir. Ayrıca ana anahtar akımının sıfırdan geçişinin algılanması için harici sensörlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Geliştirilen yöntemin hem iletimden kesime giderken, hem de kesimden iletime giderken oluşan anahtarlama kayıplarının azaltılmasında oldukça etkili olduğu yapılan benzetim çalışmaları sonucu görülmektedir. Önerilen yöntemin avantajlarından birisi de, ana anahtar sürme sinyalinin yardımcı anahtarın sürme sinyalinden bağımsız olmasıdır. Bundan dolayı, önerilen şema DGM eviricilere doğru anahtarlama yapısı kurularak uygulanabilir.

6. KAYNAKLAR

- 1- Gürdal O., Güç Elektroniği, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara 2000.
- 2- Murpy J.M.D. and Turnbull F.G., Power Electronic Control of AC Motors, Pergamon Pres, 1988.
- 3- Vithayathil J., Power Electronics Principles and Applications, McGrawhill Press, Newyork, 1995.
- 4- Bose B.K., Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River USA, 2002.
- 5- Bellar M.D., Wu T.S., Tchamdjou A., Mahdavi J. and Ehsani M., "A review of soft switched DC-AC Converters", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol.34, No.4, July/August 1998, pp.847-860.
- 6- Jovanovic M.M., "Resonant, quasi-resonant, multi-resonant and soft-switching techniques merits and limitations" International Journal of Electronics, 1994, Vol.77, No.5, pp.537-554.
- 7- Andrade D.A., Neto R.M.F., Freitas L.C., Vieira J.B. and Farias V.J., "A Soft-Switched Current Controlled Converter for Induction Machine Drives", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.16, No:1, January 2001, pp.64-71.
- 8- Steigerwald R.L., "Power Electronic Converter Technology" Proceeding of The IEEE, Vol.89, No.6, June 2001, pp.890-897.
- 9- Çolak İ., Elmas Ç., Bal G. and Coşkun İ. "High Frequency Resonant DC Link PWM Inverter" Electrotechnical Conference, 1994.Proceedings, 7th Mediterranean 12-14 April 1994, pp.1251-1254, Antalya-Turkey.
- 10- Pickert V. and Johnson C.M., "Three phase soft switching voltage source converters for motor drives. Part 1 Overview and analysis", IEE Proc. Electr. Power Appl., Vol.146, No.2 March 1999, pp.147-154.
- 11- Hua G., Yang E.X., Jiang Y. and Lee F.C., "Novel zero current transition PWM converters", Power Electronics Specialist Conference, 1993. PESC'93 Record 24th Annual IEEE, 20-24 June 1993, pp.538-544.
- 12- Cavalcanti M.C., Silva E.R., Jacobina C.B., Boroyevich D. and Dong W., "Comparative Evaluation of Losses in Soft and Hard Switched Inverters", Industry Applications Conference, 2003. 38th IAS Annual Meeting Conference Record of the Volume3, 12-16 Oct. 2003, pp.1912-1917
- 13- Li Y., Lee F.C. and Boroyevich D., "A three phase soft transition inverter with a novel control strategy for zero current and near zero voltage switching" IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.16, No.5, September 2001, pp.710-723.
- 14- Stein C.M.D.O., Gründling H.A., Pinheiro H., Pinheiro J.R. and Hey H.L., "Analysis and Comparison of Soft Transition Inverters", Industrial Electronics, 2003. ISIE'03 IEEE International Symposium on Volume 1, 9-11 June 2003, pp.538-543.
- 15- Johnson C.M. and Pickert V., "Three phase soft switching voltage source converters for motor drives. Part 2 Fundamental limitations and critical assesment", IEE Proc. Electr. Power Appl., Vol.146, No.2, March 1999, pp.155-162.
- 16- Li Y., Lee F.C., Lai J. and Boroyevich D., "A novel three phase zero current transition and quasi zero voltage transition inverter/rectifier with reduced stresses on devices and components" Applied Power Electronics Conference and Exposition 2000, APEC 2000, Fifteenth Annual IEEE, Vol.2, 6-10 Feb., pp.1030-1036.
- 17- Mohan N., Undeland T.M. and Robbins W.P., Güç Elektroniği, Literatür yayıncılık, İstanbul, 2003.
- 18- Öztürk N., "Sıfır Akım Anahtarlama Yöntemi ile IGBT'deki Kesim Kayıplarının Azaltılması" 1.Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi, 5-7 Eylül 2005, İstanbul.
- 19- OrCad Pspice User's Guide, 1998, OrCad Inc. Rajapakse A.D., Gole A.M. and Wilson P.L., "electromagnetic Transients Simulation Models for Accurate Representation of Switching Losses and Thermal Performance in Power Electronic Systems" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.20, No.1, January 2005, pp.319-327