

Elektronik Güç Transformatörünün Tasarımı ve Analizi

*¹Hakan Açıkgöz, ²Ö.Fatih Keçecioglu, ³Mustafa Şekkeli

*¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis Meslek Yüksekokulu Elektrik Programı Bölümü
^{2,3}K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
*¹hakanacikgoz@kilis.edu.tr, ²fkececioglu@ksu.edu.tr, ³msekkeli@ksu.edu.tr

Özet

Güç transformatörleri enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin en temel ve vazgeçilmez parçalarıdır. Bilindiği gibi klasik yani 50 Hz'lik transformatörler büyük yapılarından dolayı elektrik enerji sistemlerinin en ağır ve pahalı bileşenleridir. Son zamanlarda güç elektroniği, mikroişlemciler ve yarıiletken malzemelerdeki hızlı gelişmeyle birlikte güç elektroniği tabanlı yeni bir transformatör çeşidi ortaya çıkmıştır. Bu yeni transformatörler elektronik güç transformatörü (EGT) olarak isimlendirilmektedir. EGT'ler için bir çok farklı denetim topolojileri mevcuttur. Bu çalışmada giriş, izolasyon ve çıkış kısmından oluşan bir EGT yapısı MATLAB/Simulink paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bu kısımlardan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Giriş kısmındaki darbe genişlik modülasyon tabanlı (DGM) doğrultucu sayesinde birim güç faktörü iyileştirilmiş ve çıkış kısmındaki akımların toplam harmonik bozulmaları (THB) değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektronik Güç Transformatörü, Darbe Genişlik Modülasyonu, Doğrultucu, Güç Transformatörleri, Toplam Harmonik Bozulumu

1. Giriş

Elektromanyetik indüksiyon yolu ile gerilimin veya akımın frekansını değiştirmeden yükselten veya düşüren hareketli parçası olmayan elektrik makinalarına transformatör denilmektedir [1]. Transformatörler elektrik enerji sistemlerinde gerilim dönüşümü ve izolasyon gibi temel işlevleri gerçekleştirmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Transformatörler büyük yapılarından dolayı enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin en ağır ve pahalı parçalarıdır[1]. Tüm bu özelliklerine rağmen transformatörler, yapısal olarak büyük olmaları, kapladıkları hacimlerin fazla olması, üretim ve tesis edilme durumlarındaki zorluklarla birlikte işletim maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajlara sahiptir[1-3].

Bilindiği gibi transformatörlerin boyutları eğer akı yoğunluğu sabit olarak varsayılırsa frekans ile ters orantılıdır[2-5]. Son zamanlarda güç elektroniği devre elemanlarındaki ve yarıiletken malzemelerdeki hızlı ilerlemelerle birlikte transformatörlerin bu özelliğinden faydalanılarak yüksek frekanslı transformatörler üzerinde birçok çalışma yapılmaya başlanmıştır. Bu yüksek frekanslı transformatörlere elektronik güç transformatörleri (EGT) denilmektedir [2-3]. EGT'ler tek bir devre üzerinde gerilim dönüşümü, galvanik izolasyon ve enerji kalitesinin iyileştirilmesini gerçekleştirmektedirler[3]. EGT'ler birçok araştırmacı ve akademisyenin yoğun ilgisini çekmiştir ve EGT'ler için birçok farklı denetim yöntemine sahip olan topolojiler bulunmaktadır. EGT'ler için AC/DC/AC/DC/AC gibi birçok aşamaya sahip olan devreler mevcuttur. Bu yapıdaki sistem giriş, izolasyon ve çıkış kısımlarından oluşmaktadır. Giriş kısmındaki AC gerilim, doğrultucu ve kapasitör ile doğrultularak izolasyon kısmına iletilir.

Bilindiği gibi denetimsiz doğrultucularda yani diyot kullanılarak oluşturulan doğrultucularda şebekeden çekilen akımlar yüksek harmonik bozuluma sahiptir ve birim güç faktörleride düşüktür [3-4]. Diyot doğrultucuların bu olumsuz ve istenilmeyen özelliğinden dolayı darbe genişlik modülasyon (DGM) tabanlı doğrultucu kullanılarak birim güç faktörü iyileştirilebilir.[2-4]. İzolasyon kısmında ise DC gerilim yüksek frekanslı AC gerilime dönüştürülür ve yüksek frekanslı transformatörün dönüştürme oranına göre sekonder kısmında yüksek frekanslı bir AC gerilim elde edilir. Bu AC gerilim çıkış kısmında tekrardan doğrultulur ve inverter sayesinde de yüke uygulanır. Diğer bir EGT devresi ise hem primer hem de sekonder kısmının matris çevirici ile olduğu devredir. Matris çeviriciler, herhangi bir DC baraya ihtiyaç duymadan sabit gerilim ve frekansa sahip bir AC kaynağı doğrudan ayarlanabilir genlik ve frekansta AC kaynağa dönüştürebilirler. Matris çeviricilerle oluşturulan EGT'lerin en büyük avantajı ise DC kapasitörlere ihtiyacı olmadığından hem boyut hem de fiyat açısından büyük bir avantaj oluşturmaktadır. Ayrıca çıkış kısmındaki doğrultucu çıkışında kullanılan filtre elemanı olan kondansatör; fiyat, sınırlı çalışma ömrü ve hacim açısından bir başka dezavantajdır [5]. EGT'ler için literatürde birçok farklı çalışma mevcuttur ve bu çalışmalardan bazıları;

1986 yılında McMurray tarafından geliştirilen ilk EGT direkt frekans çeviricilerden oluşmaktadır [3]. McMurray'ın önerdiği EGT'nin hem primer hem de sekonder kısmında doğrudan frekans çeviriciler bulunmaktadır. Böylece primer tarafındaki düşük frekanstaki gerilim doğrudan çeviricilerle yüksek frekansa dönüştürülerek yüksek frekanslı transformatöre iletilir ve sekonder kısmında bulunan doğrudan frekans çeviriciyle de tekrardan düşük frekanslı bir gerilim elde edilmesi prensibine dayanmaktadır. Subramanya Sarma ve K.S.R Anjaneyulu DC-link kapasitörlü EGT için yeni bir yapılandırmayı önermişlerdir. Yüksek verim elde etmek için AC/DC ve DC/AC dönüştürücüleri tek bir dönüştürücü içerisine entegre etmişlerdir. Bu topolojinin güç faktörü düzeltme, gerilim regülasyonu, gerilim düşmesi ve yükselmesini ortadan kaldırdığı görülmektedir [6]. H.Iman-Eini ve arkadaşları modüler bir EGT yapısı gerçekleştirmişlerdir. EGT'nin modüler yapısı, farklı frekanslar altındaki farklı gerilim sistemlerine kolay ve hızlı adaptasyonu garanti ettiği ve geleneksel transformatörlerle karşılaştırıldığında, EGT'lerin daha hafif, küçük hacimli, genişletilmiş işlevselliğe sahip olduğunu anlatmışlardır. EGT, bu işlevlerinin yanı sıra birkaç güç faktörü fonksiyonlarını tek bir cihazın içerisine entegre etmektedir. Bu ise gerilim düşmesi, yükselmesi ve dalgalanmasını azaltır ve primer veya sekonder tarafındaki güç faktörü düzeltilmesini gerçekleştirir [7]. M.R Banaei ve E. Salary ise DC-link kapasitörlü EGT ve doğrusal olmayan yüklü paralel işleyişi incelenmişlerdir. Transformatörler elektrik güç sisteminde yaygın olarak kullanılmaktadır ve EGT'ler güç kalitesini geliştirmekle birlikte birincil fonksiyonları olan gerilim dönüşümü ve izolasyonunu gerçekleştirmektedir. Ek olarak, bu çalışmada DC-link kapasitörlü EGT'nin paralel işleyişi kullanılarak akım harmonikleri dengeleme, reaktif güç ve doğrusal olmayan yüklerin akım dengesizliği gösterilmiştir. Benzetim çalışması sonuçları ise önerilen yapıdaki bazı avantajları göstermektedir [8]. M.R Banaei ve E. Salary DC/AC dönüştürücünün yeni bir yapılandırmasını önermişlerdir. Önerilen topoloji daha az anahtar ve kapı sürücü devrelerine gereksinim duymaktadır ve buna ek olarak bu dönüştürücüde DC-link kapasitörü yoktur. Bu yüzden, önerilen topoloji EGT'nin büyüklüğünün ve maliyetinin azalmasına yol açmakla birlikte denetim sistemini daha sade hale getirir [9]. Chen Ling ve arkadaşları dağıtım sistemine

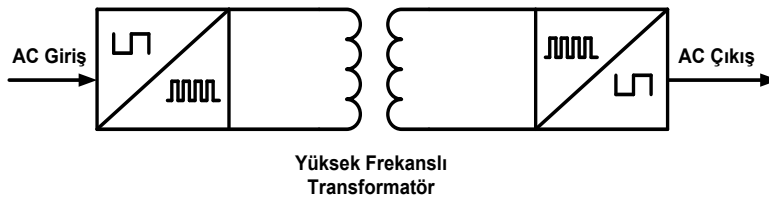
uygulanan yeni bir EGT sistemini önermişlerdir. Giriş kısmı üç fazlı, üç-seviyeli PWM doğrultucudan oluşmaktadır. İzolasyon kısmında yüksek frekanslı gerilimler elde etmek için primer tarafında tek fazlı inverter ve sekonder tarafında ise doğrultucu devresi mevcuttur. Çıkış kısmında ise üç-fazlı iki-seviyeli inverter istenilen gerilim ve gücü yüke vermektedir. Benzetim sonuçları ve deneysel sonuçlar, giriş akımları ve çıkış gerilimlerinin profillerinin çok düzgün olduğunu göstermektedir [4]. F.N. Mazgar ve arkadaşları EGT için pull-push çevirici kullanarak yeni bir yapı tasarlamışlardır. Sonuç olarak bu yapı önceki yapıyla karşılaştırıldığında daha az güç anahtarı kullanılmaktadır. Benzetim çalışmaları bu yapının güç kalitesinin iyileştirilmesi konusunda etkili olduğunu göstermektedir [10]. Hakimas Mohd Hanafi ve arkadaşları tek fazlı bir matris çevirici ile oluşturulan bir EGT yapısını gerçekleştirmişlerdir. Bu yapıda hem primer hem de sekonder kısmında matris çevirici kullanarak bu yapı için oluşturulan matris çeviricinin anahtarlama topolojisi anlatılmaktadır[11].

2. EGT'lerin Modellenmesi ve Denetim ilkeleri

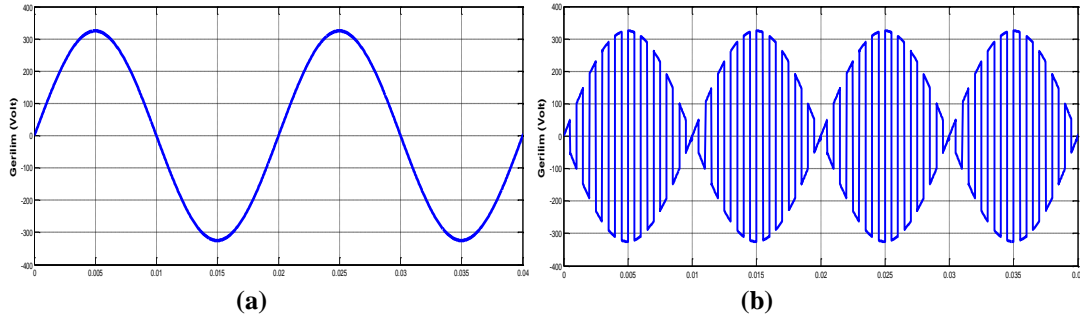
Transformatörler elektrik enerji sistemlerinin en temel ve en önemli parçalarındandır. Bu bakımdan transformatörlerin etkinliklerini artırmak ve bazı dezavantajlarından kurtulmak için EGT'ler ortaya çıkmıştır. Yüksek frekanslı transformatörün boyutu (A_p) aşağıdaki denklem ile bulunabilir [4-8].

$$A_p = \frac{P_{02} \left(1 + \frac{1}{\eta}\right)}{4 \cdot K_f \cdot K_w \cdot B_m \cdot J \cdot f} \quad (1)$$

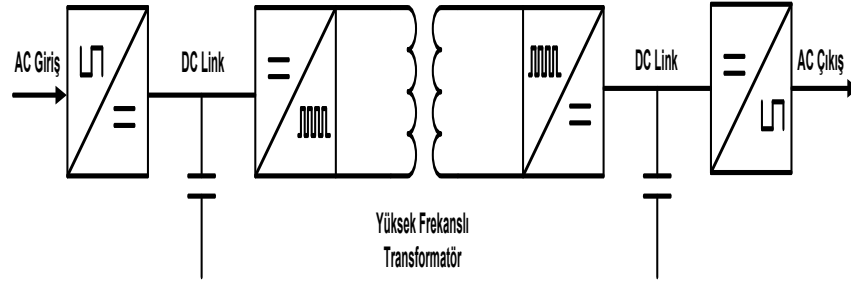
Burada, P_{02} transformatörün sekonder VA gücünü, η verimi (%95-99), K_f sabiti ise kare ve sinüs AC dalga şekline göre sırasıyla 1 ve 1.1'dir. B_m manyetik akı yoğunluğunu (mT), f frekansı (Hz), J akım yoğunluğunu (A/mm²), K_w ise pencere genişliği sabitini (0.2-0.3) temsil etmektedir. Denklem 1'den görüldüğü gibi transformatörün boyutu frekans ile ters orantılıdır. Şekil 1'de AC/AC dönüşümüne sahip matris çeviricilerle oluşturulan bir EGT yapısı gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi EGT yapısında kapasitörler bulunmadığından direkt olarak AC/AC dönüşüm matris çeviriciler tarafından yapılmaktadır. Şekil 2'de AC/AC çeviricinin giriş kısmındaki 50 Hz frekanslı AC gerilim ile çıkışındaki 1000 Hz'lik yüksek frekanslı AC gerilim gösterilmektedir. AC/AC çeviricideki yarıiletken elemanlarla uygun anahtarlama yapılarak istenilen frekansta gerilim elde edilebilir [6-9].



Şekil 1. AC/AC dönüşümlü EGT blok diyagramı



Şekil 2. 325 Volt AC gerilim a) 50 Hz'lik giriş gerilimi b) 1000 Hz'lik çıkış gerilimi

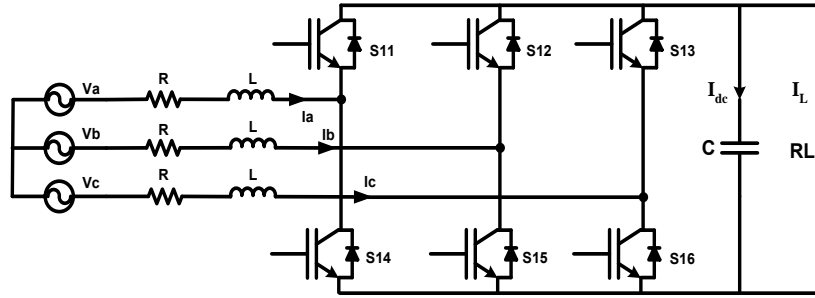


Şekil 3. AC/DC/AC/DC/AC dönüşüm yapısına sahip EGT dönüşüm bloğu

Şekil 3 ise AC/DC/AC/DC/AC dönüşümlerine sahip olan EGT sistemini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi AC giriş gerilimi doğrultucu ve DC kapasitör ile doğrultulup yüksek frekanslı kare dalga haline getirilir ve yüksek frekanslı transformatöre iletilir. Transformatörün dönüştürme oranına göre sekonder kısmında yüksek frekanslı kare dalga denetimsiz doğrultucu tarafından doğrultularak inverttere iletilir. Bu çalışmada önerilen topoloji AC/DC/AC/DC/AC dönüşümlerini tek bir devrede yapan bir EGT yapısıdır.

2.1. DGM Tabanlı Doğrultucu Tasarımı ve Denetimi

Teknolojik gelişmeyle birlikte son yıllarda elektronik cihazların kullanımı hızla artmıştır. Bu cihazların büyük bir bölümü de doğru akım kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Şebeke tarafı AC olduğu için bu gerilimin doğrultulması gerekmektedir. Bilindiği gibi diyot denetimli doğrultucuların birim güç faktörleri düşüktür [12]. Şekil 4'te altı anahtara sahip yükseltici tip DGM tabanlı bir doğrultucu devresi verilmiştir. Bu yapıya sahip olan DGM tabanlı doğrultucudaki bobinler yükseltme işlemi için kullanılırlar. DC hat tarafındaki kapasite ise DC gerilimdeki salınımı azaltmak için kullanılır. Bu tip doğrultucular, birim güç faktörlerinin yüksek olmasından dolayı birçok uygulama ve sistemde sıkça kullanılmaktadır [12-13]. Bu denetim yöntemi üç fazlı değişkenlerin iki fazlı değişkenlere indirgenerek denetlenme ilkesine dayanır. Bu doğrultucunun genel matematiksel modelleri duran referans ekseninde çıkarılır. Daha sonra, dq ve $\alpha\beta$ koordinatlarındaki modellemeleri yapılır [2,3,15]. Şebeke akım ve gerilimleri, denklem 2-4' deki gibi tanımlanır.



Şekil 4. Üç fazlı DGM tabanlı doğrultucu devresi

$$V_a = V_m \sin \theta \quad (2)$$

$$V_b = V_m \sin(\theta - 2\pi/3) \quad (3)$$

$$V_c = V_m \sin(\theta - 4\pi/3) \quad (4)$$

Doğrultucu için şebeke gerilim değerleri ise denklem 5-7'deki gibi elde edilir. Burada I_a, I_b, I_c faz akımlarını, v_{ra}, v_{rb}, v_{rc} ise doğrultucu giriş gerilimleridir.

$$V_a = L \frac{dI_a}{dt} + RI_a + v_{ra} \quad (5)$$

$$V_b = L \frac{dI_b}{dt} + RI_b + v_{rb} \quad (6)$$

$$V_c = L \frac{dI_c}{dt} + RI_c + v_{rc} \quad (7)$$

Doğrultucu yapısında bulunan anahtarlama elemanlarının DC hat tarafındaki V_{dc} gerilimini elde etmek için uygun bir şekilde açılıp-kapanmasıyla birlikte v_{ra}, v_{rb}, v_{rc} gerilim değerleri aşağıdaki denklemlerle bulunabilir [13-14]. Burada S_a, S_b, S_c anahtarlama fonksiyonlarını göstermektedir. Bu anahtarlama fonksiyonları eğer anahtar kapalı ise 1 değerini, anahtar açıksada 0 değerini alır.

$$v_{ra} = \left[S_a - \frac{1}{3}(S_a + S_b + S_c) \right] V_{dc} \quad (8)$$

$$v_{rb} = \left[S_b - \frac{1}{3}(S_a + S_b + S_c) \right] V_{dc} \quad (9)$$

$$v_{rc} = \left[S_c - \frac{1}{3}(S_a + S_b + S_c) \right] V_{dc} \quad (10)$$

$$C \frac{dv_{dc}}{dt} = S_a I_a + S_b I_b + S_c I_c - I_L \quad (11)$$

Doğrultucunun abc koordinat sistemindeki matematiksel modeli denklem 12-14 ile bulunabilir. Bu sisteme denklem 15'deki park dönüşümü uygulanırsa denklem 16-18 elde edilir.

$$L \frac{dI_a}{dt} = v_a - RI_a + \frac{S_b + S_c - 2S_a}{3} v_{dc} \quad (12)$$

$$L \frac{dI_b}{dt} = v_b - RI_b + \frac{S_a + S_c - 2S_b}{3} v_{dc} \quad (13)$$

$$L \frac{dI_c}{dt} = v_c - RI_c + \frac{S_a + S_b - 2S_c}{3} v_{dc} \quad (14)$$

$$P = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta - 4\pi/3) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - 2\pi/3) & -\sin(\theta - 4\pi/3) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$L \frac{dI_d}{dt} = v_d - RI_d + \omega LI_q - u_{rd} \quad (16)$$

$$L \frac{dI_q}{dt} = v_q - RI_q + \omega LI_d - u_{rq} \quad (17)$$

$$C \frac{dv_{dc}}{dt} = \frac{3}{2} (S_d I_d + S_q I_q) - \frac{v_{dc}}{R_L} \quad (18)$$

Burada; $u_{rd} = S_d \cdot v_{dc}$ ve $u_{rq} = S_q \cdot v_{dc}$ 'dir. Ayrıca S_d , S_q ve u_{rd} , u_{rq} ise sırasıyla d-q eksenindeki anahtarlama fonksiyonları ve doğrultucu giriş gerilimleridir. Dönüşümler için gerekli olan açı değeri(θ) matlab/simulink programında hazır blok olarak bulunan PLL (faz kilitleme döngüsü) ile bulunabilir ya da abc- $\alpha\beta$ dönüşümü sayesinde de elde edilebilir. PLL kullanıldığında $\alpha\beta$ dönüşüm yapılmadan direk d-q döner referans çerçevesinde dönüşüm yapılmasıyla denetim gerçekleştirilir [10-15]. Bu çalışmada PLL bloğu kullanılmadan aşağıdaki denklemler kullanılarak gerekli açı değerleri bulunmuştur.

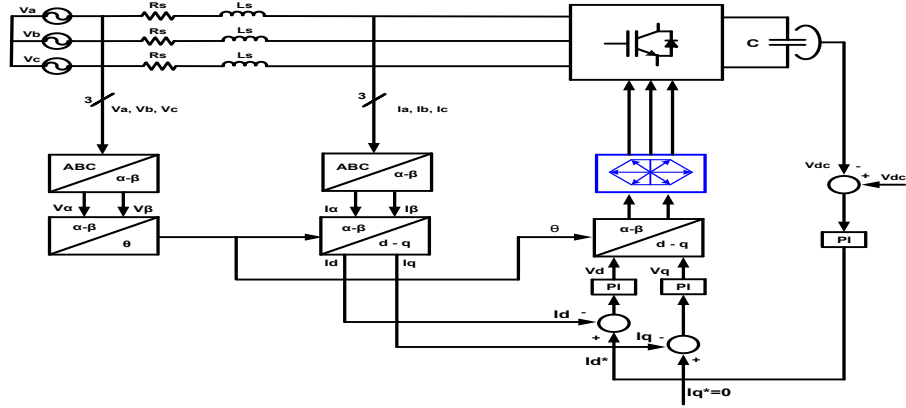
$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\sin \theta = \frac{u_\beta}{\sqrt{(u_\alpha^2 + u_\beta^2)}} \quad (20)$$

$$\cos \theta = \frac{u_\alpha}{\sqrt{(u_\alpha^2 + u_\beta^2)}} \quad (21)$$

Şekil 5'te verilen yapıda ölçülen DC gerilim (V_{dc}), referans V_{dc}^* ile karşılaştırıldıktan sonra aradaki fark bilgisi PI gerilim denetleyici sayesinde aktif bileşene (I_d^*) dönüştürülmektedir. Reaktif gücün denetlenmesi için $I_q^* = 0$ olarak ayarlanmalıdır. Şebeke gerilim ve akımlarının abc/ α - β dönüşümlerinden I_q ve I_d bileşenleri elde edildikten sonra I_q^* ve I_d^* akımlarıyla karşılaştırılır. Aradaki fark PI akım denetleyici aracılığıyla V_q ve V_d gerilim değerlerine dönüştürülür.

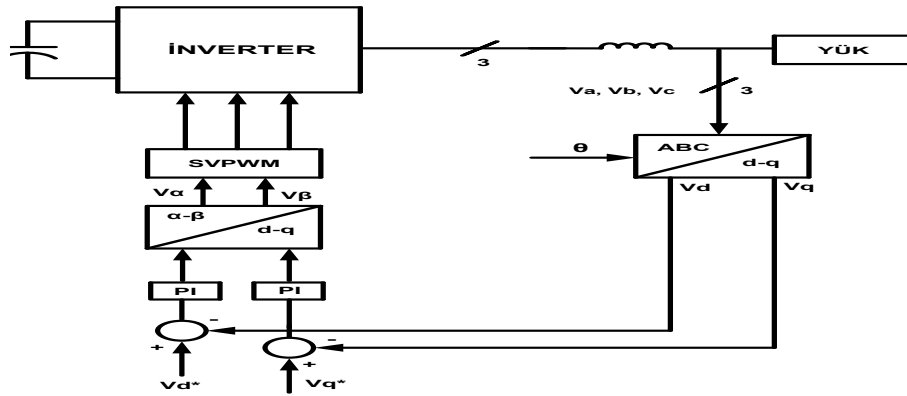
Bu gerilimler ya d-q/ α - β dönüşümü ile ya da d-q/abc dönüşümü ile DGM bloğuna gönderilerek yarı iletken anahtar elemanların sürülmesi için gerekli sinyaller üretilir [6,9,14]. Şekil 5'te DGM tabanlı doğrultucu için gerekli dönüşümlerin bulunduğu blok yapısı verilmiştir.



Şekil 5. DGM tabanlı doğrultucu için d-q dönüşümlerinin bulunduğu blok yapısı

2.2. Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu İnceleyici Yapısı

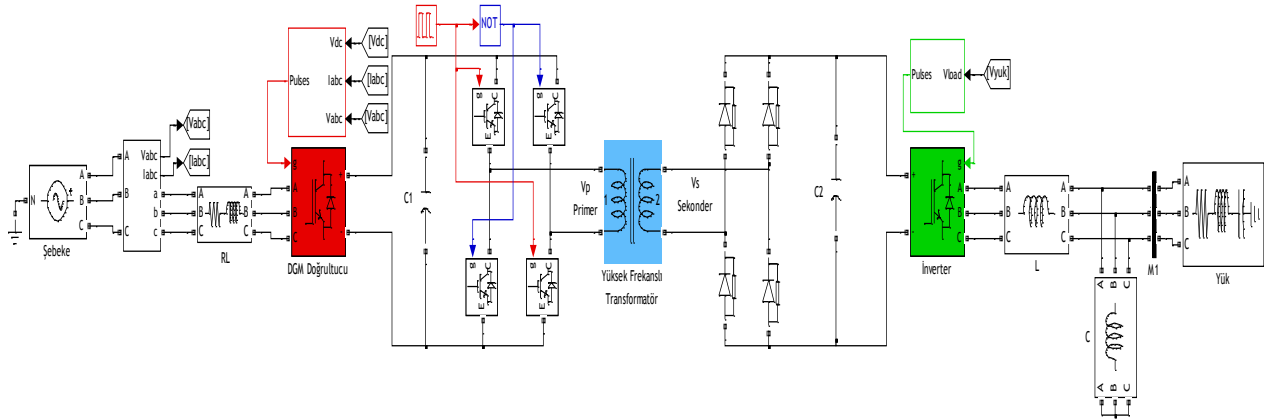
Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu (SVPWM) tekniğinde temel olarak üç kollu bir inverter devresindeki altı anahtarın her kolu için mümkün iki durum 1 yada 0 olmak üzere üç kol için (2^3) toplam sekiz adet durumda, oluşan üç fazlı gerilimlerin iki eksenli bir koordinat sistemindeki izdüşümleri kullanılır. SVPWM tekniğinde referans alınan vektör her bir anahtarlamada referans vektöre komşu sekiz vektörden ikisi ve sıfır değerlikli iki vektör kullanılarak elde edilir. Burada uzay vektörü senkron hızla dönen d-q eksen takımındaki bir büyüklüğün duran α - β eksen takımına indirgenmesi ile elde edilen V_{ref} uzay vektörüdür. Şekil 6'da üç fazlı iki seviyeli inverter bloğu verilmiştir. Bu yapıda abc-dq dönüşümünden sonra d-q referans değerleri ile karşılaştırılıp PI denetleyicilerle denetlendikten sonra tekrardan tersine bir dönüşümle DGM'nin inverter için uygun anahtarlamaya sinyallerini üretmesi sağlanır ve böylece inverter istenilen gerilimi ve gücü yüke aktarır [4]. Bu gerilim LC filtreden geçirilerek 3 fazlı yük gerilimi elde edilir.



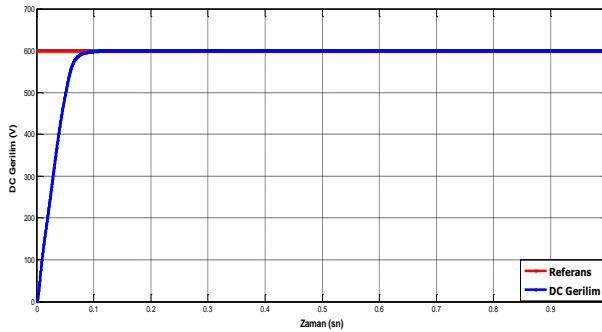
Şekil 6. SVPWM inverter yapısı

3. Benzetim Çalışması Sonuçları

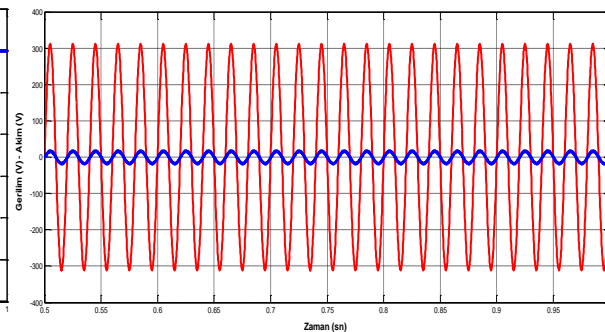
Bu bölümde EGT için benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir ve bu yapı şekil 7’de verilmiştir. DGM tabanlı EGT yapısının benzetim çalışmasında MATLAB/Simulink blokları kullanılmıştır. Bu model için hazırlanan benzetim modeli, doğrultucu, yüksek frekanslı transformatör ve inverter yapısından oluşmaktadır. Çalışmada DGM tabanlı doğrultucu 220 Vrms şebeke gerilimi ile beslenmiştir ve doğrultucunun çıkışından 600 V’luk bir DC gerilim elde edilmiştir. Bu yapıya ait DC gerilim şekil 8’de verilmiştir. Oluşturulan DGM tabanlı doğrultucunun şebekeden çektiği akım ve gerilim ilişkisi şekil 9’da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü akım ve gerilim aynı fazdadır ve akım profile de sinüse çok benzemektedir. Elde edilen bu DC gerilim tek fazlı inverter yardımıyla yüksek frekanslı kare dalga haline getirilerek yüksek frekanslı transformatöre iletilir. Transformatörün dönüştürme oranına göre sekonder kısmında yüksek frekanslı bir gerilim elde edilir. Bu yapıya ait şekiller sırasıyla şekil 10 ve 11’de verilmiştir. Kare dalga, diyot doğrultucu ile doğrultularak invertere gerekli gerilim değeri verildikten sonra yük gerilimi, yük akımı ve inverter V_{ab} gerilimi şekil 12-14’te gösterilmiştir. Yük akımının THB’si ise %1.01’dir. Çalışmada kullanılan elemanların değerleri ise; şebeke gerilimi 220 Vrms, $R=0.1\Omega$, $L=5mH$, $C_1=250\mu F$, $C_2=350\mu F$ transformatörün dönüştürme oranı 3:2 ve frekansı ise 5KHz’dir.



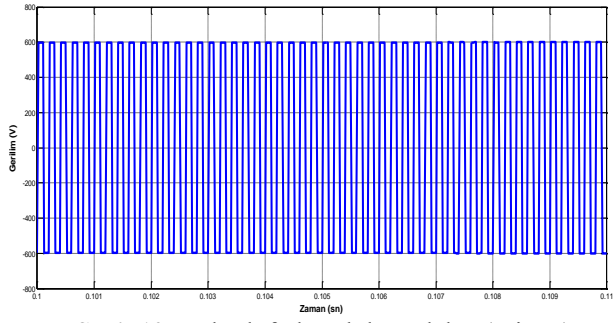
Şekil 7. EGT Matlab/simulink modeli



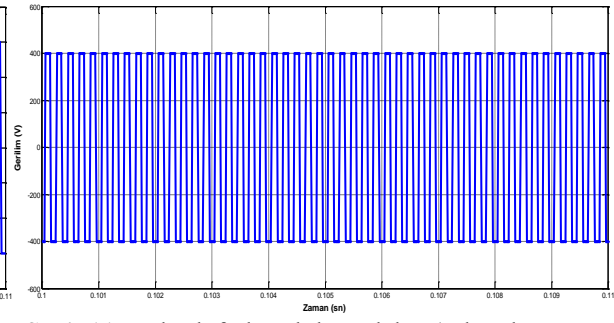
Şekil 8. DGM tabanlı doğrultucu DC gerilimi



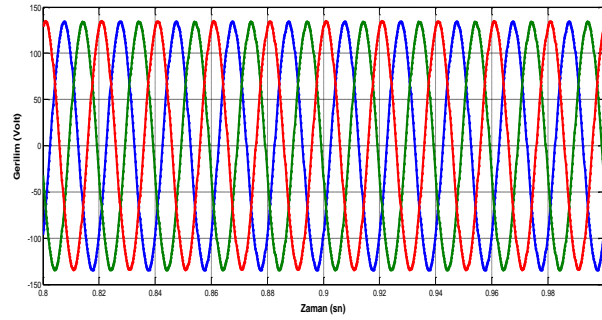
Şekil 9. Akım-gerilim ilişkisi



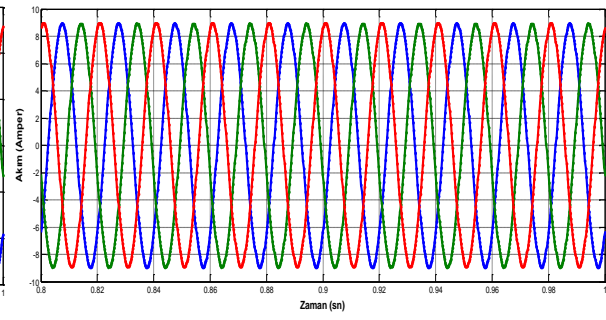
Şekil 10. Yüksek frekanslı kare dalga (primer)



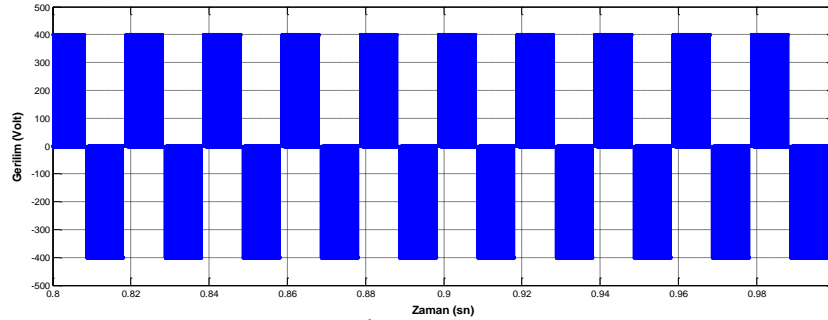
Şekil 11. Yüksek frekanslı kare dalga (sekonder)



Şekil 12. 3 fazlı yük gerilimi



Şekil 13. 3 fazlı yük akımı



Şekil 14. İnverter Vab gerilimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada üç fazlı DGM yöntemi uygulanan doğrultucu tabanlı EGT yapısı detaylı bir şekilde açıklanmıştır. EGT'lerin geleneksel transformatörlerle karşılaştırıldığında, daha hafif, küçük hacimli ve birçok işlevi tek bir devrede gerçekleştirebildiğinin üzerinde durulmuştur. Önerilen EGT yapısı üç kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlardan elde edilen benzetim çalışması sonuçları verilmiştir. Oluşturulan EGT yapısındaki birim güç faktörü yaklaşık 0.98 olarak hesaplanmıştır. EGT yapısı şebeke akımının THB'sini %1.01 seviyesinde tuttuğu ve bu değerinde istenilen bir değer olduğu belirlenmiştir. Giriş kısmında DGM tabanlı doğrultucu kullanılmasıyla güç kalitesi iyileştirilmiş ve DC gerilim ise gerilim düşmesinde veya yükselmesinde referans değerinde sabitlenebilmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Chapman S. J., *Elektrik Makinalarının Temelleri*, 3.baskı, İstanbul, 2013.
- [2] Kang M, Enjeti P N, and Pitel I J. "Analysis and design of electronic transformers for electric power distribution system," *IEEE Trans on Power Electronics*, 1999, 14(6): 1133-1141
- [3] McMurray W., "Power converter circuits having a high- frequency link", U.S Patent 1970, 3,517,300, June 23.
- [4] C. Ling, B. Ge, D. Bi, and Q. Ma, "An effective power electronic transformer applied to distribution system," in *Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 2011 International Conference on, 2011.
- [5] K.K. Mohapatra and N. Mohan., "Matrix converter fed open-ended power electronic transformer for power system application", In *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008.
- [6] Subramanya S., Anjaneyulu K.S.R., "Modeling and Simulation of AC/AC Matrix Converter based Power Electronic Transformer for Power Quality Improvement", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2012 Vol. 1 Issue 5.
- [7] H. Iman-Eini, JL. Schanen, Sh. Farhangi1, J. Barbaroux, JP. Keradec, "A Power Electronic Based Transformer for Feeding Sensitive Loads", *Power Electronics Specialists Conference, 2008, PESC 2008. IEEE*.
- [8] M. R. Banaei, E. Salary, "Power Quality Improvement Using Parallel Operation of Power Electronic Transformer", *International Review on Modelling and Simulations (I.R.E.M.O.S.)*, 2011, Vol. 4, N. 4.
- [9] M. R. Banaei, E. Salary "Power Delivery by a Novel Multi-Stage DC/AC Converter Based on Multilevel AC/AC Converter", *International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.)*, 2011, Vol. 6, No 5.
- [10] Mazgar, F.N. Hagh, M.T. ; Babaei, E., "Distribution electronic power transformer with reduced number of power switches", *Power Electronics and Drive Systems Technology (PEDSTC)*, 15-16 Feb. 2012.
- [11] Hanafi, H.M., Shah A., Hamzah, M.K., Hamzah, N.R., "Modeling of electronic transformer design with the implementation of Single-Phase Matrix Converter using MATLAB/Simulink", *Research and Development (SCOReD)*, 2009 IEEE Student Conference on, 16-18 Nov. 2009.
- [12] Kazmierkowski, M.P., and Malesani, L., "Current Control Techniques for Three-Phase Voltage-Source PWM Converters": A Survey, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1998, 45(5), 691-703.
- [13] Malinowski, M., et al. "Simple direct power control of three-phase PWM rectifier using space-vector modulation (DPC-SVM)", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 2004, 51(2), pp. 447-454.
- [14] B. Yin, R. Oruganti, S. K. Panda and A. K. S. Bhat, "An Output-Power-Control Strategy for a Three-Phase PWM Rectifier under Unbalanced Supply Conditions," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 2008, Vol. 55, No. 5, pp. 2140-2151.
- [15] J. R. Rodrigues, J. W. Dixon, J. R. Espinoza, J. Pontt and P. Lezana, "PWM Regenerative Rectifiers: State of Art," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2005, Vol. 52, No. 1, pp. 5-22.