ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/306410775

Design and Analysis of Electronic Power Transformer in Matlab/Simulink

Conference Paper · March 2016

CITATION
1

READS
754

5 authors, including:



Hakan Açıkgöz
Kahramanmaraş İstiklal University
136 PUBLICATIONS **1,171** CITATIONS
SEE PROFILE



O. Fatih Kececioglu
Kahramanmaraş Sütçü İmam University
129 PUBLICATIONS **501** CITATIONS
SEE PROFILE



Ahmet Gani
Kayseri University
130 PUBLICATIONS **412** CITATIONS
SEE PROFILE



Ceyhun yıldız
Kahramanmaras Istiklal University
46 PUBLICATIONS **583** CITATIONS
SEE PROFILE

All content following this page was uploaded by Hakan Açıkgöz on 24 August 2016.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Design and Analysis of Electronic Power Transformer in Matlab/Simulink

Hakan Açıkgöz
Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı, Kilis, 79000

Ö. Fatih Keçecioğlu
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46100

Ahmet Gani
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46100

Ceyhun Yıldız
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46100

Mustafa Şekkeli
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46100

ABSTRACT

Power transformers are one of the most important components of power system. It is known that these transformers are the heaviest and most expensive parts in an electrical distribution system. With developing technological innovations, it was proposed a new transformer concept. These new power transformers have been called as electronic power transformer. Many different topologies for PETs are also available in the literature. In this study, EGT structure consisting input, isolation and output stages was carried out in Matlab/Simulink environment. EGT structure consists of the three-phase pulse width modulation (PWM) based rectifier in input stage, the dual active bridge in isolation stage and the three-phase inverter circuit in output stage. Moreover, the results obtained from these stages are given and EGT structure is evaluated in many aspects this study.

Keywords: Transformers, Electronic Power Transformers, PWM Rectifier, Dual Active Bridge Converter

Elektronik Güç Transformatörünün Matlab/Simulink Ortamında Tasarımı ve Analizi

ÖZET

Güç transformatörleri elektrik enerji sistemlerindeki en önemli bileşenlerden biridir. Fakat bu transformatörlerin elektrik dağıtım sistemlerindeki en ağır ve pahalı kısımlardan biri olduğu da

bilinmektedir. Hızla gelişen teknolojik yeniliklerle birlikte yeni bir transformatör kavramı önerilmiştir. Bu yeni güç transformatörleri elektronik güç transformatörü (EGT) olarak adlandırılmaktadır. EGT'ler için literatürde birçok farklı topoloji mevcuttur. Bu çalışmada, giriş izolasyon ve çıkış kısımlarından oluşan bir EGT yapısı Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. EGT yapısının giriş kısmında üç fazlı darbe genişlik modülasyonu (DGM) tabanlı doğrultucu, izolasyon kısmında çift aktif köprülü çevirici ve çıkış kısmında da üç fazlı evirici devresi bulunmaktadır. Çalışmada bu kısımlardan elde edilen sonuçlar verilmiştir ve tüm EGT yapısı birçok yönden değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Transformatörler, Elektronik Güç Transformatörleri, DGM Doğrultucu, Çift Aktif Köprülü Çevirici

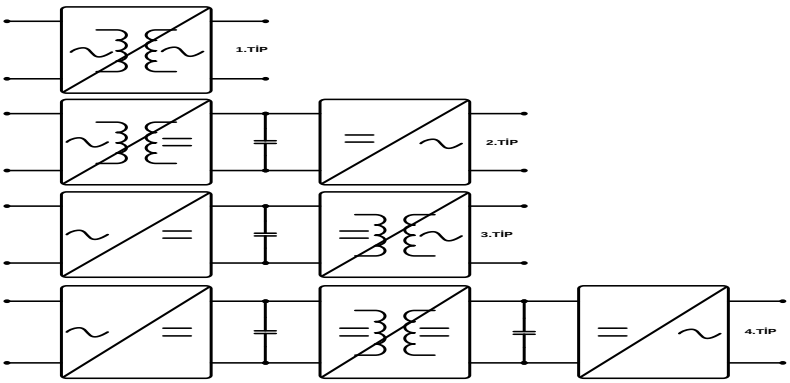
1 GİRİŞ

Elektrik enerjisi modern toplumlardaki en vazgeçilmez unsurlardan biridir ve elektrik enerjisinin iletilmesi ile dağıtılmasındaki en önemli rolü ise transformatörler sağlamaktadır. Alternatif akımın kullanılmaya başladığından beri yaygın olarak kullanılan transformatörler yüksek verim sağlamalarının yanı sıra uzun mesafelere gerilimi yükselterek istenilen elektrik enerjisini taşımaktadırlar. Dağıtım sistemlerinde, endüstride ve evler için bu yüksek gerilim yine transformatörlerle uygun gerilime düşürülmektedir [1-5]. Klasik transformatörlerin genel karakteristik özelliklerinden bahsedilirse,

- Klasik transformatörler yüksek verime sahiptir
- Yüksek ağırlığa ve düşük güç yoğunluğuna sahiptir
- Klasik transformatörler zayıf gerilim regülasyonu ve harmonik izolasyon özelliğine sahiptirler
- Klasik transformatörlerde kullanılan yağlar transformatörlerdeki herhangi bir arıza durumunda çevreye maruz kaldığında zararlı olabilmektedirler
- Klasik transformatörler düşük ücretlere sahiptirler

Yukarıda bahsedildiği gibi klasik transformatörlerin birtakım olumsuz özellikleri mevcuttur ve elektrik şebekesinin karmaşıklığı her geçen gün artmaktadır. Günümüzde sürekli yeni teknolojiler ortaya çıkmakta ve mevcut teknolojilerde hızlı ilerlemeler kaydedilmektedir. Elektrik enerji sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biri olan transformatörler içinde bu yeni teknolojileri kullanmak kaçınılmaz hale gelmiştir. 1970 yılında McMurray tarafından tamamen güç elektroniği çeviricileri tabanlı yeni bir transformatör kavramı önerilmiştir [1]. Bu yeni güç elektroniği çeviricileri tabanlı transformatörlere elektronik güç transformatörü (EGT) denilmektedir. Bu yeni transformatör kavramının önerildiği tarihten itibaren EGT'ler üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiş ve farklı topolojilere sahip EGT'ler tasarlanmıştır [5-10]. EGT yapıları ile aşağıdaki kazanımlar elde edilebilmektedir:

- Klasik transformatörlerin tüm özellikleri gerçekleştirme
- Daha az boyuta ve hacime sahip olma
- Düşük harmonik bozunuma sahip olma
- Gerilim düşmesi/yükselmesi durumunda daha dayanıklı yapıda olma
- Reaktif güç kompanzasyonunu gerçekleştirebilme
- Çift yönlü güç akışını sağlama
- Harmonik izolasyonu gerçekleştirme

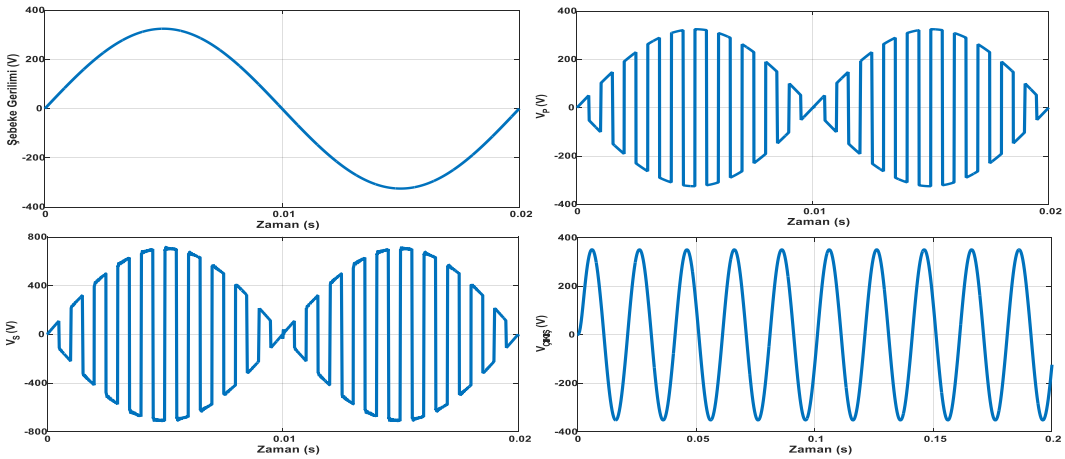


Şekil 1: EGT'ler için mevcut topolojiler

Şekil 1'de EGT yapıları için mevcut olan dört topoloji verilmiştir. Bu dört topolojiyi kullanarak birçok EGT yapısı tasarlanmıştır. Bu topolojiler arasında denetlenebilirliğinin kolay olması ve reaktif güç kompanzasyonu yapabilmesi nedeniyle dördüncü tip topoloji en yaygın olarak tasarlanan EGT yapısıdır. Bu çalışmada ise AC/DC/AC/DC/AC dönüşümlerinin yapıldığı üç aşamadan oluşan bir EGT yapısı Matlab/Simulink ortamında oluşturulmuştur. EGT yapısı giriş, izolasyon ve çıkış kısımlarına sahiptir. Giriş kısmında üç fazlı darbe genişlik modülasyonu (DGM) tabanlı doğrultucu devresi, izolasyon kısmında çift aktif köprülü çevirici ve çıkış kısmında da üç fazlı evirici devresi bulunmaktadır.

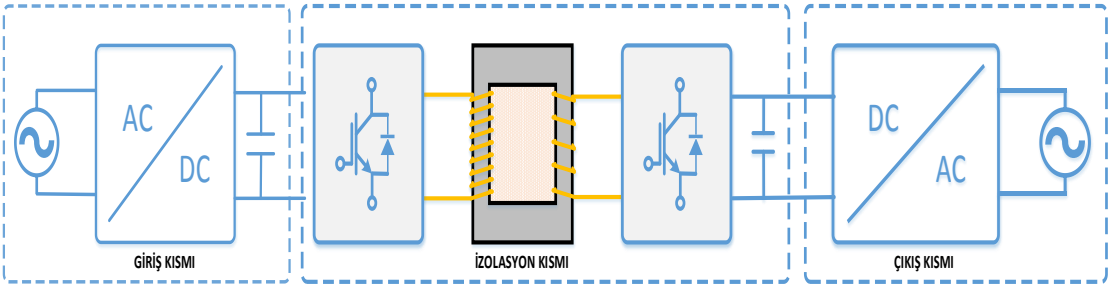
2 ÖNERİLEN EGT YAPISININ ANALİZİ

EGT yapıları için ilk olarak 1970 yılında McMurray tarafından direkt AC/AC dönüşüme sahip çeviricilerle bir EGT yapısı oluşturulmuştur [1]. Şekil 2'de AC/AC dönüşüme sahip EGT yapısına ait dalga şekilleri verilmiştir. Şebeke gerilimi ilk olarak yüksek frekanslı dalga haline getirilmekte ve sekonder kısımda yine aynı yüksek frekanslı gerilim elde edilerek çıkışta AC gerilim yük için elde edilir.



Şekil 2: Direkt AC/AC dönüşüme sahip EGT'nin dalga şekilleri

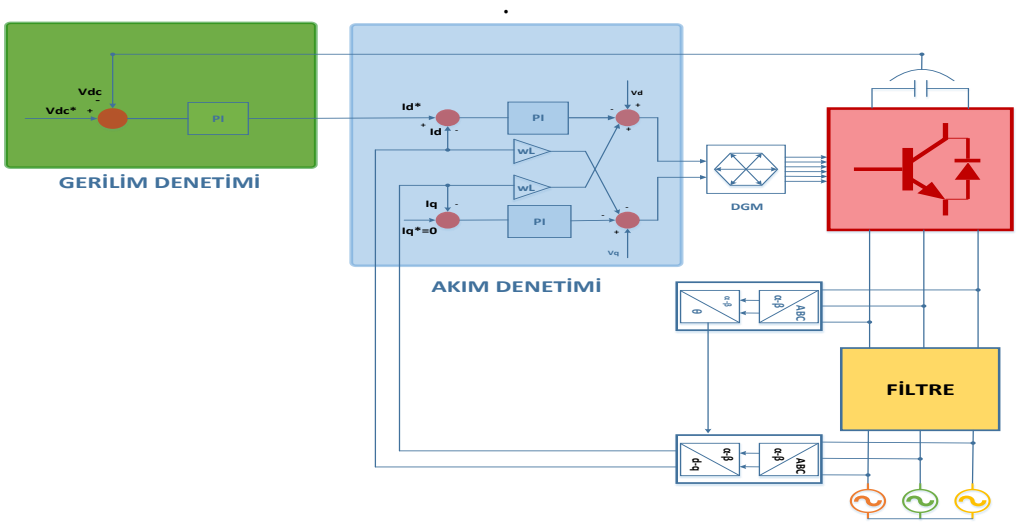
Önerilen EGT yapısı şekil 3'te gösterilmektedir. Bu yapı AC/DC (giriş), DC/DC (izolasyon), DC/AC (çıkış) kısımlarından oluşmaktadır. Giriş kısmındaki AC gerilim için DGM tabanlı doğrultucu devresi Matlab/Simulink ortamında oluşturulmuştur. İzolasyon kısmında çift aktif köprülü çevirici devresi ve çıkış kısmında ise üç fazlı evirici bulunmaktadır.



Şekil 3: Önerilen EGT yapısı

DGM tabanlı doğrultucunun denetimine ait yapı şekil 4'te verilmiştir. Referans DC bara gerilimi ile istenilen DC bara gerilimi birbiriyle karşılaştırılır ve bu karşılaştırma sonucunda ortaya çıkan hata işareti gerilim denetimi yapısındaki PI denetletici ile denetlenerek d-ekseni referans akım değeri I_d* elde edilir.

Giriş akımlarının d-q dönüşümünden I_d ve I_q akımları elde edilir. Birim güç faktöründe çalışmak için I_q* akımı 0 olarak alınmaktadır. Akım denetim bloğundan elde edilen sinyaller DGM bloğuna iletilir ve DGM tabanlı doğrultucu için gerekli olan tetikleme sinyalleri elde edilir.



Şekil 4: DGM tabanlı doğrultucunun yapısı

Üç fazlı DGM tabanlı doğrultucunun matematiksel modeli aşağıdaki gibi elde edilebilir. Üç fazlı şebeke gerilimleri:

$$V_a = V_m \sin\theta \quad (1)$$

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

$$V_c = V_m \sin(\theta + 2\pi/3) \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Üç fazlı DGM tabanlı doğrultucunun abc eksenindeki ifadeleri aşağıdaki gibi elde edilir [8].

$$\begin{bmatrix} L_S \frac{dI_{ra}}{dt} \\ L_S \frac{dI_{rb}}{dt} \\ L_S \frac{dI_{rc}}{dt} \\ C \frac{du_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_S & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -R_S & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -R_S & 0 \\ S_a & S_b & S_c & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ra} \\ I_{rb} \\ I_{rc} \\ I_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_a - V_{ra} \\ V_b - V_{rb} \\ V_c - V_{rc} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{ra} \\ V_{ra} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2/3 & -1/3 & -1/3 \\ -1/3 & 2/3 & -1/3 \\ -1/3 & -1/3 & 2/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} V_{dc} \tag{5}$$

Burada I_a,I_b,I_c faz akımları, V_{ra},V_{rb},V_{rc} ise doğrultucu giriş gerilimleridir. Doğrultucu yapısında bulunan anahtarlama elemanlarının doğrultucu çıkışındaki DC gerilimi elde etmek için uygun bir şekilde açılıp-kapanmasıyla birlikle V_{ra},V_{rb},V_{rc} gerilim değerleri bulunabilir [8]. Burada Sa,Sb,Sc anahtarlama fonksiyonlarını göstermektedir.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Clake ve Park dönüşümlerinden faydalanılarak α-β ve d-q eksenlerindeki eşitlikler aşağıdaki gibi bulunabilir.

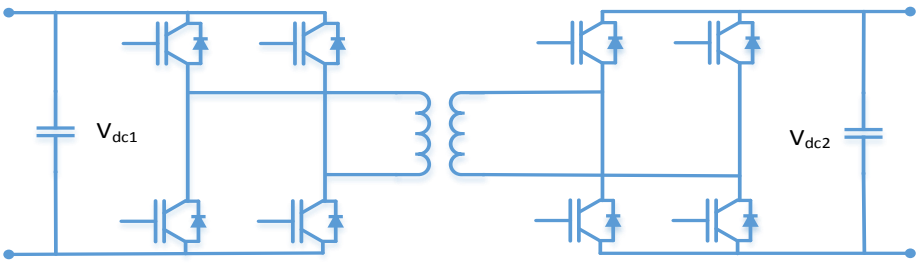
$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = L_S \begin{bmatrix} \frac{dI_\alpha}{dt} \\ \frac{dI_\beta}{dt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_S & 0 \\ 0 & R_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{r\alpha} \\ V_{r\beta} \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = L_S \begin{bmatrix} \frac{dI_d}{dt} \\ \frac{dI_q}{dt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_S & -\omega L_S \\ \omega L_S & R_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} \tag{8}$$

.

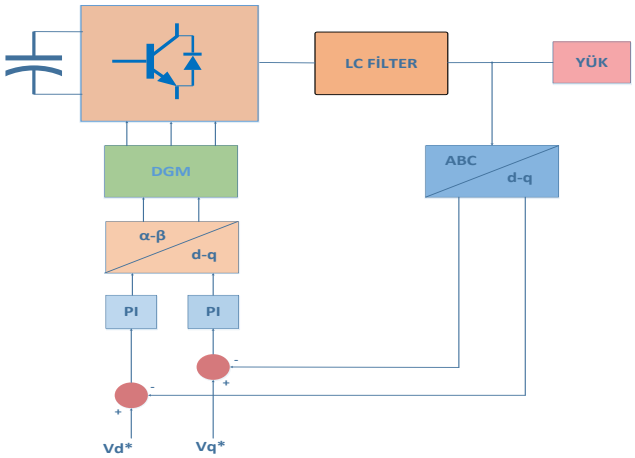
İzolasyon kısmında ise faz kaydırmalı çift aktif köprülü çevirici bulunmaktadır ve şekil 5'te devre şeması verilmiştir. Bu doğrultucu devresinin giriş ve çıkış kısmındaki gerilimler arasında faz kayması oluşturulur. Faz kaymasından elde edilecek olan güç ise aşağıdaki denklem (9) ile ifade edilebilir [6-7].

$$P = \frac{nV_{dc1}V_{dc2}\phi(\pi - \phi)}{2\pi^2 f_S L_k} \tag{9}$$



Şekil 5: Çift aktif köprülü çevirici devresinin yapısı

Burada V_{dc1} gerilimi ile V_{dc2} gerilimi karşılaştırılır ve aradaki hata işareti denetleyiciye giriş olarak uygulanır. Bu çalışmada denetleyici olarak oransal+integral (PI) denetleyici kullanılmıştır.

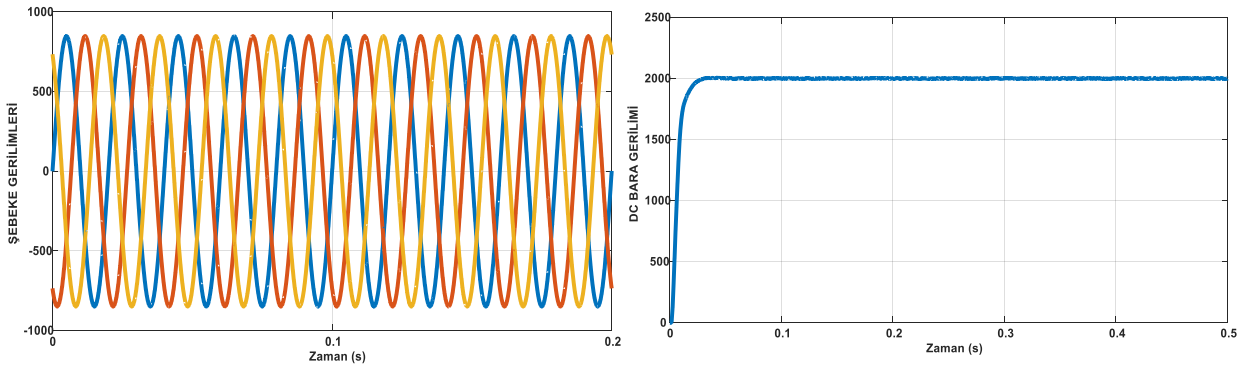


Şekil 6: Çıkış kısmındaki evirici devresinin yapısı

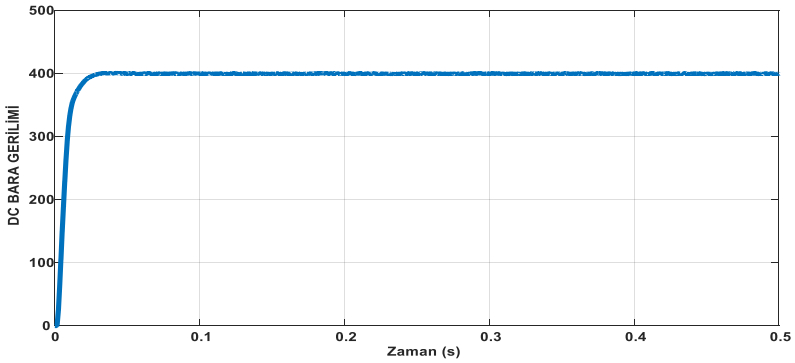
Şekil 6'da ise EGT yapısının çıkış kısmında bulunan evirici devresi verilmiştir. Eviricinin çıkış gerilimleri LC filtreden geçirilerek bu gerilim değerleri d-q eksenlerindeki değerlerine dönüştürülür. Buradan gerekli dönüşümler yapılarak evirici için gerekli olan tetikleme sinyalleri elde edilir.

3 BENZETİM ÇALIŞMASI

Bu bölümde EGT için benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. EGT yapısının benzetim çalışmasında MATLAB/Simulink blokları kullanılmıştır. Bu model için hazırlanan benzetim modeli: doğrultucu, çift aktif köprülü çevirici, yüksek frekanslı transformatör ve evirici yapısından oluşmaktadır. Giriş gerilimi $800V_{rms}$, çift aktif köprü çevirici çıkışı 400V ve çıkış gerilimi de $220V_{rms}$ olarak belirlenmiştir. Çalışmada DGM tabanlı doğrultucu $800V_{rms}$ şebeke gerilimi ile beslenmiştir ve doğrultucunun çıkışından 2000V'luk bir DC gerilim elde edilmiştir. Şebeke gerilimi ve DGM tabanlı doğrultucunun çıkışından elde edilen DC gerilim şekil 7'de verilmiştir. Şekil 8'de ise çift aktif köprü çevirinin çıkışından elde edilen DC gerilim gösterilmiştir.

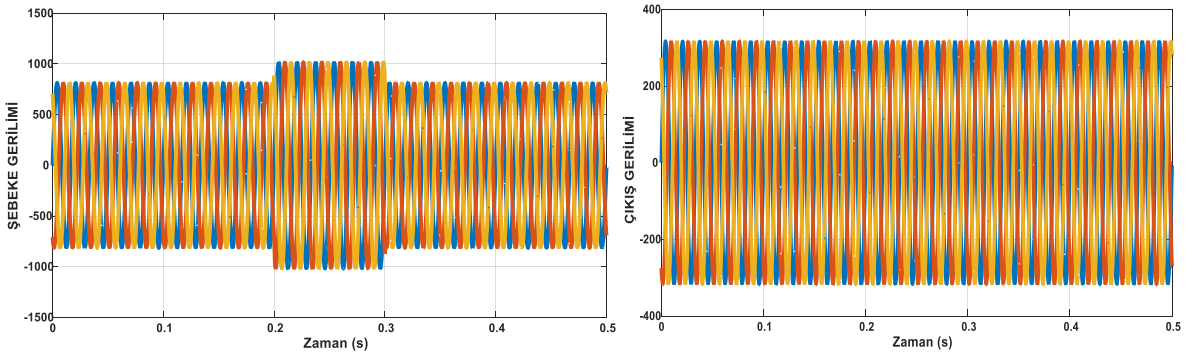


Şekil 7: Şebeke gerilimi ve DC bara gerilimi

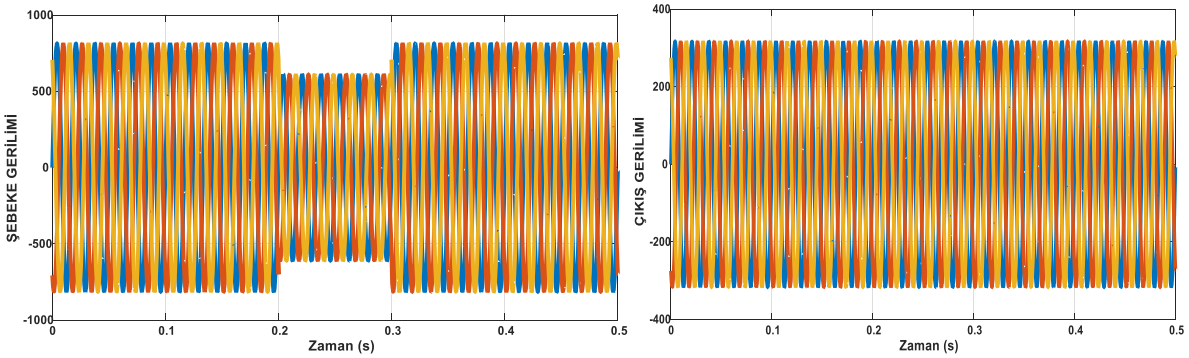


Şekil 8: İzolasyon kısmının çıkışından elde edilen DC gerilim

Önerilen EGT yapısının gerilim düşmesi ve yükselmesi durumlarındaki performansını incelemek için ilk olarak şebeke geriliminde % 25'lik bir artış oluşturulmuştur. Şekil 9'da 0.2-0.3 saniyeleri arasında oluşturulan %25'lik artışa ait dalga şekli görülmektedir. Şekil 9'da şebeke gerilimindeki %25'lik artışa rağmen bu artıştan etkilenmeyen çıkış şekli verilmiştir. Şekil 10'de ise şebeke geriliminde %25'lik düşüşe ait şebeke geriliminin dalga şekli verilmiştir. Bu düşüşe rağmen çıkış dalga şeklinde herhangi bir bozulma meydana gelmemiştir.



Şekil 9: %25'lik gerilimi yükselmesi ve çıkış dalga şekli



Şekil 10: %25'lik gerilim düşmesi ve çıkış dalga şekli

4 SONUÇ

Bu çalışmada klasik transformatörlerin bütün özelliklerini gerçekleştirebilen ve klasik transformatörlere göre birçok üstünlüğü bulunan EGT yapısı Matlab ortamından oluşturulmuştur. İlk olarak EGT yapıları hakkında bilgiler verilmiş ve giriş, izolasyon ve çıkış kısımlarından oluşan EGT yapısı tasarlanmıştır. EGT yapısının giriş kısmında DGM tabanlı doğrultucu ile AC gerilim DC gerilime doğrultulmuş ve izolasyon kısmında ise 400V'luk bir DC gerilim elde edilmiştir. Bu gerilim evirici devresine giriş olarak verilmiş ve çıkışta $220V_{rms}$ AC gerilim elde edilmiştir. EGT yapısının performansını test etmek için şebeke geriliminde %25'lik gerilim yükselmesi/düşmesi meydana getirilmiştir. EGT yapısı bu gerilim düşmesinden ve yükselmesinden etkilenmemiş ve sabit çıkış gerilimi sağlamıştır. Sonuç olarak EGT yapılarının birçok uygulamada yer bulacağı düşünülmektedir.

REFERANSLAR

[1] McMurray, W. "Power Converter Circuits Having A High- Frequency Link", U.S Patent 3,517,300, 1970.

[2] Kang, M., Enjeti, P. N., & Pitel, I. J. "Analysis And Design Of Electronic Transformers For Electric Power Distribution System", Power Electronics, IEEE Transactions on, 14-6, 1133-1141, 1999.

[3] Falcones, S., Mao, X., Ayyanar, R. "Topology comparison for Solid State Transformer implementation", Power and Energy Society General Meeting, 1-8, 2010.

[4] Iman-Eini, H., Schanen, J.L., Farhangil, S., Barbaroux, J., Keradec, J.P. "A Power Electronic Based Transformer For Feeding Sensitive Loads", Power Electronics Specialists Conference (PESC), 15-19, 2008.

[5] Ronan, E. R., Sudhoff, S. D., Glover, S. F., & Galloway, D.L. "A Power Electronic-Based Distribution Transformer", Power Delivery, IEEE Transactions on, 17-2, 537-543, 2002

[6] Xu, S. "Control And Design Of A High Voltage Solid State Transformer And Its Integration With Renewable Energy Resources And Microgrid System", PhD. Thesis, North Carolina State University, 2013.

[7] Zhao, T., Wang, G., Bhattacharya, S., & Huang, A. Q. "Voltage and Power Balance Control for a Cascaded H-Bridge Converter-Based Solid-State Transformer", Power Electronics, IEEE Transactions on, 28-4, 1523-1532, 2013.

[8] Blasko, V., & Kaura, V. "A New Mathematical Model and Control of A Three-Phase AC-DC Voltage Source Converter", Power Electronics, IEEE Transactions on, 12-1, 116-123, 1997.

[9] Dujic, D., Chuanhong, Z., Mester, A., Steinke, J. K., Weiss, M., Lewdeni-Schmid, S., Stefanutti, P. "Power Electronic Traction Transformer-Low Voltage Prototype", Power Electronics, IEEE Transactions on, 28-12, 5522-5534, 2013.

[10] Tao, Y., Meere, R., McKenna, K., & O'Donnell, T. "The Evaluation Of A Modular Solid State Transformer And Low-Frequency Distribution Transformer Under Daily Loading Profile", 17th European Conference on Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe), 2015.

View publication stats