




MAKSİMUM YÜKSELTİCİ KONTROLLÜ T-KAYNAK İNVERTERİN ANALİZİ

Mustafa Sacid ENDİZ 

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE
msendiz@erbakan.edu.tr

(Geliş/Received: 12.07.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 10.08.2021)

ÖZET: Geleneksel akım ve gerilim kaynaklı inverterler, DC-AC güç dönüşümünde girişine uygulanan gerilimi yükseltmek için DC-DC dönüştürücü veya trafoya ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyacı ortadan kaldırmak amacıyla son yıllarda sıklıkla kullanılan empedans kaynaklı inverter (ZSI) devresi önerilmiştir. ZSI devresi, sahip olduğu empedans katı ve kısa devre çalışabilme özelliği sayesinde DC giriş gerilim değerini istenilen değere dönüştürebilmektedir. Bu çalışmada, ZSI'nin dezavantajlarını ortadan kaldırarak daha verimli DC-AC güç dönüşümü yapabilen T-Kaynak inverter (TSI) devresi, Matlab/Simulink ortamında farklı devre parametreleri için incelenmiştir. TSI devresinin yapısı ve çalışma prensibi, ilgili denklemler kullanılarak teorik olarak açıklanmıştır. TSI devre yapısı, ZSI'de olduğu gibi aynı faz kolundaki anahtarlama elemanlarını kısa devre ederek DC giriş gerilimini yükseltme özelliğine sahiptir. Kullanılan modülasyon indeksine ve kısa devre görev oranına bağlı olarak, TSI devresi düşürücü-yükseltici olarak çalışabilmektedir. Güç katındaki anahtarlama elemanlarını sürmek için sinüzoidal PWM tabanlı maksimum yükseltici kontrol tekniği uygulanmıştır. TSI'nin belirli bir kısa devre çalışma oranında ve DC giriş gerilim değerinde; DC hat gerilimi, kondansatör ve AC çıkış gerilim değeri, ZSI devresi ile karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır. Benzetim çalışmaları ile teorik sonuçların örtüştüğü görülmüş, TSI devresinin ZSI'ye kıyasla daha az pasif devre elemanı kullanarak etkin şekilde DC-AC güç dönüşümü yapabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: T-Kaynak İnverter, Maksimum Yükseltici Kontrol, Yükseltme faktörü, ZSI

Analysis of T-Source Inverter with Maximum Boost Control

ABSTRACT: Conventional current and voltage source inverters need a DC-DC converter or transformer to increase the applied voltage in DC-AC conversion. In order to eliminate this need, Z-Source inverter (ZSI), which has been used frequently in recent years, has been proposed. The ZSI circuit can convert DC input voltage to the desired value using its Z-Network and short-circuit capability. In this study, T-Source inverter (TSI), which can make more efficient DC-AC conversion by eliminating the disadvantages of ZSI, is examined using Matlab/Simulink for different circuit parameters. The working principle of TSI circuit is explained theoretically by using related equations. TSI network is able to increase DC voltage by short-circuiting the switching elements in the same phase leg as in ZSI. Depending on the applied modulation index and shoot-through duty ratio, TSI can operate as a buck-boost converter. PWM based maximum boost control technique is employed to drive the switching elements. Compared to ZSI; DC-link voltage, capacitor and AC output voltage of TSI are calculated at a certain shoot-through duty ratio and DC input voltage. It has been shown that the theoretical results match with the simulation studies, and TSI circuit can effectively perform DC-AC conversion using less passive circuit elements compared to ZSI.

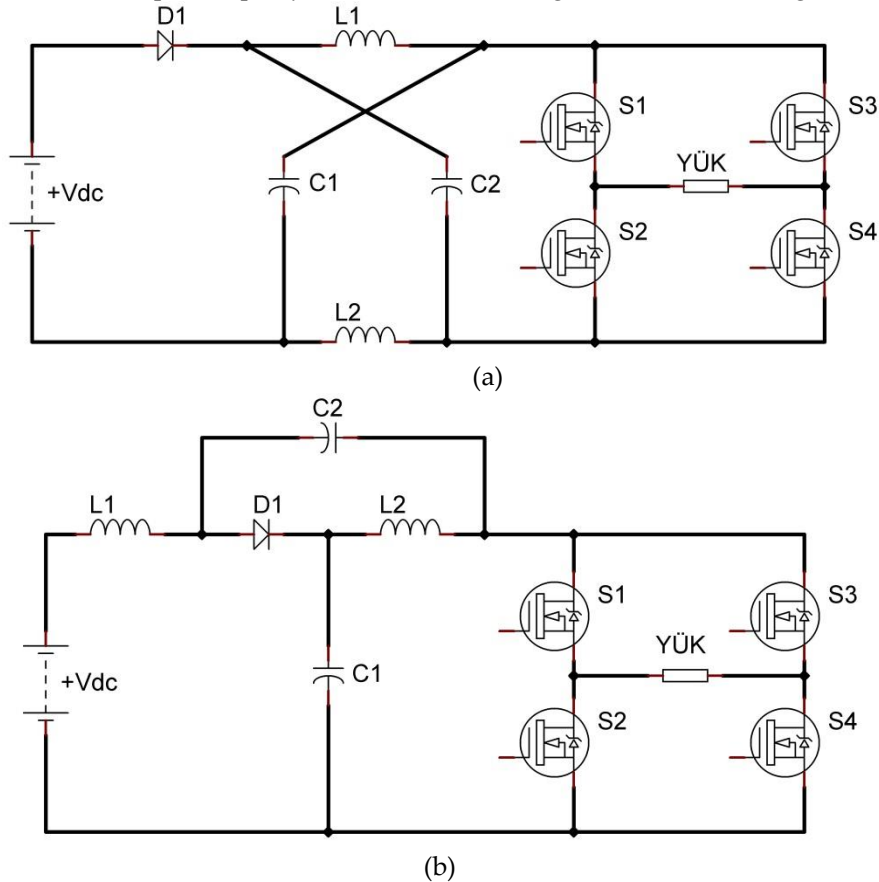
Key Words: T-Source Inverter, Maximum Boost Control, Boost factor, ZSI

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda fosil yakıtların hızla tükenmesine bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazanmasıyla birlikte, DC-AC dönüştürücüler oldukça popüler hale gelmiştir (Liu, 2020). Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerjinin günlük hayatta kullanılabilmesi için, düşük maliyetle ve etkin şekilde DC-AC güç dönüşümünün yapılabilmesi gerekmektedir (Ebrahimi ve diğ., 2020; Endiz ve diğ., 2020).

Endüstride yaygın olarak kullanılan gerilim kaynaklı inverterler (VSI) düşürücü yapıda olmalarından, uygulanan gerilim değerini yükseltmek için DC-DC dönüştürücü veya trafoya ihtiyaç duymaktadırlar (Chen ve Smedley, 2008; Estévez-Bén ve diğ., 2020).

Geleneksel VSI'de; kullanılan trafonun büyük boyutlu oluşu, DC-DC dönüştürücü yapısındaki MOSFET anahtarın ve sürücü devresinin ek maliyet oluşturması ile DC-AC güç dönüşümünün iki aşamalı oluşu, yeni çözüm arayışlarını doğurmuştur. Geleneksel VSI devrelerinin dezavantajlarının üstesinden gelmek amacıyla Şekil 1'de devre şemaları sırasıyla verilen empedans kaynaklı inverter (ZSI) ve yarı empedans kaynaklı inverter (qZSI) topolojileri önerilmiştir (Peng, 2003; Mande ve diğ., 2020).



Şekil 1. (a) ZSI devre şeması (b) qZSI devre şeması

Figure 1. (a) ZSI circuit (b) qZSI circuit

Empedans katında kullanılan iki eşdeğer büyüklüğe sahip bobin ve kondansatör ile inverter katında bulunan anahtarlama elemanları kısa devre edilebilmektedir. Bu sayede ZSI devresi geleneksel VSI'ye kıyasla, büyük boyutlu trafo ve DC-DC dönüştürücüye ihtiyaç duymadan tek aşamada hem düşürücü hem de yükseltici olarak çalışabilmektedir (Ellabban ve Abu-Rub, 2016; Tang ve diğ., 2010). Ayrıca inverterin

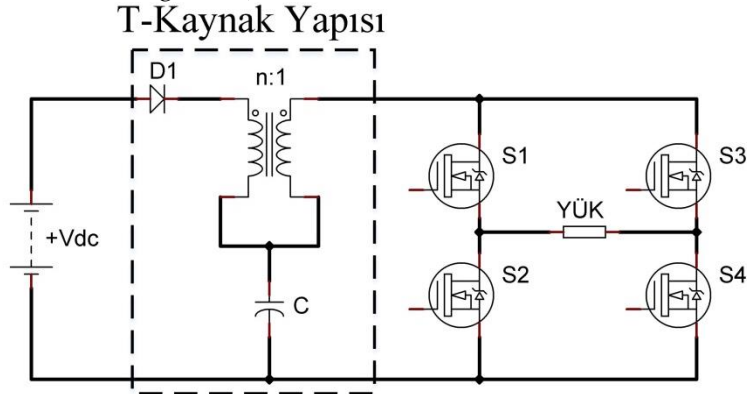
aynı faz kolundaki anahtarların eş zamanlı olarak ilettime girebilmesi, devreyi elektromanyetik girişim (EMI) gibi istenmeyen durumlara karşı daha güvenli ve esnek hale getirmektedir (Li ve diğ., 2012).

Bunula birlikte ZSI devresi bazı dezavantajlara sahiptir. Galvanik izolasyon ve empedans katındaki kondansatörlerin parazit endüktans etkisi, anahtarlama yapılırken MOSFET'ler üzerinde aşırı gerilim yükselmesine neden olabilmektedir. Bu durumun önüne geçmek amacıyla ilave sönümleyici devre yapıları kullanılmakta veya daha büyük gerilimlere dayanabilen yüksek maliyetli MOSFET'ler tercih edilmektedir. ZSI'nin bir diğer dezavantajı, DC katı ile inverter güç katının farklı toprak referanslarına sahip olmasıdır. Bu durum EMI'ye karşı devreyi daha hassas yapmaktadır (Dong ve diğ., 2016). ZSI'de bahsedilen teorik kısıtlamaları ortadan kaldırmak ve devre parametrelerini iyileştirmek amacıyla birçok devre yapısı geliştirilmiştir (Li ve diğ., 2009; Zhu ve diğ., 2010; Nguyen ve diğ., 2011).

Bu çalışmada, geleneksel VSI ve ZSI/qZSI devre yapılarının sahip olduğu dezavantajları ortadan kaldıran T-Kaynak inverter (TSI) devresinin çalışma performansı farklı devre parametreleri için analiz edilmiştir. DC hat gerilimi, kondansatör ve AC çıkış gerilim değeri belirli bir kısa devre çalışma oranında ve DC giriş gerilim değerinde Matlab/Simulink ortamında benzetimi yapılarak ZSI devresi ile karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır.

T-KAYNAK İNVERTER DEVRE YAPISI (T-SOURCE INVERTER CIRCUIT STRUCTURE)

Şekil 2'de tek fazlı TSI devresinin genel görünümü verilmiştir. TSI devresinde DC katı ile anahtarlama elemanlarının olduğu güç katı aynı ortak referansa sahiptir. TSI devresi ZSI'den farklı olarak, empedans katında T şeklinde bağlantılı yüksek frekanslı ve düşük kaçak akıllı trafo ile bir kondansatörden oluşmaktadır. Girişte kullanılan diyot, güç katından kaynağa doğru akabilecek ters yönlü akımlara karşı koruma sağlamaktadır. TSI devre şemasında görüldüğü üzere, ZSI/qZSI devrelerinde empedans katında iki bobin ve iki kondansatör kullanılırken TSI devresinde daha az sayıda pasif devre elemanı kullanılmaktadır (Sivaraman ve Prem, 2017; Liu ve diğ., 2020).



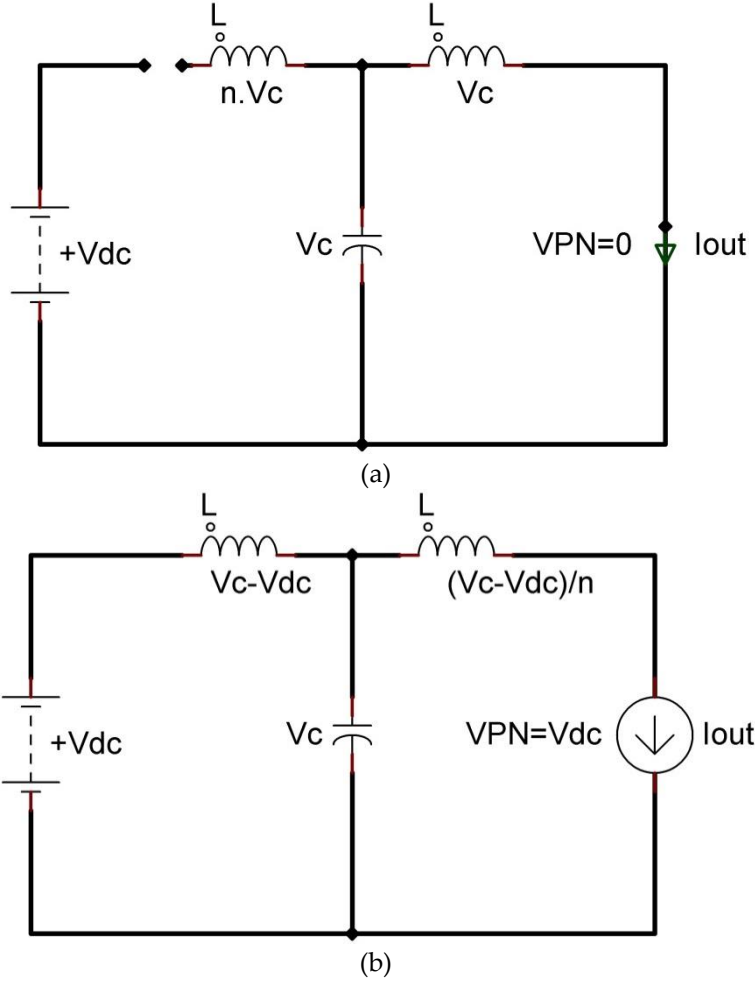
Şekil 2. Tek fazlı TSI devre şeması

Figure 2. Single-phase TSI main circuit

Geleneksel ZSI/qZSI devrelerindeki gibi TSI devresi Şekil 3'te gösterildiği şekilde kısa devre ve kısa devre olmayan çalışma modlarına sahiptir. Şekil 3.a'da gösterilen kısa devre çalışma modunda aynı faz kolundaki anahtarlama elemanları eş zamanlı olarak ilettime sokulur ve trafo sargıları enerjilenir. Giriş diyotu ters kutuplu olmasından dolayı kesimde, DC hat gerilimi ise kısa devre durumundan dolayı sıfır volta eşittir. ZSI/qZSI devrelerinde yükseltme işleminin yapıldığı LC devresi yerine kullanılan T-Kaynak yapısı ile kısa devre anahtarlama yapılarak çıkış gerilim seviyesi yükseltilir. Anahtarlama elemanlarını sürmek amacıyla ZSI'de kullanılan geleneksel PWM tabanlı tüm kontrol teknikleri TSI'de uygulanabilir (Liu ve diğ., 2018).

T-Kaynak yapısındaki trafonun sarım oranı n , birden büyük seçildiğinde çıkış gerilim seviyesinde artış olacaktır başka bir ifade ile ZSI/qZSI devrelerindeki kazançla aynı kazancı elde etmek için daha küçük kısa devre çalışma oranı yeterli olacaktır. Kısa devre çalışma oranının küçülmesi daha büyük modülasyon indeksinin kullanılmasını mümkün kılacak bu da hem DC bara kullanım oranının hem de çıkış sinyal kalitesinin artmasını sağlayacaktır.

Şekil 3.b'de verilen kısa devre olmayan çalışma modunda giriş diyotu doğru kutuplu olacağından iletimde, DC hat gerilimi ise kullanılan kısa devre çalışma oranına bağlı olarak yükseltilmiş durumdadır. Kısa devre anında enerjilenmiş durumda olan trafo sargıları, kısa devre olmayan çalışma durumunda yükü beslemektedir. Bu şekilde DC giriş gerilim seviyesi arttırılmaktadır.



Şekil 3. (a) TSI devresi kısa devre çalışma modu b) TSI devresi kısa devre olmayan çalışma modu

Figure 3. (a) TSI circuit in shoot-through mode (b) TSI circuit in non-shoot-through mode

T_0 ve T_1 , anahtarlama periyodu süresince kısa devre çalışma süresi ve kısa devre olmayan çalışma süresi olmak üzere, kısa devre görev oranı D ifadesi T_0 'ın T_1 'e oranına eşittir. Sürekli durum analizinde trafo sargıları üzerindeki ortalama gerilim değeri V_{L1} ve V_{L2} sıfır volta eşit olacaktır. TSI devresinde; V_{dc} kaynak gerilimini, V_c kondansatör gerilimini, V_{PN} DC hat gerilimini, M modülasyon indeksini ve B yükseltme faktörünü göstermek üzere ilgili devre parametreleri alttaki eşitliklerde belirtilmiştir.

$$\frac{V_c}{(V_{dc})} = \frac{T_1}{(T_1 - n * T_0)} = \frac{1 - D}{(1 - (n + 1) * D)} \quad (1)$$

Kısa devre görev oranı $D < 1/(n+1)$ şartı geçerli olmak üzere, D büyüklüğü trafo sarım oranı n büyüklüğüne göre belirlenir. Verilen eşitlikte $n > 1$ olmak üzere D 'nin alabileceği en büyük değer $ZSI/qZSI$ devrelerine göre aynı yükseltme faktörünü elde etmek amacıyla daha düşük olacaktır. Başka bir ifade ile aynı büyüklükteki D için TSI devresi daha büyük B değerine sahip olacaktır.

Eşitlik (1) kullanılarak kısa devre olmayan çalışma modunda V_{PN} DC hat gerilimi, Eşitlik (2)'de verilmiştir. Kısa devre olmayan çalışma modunda yükseltile DC giriş gerilimi inverterin güç katında anahtarlama elemanları tarafından AC gerilime dönüştürülür. Tek fazlı inverterde kazanç G ve AC çıkış gerilim değeri V_{ac} Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanır.

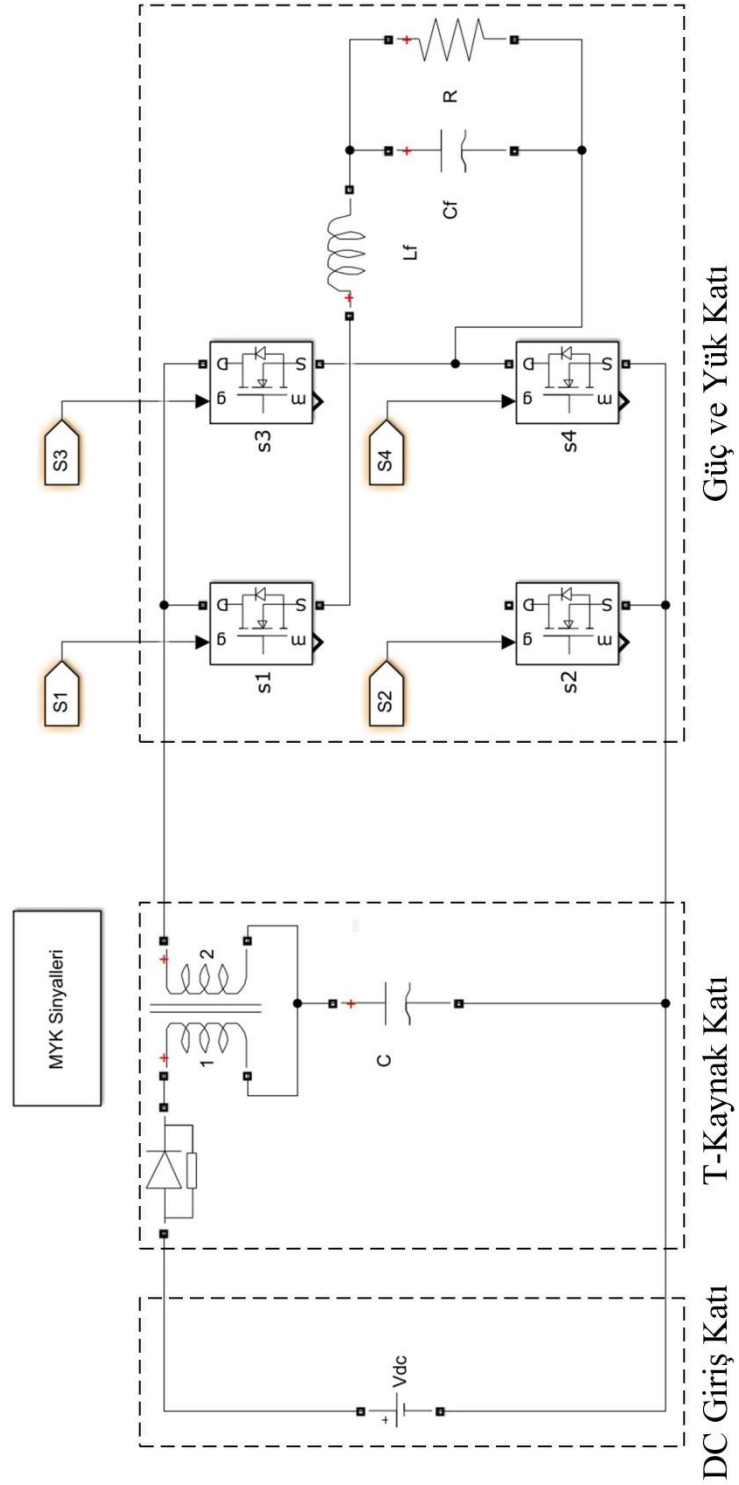
$$V_{PN} = \frac{(V_C - V_{dc})}{n} + V_C \quad (2)$$

$$G = M * B \text{ ve } V_{ac} = M * V_{PN} = M * \left(\frac{(V_C - V_{dc})}{n} + V_C \right) \quad (3)$$

BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATION RESULTS)

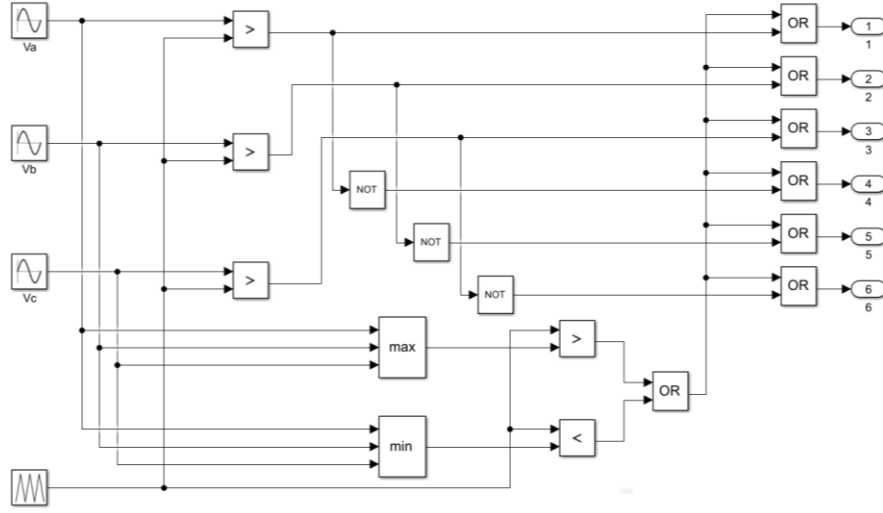
Benzetim çalışmaları, tek fazlı TSI devresinde ideal trafo için trafo sarım oranı 1:1 ve 2:1 değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmaları, Şekil 4'te gösterilen ve Matlab/Simulink ortamında oluşturulan devre üzerinde yapılmıştır. Devre parametreleri sırasıyla; $V_{dc}=120V$, $D=0,2$, anahtarlama frekansı $f_s=10kHz$, $L_1=L_2=100\mu H$, $C=470\mu F$, çıkış filtre elemanları $L_F=1mH$, $C_F=10\mu F$ ve yük $R_L=10\Omega$ olarak seçilmiştir.

İnverter güç katındaki anahtarlama elemanlarını sürmek amacıyla maksimum yükseltici kontrol tekniği kullanılmıştır. Şekil 5'te maksimum yükseltici kontrol tekniği için kontrol blok diyagramı ve dalga şekilleri gösterilmiştir. Faz farkına sahip üç referans sinyali (V_a, V_b, V_c) ve bir üçgen taşıyıcı dalga sinyali (V_t) karşılaştırılarak, anahtarlama elemanları için gerekli tetikleme sinyalleri üretilmektedir. Taşıyıcı dalga genliğinin referans sinyallerin genliğinden büyük olduğu durumlarda anahtarlar kısa devre modunda, kalan durumlarda anahtarlar taşıyıcı tabanlı PWM modunda sürülmektedir. Bu teknikte D , B ve G ifadeleri Eşitlik (4) ve Eşitlik (5)'te verilmiştir.

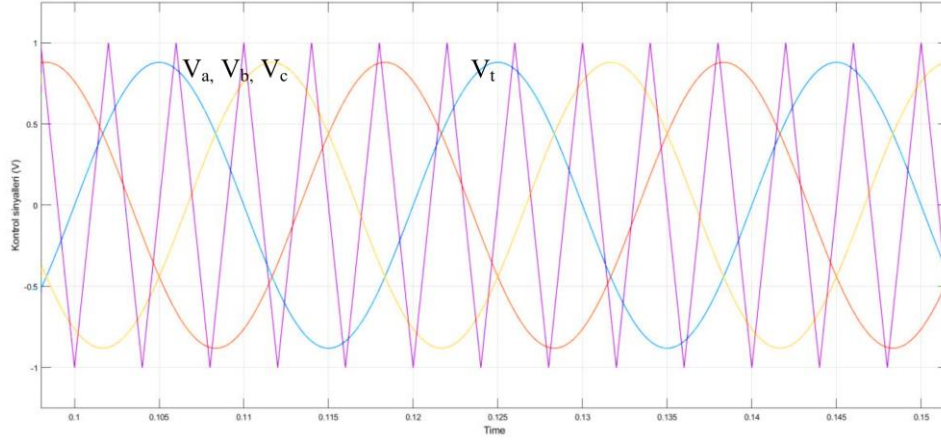


Şekil 4. Benzetim çalışmalarında tasarlanan TSI devre modeli

Figure 4. (a) Simulation model of TSI circuit



(a)



(b)

Şekil 5. Maksimum yükseltici kontrol tekniği (a) Blok diyagramı (b) Dalga şekilleri

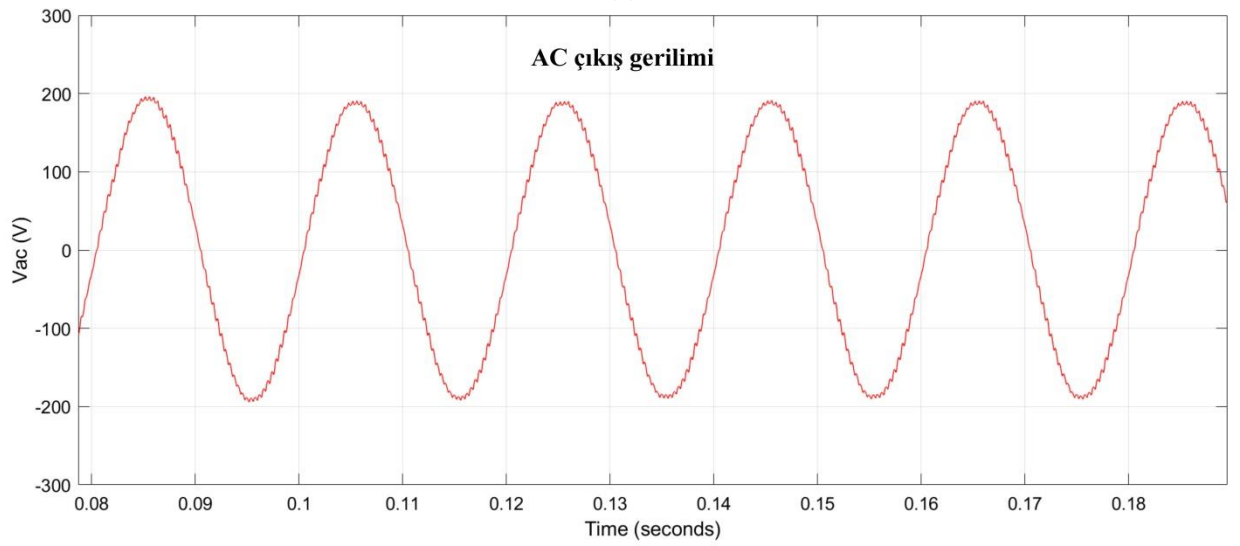
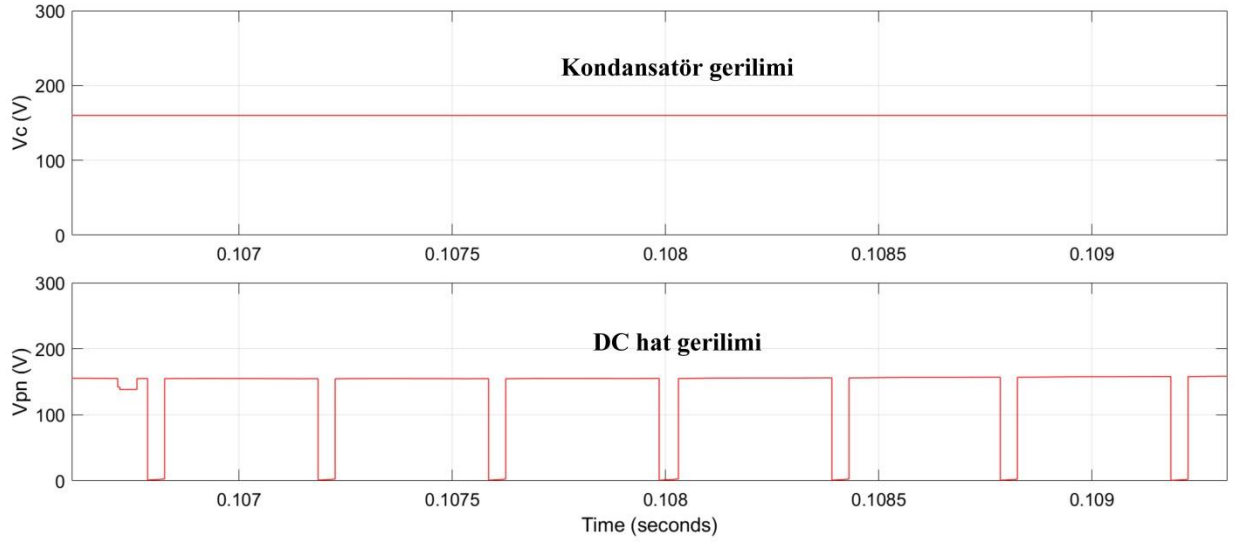
Figure 5. Maximum boost control technique (a) Block diagram (b) Waveforms

$$D = \frac{2\pi - 3\sqrt{3}M}{2\pi} \quad (4)$$

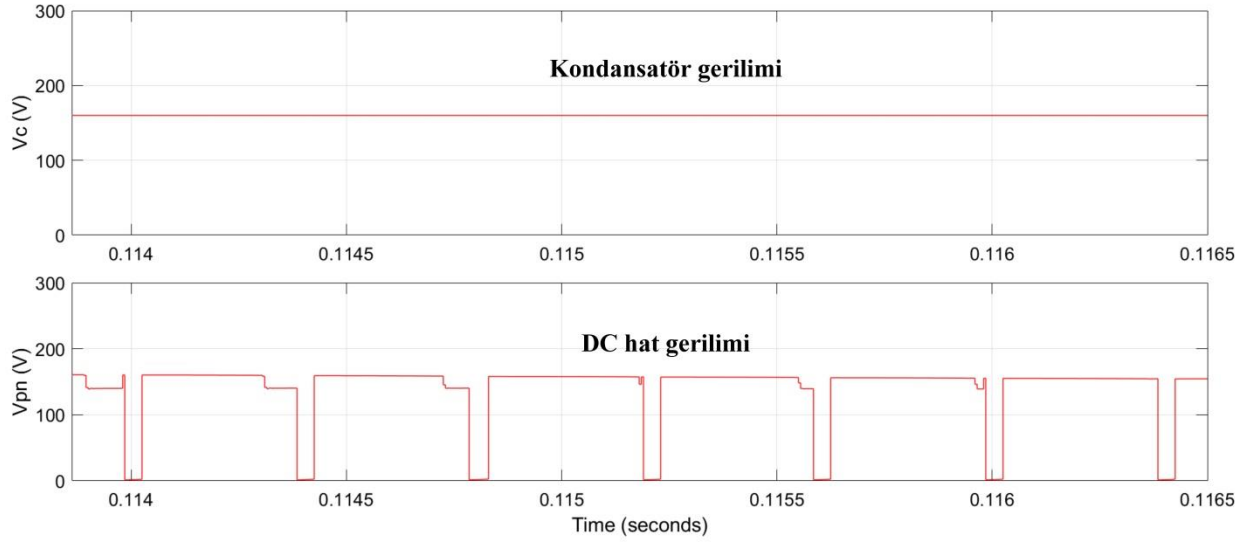
$$B = \frac{\pi}{3\sqrt{3}M - \pi} \text{ ve } G = \frac{\pi(B + 1)}{3\sqrt{3}} \quad (5)$$

Benzetim çalışmalarında T-Kaynak inverter devresinde trafo sarım oranı 1:1 ve 2:1 değerleri için elde edilen DC hat gerilimi V_{PN} , kondansatör V_C ve AC çıkış gerilim değeri V_{ac} , ZSI devresi ile karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir.

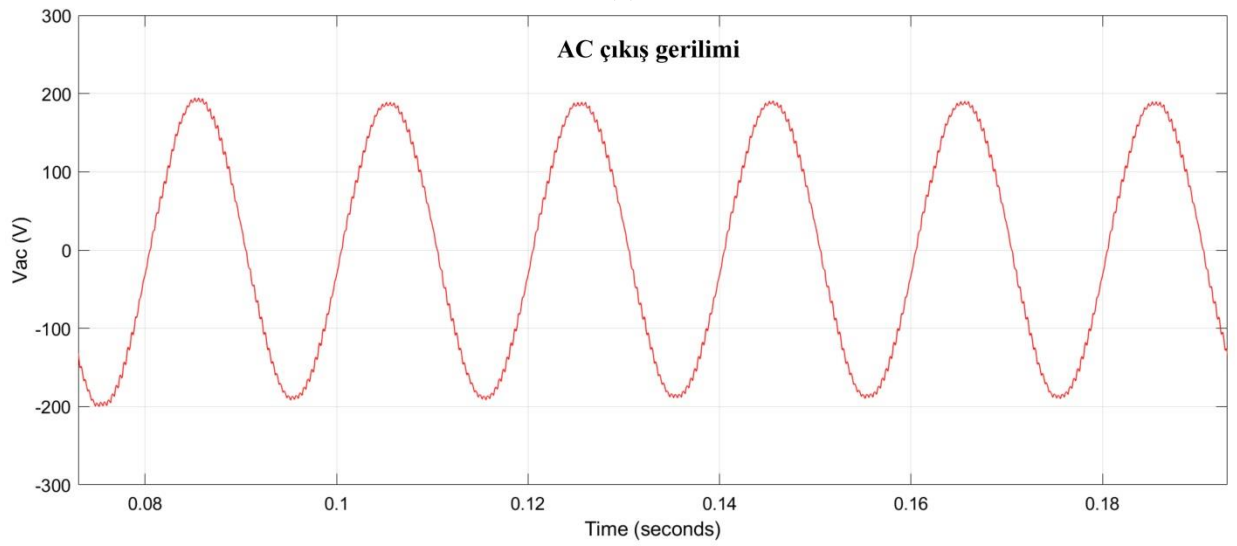
Maksimum yükseltici kontrol tekniğinde $D=0,2$ için modülasyon indeksi Eşitlik (4) kullanılarak $M=0,96$ bulunur. ZSI'de $D=0,2$ için $V_C=160V$, $V_{PN}=200V$ ve $V_{ac}=192V$ olarak hesaplanmıştır. TSI'de trafo sarım oranı 1:1 için $V_C=160V$, $V_{PN}=200V$ ve $V_{ac}=192V$ olurken, sarım oranı 2:1 yapıldığında $V_C=240V$, $V_{PN}=300V$ ve $V_{ac}=288V$ olarak bulunmuştur. ZSI için yükseltme faktörü ve kazanç sırasıyla $B=1,66$ ve $G=1,6$ hesaplanmıştır. TSI'de ise ilk durumda $B_{1:1}=1,66$ ve $G_{1:1}=1,6$ olurken, ikinci durumda sarım oranının artmasına bağlı olarak $B_{2:1}=2,5$ ve $G_{2:1}=2,4$ bulunmuştur.



Şekil 6. ZSI için (a) $V_{PN}-V_C$ (b) V_{ac}
Figure 6. Simulation results for ZSI (a) $V_{PN}-V_C$ (b) V_{ac}

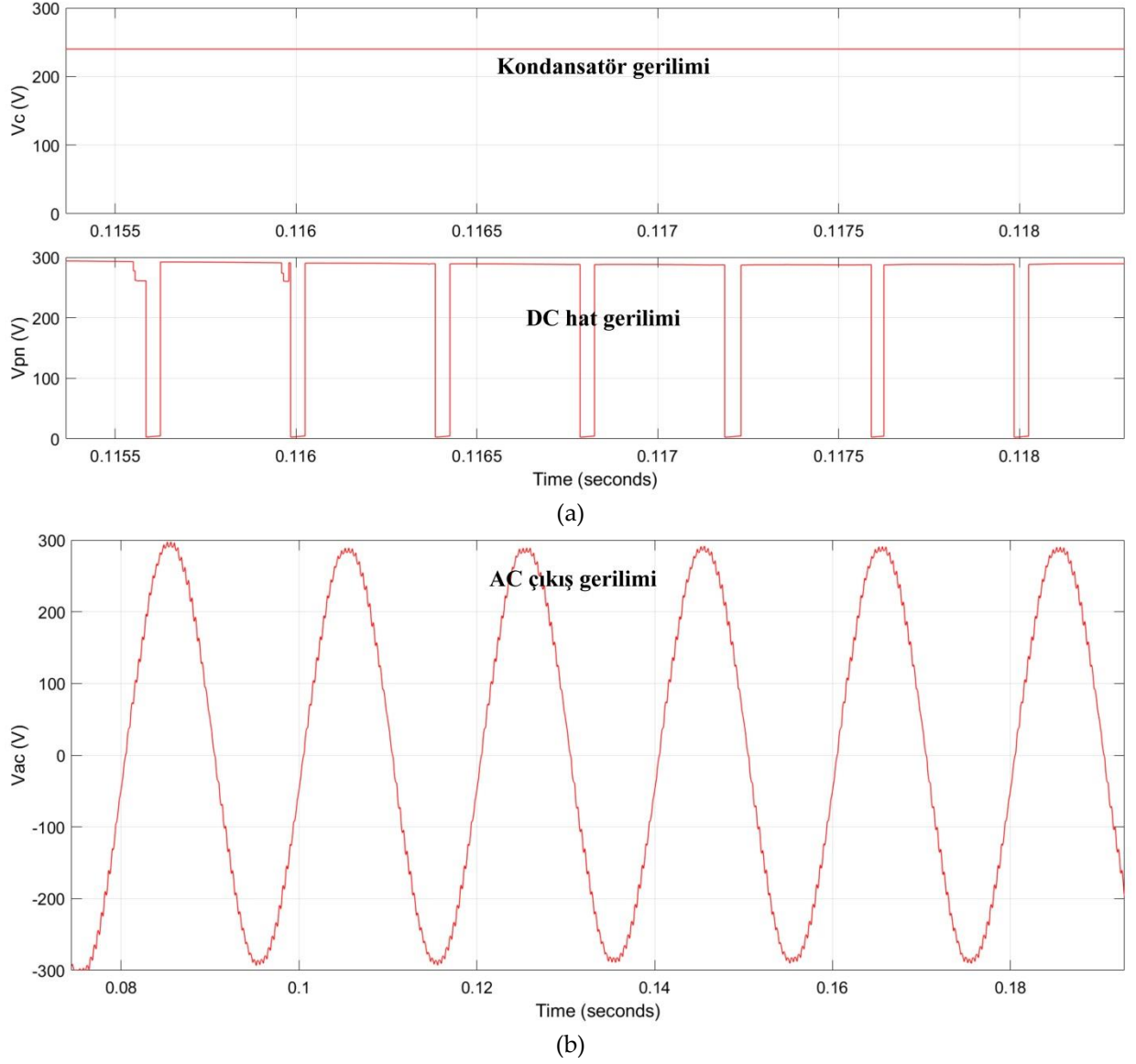


(a)



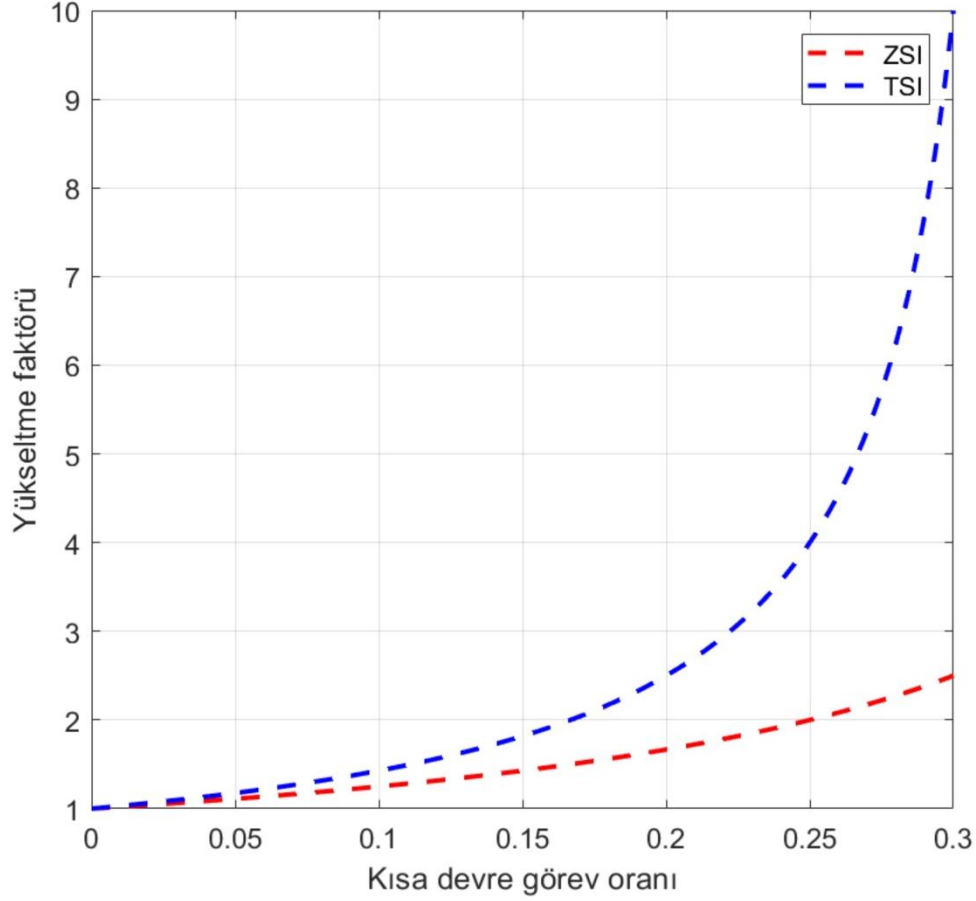
(b)

Şekil 7. TSI'de trafo sarım sayısı 1:1 için (a) $V_{PN}-V_C$ (b) V_{ac}
Figure 7. Simulation results of TSI for transformer turns ratio 1:1 (a) $V_{PN}-V_C$ (b) V_{ac}



Şekil 8. TSI'de trafo sarım sayısı 2:1 için (a) $V_{PN}-V_C$ (b) V_{ac}
Figure 8. Simulation results of TSI for transformer turns ratio 2:1 (a) $V_{PN}-V_C$ (b) V_{ac}

Benzetim sonuçları ve teorik analizler sonucunda elde edilen bulgulara göre, ZSI ve trafo sarım oranı 2:1 için TSI devresinde yükseltme faktörü ile kısa devre görev oranı değişim grafiği Şekil 9'da gösterilmiştir. Trafo sarım oranı $n > 1$ olması koşuluyla, kısa devre görev oranı daha büyük değerler aldığı anda ZSI ve TSI arasındaki yükseltme faktörü farkı eksponansiyel şekilde artmaktadır. Bu farkın temel nedeni; TSI devresinde trafo sarım oranının büyümesiyle kısa devre çalışmaya bağlı olarak bobin sargılarındaki enerjilenmenin artış göstermesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. ZSI ve TSI için yükseltme faktörü ile kısa devre görev oranı değişim grafiği
 Figure 9. Boost factor versus shoot-through duty ratio for ZSI and TSI

SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Yapılan bu çalışmada, geleneksel VSI ve ZSI/qZSI devre yapılarının teorik kısıtlamalarını ortadan kaldıran TSI devresi teorik analiz ve benzetim çalışmaları yardımıyla incelenmiştir. DC hat gerilimi, kondansatör ve AC çıkış gerilim değerleri trafo sarım oranı 1:1 ve 2:1 değerleri için hesaplanmıştır. Anahtarlama elemanlarını sürmek amacıyla maksimum yükseltici kontrol tekniği uygulanmıştır. Benzetim sonuçlarında görüldüğü üzere trafo sarım oranının 1:1 olması durumunda TSI devresi, ZSI ile benzer performansta çalışmakta ve devre parametreleri değişmemektedir. Trafo sarım oranının 2:1 olduğu durumda sargılardaki enerjilenmenin artmasına bağlı olarak; yükseltme faktörü ve devrenin kazancında ZSI devresine göre yaklaşık %50 oranında artış sağlanmıştır.

TSI devresi; kısa devre çalışabilme özelliğiyle geleneksel VSI'lerden, DC katı ile anahtarlama elemanlarının sürüldüğü inverter güç katının aynı ortak referansa sahip olması ile ZSI'den ayrılmaktadır. Daha büyük yükseltme faktörü sağlaması ve daha az sayıda pasif devre elemanı kullanması, ZSI/qZSI devrelerine göre üstünlük sağlamaktadır. Aynı DC giriş geriliminde geleneksel ZSI/qZSI devreleri ile eşit büyüklükte AC çıkış gerilimi elde etmek için daha küçük kısa devre çalışma oranı ve buna bağlı olarak daha büyük modülasyon indeksinin kullanımı, TSI devresini daha avantajlı hale getirmektedir.

TSI devre yapısının mevcut inverterlere kıyasla sahip olduğu tek olumsuz tarafı; empedans katındaki T şeklinde bağlantılı yüksek frekanslı trafonun kaçak akı etkisinden dolayı, anahtarlama

esnasında kısa devre olmayan çalışma modunda MOSFET'ler üzerinde gerilim sıçramaları oluşmasıdır. Anlık olarak oluşan yüksek gerilim sıçramaları anahtarlama elemanlarına zarar verebileceğinden, bu durum kaçak akısı oldukça düşük olan bir trafo seçimiyle veya empedans katı ile anahtarlama elemanları arasında ilave koruyucu devre yapıları kullanılarak giderilebilir.

I. SEMBOLLER (SYMBOLS)

M: Modülasyon indeksi

B: Yükseltme faktörü

f_s: Anahtarlama frekansı

T: Anahtarlama periyodu

T₀: Kısa devre anahtarlama süresi

T₁: Kısa devre olmayan anahtarlama süresi

D: Kısa devre görev oranı

G: Kazanç

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Adamowicz, M., Strzelecka, N., 2009, "T-source inverter", *Electrical Review*, Cilt 85, Sayı 10, ss. 1-6.
- Chen, Y., Smedley, K., 2008, "Three-Phase Boost-Type Grid-Connected Inverter," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Cilt 23, Sayı 5, ss. 2301-2309.
- Dong, S., Zhang, Q., Cheng, S., 2016, "Analysis and design of snubber circuit for Z-source inverter applications", *IET Power Electronics*, Cilt 9, Sayı 5, ss. 1083-1091.
- Ebrahimi, S., Moghassemi, A., Olamaei, J., 2020, "PV inverters and modulation strategies: a review and a proposed control strategy for frequency and voltage regulation", *Signal Processing and Renewable Energy*, Cilt 4, Sayı 1, ss. 1-21.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., 2016, "Z-source inverter: Topology improvements review", *IEEE Industrial Electronics Magazine*, Cilt 10, Sayı 1, ss. 6-24.
- Endiz, M. S., Akkaya, R., 2020, "A Modified Quasi-Z-Source Inverter with Enhanced Performance Capability", *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, Cilt 10, Sayı 2, ss. 892-897.
- Estévez-Bén, A. A., Alvarez-Diazcomas, A., Rodríguez-Reséndiz, J., 2020, "Transformerless multilevel voltage-source inverter topology comparative study for PV systems", *Energies*, Cilt 13, Sayı 12, ss. 3261.
- Li, Y., Jiang, S., Cintron-Rivera, J. G., Peng, F. Z., 2012, "Modeling and control of quasi-Z-source inverter for distributed generation applications", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Cilt 60, Sayı 4, ss. 1532-1541.
- Li, Y., Anderson, J., Peng, F. Z., Liu, D., 2009, "Quasi-Z-source inverter for photovoltaic power generation systems", *Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, ss. 918-924.
- Liu, H., Zhou, B., Li, Y., Chen, J., Loh, P. C., 2020, "High-Efficiency T-Source Inverter With Low Voltage Spikes Across the Switch Bridge", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Cilt 35, Sayı 10, ss. 10554-10566.
- Liu, W., Yuan, J., Yang, Y., Kerekes, T., 2018, "Modeling and control of single-phase quasi-Z-source inverters", *44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, ss. 3737-3742.
- Liu, W., Niazi, K. A. K., Kerekes, T., Yang, Y., 2019, "A review on transformerless step-up single-phase inverters with different dc-link voltage for photovoltaic applications", *Energies*, Cilt 12, Sayı 19, ss. 3626.

- Mande, D., Trovão, J. P., Ta, M. C., 2020, "Comprehensive review on main topologies of impedance source inverter used in electric vehicle applications", *World Electric Vehicle Journal*, Cilt 11, Sayı 2, ss. 37.
- Nguyen, M. K., Lim, Y. C., Cho, G. B., 2011, "Switched-inductor quasi-Z-source inverter", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Cilt 26, Sayı 11, ss. 3183-3191.
- Peng, F.Z., 2003, "Z-Source Inverter", *IEEE Trans. on Industry Applications*, Cilt 39, Sayı 2, ss. 504-510.
- Sivaraman, P., Prem, P., 2017, "PR controller design and stability analysis of single stage T-source inverter based solar PV system", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Cilt 40, Sayı 3, ss. 235-245.
- Strzelecki, R., Adamowicz, M., Strzelecka, N., Bury, W., 2009, "New type T-source inverter", *Compatibility and Power Electronics*, ss. 191-195.
- Tang, Y., Xie, S., Zhang, C., 2010, "Single-phase Z-source inverter", *IEEE transactions on power electronics*, Cilt 26, Sayı 12, ss. 3869-3873.
- Zhu, M., Yu, K., Luo, F. L., 2010, "Switched inductor Z-source inverter", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Cilt 25, Sayı 8, ss. 2150-2158.