



Half Bridge LLC Resonance Converter Reliability Analysis for OLED TVs

Metin Nil^{1*}, Yavuz Öztürk², Sadık Özdemir³, Hasan Sözen³, Mustafa Nil³

¹Vestel Electronics, 45030, Manisa, Turkey

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Ege University, 35100, Izmir, Turkey

³Department of Electrical and Electronics Engineering, Manisa Celal Bayar University, 45140, Manisa, Turkey

Highlights:

- Design for Reliability
- Half Bridge Resonance LLC Converter Design for OLED TV Power supply
- MTBF Analysis

Keywords:

- Half Bridge Resonance LLC Converter
- Reliability Analysis

Article Info:

Research Article
Received: 01.01.2018
Accepted: 26.07.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460527

Acknowledgement:

This study supported by TÜBİTAK (Project number: 3150605) and Vestel Electronics R&D Dept.

Correspondence:

Author: Metin NİL
e-mail: metin.nil@vestel.com.tr
phone: +90 236 233 0131

Graphical/Tabular Abstract

Active Matrix The OLED panel consists of an electronic motherboard that drives this panel and a power card that supplies these components. Very thin OLED TVs; Due to the high performance of video processing, the high power requirement and the resulting heat are one of the most important parameters to be controlled. Heat adversely affects the display performance of the OLED panel as well as dangerous consequences such as fire in the event of a failure. In this study, half-bridge LLC resonant DC-DC converter design was realized for 65 "AMOLED TV. Reliability tests were carried out which cover the thermal, electromagnetic compatibility (EMC) and electrical tests of the designed power board and critical circuit components of this power board. As a result of the, all these simulations and empirical studies, a high level of reliability conditions have been achieved with a 120,215 hours MTBF value.

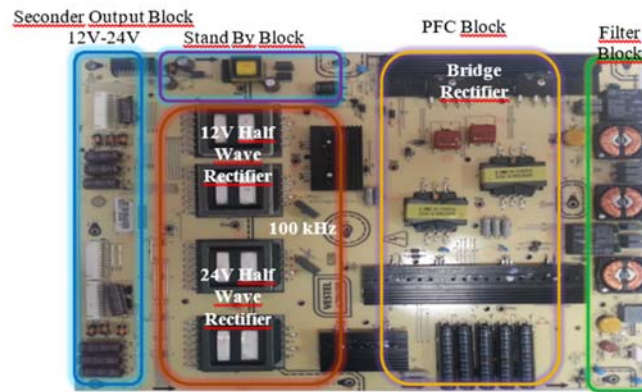


Figure A. OLED TV power supply component placement and photograph

Purpose: In this study, half-bridge LLC resonant DC-DC converter design was realized for 65 "AMOLED TV. The main objective of the design is to achieve the optimum level of reliability and to reach the appropriate life cycle of MTBF (Mean-time between failure).

Theory and Methods:

Therefore, unlike the other studies in the literature in this study, suitable MTBF times were considered for a product in the design phase. Thermal, EMC and electrical tests of the critical components of the power board were carried out during the design phase in order to obtain optimum reliability levels. In order to examine the characteristics of the power card at different frequencies, simulation results were analyzed using PSIM program. As a result of all these simulations and experimental analyzes, MTBF value of 120.215 hours was reached.

Results:

In this study, the design steps, analytical analyzes and simulation studies of the power card designed for 65" OLED TV were examined and experimental results were given. The use of half bridge resonance LLC topology was found appropriate by examining the appropriate topologies in power board design. In order to evaluate the performance of the OLED TV power board, first of all simulation studies were carried out and thermal and EMC analyzes were investigated in experimental studies. As a result of these analyzes, it was observed that the electrical characteristics of the DC-DC converter circuit are consistent with the reliability standards.

Conclusion: In the design with the aim of reliability (Design for Reliability), the component stress values used in the power card were kept at optimum level and the reliability analyzes were performed according to Mil-STD-217F and more than 10 years of MTBF was obtained.



OLED TV için yarım köprü LLC rezonans dönüştürücü güvenilirlik analizi

Metin Nil^{1*}, Yavuz Öztürk², Sadık Özdemir³, Hasan Sözen³, Mustafa Nil³

¹Vestel Elektronik, Manisa, 45030, Türkiye

²Ege Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, 35100, Türkiye

³Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Güvenilirlik için tasarım
- OLED TV güç kaynağı için yarım köprü rezonans LLC dönüştürücü tasarımı
- MTBF Analizi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 29.12.2017

Kabul: 26.07.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460527

Anahtar Kelimeler:

Güvenilirlik için tasarım,
MTBF analizi,
yarım köprü LLC rezonans
dönüştürücü

ÖZET

Bu çalışmada 65" ekran AMOLED TV için yarım köprü LLC rezonans DC-DC dönüştürücü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımın ana amacı, optimum güvenilirlik düzeyinin elde edilerek uygun MTBF (Mean-time between failure – arıza yapana kadar ortalama ömür süresi) süresine ulaşabilmektir. Tasarlanan güç kartının ve kritik devre bileşenlerinin termal, elektromanyetik uyumluluk (EMC) ve elektriksel testlerini kapsayan güvenilirlik testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca farklı anahtarlama frekanslarında devrenin çalışma karakteristiğini incelemek amacıyla PSIM programı kullanılarak benzetim analizleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu benzetim ve deneysel çalışmalar sonucunda 120.215 saat MTBF değeri ile on yılın üzerinde üst düzey güvenilirlik elde edilmiştir.

Half bridge LLC resonance converter reliability analysis for OLED TV

H I G H L I G H T S

- Design for reliability
- Half Bridge Resonance LLC Converter Design for OLED TV Power supply
- MTBF Analysis

Article Info

Research Article

Received: 29.12.2017

Accepted: 26.07.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460527

Keywords:

Design for reliability,
MTBF analysis,
half bridge LLC resonant
converter

ABSTRACT

In this study, half-bridge LLC resonant DC-DC converter design was realized for 65 "AMOLED TV. The main objective of the design is to achieve the optimum level of reliability and to reach the appropriate life cycle of MTBF (Mean-time between failure). Reliability tests were carried out which cover the thermal, electromagnetic compatibility (EMC) and electrical tests of the designed power board and critical circuit components of this power board. Moreover, in order to analyze the operating characteristics of the circuit at different switching frequencies, simulation analyses were carried out by PSIM Program. As a result of the, all these simulations and empirical studies, a high level of reliability conditions have been achieved with a 120.215 hours MTBF value.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: metin.nil@vestel.com.tr, yavuz.ozturk@ege.edu.tr, sadik.ozdemir@cbu.edu.tr, hasan.sozen@cbu.edu.tr, mustafa.nil@cbu.edu.tr / Tel: +90 236 233 0131

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yeni nesil ekran teknolojisi olan OLED ekranlar; düşük güç tüketimi, ince ve hafif olması, kendinden ışığa yapabilmemesi, geniş bakış açısı, yüksek kontrast oranı, hızlı piksel cevap süresi, esnek yapıda üretilebilirliği gibi önemli avantajlara sahiptir. Günümüzde OLED ekranlar, tüketici elektroniği, mobil haberleşme, askeri uygulamalar ve medikal alanda birçok üründe sağladığı avantajlardan dolayı tercih edilmeye başlanmıştır. Fakat OLED ekranların ticari ürünlerde mevcut ekranların yerini alabilmesi için maliyetlerinin düşmesi gerekmektedir. OLED ekranlar için seri üretime uygun işlemler geliştirilerek teknolojilerinin olgunluk düzeyi artırılmalıdır. Cep telefonlarında, küçük ev aletlerinde, sayısal ürünlerde küçük boyutlu OLED ekranların seri üretimi belirli bir düzeye ulaşmış olup, TV uygulamalarında büyük ebatlı OLED ekran üretiminde kalite sorunları yaşanmaktadır.

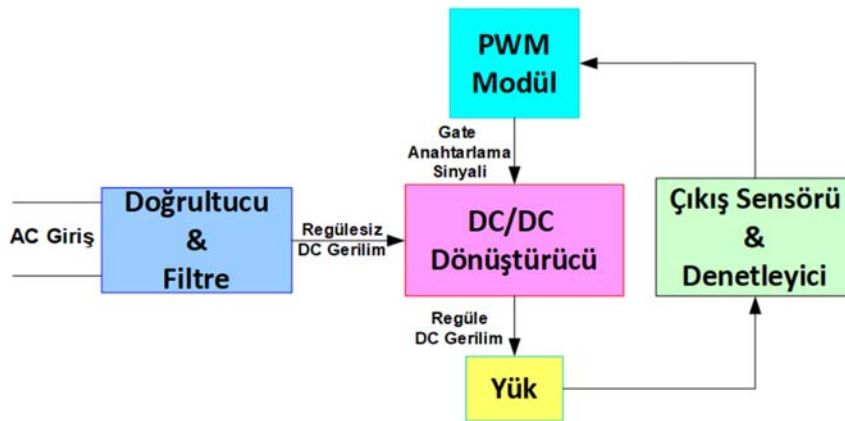
OLED ekranlı ürünlerin güvenilirlik (Reliability) seviyesi geliştirilmesi gereken bir konudur. OLED TV; Aktif Matriks OLED panel, bu paneli süren elektronik anakart ve bu bileşenleri besleyen güç kartından oluşur. Çok ince yapılu OLED TV'lerde; video işleme performansının yüksek olmasından dolayı yüksek güç gereksinimi ve bunun sonucu açığa çıkan ısı kontrol edilmesi gereken en önemli parametrelerden biridir. Isı, OLED panelin görüntü performansını olumsuz etkilediği gibi, olası arıza durumlarında yangın gibi tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Güvenilirlik, bir cihazın veya bu cihazı oluşturan alt sistem modüllerinin; belirli çalışma koşulları altında belirli bir süre için görevini yerine getirebilme olasılığı olarak tanımlanabilir[1-3]. OLED TV'nin güvenilirliğinin yüksek olması, çalışma koşullarında, garanti kapsamı içerisinde ses ve görüntü gibi ana fonksiyonlarının sağlanması ile mümkündür. Temelde cihazın veya alt bileşenlerinin arızalanması ile güvenilirliğin arzu edilmeyen hata durumu oluşmaktadır. OLED TV'nin arıza oluşturabilecek ve geri dönüş oranlarını artırabilecek en önemli bileşeni yüksek akım ve güçte çalışmasından dolayı güç kartıdır. Tasarımın güvenilirlik kriterlerine uygun gerçekleştirilmesi maliyet ve ömür analizleri açısından çok

önemlidir. Bu sebeple bu çalışmada literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak tasarım aşamasında bir ürün için uygun MTBF süreleri göz önüne alınmıştır. Optimum güvenilirlik düzeyleri elde edilebilmesi için tasarım aşamasında güç kartının kritik bileşenlerinin termal, EMC ve elektriksel testleri yapılmıştır. Güç kartının farklı frekanslardaki karakteristiğinin incelenebilmesi için PSIM programı kullanılarak benzetim sonuçları incelenmiştir. Tüm bu benzetim ve deneysel analizler sonucunda 120.215 saat MTBF değerine ulaşılabilmektedir.

2. OLED TV GÜÇ KARTI (OLED TV POWER SUPPLY BOARD)

2.1. Giriş (Introduction)

DC gerilim güç kaynakları, cihaz içerisindeki elektronik devrelerin güç gereksinimlerini sağlamak amacıyla kullanılır. OLED TV için AC şebekeden DC gerilim elde etmek için Anahtarlamalı Güç Kaynakları (Switch Mode power Supply-SMPS) kullanılır. SMPS teknolojisi daha düşük boyutlarda daha yüksek verim giriş gerilimindeki ve çıkış yük akımındaki değişimlere karşı daha kaliteli regülasyon imkanı sağlamaktadır [4]. Doğrusal güç kaynakları ile kıyaslandığında SMPS güç kaynaklarının daha verimli olduğu bilinmektedir. Yarıiletken anahtarlama elemanlarının yüksek anahtarlama frekansında çalışabildiğinden, daha düşük maliyetli trafo, bobin ve kapasite gibi daha küçük boyutlarda ve daha hafif elemanlar seçilebilmektedir. SMPS güç kaynakları birkaç Watt değerinden birkaç yüz kW değeri aralığında birçok endüstriyel üründe kullanılmaktadır. SMPS güç kaynağının devre topolojisinin seçimi; giriş/çıkış gerilimleri, çalışma güç aralığı, elektriksel izolasyon gibi sistem gereksinimlerine bağlıdır. En temel ve basit DC/DC dönüştürücü düşüren (buck) ve yükselten (boost) dönüştürücülerdir. Tüm DC/DC dönüştürücü topolojilerinde temel hedef yüksek verim elde etmektir [5]. Anahtarlamalı DC/DC güç kaynakları giriş ve çıkışı izoleli ve izolesiz DC/DC dönüştürücüler olarak sınıflandırılabilir. SMPS güç kaynağının genel blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. Anahtarlamalı güç kaynakları, sert anahtarlamalı veya



Şekil 1. SMPS genel blok diyagramı (General block diagram of SMPS)

yumuşak anahtarlama olmak üzere ikiye ayrılır. Maliyet, verim, tasarımın karmaşıklığı, aktarabileceği etkin güç, anahtarlama ile oluşacak elektromanyetik gürültüye karşı duyarlılık gibi kriterlere göre uygun topolojiler tercih edilir. Güç kaynağının kullanılacağı üründe güvenlik amacıyla primer ile sekonder arası yalıtılması isteniyorsa izolasyon transformatörü kullanılmaktadır. Bu trafonun manyetik özelliklerine ve sargı oranlarına bağlı olarak istenilen güç aktarımı sağlanabilmektedir. Şekil 2’de yarım köprü izoleli DC/DC düşürücü tip dönüştürücü devre örneği verilmiştir.

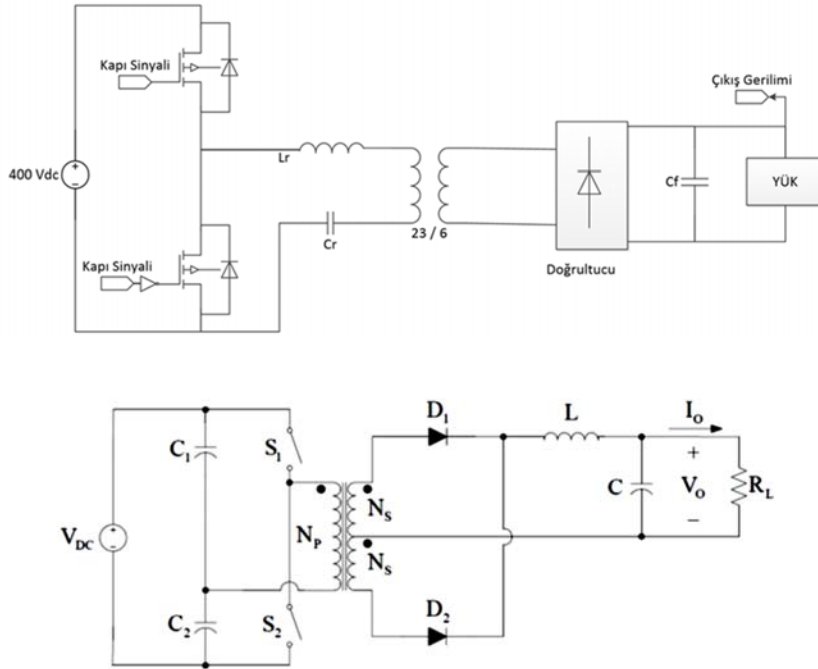
Ayrıca trafonun sargıları rezonans tank devresinin bir bileşeni olarak kullanılabilir. Böylelikle güç kartında kullanılan komponent sayısı azaltılmasına imkân sağlanmaktadır. Güç kaynaklarında sert anahtarlama yapıların kullanılması verimliliği düşürdüğü gibi elektromanyetik bozulmalara da neden olmaktadır. Bu sorunların ortadan kaldırılması için rezonans dönüştürücü devreleri kullanılır. Rezonans dönüştürücü devrenin çıkış empedansı, frekans modülasyon kontrol devresi ile regüle edilir. Böylelikle seri veya paralel direnç kullanılmasının önüne geçilir. Rezonans dönüştürücülerde yumuşak anahtarlama teknikleri kullanılarak anahtarlama kayıpları azaltılarak verim artmaktadır. Yumuşak Anahtarlama teknikleri; ZVS (Sıfır Gerilimde Anahtarlama) , ZCS (Sıfır Akımda Anahtarlama) , ZVT (Sıfır Gerilim Geçişi), ZCT (Sıfır Akım Geçişi) şeklindedir. Seri rezonans dönüştürücüler, paralel rezonans dönüştürücüler ve seri-paralel rezonans dönüştürücüler güç elektroniği devrelerinde kullanılır. Rezonans devresi, birincil taraf yarım köprü LLC evirici (inverter) devresi ve ikincil taraf orta çıkışlı tam köprü doğrultucu olmak üzere iki kısımdan oluşur [7, 8]. Yarım köprü LLC rezonans dönüştürücü devreleri OLED TV, dizüstü bilgisayar, batarya şarj edicisi ve pek çok endüstriyel

alanlarda değişik topolojilerle güç yoğunluğu ve verimi arttırmak üzere kullanımı yaygınlaşmaktadır [9-15]. Yarım köprü LLC rezonans dönüştürücüler için temel harmonik yaklaşımı (FHA) tabanlı çalışma yapılmış ve gerilim ile trafo kayıplarında rezonans frekansını belirleyen yeni bir yöntem ortaya konmuştur [21]. Tam köprü dönüştürücüler için anahtarlama kayıplarının incelenmesi [22]’de sunulmuştur.

EMC Standartlarına göre 75W ve üzeri cihazlar için PFC (Power Factor Correction-Güç Katsayısı Düzeltmesi) devresi kullanılması zorunludur. Pratikte güç faktörü; 0 ile 1 arasında değişen, giriş akımı dalga formunun giriş gerilimi dalga formuna ne kadar yakın olduğunun gösteren parametredir. Standartlara uygun olarak istenilen değerlerde güç faktörü ve harmonikleri sağlanarak güç kalitesini artırılması Güç Faktörü Düzeltme (PFC) devreleri ile mümkündür. PFC bloğunun ana görevi şebekeye yayılan harmonik gürültülerin kontrol edilmesinin sağlanmasının yanı sıra, kendinden sonra gelen SMPS blokları için DC bir giriş gerilimi sağlamaktır.

2.2. Güç Kartı Ana Blok Diyagramı (Power Supply Main Block Diagram)

Öncelikle OLED TV güç kartı tasarımı için mekanik, elektriksel ve EMC (Elektro Manyetik Uyumluluk) speklerinin belirlenmesi gerekir. OLED TV yapısı gereği oldukça incedir. Elektronik kart ve güç kartının bu ince mekanik yapı içerisinde herhangi bir performans, elektromanyetik, güvenlik ve güvenilirlik sorunu oluşturmadan üretilebilir olacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Anakart, güç kartı ve OLED ekran kartı arasındaki kablolama güvenlik ve EMI sorunu oluşturmayacak şekilde gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmada



Şekil 2. Yarım köprü DC/DC düşürücü tip dönüştürücü devre şeması (Half bridge DC/DC step-down converter circuit diagram)

güç kartının izin verilebilir en yüksek kalınlığı 12 mm'dir. Güç kartının istenilen güç değerine ulaşmak için bu yükseklik seviyesi önemli ölçüde sınırlayıcıdır. Güç elemanlarının maksimum yüksekliği bu değerden düşük olarak seçilmesi gerekir. OLED TV mekanik yapısı ve kart yerleşimleri Şekil 3'te gösterilmiştir.

Temelde OLED TV güç kartı DC/DC dönüştürücüdür. AC şebeke gerilimi doğrultularak istenilen akım ve gerilim sağlanır. OLED ekran ve anakart fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için güç gereksinimi olan ana bileşenlerdir. Güç kartı bu bileşenlerin ihtiyaç duyduğu gücü sağlar. OLED ekran için 24VDC @16A ve TV anakartı için 12VDC/24VDC @5A ihtiyaç duyulmaktadır. Toplam güç gereksinimi ise yaklaşık 450W civarındadır. Güvenlik ve güvenilirlik tasarım kriterlerine göre elektronik komponentlerin maksimum stres seviyesinde çalıştırılması uygun değildir. Uygun aralıklarda çalışması bu elemanların çalışma ömrünü artıracaktır. Bu amaçla 600W güç aktarımı sağlayacak güç kaynağının tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. SMPS devrelerinin içerdiği doğrultma, anahtarlama elemanı ve enerji depolama elemanlarının düzenine göre topoloji seçilirken çıkış güç seviyesi, maliyet, boyutlar, dalgalanma, verim, EMI, zaman gibi özel gereksinimlere bakılır. Çalışılan güç aralıklarına baktığımızda yarım köprü rezonans DC/DC dönüştürücü topolojisi tercih edilmiştir.

Benzer şekilde yarıiletken anahtarlama elemanlarını akım ve güç değeri yüksek seçilebilir. Ancak bu elemanların üzerinde biriken stres, kullanılan soğutucuların büyük olması, üretilen ısı miktarı ve anahtarlama kayıpları da yüksek olmasından dolayı paralelleme tercih edilmiştir. Böylece her bir anahtarlama elemanı üzerindeki akım düşecektir. Her ne kadar kullanılan komponent sayısı iki katına çıksa bile elektronik kartın güvenilirliği artırılmış olacaktır. Ayrıca potansiyel olarak arızalanma olasılığı düşürülerek ürün geri dönüşüm oranının azalması sağlanabilmektedir.

220V_{AC} şebeke gerilimi önce köprü doğrultucu ile doğrultularak filtreden geçirilir. Ardından yükseltilen tip PFC

devresi ile 400 V_{DC} elde edilerek yarım köprü LLC rezonans dönüştürücünün girişine uygulanır. OLED TV'nin güç ihtiyaçlarına bağlı olarak 12V_{DC} ve 24 V_{DC} elde edilir. 12mm maksimum izin verilebilir kalınlık kısıtı istenilen güç aktarımını tek bir trafo ile sağlamayı imkânsız kılmaktadır. Bunun yerine primerleri seri ve sekonderleri paralel olacak şekilde trafolar paralellenmiştir.

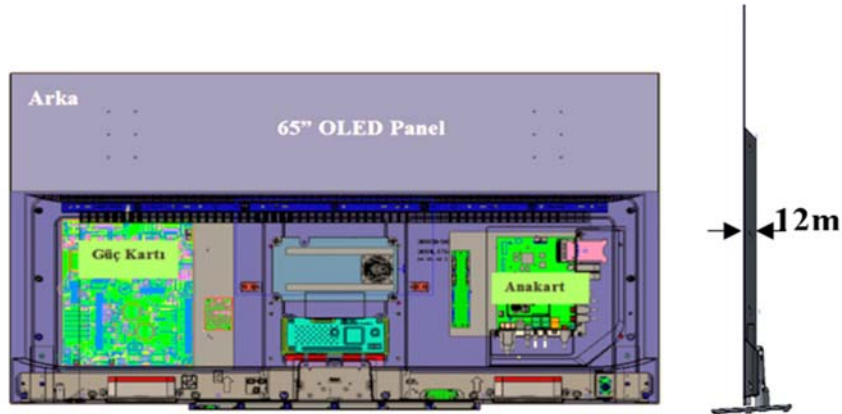
Komponent sayısı iki katına çıkararak sistem bir miktar karmaşıklıkla bile güvenilirliği yüksek, arıza yapma olasılığı daha düşük tasarım gerçekleştirilmiştir. Sistem ana blok diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 1. Güç kartı tasarım spesifikasyonu
(Power supply design specifications)

Tasarım Spesifikasyonları	
Giriş Gerilim Aralığı: Vac.min – Vac.max	170 V – 270V
Nominal Giriş Gerilimi: Vac.nom	230 V
Şebeke Çalışma Frekansı: f	50 Hz
	12 V@5 A,
Regüle Çıkış Gerilimi: Vdcout	24V@5A
	24V @16A
Maksimum Çıkış Gücü: Pout	600W
Dead Time:Td	500 ns
Parazitik Kapasitans:CZVS	350 pF

2.3. Yarım Köprü LLC DC/DC Dönüştürücü Tasarım Prosedürü (Half Bridge LLC DC/DC Converter Design Procedure)

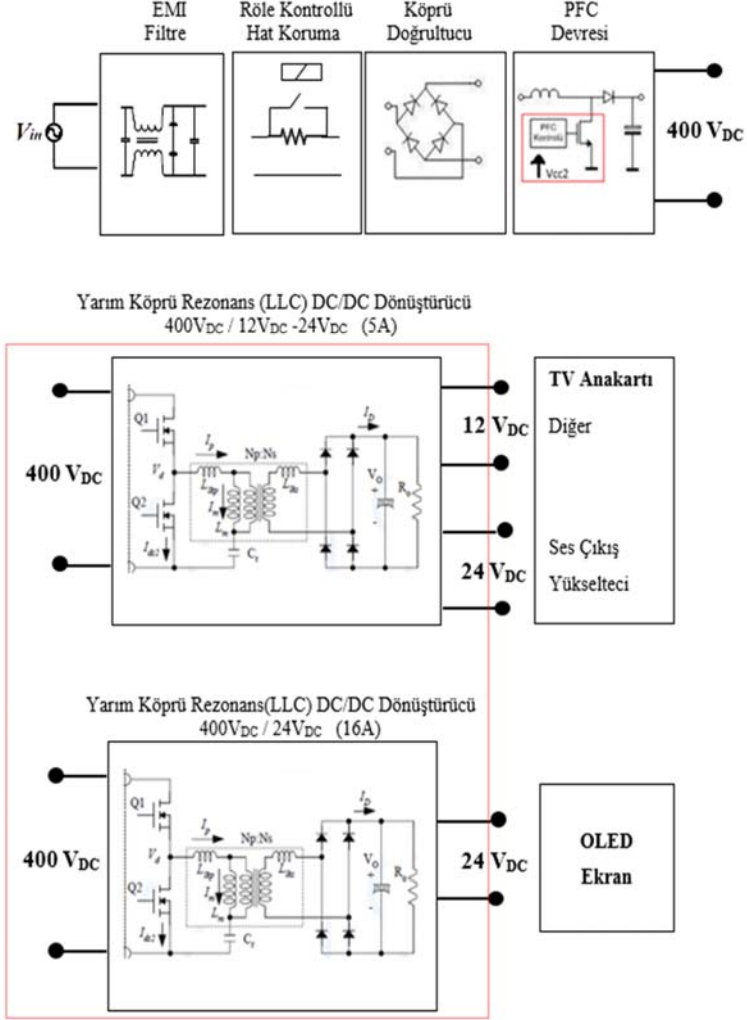
Güç kartı tasarımının güvenilirlik açısından en önemli bölümüdür. Tasarım adımlarından önce, öncelikle yarım köprü rezonans dönüştürücülerin temel çalışma prensipleri incelenmelidir. Yarım köprü rezonans dönüştürücülerin çalışması İlk Harmonik Yaklaşımı (FHA) ile açıklanabilir. FHA yaklaşımı, kaynaktan rezonans tank içerisindeki yüke güç aktarımının, ilgili akımların ve gerilimlerin Fourier açılımının temel harmoniğine bağlı olduğu varsayımına dayanır. Bu yaklaşım rezonans tankın rezonans frekansında (sürekli iletme modunda) çalışma noktaları için oldukça doğru sonuçlar verirken, rezonansın altında (kesikli iletim



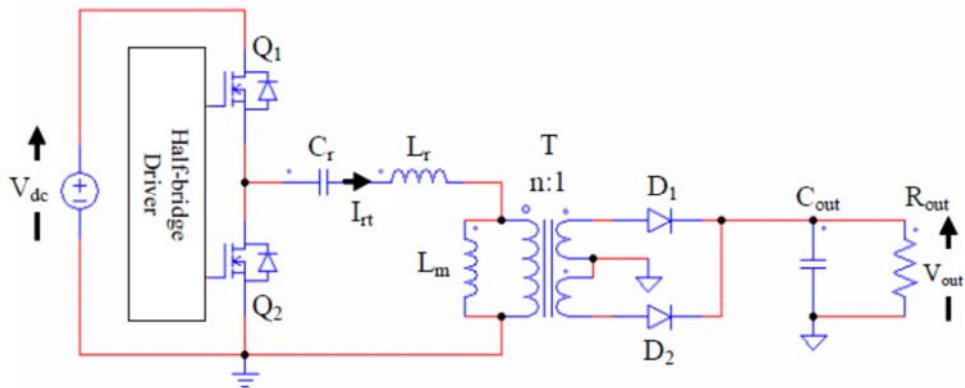
Şekil 3. OLED TV mekanik yapısı ve elektronik kart yerleşimleri (OLED TV mechanical structure and board placement)

modunda) daha düşük frekanslarda daha az hassas fakat yine de geçerlidir [16]. Şekil 5’de verilen devre %50 Duty Cycle ile üst üste binmeden çalışabilmektedir. Bu nedenle rezonans

tank giriş gerilimi $V_{sq}(t)$, $V_{dc}/2$ ortalama değerli karedalga formundadır. Bu durumda C_r kapasitesi hem rezonans kapasitörü hem de DC engelleyici olarak çalışır. Sonuç



Şekil 4. OLED TV güç kartı blok diyagramı (OLED TV power supply main block diagram)



Şekil 5. Genel LLC rezonans dönüştürücü devresi [16] (General LLC resonance converter circuit [16])

olarak Cr üzerindeki gerilim $V_{dc}/2$ olarak görülür. Rezonans tankın giriş gerilimi Fourier formunda Eş. 1’de verilmiştir.

$$V_{sq}(t) = \frac{V_{dc}}{2} + \frac{2}{\pi} V_{dc} \sum_{n=1,3,5,\dots} \frac{1}{n} \sin(n2\pi f_{sw}t) \quad (1)$$

Temel bileşen V_{iFHA} Eş. 2’de verilmiştir.

$$V_{iFHA}(t) = \frac{2}{\pi} V_{dc} \sin(2\pi f_{sw}t) \quad (2)$$

f_{sw} anahtarlama frekansdır. V_{iFHA} rms değeri Eş. 3

$$V_{iFHA} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_{dc} \quad (3)$$

Bu kabullerin sonucunda rezonans tank akımı $i_{rt}(t)$, giriş geriliminin temel bileşenine uygun olarak rms değeri, faz farklı sinüzoidal akım olacaktır.

$$i_{rt}(t) = \sqrt{2} I_{rt} \sin(2\pi f_{sw}t - \Phi) = \sqrt{2} I_{rt} \cos\theta \cdot \sin(2\pi f_{sw}t) - \sqrt{2} I_{rt} \sin(\Phi) \cdot \cos(2\pi f_{sw}t) \quad (4)$$

Bu akım, tank devresinin çalışılan frekans bölgesinde rezonans bobini veya kapasitörü tarafından karşılanır. Rezonans tanka DC giriş gerilimi uygulandığında anahtarlama periyodu boyunca MOSFET iletimde kalma süresine bağlı olarak kaynaktan çekilen i_{dc} akımı Eş. 5’de verilmiştir.

$$I_{dc} = \frac{1}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} i_{rt}(t) dt = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{rt} \cos\Phi \quad (5)$$

T_{sw} anahtarlama frekansının periyodudur. Girişten çekilen gerçek güç Eş. 6 ile hesaplanabilir.

$$P_{in} = V_{dc} I_{dc} = V_{iFHA} I_{rt} \cos\Phi \quad (6)$$

V_{dc} giriş gerilimi, I_{dc} giriş akımının ortalama değeri, V_{iFHA} giriş geriliminin rms değeri, $I_{rt} \cos\phi$ akımın birinci harmoniğidir.

LLC rezonans dönüştürücü devresinin ikincil kısmındaki diyot doğrultucular yarı-sinüzoidal bir akım ile sürülürler ve bu akım sıfır olduğunda gerilim tersine döner, böylece diyot doğrultucu girişindeki gerilim kare dalga formunda görülür. V_{osqr} çıkış gerilimi (Eş. 7);

$$V_{osq}(t) = \frac{4}{\pi} V_{out} \sum_{n=1,3,5,\dots} \frac{1}{n} \sin(n2\pi f_{sw}t - \Psi) \quad (7)$$

Temel bileşeni (Eş. 8);

$$V_{oFHT}(t) = \frac{4}{\pi} V_{out} \sin(2\pi f_{sw}t - \Psi) \quad (8)$$

rms değeri (Eş. 9);

$$V_{oFHA} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{out} \quad (9)$$

ψ girişi bağlı çıkış değerinin faz kaymasıdır. Doğrultucu akımının temel bileşeni (Eş. 10);

$$i_{rect}(t) = \sqrt{2} I_{rect} \sin(2\pi f_{sw}t - \Psi) \quad (10)$$

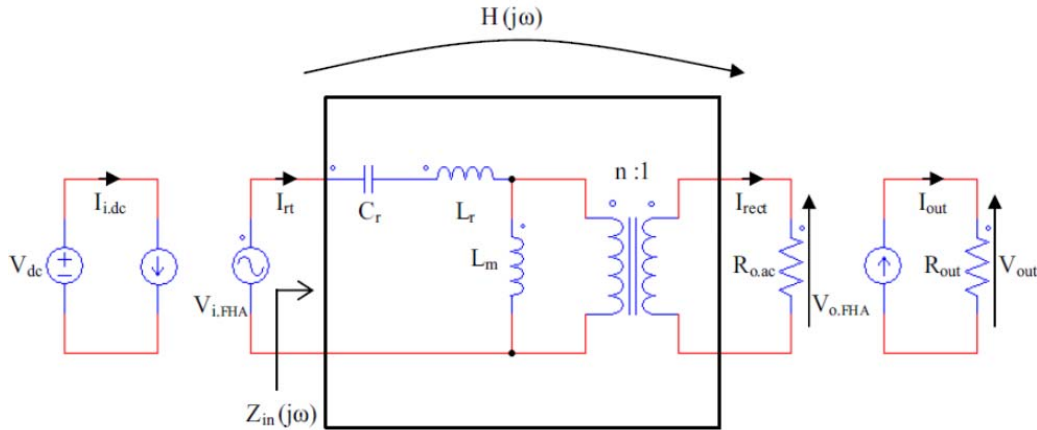
Yükteki ortalama çıkış akımı (Eş. 11);

$$I_{out} = \frac{2}{T_{sw}} \int_0^{T_{sw}} |i_{rect}(t)| dt = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_{rect} = \frac{P_{out}}{V_{out}} = \frac{V_{out}}{R_{out}} \quad (11)$$

P_{out} , R_{out} çıkış direnci ile ilişkili çıkış gücüdür (Eş. 12).

$$R_{oac} = \frac{V_{oFHA}(t)}{i_{rect}(t)} = \frac{V_{oFHA}}{i_{rect}} = \frac{8}{\pi^2} \frac{V_{out}^2}{P_{out}} = \frac{8}{\pi^2} R_{out} \quad (12)$$

Böylelikle Şekil 5’deki doğrusal olmayan devre Şekil 6’daki doğrusal devreye dönüşmüş olur. Tasarım, istenilen fiziksel boyutlarda, maksimum güç aktaracak çalışma frekans aralığında, devre elemanlarının optimum elektriksel ve ısı stresi altında çalışması sağlanmalıdır. MOSFET’lerin çalışma koşulları düşünüldüğünde endüktif bölgede çalışan, ZVS sıfır gerilimde anahtarlama yapan tasarımla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. LLC rezonans dönüştürücü FHA eşdeğer modeli [16] (LLC resonance converter FHA equivalent model [16])

Tasarımın belirli pratik kurallara göre gerçekleştirilmesi zaman açısından yarar sağlayacaktır. Literatürde birçok tasarım prosedürü olmasıyla beraber sistem optimizasyonu, güvenilirlik ve tasarımda kullanılacak malzemelerin özelliklerine uygun deneyimlere dayalı tasarım gerçekleştirmek mümkündür. Yarım köprü LLC dönüştürücü için tasarım adımları aşağıda verilmiştir[16].

Adım 1: İlk adım olarak, Eş. 13 nominal giriş geriliminde Gerilim kazancı 1'e eşitlenir ve gerilim dönüşüm oranı hesaplanır. Gerilim dönüşüm oranı aynı zamanda transformatörün primer-sekonder dönüşüm oranıdır.

$$\frac{1}{2n} M(f_{sw}) = \frac{V_{out}}{V_{dc}} \quad (13)$$

M (f_{sw}) normalize gerilim dönüşüm oranı veya gerilim kazancıdır. n transformatör dönüşüm oranıdır. V_{out} çıkış gerilimi, V_{dc} giriş gerilimidir.

Adım 2: Giriş geriliminin en düşük ve en yüksek aralığı için en düşük (M_{min}) ve en yüksek kazanç (M_{max}) değerleri Eş. 14 kullanılarak hesaplanır.

$$M_{min} = 2n \frac{V_{out}}{V_{dcmax}} M_{max} = 2n \frac{V_{out}}{V_{dcmin}} \quad (14)$$

Adım 3: Maksimum normalize çalışma frekansı, Eş. 15 kullanılarak hesaplanır. f_n normalize frekanstır. f_{sw} ise anahtarlama frekansı, f_r ise rezonans frekansdır.

$$f_n = \frac{f_{sw}}{f_r} \quad (15)$$

Adım 4: Transformatörün birincil kısmına yansıyan etkin yük direnci Eş. 16 kullanılarak hesaplanır. P_{out} çıkış gücüdür.

$$R_{ac} = \frac{V_{oFHA}(t)}{i_{rect}(t)} = \frac{V_{oFHA}}{i_{rect}} = \frac{8}{\pi^2} \frac{V_{out}^2}{P_{out}} = \frac{8}{\pi^2} R_{out} \quad (16)$$

Adım 5: Maksimum giriş gerilimi ve maksimum frekansta sıfır yük altında çalışan dönüştürücü için endüktans dönüşüm oranı Eş. (17) kullanılarak hesaplanır. L_r rezonans endüktansı, L_m ise karşılıklı endüktanstır.

$$\lambda = \frac{L_r}{L_m} \quad (17)$$

Adım 6: Minimum giriş gerilimi ve maksimum yük koşulunda Eş. 18 kullanılarak Q_{max} değeri ve Q_{ZVS1} maksimum kalite faktörü hesaplanır.

$$Q_{max} = \frac{\lambda}{M_{max}} \sqrt{\frac{1}{\lambda} + \frac{M_{max}^2}{M_{max}^2 - 1}} Q_{ZVS1} = (\%90 - \%95) \cdot Q_{max} \quad (18)$$

Adım 7: Maksimum giriş gerilimi ve sıfır yük koşulunda Eş. 19 kullanılarak Q_{ZVS2} maksimum kalite faktörü hesaplanır.

$$Q_{ZVS2} \leq \frac{2}{\pi} \frac{\lambda f_{nmax}}{(\lambda+1)f_{nmax}^2 - \lambda R_{ac} C_{ZVS}} \frac{T_D}{R_{ac} C_{ZVS}} \quad (19)$$

Eş. 19'da f_{nmax} maksimum normalize çalışma frekansdır. T_D sürücü devrede kullanılan ölü zamandır. C_{ZVS} parazitik kapasitanstır. C_{ZVS} değeri (Eş. 20);

$$C_{ZVS} = 2C_{oss} + C_{stray} \quad (20)$$

C_{oss} güç transistörü drain-source arasındaki kapasitans ve C_{stray} rezonans tank boyunca görülen kaçak kapasitans olmak üzere Q_{max} değerini %5 veya %10 marjin göz önünde bulundurularak hesaplanabilir.

Adım 8: Tüm çalışma aralığı için en küçük maksimum kalite faktörü belirlenir. Q_{ZVS} ≤ min{Q_{ZVS1}, Q_{ZVS2}}

Adım 9: Minimum giriş geriliminde ve maksimum yük için en düşük çalışma frekans aralığı Eş. 21 elde edilir.

$$f_{min} = f_r \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{M_{max} \sqrt{1 + \left(\frac{Q_{ZVS}}{Q_{max}} \right)^2}} \right)}} \quad (21)$$

Adım 10: Rezonans tank devresinin tüm bileşenleri hesaplanır. Z_o karakteristik empedanstır (Eş. 22).

$$Z_o = Q_{ZVS} R_{ac} C_r = \frac{1}{2\pi f_r Z_o} L_r = \frac{Z_o}{2\pi f_r} L_m = \frac{L_r}{\lambda} \quad (22)$$

Yukarıdaki tasarım adımlarına göre 12V@600W ve 24V@600W rezonans blokları için Tablo 2 tasarım değerleri hesaplanmıştır. Belirlenen tasarım parametrelerine bağlı olarak elde edilen tasarım sonuçlarına uygun devre elemanları seçilir. Ancak, her zaman bu sonuçlara uygun güç elektroniği devre elemanları bulunamaz. Standart bulunabilir devre elemanları referans alınarak hesaplamaları gerçekleştirmek süre açısından yarar sağlayacaktır. Bu tasarımda elde edilen sonuçlara uygun transformatörün yüksekliği 40 mm'den yüksek çıkmıştır. 12mm maksimum izin verilebilir tasarım kriterine ulaşamamaktadır. Ayrıca güç anahtarlama devre elemanlarının maksimum güce yakın aralıkta çalışması ısı problemine ve dolayısıyla çalışma ömrünün kısılmasına neden olacaktır. Tasarımda kullanılacak malzemelerin ticari olarak elde edilebilir seçilmesi ve gerekli güvenilirlik tasarım kriterlerinin sağlanması için parametrelerin düzenlenmesi gerekir. Bu çalışmada yüklerin eşit olarak paylaştırılması amacıyla 12V ve 24V bloklarının paralellenmesi gerçekleştirilmiştir. Yani bu trafo ve devre elemanlarından ikişer adet kullanılmıştır. Kullanılan bu transformatörlerin primerleri seri ve sekonderleri paralel bağlıdır. Modifiye edilmiş transformatör tasarım parametreleri Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te belirtilen tur oranları her bir trafo için ayrı ayrı geçerli iken endüktans değerleri, trafoların primerleri seri olduğu için toplam endüktans değeridir. Böylelikle hem 12 mm maksimum yükseklik kriteri sağlanmış, hem de anahtarlama güç elemanlarının yarı yarıya güç aralığında çalıştırılarak ısı problemi ve dolayısıyla daha uzun ömürlü tasarım sağlanmış olmuştur.

Tablo 2. 12V@600W / 24V@600W Rezonans devresi hesaplamaları
(12V@600W / 24V@600W Resonant circuit calculations)

Adım	Denklem	Sonuç (12 V OLED TV Anakart Besleme Devresi için)	Sonuç (24 V OLED TV Panel Besleme Devresi için)
1	$n = \frac{1}{2} \frac{V_{dcnom}}{V_{out}}$	n=16,66	n=8,33
2	$M_{max} = 2n \frac{V_{out}}{V_{dcmin}}$ $M_{min} = 2n \frac{V_{out}}{V_{dcmax}}$	Mmax=1,249 Mmin=0,952	Mmax=1,249 Mmin=0,952
3	$f_{nmax} = \frac{f_{max}}{f_r}$	fnmax=1,2	fnmax=1,2
4	$R_{ac} = \frac{8}{\pi^2} n^2 \frac{V_{out}^2}{P_{out}}$	Rac =54Ω	Rac =54 Ω
5	$\lambda = \frac{1 - M_{min}}{M_{min}} \frac{f_{nmax}^2}{f_{nmax}^2 - 1} = \frac{1}{m}$	λ=0,165 m=6,075	λ=0,165 m=6,075
6	$Q_{ZVS1} = \%95, Q_{max}$ $= \%95, \frac{\lambda}{M_{max}} \sqrt{\frac{1}{\lambda} + \frac{M_{max}^2}{M_{max}^2 - 1}}$	Qmax = 0,392 QZVS1=0,372	Qmax = 0,392 QZVS1=0,372
7	$Q_{ZVS2} \leq \frac{2}{\pi} \frac{\lambda f_{nmax}}{(\lambda + 1) f_{nmax}^2 - \lambda R_{ac} C_{ZVS}} \frac{T_D}{R_{ac} C_{ZVS}}$	QZVS2=8,8	QZVS2=2,21
8	$Q_{ZVS} = \min(Q_{ZVS1}, Q_{ZVS2})$	QZVS=0,372	QZVS=0,372
9	$f_{min} = f_r \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{M_{max}^{1 + \left(\frac{Q_{ZVS}}{Q_{max}} \right)^4}} \right)}}$	fmin=68,6 kHz	fmin=68,6 kHz
10	$Z_o = Q_{ZVS} R_{ac} C_r = \frac{1}{2\pi f_r Z_o}$ $L_r = \frac{Z_o}{2\pi f_r} L_m = \frac{L_r}{\lambda}$	Zo=20,09 Ω Cr=66 nF Lr=26,6 μH Lm=161,6 μH	Zo=20,09 Ω Cr=66 nF Lr=26,6 μH Lm=161,6 μH

Tablo 3. Modifiye edilmiş transformatör tasarım parametreleri (Modified transformer design parameters)

Parametre	12 V	24 V
Primer	USTC 0,06mm x 130°C 26 Tur	LITZ 0,1mm x 130°C 48 Tur
Sekonder	LITZ 0,16mm x 35°C 3 Tur	LITZ 0,12mm x 130°C 3 Tur
Sarım Oranı (n)	26 / 3 =8.66	48 / 3 =16
Nüve	EPC4344	EFD50
DC Direnç (R _{primer})	125 mΩ	225 mΩ
Toplam Primer Endüktans (L _m)	307μH	1 mH
Toplam Kaçak Endüktans (L _r)	68 μH	320 μH
Rezonans Tank Kapasitesi (C _r)	20 nF	20 nF
Nominal Giriş Gerilimi: V _{dc.nom}	400 V	400 V
Regüle Çıkış Gerilimi: V _{out}	12V @ 5A	24V @ 16A
Maksimum Çıkış Gücü: P _{out}	300W	600W
Rezonans Frekansı: f _r	100 kHz	100 kHz
Maksimum Çalışma Frekansı: f _{max}	120 kHz	120 kHz
Minimum Çalışma Frekansı: f _{min}	90 kHz	90 kHz

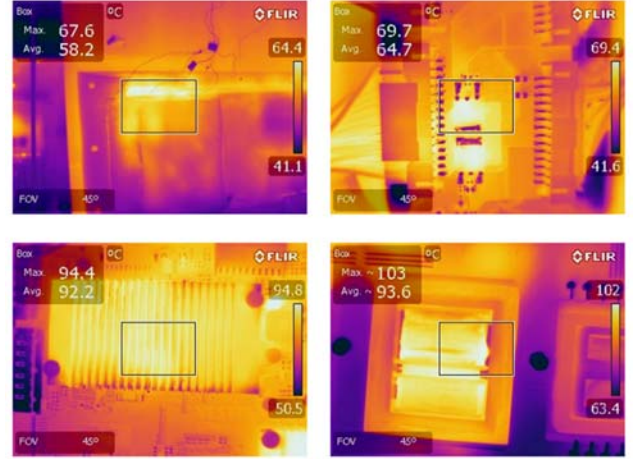
Transformatörlerin çıkışındaki gerilimlerin doğrultularak 12V ve 24V çıkış gerilimlerinin elde edilebilmesi için senkron doğrultucu kullanılmıştır. Senkron doğrultucu özellikle yüksek verim, yüksek güç yoğunluğu, termal performans ve güç kartı boyutlarının önemli olduğu uygulamalarda tercih edilen bir yöntemdir. Doğrultucu devrelerde kullanılan Schottky diyotların ters toparlanma akım performansları iyi olsa da üzerlerindeki gerilim düşümü güç kartının veriminin düşmesine sebep olmaktadır. Fakat senkron doğrultucu MOSFET küçük $R_{DS(on)}$ ile iletim kaybı oldukça azalacaktır. Bu çalışmada her bir senkron doğrultucu FDD5353 MOSFET, TEA1792 entegresi ile kontrol edilmiştir.

Bu tasarım kriterlerine göre gerçekleştirilen ana güç kartı ve komponent yerleşimi Şekil 7’de gösterilmiştir.

2.4. Deneysel Analiz (Experimental Analysis)

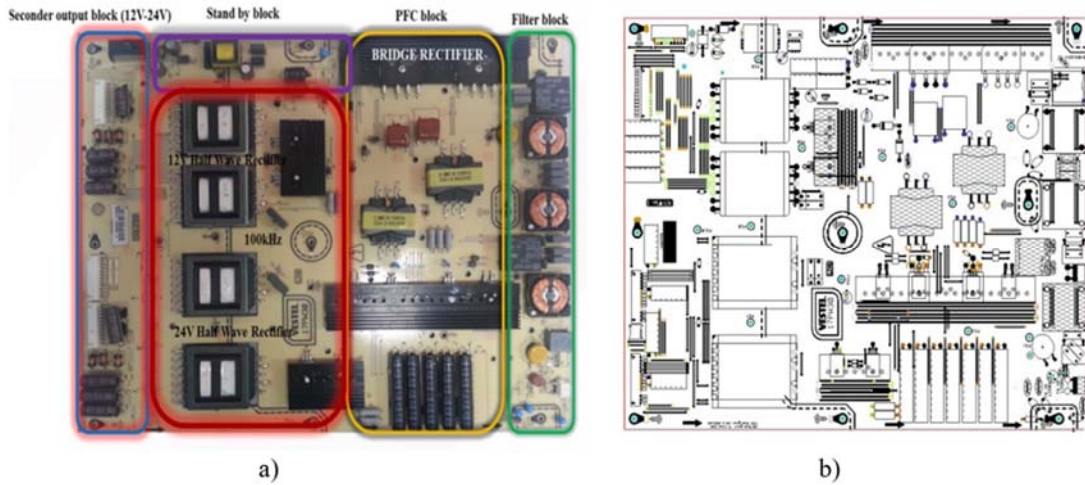
Tasarlanan güç kartının tasarım doğrulaması için elektriksel, elektromanyetik uyum, çevresel, güvenilirlik ve güvenlik testleri uygulanabilir. Tüm bu testler sonucunda elde edilen sonuçlar uluslararası standartlarda belirtilen limitleri aşmaması istenir. Güç kartının farklı yük ve çalışma koşulları için her bir modülünün yerine getirmesi gereken fonksiyonlarının ve tasarım kriterlerinin sağlanıp sağlanmadığının belirlendiği elektriksel testlerdir. Güç harcayan devre elemanlarının aşırı stres altında çalışması istenmez. Laboratuvar koşullarında ölçülen değerlerin nominal değerinin %90’ı aşması istenmez. Aşırı strese çalışan devre elemanı daha fazla ısı üreterek kabin içi sıcaklığın artmasına ve daha hızlı arızalanmasına neden olacaktır. Güç kartının güvenilirlik açısından çok önemli olan sıcaklık haritasının çıkarılması ve devre elemanlarının üretici bilgi formunda yer alan izin verilen maksimum sıcaklığının aşmaması sağlanmalıdır. Şekil 8’de güç kartının termal kamera ile alınmış kritik devre elemanları için ısı haritası görülmektedir. Güç kartının güvenilirlik açısından çok önemli olan sıcaklık haritasının çıkarılması ve devre elemanlarının üretici bilgi formunda yer alan izin verilen

maksimum sıcaklığının aşmaması sağlanmıştır. Sıcaklık testleri sonucunda anahtarlama elemanı olarak kullanılan MOSFET’ler ve güç elemanları 40°C ortam sıcaklığında 100°C’den daha düşük bir sıcaklık gözlenmiştir. Bu değerler üretici firma speklerinde yer alan maksimum izin verilebilir sıcaklık değerinden yaklaşık 20°C daha düşüktür.



Şekil 8. Güç kartı ısı haritası ve sıcaklık ölçüm sonuçları (Power supply thermal mapping and temp. measurement results)

Güç kartının Yarım Köprü LLC rezonans dönüştürücü bloğunun elektriksel ölçümleri Şekil 9’da gösterilmiştir. Güvenilirlik açısından en kritik komponent olan MOSFET anahtarlama elemanları maksimum yük çalışma koşulunda test edilmiştir. 12V ve 24V rezonans devre bloğunda 2’şer adet Mosfet kullanılmaktadır. 24V OLED ekranı beslediğinden daha fazla akım çekmektedir. Mosfet’lerin ölçülen akım değerleri 4,48A_{rms} ve 4,44A_{rms} dir. Daha az güç harcayan TV Anakartı besleyen 12V rezonans bloğunda yer alan mosfet’lerin ölçülen akım değerleri 1,13 A_{rms} ve 1,02 A_{rms} dir. Dolayısıyla 18A/500V Mosfet’ler, ömrü olumsuz etkileyecek elektriksel strese maruz kalmamaktadır. Güç kartı için kritik EMC (Conducted emission-Radiated emission) sonuçları Şekil 10’da verilmiştir



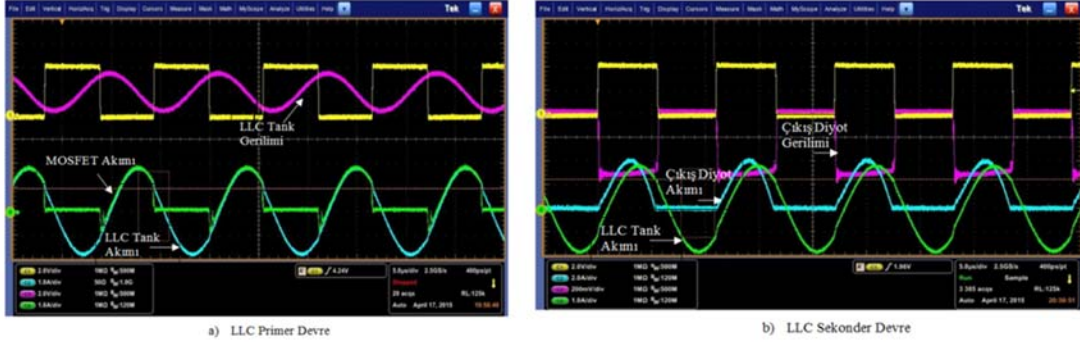
Şekil 7. OLED TV güç kartı komponent yerleşimi ve fotoğrafı (OLED TV power supply component placement and photograph)

RE EMC testleri yarı yansız odada gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları, uluslararası standartlarda belirtilen limitlerin altında 193,47 MHz frekansında 36,49 dB μ V ölçülerek 3,51 dB marjın sağladığını göstermiştir. CE EMC testleri ekranlı odada gerçekleştirilmiştir. CE test sonucu grafiğine baktığımızda limitlere en yakın durum 3,94125MHz frekansında 41,8 dB μ V ölçülerek 4,2 dB marjın sağlanmıştır. Harmonik test sonucunda sırasıyla Class B ve Class D kriteri sağlanmalıdır. Standartta belirtilen koşullarda gerçekleştirilen harmonik akım testleri Class D kriterlerini

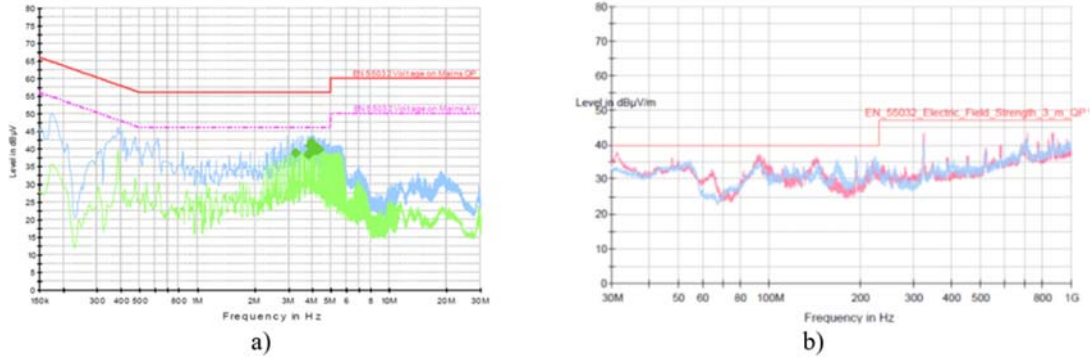
sağlamıştır. Bu durumda güç kartı için önerilen PFC devresinin tasarım doğrulaması gerçekleştirilmiş olmaktadır. Maksimum harmonik akım sonuçlarına ait grafik ve akım değerleri sırasıyla Şekil 11 ve Tablo 4’te verilmiştir.

3. BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATION STUDIES)

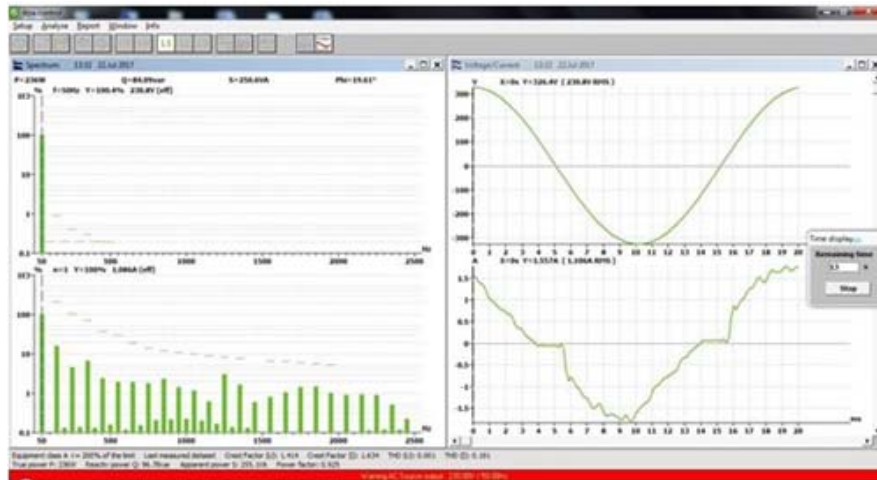
Bu çalışmada LLC yarım köprü rezonans DC-DC dönüştürücü devresi için yapılan benzetim çalışmaları ve sonuçları bu bölümde verilmiştir. 400V_{DC} girişi ile beslenen



Şekil 9. LLC devresi elektriksel sinyalleri (LLC circuits electrical signals)



Şekil 10. a) EN55032:2012 CE test sonucu (150 kHz-30MHz) b) RE test sonucu (30MHz-1GHz).
(a) EN55032:2012 CE test result (150 kHz-30MHz) (b) RE test result (30MHz-1GHz)



Şekil 11. EN61000-3-2:2014 Maksimum harmonik akım sonuçları (EN61000-3-2:2014 Max. Harmonic current results)

DC-DC dönüştürücü devrenin sistem farklı yüklerini besleyebilmesi için $12V_{dc}$ ve $24V_{dc}$ geriliminde iki adet çıkışları vardır. Devre tam yükte sırasıyla 5A ve 16A çıkış akım sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Tablo 4. Maksimum harmonik akım değerleri
(Maximum harmonic current values)

H _m	I _{eff} [A]	% of Limit	Limit [A]	Sonuç
1	1.089			GEÇTİ
2	10.018E-3			GEÇTİ
3	172.407E-3	14.272	1.208	GEÇTİ
4	8.952E-3			GEÇTİ
5	51.543E-3	7.365	675.064E-3	GEÇTİ
6	7.312E-3			GEÇTİ
7	72.339E-3	20.360	355.297E-3	GEÇTİ
8	5.631E-3			GEÇTİ
9	26.419E-3	14.871	177.648E-3	GEÇTİ
10	5.830E-3			GEÇTİ
11	24.486E-3	19.690	124.354E-3	GEÇTİ
12	5.496E-3			GEÇTİ
13	21.593E-3	20.518	105.239E-3	GEÇTİ
14	4.972E-3			GEÇTİ
15	21.340E-3	23.407	91.169E-3	GEÇTİ
16	5.019E-3			GEÇTİ
17	25.509E-3	31.698	80.475E-3	GEÇTİ
18	4.832E-3			GEÇTİ
19	16.199E-3	22.503	71.983E-3	GEÇTİ
20	4.707E-3			GEÇTİ

Benzetim çalışmalarında DC/DC dönüştürücünün 12V ve 24V çıkışların tam yük ve 24V çıkışın hafif yükteki (%10) analizleri PSIM benzetim programı kullanılarak yapılmıştır. PSIM ortamında geliştirilen LLC yarım köprü rezonans DC/DC dönüştürücü devresi ve geri besleme devreleri Şekil 12'de gösterilmektedir. Benzetim çalışmasında uygulama devresinde kullanılan parametreler kullanılmıştır. Şekil 12b'de verilen PI denetleyici çıkış gerilimlerinin 12V ve 24V olarak sabit kalabilmesi için gerekli PWM bağlı iletim süresinin belirlenmesini sağlamaktadır. PI denetleyicide P ve I katsayıları çıkış gerilimlerinin üst aşım sınırını ve oturma zamanını en aza indirebilmek için ampirik olarak belirlenmiştir.

Analizlerin doğruluklarının artırılabilmesi için uygulama devresinde kullanılan FDPF18N50T serisi MOSFET anahtarı PSIM Device Database Editör içerisinde aslına uygun olarak tasarlanmıştır. Şekil 13'de MOSFET ve MOSFET gövde diyotuna ait katalog verilerinin program içerisinde tanımlandığına dair ekran görüntüsü

verilmektedir. PSIM'de analizi yapılacak devrenin tasarımı sonrasında ilk olarak 24V devresinin tam yük altında analizleri yapılmıştır. Şekil 14'de çıkış gerilimi (V_{out}) ve çıkış akımı (I_{out}) verilmiştir.

Gerilim ve akım üzerindeki dalgalanma Şekil 15'de görüldüğü gibi tam yük altında çok sınırlı kalmaktadır.

24V çıkış tarafında tam yük altında modülasyon %25,75 olarak hesaplanmıştır. Şekil 16'da anahtar üzerindeki akım ve gerilimin aynı anda görülebilmesi için akım 50 kat büyütülerek gösterilmektedir.

LLC tank akımı ($I_{LLCbank}$) Şekil 17'de verilmiştir.

LLC yarım köprü rezonans DC-DC dönüştürücü devrede 24V çıkış tarafı TV ünitesinin panel besleme tarafıdır. Panelin daha az güç gereksinimi olduğu durumlarda DC/DC dönüştürücü devre için hafif yük çalışması durumuna karşılık gelmektedir. Burada 24V çıkış tarafının %10 yük durumunda analizleri incelenecektir. %10 yük durumu çıkış empedansının değişmediği varsayılarak 38,4W, bu da yaklaşık 7,6V ve 5A çıkış gerilim ve akım değerlerine karşılık gelir.

Şekil 18'de %10 yük altında çıkış akım ve gerilim grafiği verilmiştir.

Şekil 19'da Akım ve gerilim üzerindeki dalgalanma tam yük altında olduğu gibi hafif yük altında da çok çok sınırlı olmakta ve yük gereksinimlerini karşılamaktadır.

Şekil 20'de 24V çıkış tarafında %10 yük altında modülasyon %7 olarak görülmektedir. Anahtar üzerindeki akım ve gerilimin aynı anda görülebilmesi için akım 50 kat büyütülerek gösterilmektedir.

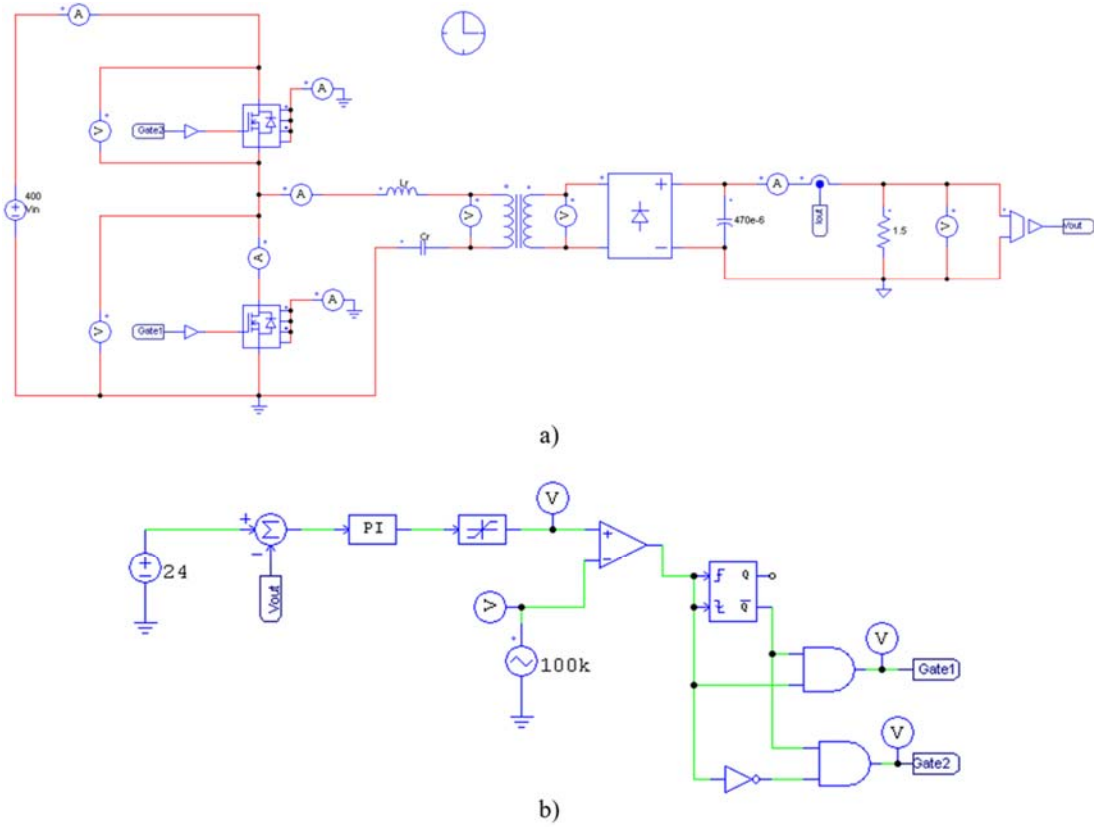
Hafif yük altında LLC tank akımı ($I_{LLCbank}$) Şekil 21'de verilmiştir.

LLC yarım köprü rezonans DC-DC dönüştürücü devrede 12V çıkış için tam yük analizleri bu bölümde verilmiştir. 12V gerilim ve 5A akım grafiği Şekil 22'de verilmiştir.

12V gerilim ve 5A akım üzerindeki dalgalanmalar Şekil 23'de gösterilmiştir.

12V çıkış tarafında tam yük altında anahtar üzerindeki akım ve gerilimin aynı anda görülebilmesi için akım 50 kat büyütülerek Şekil 24'de gösterilmektedir. LLC tank akımı Şekil 25'de verilmiştir.

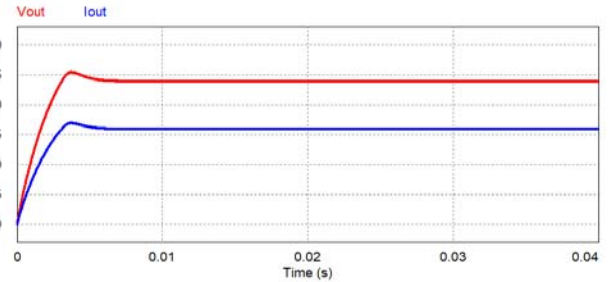
Buraya kadar yapılan analizlerde anahtarlama frekansı 100 kHz olarak belirlenmiştir. Bu anahtarlama frekansında MOSFET ve MOSFET gövde diyotu üzerindeki anahtarlama ve iletim kayıpları Şekil 26'da verilmiştir. Akım ve gerilim dengeye ulaştığında her iki anahtarın üzerindeki toplam anahtarlama ve iletim kaybı 17,75W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 12. a) Yarım köprü LLC rezonans dönüştürücü devresi b) Geri besleme devresi (HB LLC resonant converter circuit b) Feedback circuit)

Manufacturer: Fairchild Semiconductor		Part Number: FDP18N50	
Package: DIP18 (in channel)		Style:	
Absolute Maximum Ratings			
VDS,max (V):	500	ID,max (A):	18
Tj,max (°C):	150		
Electrical Characteristics - Transistor			
Test Conditions:		Test Conditions:	
RDs(on) (ohm):	0.22	VGS:	10
Qg (nC):	45	VDS:	400
Qgs (nC):	12.5	VGS:	10
Qgd (nC):	19	ID:	18
VGS(th) (V):	5	Crss (pF):	2300
gfs (S):	25	Crss (pF):	330
tr (ns):	185	Crss (pF):	25
tf (ns):	90	IF (A):	18
RG (ohm):	25	dI/dt:	100
Note: In all "Test Conditions", VDS and VGS are in volt, and ID is in ampere.			
Electrical Characteristics - Diode			
Vd vs. IF		Edk	
tr (ns):		500	IF (A):
Qrr (nC):		5.4	dI/dt:
			100
			Tj (°C):
			25
Thermal Characteristics			
Rth(j-c):	0.53	Rth(j-nt):	62.5
(all in °C/W)			
Dimensions and Weight			
Length (mm):	16	Width (mm):	10
Height (mm):	4.7	Weight (g):	1

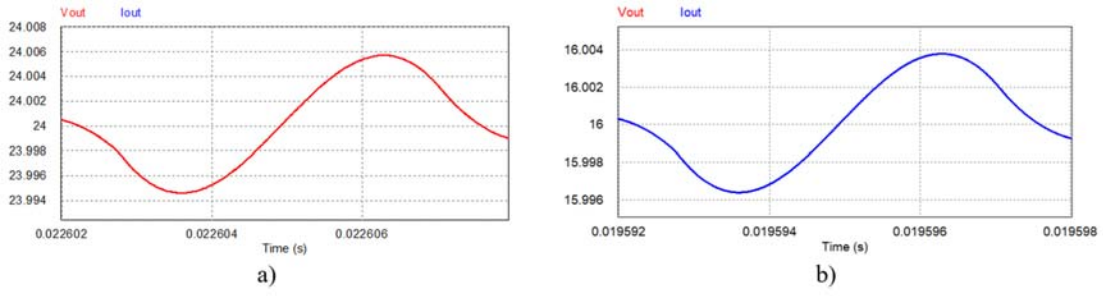
Şekil 13. MOSFET tasarım parametreleri program çıktısı (MOSFET design parameters program definition)



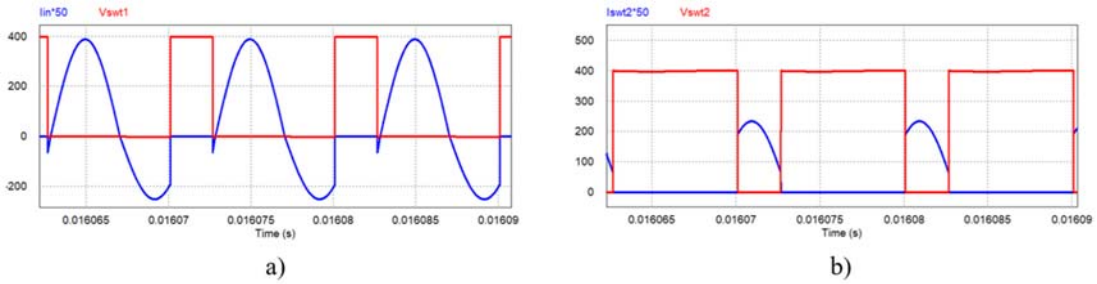
Şekil 14. 24V, 16A yük altında çıkış akım ve gerilimi (24V/16A output current and voltage)

Anahtarlama frekansı 90 kHz olarak değiştirildiğinde gerilim ve akım üzerindeki Şekil 27’de görüldüğü gibi artmaktadır. Buna ek olarak anahtarlar üzerindeki toplam iletim ve anahtarlama kaybı 30,73W olarak hesaplanmıştır. Anahtarlama ve iletim kayıtları Şekil 28’de verilmiştir.

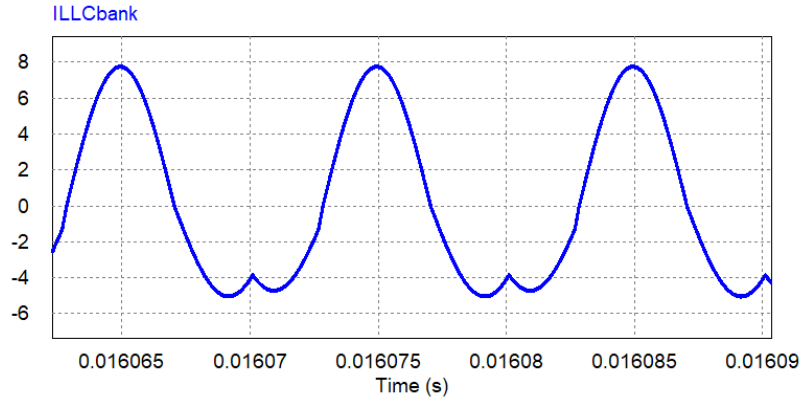
Anahtarlama frekansı 120 kHz’e arttırıldığında gerilim ve akım üzerindeki dalgalanma Şekil 29’da görüldüğü gibi azalmaktadır. Fakat anahtarlama frekansının arttırılması aynı zamanda anahtarlama kayıplarında artış meydana gelmesine de sebep olmaktadır (bkz. Şekil 30). Anahtarlama frekansı 120 kHz’e çıkarıldığında toplam anahtarlama ve iletim kaybı 20,60W olarak hesaplanmıştır.



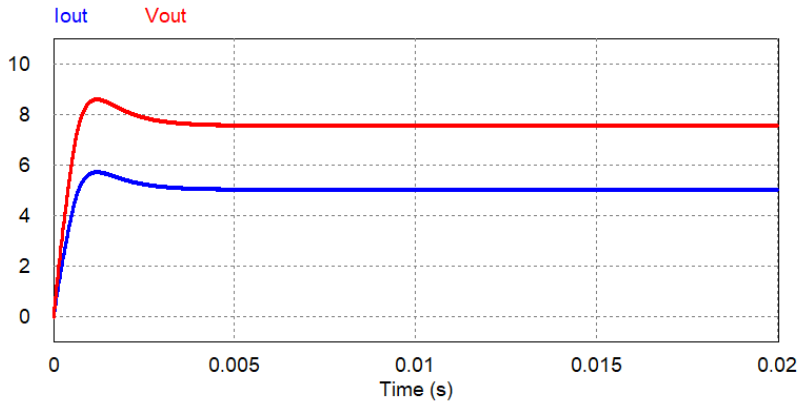
Şekil 15. a) 24V gerilim b) 16A akım üzerindeki dalgalanmalar (24 V/16 A ripple output current and ripple output voltage)



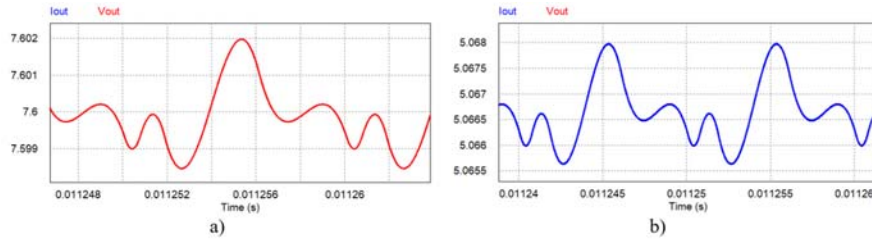
Şekil 16. 24V, 16A yük altında anahtarlar üzerinde akım ve gerilimi a) Üst anahtar b) Alt anahtar (24V/16A MOSFETs current and voltage)



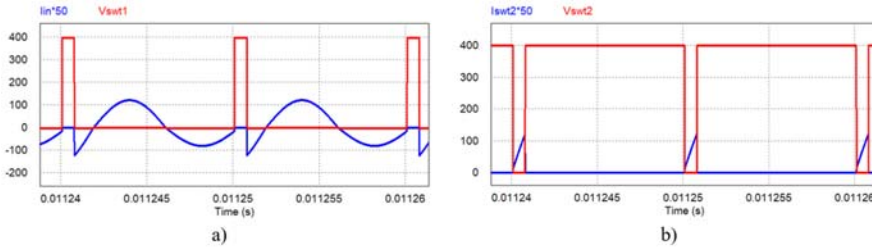
Şekil 17. 24V, 16A yük altında LLC Tank akımı (24V/16A LLC resonant tank current)



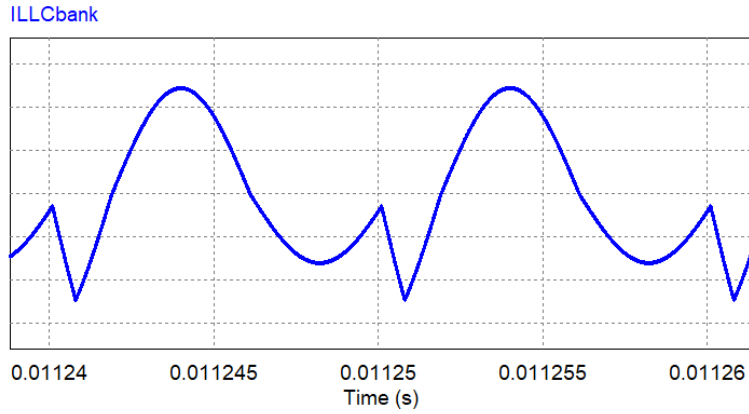
Şekil 18. 24V rezonans bloğu %10 yük altında çıkış akım ve gerilimi (24V resonant block output current and voltage under %10 load)



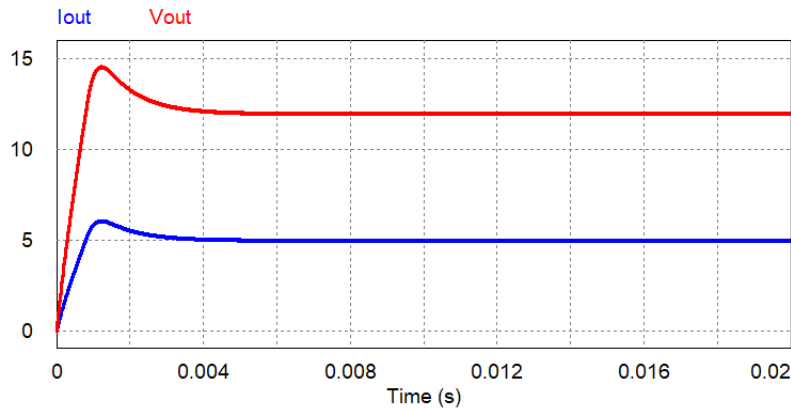
Şekil 19. %10 yük altında çıkış akım ve gerilimi üzerindeki dalgalanmalar (24V resonant block output ripple current and output ripple voltage under %10 load)



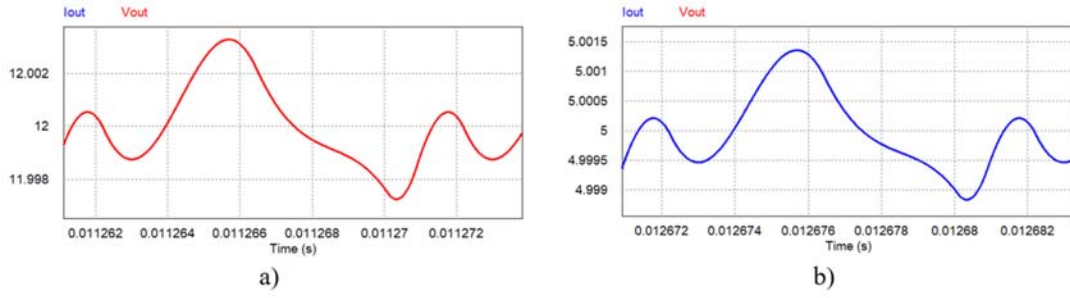
Şekil 20. 24V rezonans bloğu %10 yük altında anahtarlar üzerinde akım ve gerilim incelemesi a) Üst anahtar b) Alt anahtar (24 V resonant block MOSFETs current and voltage under %10 load)



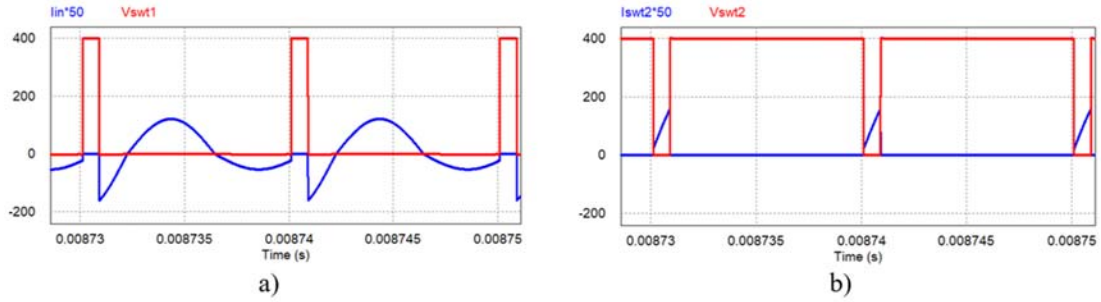
Şekil 21. %10 yük altında LLC Tank akımı (24 V resonant block LLC tank current under %10 load)



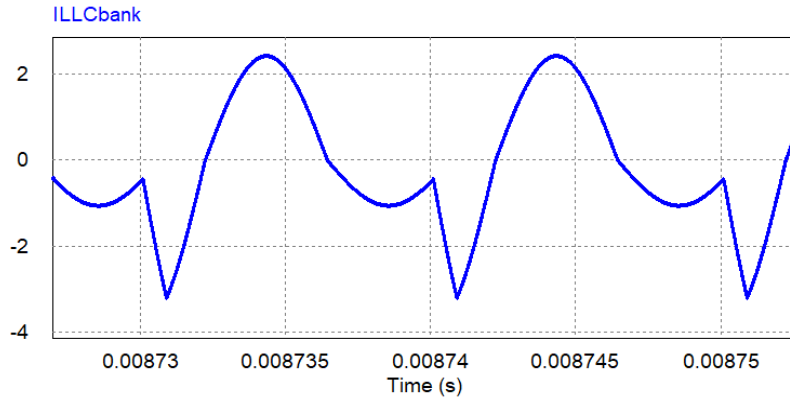
Şekil 22. 12V, 5A yük altında çıkış akım ve gerilimi (12V/5A output current and voltage)



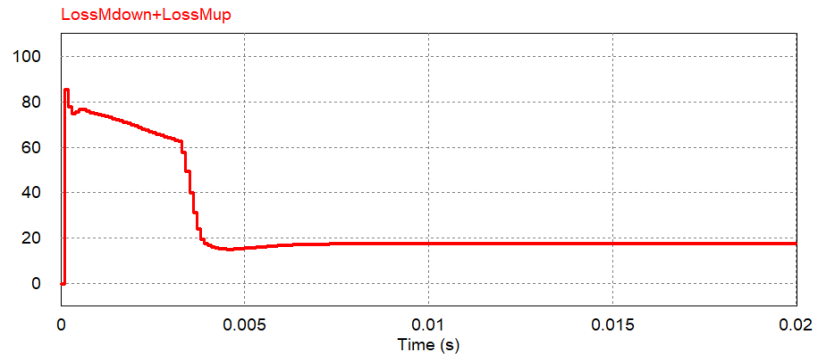
Şekil 23. a) 12V gerilim b) 5A akım üzerindeki dalgalanmalar 5A yük altında çıkış akım ve gerilimi üzerindeki dalgalanmalar (12 V/5 A ripple output current and ripple output voltage)



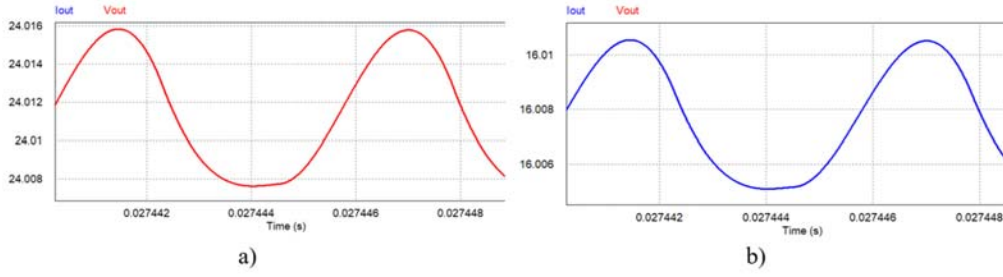
Şekil 24. 12V, 5A yük altında anahtarlar üzerinde akım ve gerilim incelemesi (12V/5A MOSFETs current and voltage)



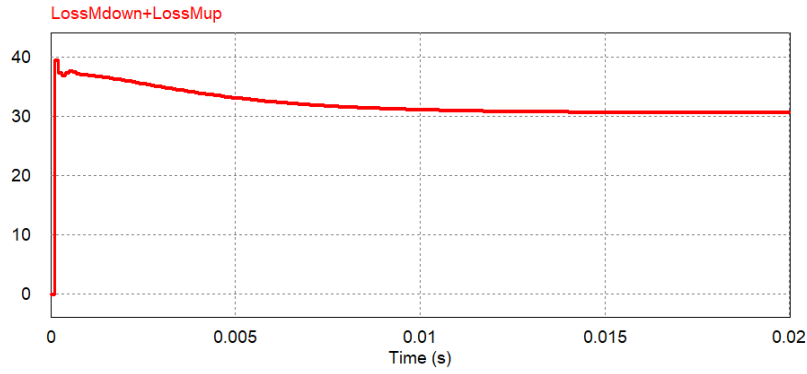
Şekil 25. 12V, 5A yük altında LLC Tank akımı (12V/5A LLC resonant tank current)



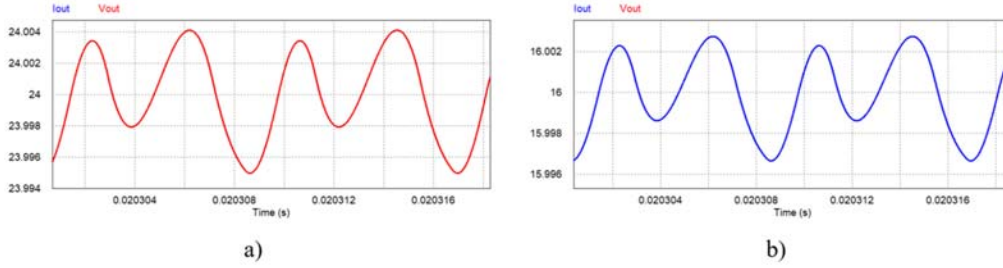
Şekil 26. 100kHz anahtarlama frekansında 24V devresi MOSFET+gövde Diyotu anahtarlama ve iletim kayıpları toplamı (24V resonant block MOSFET+body diode total switching loss for 100kHz switching frequency)



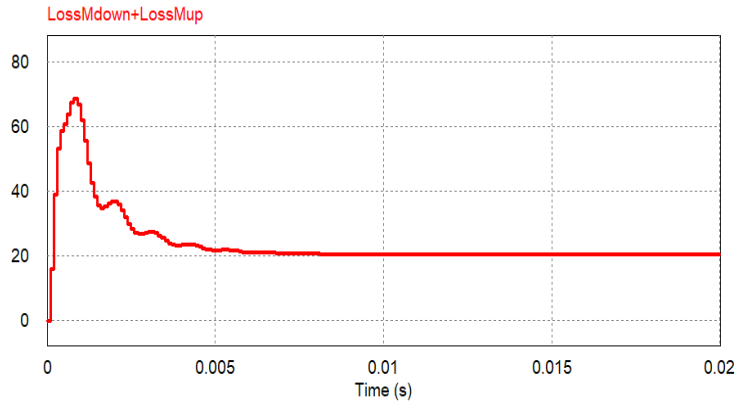
Şekil 27. 90 kHz anahtarlama frekansında çıkış gerilim ve akımı üzerindeki dalgalanma (24 V/16 A ripple output current and ripple output voltage for 90kHz switching frequency)



Şekil 28. 90 kHz anahtarlama frekansında 24V devresi MOSFET+gövde Diyotu anahtarlama ve iletim kayıpları toplamı ((24V resonant block MOSFET+body diode total switching loss for 90kHz switchinmg frequency)



Şekil 29. 120 kHz anahtarlama frekansında çıkış gerilim ve akımı üzerindeki dalgalanma (24 V/16 A ripple output current and ripple output voltage for 120kHz switching frequency)



Şekil 30. 120 kHz anahtarlama frekansında 24V devresi MOSFET+gövde Diyotu anahtarlama ve iletim kayıpları toplamı ((24V resonant block MOSFET+body diode total switching loss for 120kHz switchinmg frequency)

4. GÜVENİLİRLİK ANALİZLERİ (RELIABILITY ANALYSIS)

Güvenilirlik, bir cihazın veya bu cihazı oluşturan alt sistem modüllerinin; belirli çalışma koşulları altında belirli bir süre için görevini yerine getirebilme olasılığı olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada tasarlanan güç kartının tasarımının başarısını kontrol etmek için elektriksel, termal ve EMC güvenilirlik testleri gerçekleştirilmiştir [16-20]. Güç kartı için yapılan testler neticesinde elde edilen sonuçların uluslararası standartlarda belirtilen limitleri aşmaması gerekir. Güç harcayan devre elemanlarının aşırı stres altında çalışması komponent ömrünü olumsuz etkilemektedir. Laboratuvar koşullarında ölçülen değerlerin nominal değerinin %90'ı aşması istenmez. Aşırı strete çalışan devre elemanı daha fazla ısı üreterek kabin içi sıcaklığın artmasına ve daha hızlı arızalanmasına neden olacaktır. OLED TV'nin güvenilirlik ömür hesaplaması için parça sayımı güvenilirlik tahmini kullanılmıştır. Sistemi oluşturan bileşenlerin hata oranı (λ) seri olarak toplandığı varsayılmıştır. Örneğin 3 bileşenden oluşan bir sistemin hata oranı Eş. 23 ile MTBF değeri Eş. 24 ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\lambda_{sis} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \quad (23)$$

$$MTBF_{sistem} = \frac{1}{\lambda_{sistem}} \quad (24)$$

Laboratuvar koşulları altında güç kartının kritik komponentlerinin elektriksel ölçüm değerlerinin MIL-STD-217F standardına göre hesaplanması suretiyle ortalama ömür hesaplanması mümkündür. OLED TV'nin güç kartı üzerindeki 766 kritik komponentin VESTEL laboratuvarlarında maksimum çalışma koşulu altında testler gerçekleştirilerek elde edilen değerlerin Lamda Predict yazılımı kullanılarak MTBF değeri 120.215 saat olarak hesaplanmıştır. Bu değer, bu güç kartının 10 yılın üzerinde arıza yapmayacağına olasılık değerini göstermektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada 65" OLED TV için tasarlanan güç kartının tasarım aşamaları, analitik analizleri ve benzetim çalışmaları incelenerek deneysel sonuçlar verilmiştir. Güç kartı tasarımında uygun topolojiler incelenerek yarım köprü rezonans LLC topolojinin kullanılması uygun bulunmuştur. OLED TV güç kartının performansının değerlendirilmesi amacıyla öncelikle benzetim çalışmaları yapılarak, deneysel çalışmalarda termal ve EMC analizler incelenmiştir.

Bu analizler neticesinde tasarlanan DC-DC dönüştürücü devresinin elektriksel karakteristiğinin güvenilirlik standartları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Güvenilirlik için tasarım (Design for Reliability) amacı taşıyan tasarımda güç kartında kullanılan komponent stres değerlerinin optimum düzeyde tutularak güvenilirlik analizleri Mil-STD-217F'e göre gerçekleştirilerek yaklaşık 10 yılın üzerinde MTBF elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, 3150605 numaralı "Büyük Ekran OLED ve UHD Televizyonlar için 600W Tek Katmanda İnce Güç Kartı Tasarımı" konulu proje kapsamında Türkiye Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenmiştir. Yazarlarımız VESTEL Elektronik A.Ş.'ye tasarım ve laboratuvar imkânları için teşekkür etmektedirler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Mil-HDBK-217F Reliability Prediction for Electronic Components, US Department of Defence, 1991.
2. Mil-HDBK-338B, Electronic Reliability Design Handbook, U.S. Department of Defense, 1998.
3. Birolini A., Reliability Engineering Theory and Practice, Heidelberg, Germany, 1999.
4. Steigerwald R.L., A Review of Soft-Switching Techniques in High Performance DC Power Supplies, IEEE Industrial Electronics, Control, and Instrumentation Conference Proceedings, 1, 1-7, 2001.
5. Cho I. H., Do Kim Y., and Moon G.W., A half-bridge LLC resonant converter adopting boost PWM control scheme for hold-up state operation, IEEE Trans. Power Electron., 29 (2), 841-850, 2014.
6. Mohan N., Undeland T.M., and Robbins W.P., Power Electronics: Converters, Applications, and Design, John Wiley & Sons, 2nd Edition, 1995.
7. Yang G., Dubus P., and Sadarnac D., Double-phase High-efficiency, Wide Load Range High-voltage/low voltage LLC DC/DC Converter for Electric/hybrid Vehicles, IEEE Transactions on Power Electronics, 30 (4), 1876-1886, 2015.
8. de Groot H., Janssen E., Pagano R., and Schetters K., Design of a 1-MHz LLC Resonant Converter Based on a DSP-driven SOI Half-Bridge Power MOS Module, IEEE Transactions on Power Electronics, 22 (6), 2307-2320, 2007.
9. Yang C., and Liu Y.F., Latest advances of LLC converters in high current, fast dynamic response, and wide voltage range applications. CPSS Transactions on Power Electronics and Applications 2 (1), 59-67, 2017.
10. Wu X., Hua G., Zhang J., and Qian Z., A New Current-Driven Synchronous Rectifier for Series-Parallel Resonant (LLC) DC-DC Converter, IEEE Transactions On Industrial Electronics, 58, 1, 289-297, 2011.
11. Yu R., Ho G. K. Y., Pong B. M. H., Ling B. W. K., and Lam J., Computer-aided Design and Optimization of High-efficiency LLC Series Resonant Converter, IEEE Transactions on Power Electronics, 27 (7), 3243-3256, 2012.
12. Hu Z., Qiu Y., Wang L., and Liu Y. -F., An Interleaved LLC Resonant Converter Operating at Constant Switching Frequency, Power Electronics, IEEE Transactions on, 29 (6), 2931-2943, 2014.
13. Bhuvaneswari C., and Samuel Rajesh Babu R.. A review on LLC Resonant Converter. Computation of Power, Energy Information and Commuincation (ICCPEIC), 2016 International Conference on. IEEE, 2016.

14. Hu Z., Qiu Y., Liu Y.-F. and Sen P.C., A control strategy and design method for interleaved LLC converters operating at variable Switching Frequency, *Power Electronics, IEEE Transactions on*, 29 (8), 4426-4437, 2014.
15. Franco D., Zurbriggen I.G. and Ordonez M., Dual-loop controller for LLC resonant converters using an average equivalent circuit, *IEEE Transaction On Power Electronics*, 9875-9879, 2018
16. Simone S., LLC resonant half-bridge converter design guideline, *ST Microelectronics*, 1-35, 2014.
17. Amari S.V., Bounds on MTBF of systems subjected to periodic maintenance, *IEEE Transactions on Reliability*, 469-474, 2006.
18. Robert S., Arno R. and Dowling N., Why existing utility metrics do not work for industrial reliability analysis, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2801-2806, 2016.
19. Giovanna A., et al. Multiobjective optimal design of photovoltaic synchronous boost converters assessing efficiency, reliability, and cost savings, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 1038-1048, 2015.
20. Souhib H., and Balog R.S., Reliability of candidate photovoltaic module-integrated-inverter (PV-MII) topologies—A usage model approach, *IEEE transactions on power electronics*, 3019-3027, 2013.
21. Jianguang M., Xueye W., Liang H. and Wenting J., Investigation on optimal parameter selection for LLC half-bridge resonant converter based on FHA, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 895 – 905, 2018.
22. Öztürk N., Analysis of switching losses of hard and soft switching in full bridge converter, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (1), 147 – 155, 2008.
23. Demirtaş M, Sefa İ., Irmak E., Çolak İ., Microcontroller based DC/DC boost converter for solar energy systems, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (3), 719-728, 2008.

