

Türkiye'nin ilk AMOLED TV'si için Güç Kartı Tasarımı

The Powerboard Design for the first AMOLED TV of Turkey

Metin NİL^{1,2}, Başak ÖZBAKİŞ¹, Yılmaz CAN¹, Osman Oral KIVRAK¹, Ömer MERMER²

¹VESTEL Elektronik A.Ş.

Ar-Ge

metin.nil@vestel.com.tr, basak.ozbakis@vestel.com.tr, yilmaz.can@vestel.com.tr, oral.kivrak@vestel.com.tr

² Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ege Üniversitesi

omer.mermer@ege.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Türkiye'de ilk defa prototipi gerçekleştirilmiş Vestel AMOLED TV'nin 600W güç kartı tasarımı sunulmaktadır. Ayrıca çalışmada, kart tasarımında kullanılan, devre elemanlarının ve birleşik devrelerinin özellikleri hakkında bilgiler verilmektedir. Bunun yanı sıra güç kartı tasarımının Filtre, Koruma, Bekleme, Güç Faktörü Koruma, Resonant ve Senkron Doğrultucu blokları konusunda bilgi verilmiştir. Güç kartının güvenilirlik ve performans testleri kart ve sistem seviyesinde Ar-Ge test laboratuvarlarında başarıyla tamamlanmış ve sonuçları verilmiştir. MIL STD 217F'e göre yapılan güvenilirlik analizi sonucu bu elektronik kartın hata oranı yaklaşık 8 ppm bulunmuştur.

Abstract

In this study, the design of 600W power board for Vestel AMOLED TV that is prototyped firstly in Turkey, is presented. Furthermore, our study includes the properties of the circuit elements and integrated circuits that is used in board design. Additionally, Filter, Protection, Stand-By, Power Factor Correction (PFC), Resonant and Synchronous Rectifier Blocks of power board design are given. The reliability and performance tests of power board completed successfully in Ar-Ge test laboratories in the level of board and system and results are also discussed. The result of Reliability analysis gives nearly 8 ppm error ratio in terms of MIL STD 217F.

1. Giriş

OLED ekranlı ürünler, yüksek kontrastlı, oldukça ince yapıda hafif ve geniş renk gamutuna sahip olmalarından dolayı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bilindiği üzere OLED ekranlar öncelikle küçük boyutlu ürünlerde kullanılmaya başlandı. Ekran büyüklüğü arttıkça yüksek seviyelerde güç tüketiminin olduğu gözlenmiştir. Pazardaki OLED Benchmark ürünler incelendiğinde yüksek güç seviyeleri için çoklu kart çözümleri sunulduğu gözlenmiştir. Çoklu kart çözümleri; toplam kart maliyetinin yüksek olması, kullanılan kablo sayısının fazla olması, birden fazla koruma malzemesinin kullanılması, röle kartlarının kullanılması

nedeniyle ürün maliyetini arttırmaktadır. Bu çalışmada yapılacak güç kartı tasarımı ile üretim ve sistem basitliği sağlanacak, daha düşük maliyetlerde üretim yapılabilecektir. 65" AMOLED TV için 600W güç sağlayabilen güç kartı tasarımı yapılacaktır. Güç kartı tasarım çalışmalarında güç elektroniği konusu önemli bir yere sahiptir. Güç elektroniği temel olarak güç yarıletkenlerinin anahtarlama dayalıdır. Güç yarıletken teknolojisinde yaşanan gelişmelerin sonucunda, bu elemanların taşıyabilecekleri güçler ve anahtarlama hızları büyük ölçüde artmıştır. Güç yarıletken elemanlarının ve entegre devrelerinin teknolojisi ilerledikçe güç elektroniğinin potansiyel uygulama alanları da genişlemektedir. Güç elektroniği devre tasarımı, hem güç hem de kontrol devrelerinin tasarımını gerektirir. Güç dönüştürücülerinin ürettiği gerilim ve akım harmonikleri, uygun bir kontrol stratejisi kullanılarak azaltılabilir veya minimize edilebilir [1-2]. Yüksek güvenilirlik seviyesinde dönüştürücüler için farklı tasarımlar geliştirilebilmektedir. Ayrıca istenmeyen elektromanyetik girişim (EMI) problemlerine karşı güç kartı içerisinde EMI filtre, güç faktörü düzeltme (PFC) ve senkron doğrultucu (synchronous rectifier) blokları tasarlanmıştır.

Bu çalışmada VESTEL AMOLED TV'lerde kullanılabilecek güç kartı tasarımı sunulmuştur. Kart ve sistem seviyesindeki test sonuçları çerçevesinde ömür analizleri yapılarak sistem güvenilirliği araştırılmıştır.

2. Güç Kartının Tasarımı

OLED TV mekanik yapısı bakımından incelendiğinde oldukça ince olduğu gözlenmiştir. Bu ince yapıya uygun olacak şekilde güç kartı tasarım çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Güç kartı tasarım aşamasında tasarlanacak olan bloklar aşağıda verilmiştir:

- Filtre ve Koruma Bloğu
- Stand-By Bloğu
- Interleaved PFC Bloğu
- Resonant Bloğu
- Senkron Doğrultucu Bloğu

Tasarlanan güç kartı; Şekil 1’de de verildiği üzere Filtre ve Koruma Bloğu, Stand-By Bloğu, iç içe girmiş Güç Faktörü Düzeltme bloğu, 5V çıkış gerilimine sahip Flyback Dönüştürücü bloğu, 12V ve 24V çıkış gerilimlerine sahip senkron redresör içeren Yarım Dalga Rezonans Çevirici blokları içeren bir Alternatif Akım/Doğru Akım (AA/DA) güç kaynağıdır. Ayrıca AMOLED panellerin 12V ve 24V geriliminden 10 Amper ve üzeri akıma ihtiyaç duyduğu durumlar hesaba alınarak Rezonans Dönüştürücülerin çıkışında doğrultucu olarak diyot yerine senkron redresör kullanılmıştır. Bunların dışında OLED TV’lerde bulunabilecek Ultra HD, Ses Sistemleri, Çift Tuner (LNB) gibi ekstra güç tüketimi gerektiren uygulamaları da destekleyebilmek için kartın giriş güç limiti 600W’a kadar çıkarılmıştır. Güç kartında şebekeden gelebilecek anormal akım ve gerilim değerlerinden sistemi korumak (sigortaya almak) için varistör kullanılmıştır. Bu yöntem, faz (line) hattına seri bir adet sigorta ile faz ve nötr hatları arasında oluşabilecek anormal gerilim değerlerinin direncin değişmesi ile engellenmesine çalışacaktır. Devamında kart tarafından şebekeye yayılabilecek elektriksel gürültüyü filtrelemek amacıyla CLCLC diziliminde sıralanmış bir EMI Filtre devresi bulundurmaktadır.

Bu çalışmamızda; kartın maksimum giriş gücü, 170 Volt (V) AA şebeke gerilimi için 600 Watt (W), 100V AA şebeke gerilimi 450W’dır. Güç kartı 50 Hz ve 60 Hz şebeke frekansında çalışabilmektedir. Kartta yer alan malzemelerin maksimum yüksekliği 1,2 cm’dir. Kartın baskılı devresi (PCB) tek katmandan yapılmış olup CEM1 malzeme kullanılmıştır. OLED panellerinin dinamik panel güç tüketimlerine hızlı tepki verebilmesi için kartın yarıiletken anahtarlama teknikleri yapısı, Yarım Köprü Rezonans Dönüştürücü kullanılarak sağlanmıştır.

EMI filtre devresinden sonra, kartın ilk kez enerjilendirildiği anda şebekeden çekilecek yüksek ani akımını sınırlamak amacı ile Negatif Sıcaklık Katsayılı Direnç (NTC) kullanılmaktadır. Bu dirençler henüz ısınmamışken faz hattına yüksek direnç göstererek ani akımları sınırlarlar. Bu dirençler bir daha ki enerjilendirme anında tekrar yüksek direnç gösterebilmeleri için ani akımlarını üzerlerinde gördükten bir süre sonra paralelinde bulunan röle ile pas geçilerek devreden çıkarılır.

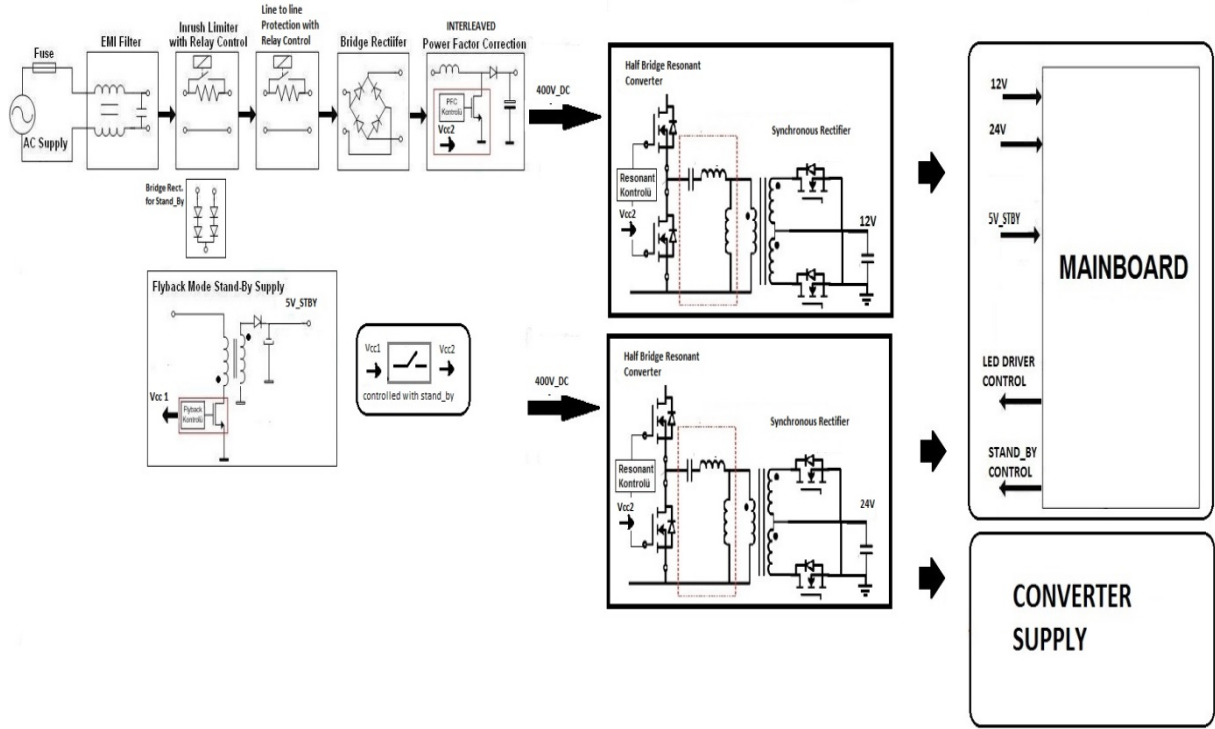
Yarıiletken anahtarlama blokları öncesi ve Tam Dalga Köprü Doğrultucusu öncesi çift faz bağlantıya karşı, güç kartını korumaya alacak Faz - Faz koruma devresi yer alır.

Kartın devamında şebekeden gelen sinüzoidal gerilimi doğrultup Anahtarlama Mod Güç Kaynak bloklarına iletimini sağlayan, Tam Dalga Köprü Doğrultucular bulunmaktadır.

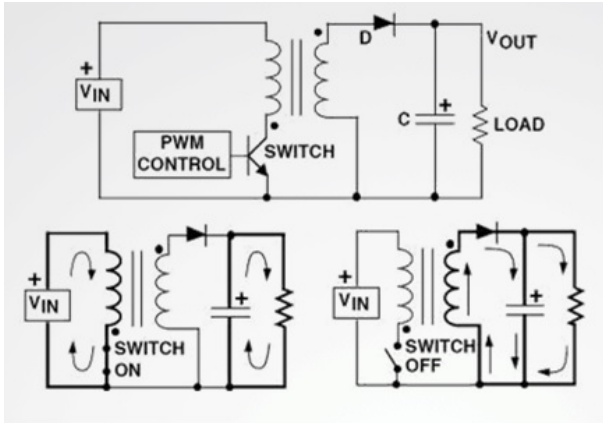
Tasarlanan güç kartında, TV’nin bekleme yani stand-by durumunda çalışması gereken sistemlerine enerji veren, Flyback Dönüştürücüsü topolojisine sahip bir bekleme devresi (Stand-By Bloğu) bulunmaktadır. Bu devre için Flyback topolojisinin seçilmesinin nedeni düşük güçlerde yapılan paket anahtarlama modu sayesinde (burst mode) yüksek verimde çalışabilmesidir. Bu bloğun bir diğer amacı ise Güç Faktörü Düzeltme (PFC) ve Anahtarlama Mod Güç Kaynağı (SMPS) bloklarının çalışmasını sağlayan V_{CC} besleme gerilimini üretip, güç kartı bekleme moduna girdiği durumlarda bu gerilimin PFC ve SMPS bloklarına ulaşmasını engelleyip bu blokları kapatmaktır. Bu durumda bekleme modunda TV’nin çektiği gücü azaltıp 500 mW’ın altına indirmektedir. Bu blok, TV’nin uyandırma (Wake On LAN) gibi bekleme modunda çalışması gereken kısmını ve bekleme modundaki güç tüketiminin 5W’a kadar çıkabildiği durumları 5V’dan 700mA’e kadar destekleyebilir.

Kartta yer alan yüksek gerilim ve düşük gerilim (Line Over Voltage - Line Under Voltage) koruma seviyeleri bekleme devresi bloğunun entegresi tarafından belirlenmektedir. Bu bloktaki koruma özellikleri sayesinde kartın sadece 100V ile 264V şebeke gerilimleri arasında çalışması sağlanır.

Anahtarlama güç kaynakları için birçok dönüştürücü yapısı literatürde mevcuttur. DA-DA dönüştürücüler çok katmanlı güç kartı tasarımları ile anahtarlana bilmektedir [3]. Ancak bu çalışmada diğer çalışmalara nazaran [4-5] OLED TV ler için çoklu kart çözümleri yerine üretim ve sistem basitliğine sahip güç kartı tasarımı verilmiştir. Var olan yalıtımlı DA-DA (Doğru Akım-Doğru Akım) dönüştürücüler arasında en yaygını flyback dönüştürücüdür [6]. Çıkış filtresinde bobin olmaması, manyetik eleman olarak sadece transformatör (kubla jlı bobin) kullanılması, sadece bir tane yarıiletken anahtar kullanılması dönüştürücüyü basitleştirmektedir. Bunun yanı sıra 5000V’a kadar çıkış gerilimi elde edilebilmesi ve birden fazla çıkış verebilmesi bu dönüştürücünün üstünlüklerindendir [7-8]. Bu sebeplerden dolayı anahtarlama güç kaynakları içinde flyback dönüştürücüler en çok kullanılan DA-DA dönüştürücüler haline gelmiştir [9]. Flyback devresi Şekil 2 ‘de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yük akımı C kondansatörü ile sağlanır. Primer tarafındaki L bobininin uçlarında sabit bir gerilim olduğundan primer akımının artışı doğrusal olacaktır [10]. Anahtar kapalı konumda iken enerji mıknatıslanma bobini üzerinde depolanır. Anahtar açıldığında ise depolanan enerji çıkışa aktarılır. Bu sayede Ana Kartın ihtiyaç duyduğu DA voltaj değeri sağlanmış olur. Buna ek olarak; bu blok sayesinde Güç Faktörü Düzeltme (PFC) ve Anahtarlama Mod Güç Kaynağı (SMPS) devrelerinin çalışmasını sağlayan, V_{CC} besleme gerilimi üretilmiş olur.



Şekil 1: Tasarlanan Kartı Blok Diyagramı: EMI Filtre, Tam Dalga köprü doğrultucu, Güç Faktörü Düzeltme Devresi, Flyback Mod Bekleme (Stand-By) Devresi, Yarım Köprü Rezonans Dönüştürücü Devresi, Rezonans Doğrultucu Devresi, Anakart ve Dönüştürücü Kaynak blokları



Şekil 2: Basitleştirilmiş Flyback Dönüştürücüsü Devresi

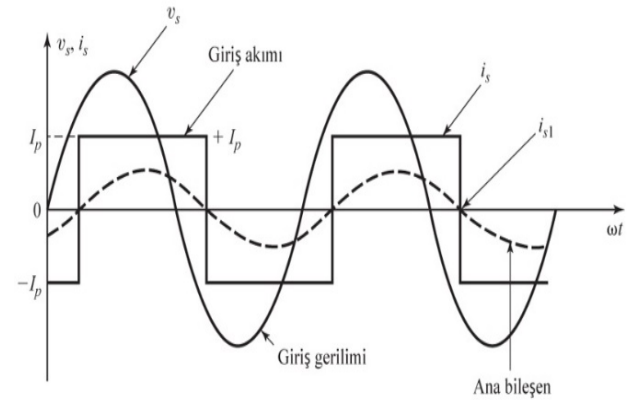
Normalde besleme gerilimi sinüzoidal dalga şekline sahiptir. Dolayısıyla harmoniklerin meydana gelmesiyle şebekeden çekilen reaktif güç ile güç kaybı meydana gelecektir. Bu durumda sinüzoidal besleme gerilimi için güç faktörü (Power Factor) değeri (PF):

$$PF = \frac{i_{eff}}{i_{eff}} \cos \phi_1 \quad (1)$$

Burada $\frac{i_{eff}}{i_{eff}}$ giriş bozulma faktörü yani distorsiyon faktörü

(DF) ; $\cos \phi_1$ 'e yer değiştirme faktörü (YDF) denir.

$\cos \phi_1$ değeri akımın 1. Harmoniği ile şebeke gerilimi arasındaki faz farkıdır. i_{eff} şebekeden çekilen akımın efektif değeri olup, i_{eff} ise şebekeden çekilen akımın 1. Harmoniğinin efektif değeridir. Şekil 3'deki grafikte görüldüğü gibi güç faktöründeki asıl amaç şebekeden çekilen akımın, giriş akımının, 1. harmoniğinin olabildiğince şebeke gerilimi ile arasındaki açının, yani faz farkının 0'a yakın bir düzeye indirgenmesidir. Bu sayede $\cos \phi_1$ değerinin yani Yer Değiştirme Faktörünün (YDF) 1'e yakın olduğu görülür.



Şekil 3: Giriş Gerilimi Ve Akımının Dalga Şekilleri

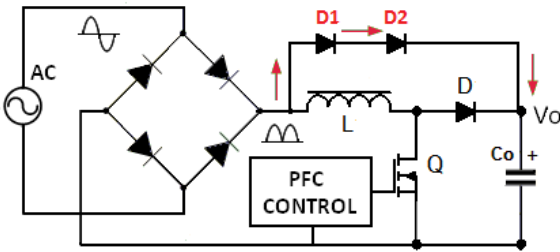
Güç Faktörü Düzeltme devresinin bir diğer görevi ise kendinden sonra gelen SMPS blokları için DA bir giriş gerilimi sağlamaktır. Tasarlanan güç kartında Güç Faktörü Düzeltme çıkış gerilimi +400V DA'ya ayarlanmış olup, bekleme devresi hariç tüm SMPS devreleri bu gerilim ile beslenmektedir.

Tasarlanan kartında Güç Faktörü Düzeltme devresi yüksek güç tüketimi nedeniyle iç içe yani interleaved yapıda tasarlanmıştır. Interleaved Güç Faktörü Düzeltme, iki adet aktif Güç Faktörü Düzeltme devresinin asenkron olarak paralel çalışması prensibine dayanan bir Güç Faktörü Düzeltme yapısıdır. Birbirleri ile asenkron olarak çalışan Güç Faktörü Düzeltme mosfetlerinde, meydana gelen iletim kayıpları $R_{DS(on)}$ direnci ile orantılı olduğundan, bu durumda hem mosfet hem de çıkış diyotları üzerindeki iletim kayıpları ve anahtarlama kayıpları azaltılmış olur. Mosfetin iletim kaybını aşağıdaki (2) numaralı denklemde görebiliriz:

$$P_{iletim} = R_{DS(on)} i_{eff}^2 \quad (2)$$

Güç Faktörü Düzeltme devresi bloğu, AA/DA dönüştürücü olarak şebeke ve DA/DA Dönüştürücüler arasında köprü vazifesi gördüğü için elektriksel olarak en fazla risk altında olan bloktur. Çalışmak için Bekleme (Stand-by) devresinde üretilen V_{CC} gerilimini bekler, LLC Yarım Köprü Rezonans Dönüştürücü blokları ise Güç Faktörü Düzeltme bloğunda üretilen 5V Güç Faktörü Düzeltme RDY sinyalini bekler. Böylece LLC Yarım Köprü Rezonans Dönüştürücü bloklarının 400V'dan düşük bir giriş geriliminde çalışması engellenmiş olur.

Tasarlanan güç kartında özellikle Güç Faktörü Düzeltme mosfetlerini şebekeden gelen dalgalanmalara karşı, korumak üzere 2 adet Güç Faktörü Düzeltme bypass diyotu bulunur. Bu diyotlar köprü diyotlarının çıkışında, 400V Güç Faktörü Düzeltme çıkış gerilimini geçen bir gerilim görüldüğünde, iletime girip Güç Faktörü Düzeltme devresinin giriş geriliminin çıkışta görülmesini sağlar. Bu sayede şebekeden gelen herhangi bir yüksek enerji düzeyi Güç Faktörü Düzeltme devresine uğramadan Bulk (Tank) yani yük kapasitelerine aktarılır ve bu kapasiteler tarafından sönümlenir. Kullanılan bypass diyotları Şekil 4'de gösterilmiştir ($D_1 - D_2$).



Şekil 4: Güç Faktörü Düzeltme Devresinde Bypass Diyotları

Tasarlanan güç kartında ana kartın kullandığı ana besleme gerilimini ve dönüştürücü kartının ana besleme gerilimini elde etmek için Yarım Köprü Rezonans Dönüştürücü devreleri

kullanılmıştır. Tasarlanan kartta ana kartın kullandığı ana besleme gerilimi olan +12V ve Dönüştürücü kartının ana besleme gerilimi olan +24V elde etmek için iki adet LLC Yarım Köprü Rezonans Dönüştürücü devresi bulunur. Bu devrelerin her ikisinde de özel entegre bulunmaktadır. Bu entegre yüksek gate çıkış sürücü devresini, doğru bir akım kontrollü osilatör ve çeşitli koruma fonksiyonları içeren yüksek verimli Yarım Köprü Rezonans Dönüştürücüler için bir darbe frekans modülasyonu kontrol entegresidir.

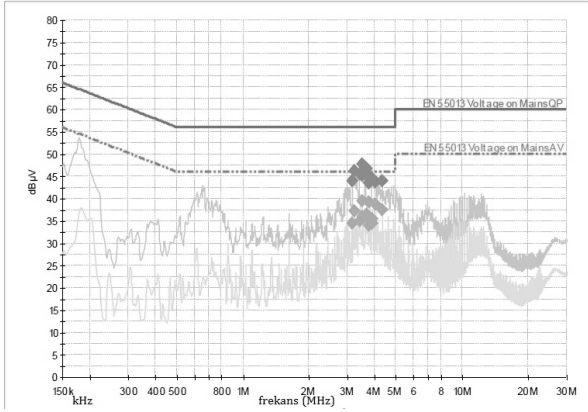
3. Deneyisel Çalışmalar

Tasarımı yapılan güç kartımızın elektromanyetik uyumluluk testleri (EMC, Electromagnetic Compatibility), güvenilirlik (Reliability) testleri VESTEL Elektronik bünyesindeki akredite Ar-Ge test laboratuvarlarında yapılmıştır. Standartlara ait yapılan başlıca testler sırasıyla Tablo1'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre test ettiğimiz AMOLED TV ürünümüz standartta verilen gürültü limit değerlerinin altında yayılım yapmaktadır. Yansımaz odalarda ve ekranlı odalarda yapılan Elektromanyetik Uyumluluk bağışıklık ve yayılım testlerinden tasarımı başarıyla geçmiştir. Güvenilirlik testleri; ısı, nem, ısı değişim ve elektriksel değişimler gibi çeşitli parametrelerin değiştirilerek ürün performans kayıplarının test edildiği süreçleri kapsar. Burada en kritik testler, sıcakta çalıştırma ve AMOLED ekranlarının parlaklığının değiştirildiği testlerdir. Tabloda, yapılan güvenilirlik testlerinin bir kısmı verilmiştir. Kartımız bu sıcaklık ve nem testlerinden başarı ile geçmiştir. Şekil 5'de Ar-Ge test laboratuvarlarında gerçekleştirilen iletimle yayılım test sonuçları verilmiştir. Ayrıca güç kartının thermocouple ile ölçülmüş sıcaklık sonucu da Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre farklı sıcaklıklar için güç kartının elemanlarının sıcaklığa karşı duyarlılığı test edilmiştir.

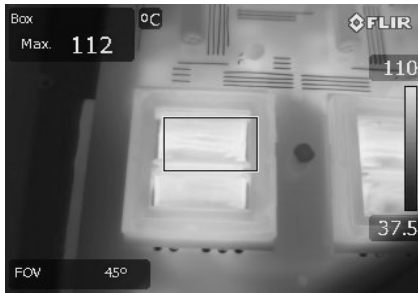
Kontrollü Laboratuvar koşullarında elde edilmiş test sonuçlarının "Weibull Analiz" yazılımı kullanılarak MIL-STD-217F'e göre parça sayım güvenilirlik analizi yapılmıştır. Güç kartı üzerindeki aktif ve pasif 766 farklı malzemenin parça sayım güvenilirlik tahmini (parts count reliability prediction) "lambda predict" paket yazılımı kullanılarak MIL-STD-217F uyarınca gerçekleştirilmiş olup MTTF 120215 saat, milyon saatteki hata oranı ise yaklaşık olarak 8,32 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1: Uygulanan EMC, Reliability Test ve Standartları.

Test		Standart	
Elektromanyetik Uyumluluk	Bağışıklık	İletim	EN 55020:2007+A11:2011
		İşinim	EN 55024:2010
	Yayılım	İletim, işinim	EN 55013:2013
		İletim, işinim	EN 55022:2010/AC:2011-Class B
Güvenilirlik	Sıcaklık		Sıcaklık stres testi
			Yüksek sıcaklık testi
			Sıcaklık Çevrim testi
			Sıcaklık koşma testi



Şekil 5: İletimle Işınım Testleri (150 kHz-30 MHz).



Şekil 6: FLIR Test Sonuçları

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada VESTEL OLED TV'ler için gerekli olan güç kartı tasarım aşamaları detaylı bir şekilde verilmiştir. Buna göre güç kartı tasarımında EMI Filtre, Tam Dalga Doğrultucu, Güç Faktörü Düzeltme Devresi, Flyback Mod (Bekleme) devresi, Yarım Köprü Rezonans Dönüştürücü ve Senkron Dönüştürücü devreleri tasarlanarak kullanılmıştır.

Günümüzde bu tür kartlarda ortaya çıkan problemlerin harmoniklerden kaynaklandığını görmekteyiz. Bu harmonikler kullanılan güç kartına vermiş olduğu zarar ile birlikte, reaktif gücün artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle belirli bir güç tüketimi düzeyinden sonra tasarlanan güç kartında Güç Faktörü Düzeltme devresi kullanılmıştır. Güç Faktörü değerinin iyileştirilmesi devrenin verimliliği oldukça fazla artıracaktır. Böylece şebekeden çekilen akımın, gerilimi izlemesi sağlanacaktır.

Ayrıca kullanılan mantıksal (lojik) yapıların anahtarlar devrelerinde işlevlerinin daha da kullanışlı olduğu gözlemlenebilir düzeydedir. Güç kartı tasarımında mantıksal devre yapılarının kartı yüksek akım değerine karşı koruduğu gözlenebilir. Bunun yanı sıra Senkron Doğrultucu devresini güç kartının verimliliğini artırmaktadır. Güç elektroniği elemanlarının gelişimiyle güç kartı tasarımındaki karmaşık yapıların basitleştirilmesi sağlanmaktadır.

AMOLED ürünümüzün AR-GE testleri VESTEL elektronik bünyesinde bulunan akredite laboratuvarlarında

gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler neticesinde ürünümüz AR-GE testlerinden başarı ile geçerek standartta belirtilen gürültü limitlerinin altında değerler verdiği gözlenmiştir. Bu bağlamda ortaya çıkan tasarımın elektromanyetik uyumlu ve güvenilir olduğu gösterilmiştir.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma 0421.STZ.2013-2 nolu SANTEZ projesi ve 3150605 nolu TUBİTAK-TEYDEB projesi tarafından desteklenmiştir. Deneyisel çalışmalar Vestel Elektronik Ar-Ge Akredite Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

5. Kaynaklar

- [1] RASHID, H., SÜNTER, S., AYDEMİR, T., Güç Elektroniği, NOBEL, Ankara, 2015.
- [2] Nil M., Demir M., Nil M., Çakır B., "Eviricilerde Yumuşak Geçiş Tekniklerinin İncelenmesi, MTBF Analizi ve Harmoniklerin Azaltılmasında Kullanılan Yöntemler", Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu 2011, ELAZIĞ.
- [3] Hirao, T., Tsuruta Y., Kawamura A., "Evaluation of DC-DC converter using power board of multi layers by analysis and experiment", IEEE 2nd Int. Conference (IFECC), 2015.
- [4] Lee, R. W. Power Converter Handbook – Theory Design and Application, Canadian General Electric, Peterborough, Ontario, 1979.
- [5] Vlatkovic, V., Borojevic, D. and Lee, C. F., "Input filter design for power factor correction circuits." Power Electronics, IEEE Transactions on 11, No. 1 (1996), Page(s):199-205.
- [6] Nasır, Ç., ERFİDAN, T., ÜRGÜN, S., OZTURK, S., "Flyback Dönüştürücü Tasarımı ve Analizi", EMO e-Dergi, Sayfa(lar):297-302.
- [7] Salem, T., E., Tipton, C.W., Porschet, D., "Fabrication and Practical Considerations of a Flyback Transformer for Use in High Pulsed-Powe Applications", SSST '06. Proceed in of the Thirty-Eight Southeastern Symposium on 5-7 March 2006 Page(s):406-409
- [8] Chen, T.H., Lin, W.L., Liaw, C.M., "Dynamic modeling and controller desing of flyback converter", IEEE Transactions Volume 35, Issue 4, Oct. 1999 Page(s):1230-1239.
- [9] Prieto, R., Cobos, J.A., Garcia, O., Asensi, R., Uceda, J., "Optimizing the winding strategy of the transformer in a flyback converter" Power Electronics Specialists Conference, 1996. PESC '96 Record., 27th Annual IEEE Volume 2, 23-27 June 1996 Page(s):1456-1462.
- [10] J. W. Dixon, and B.-T. Ooi, "Indirect current control of a unity power factor sinusoidal current boost type three-phase rectifier, " IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 35, No. 4, Nowember 1988, Page(s):508-515.