



# VII. ELEKTRİK TESİSLERİ ULUSAL KONGRE ve SERGİSİ

1-3 Kasım 2023

Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi

İzmir

## 200W PFC Boost Converter



Melih Eyimaya — İzmir Katip Çelebi  
Üniversitesi

# İÇERİK

1

GİRİŞ

2

GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTME

3

BOOST PFC

4

TASARIM

5

UYGULAMA

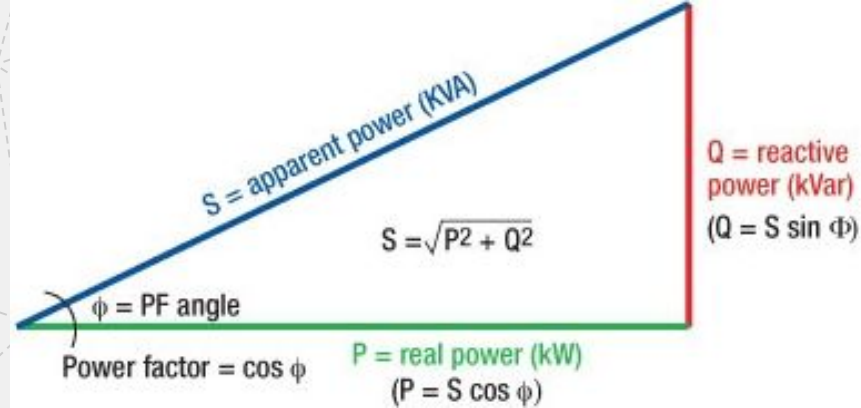
6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

# GİRİŞ

## Elektriksel Sistemlerde Güç

- Gerçek Güç: Çıkışa aktarılan iş yapıcı güçtür.
- Reaktif Güç: Pasif elektronik elemanların çalışma prensipleri gereği aktif olarak kullanılmayan ancak sistemde olması gereken güçtür.
- Görünür Güç: Gerçek ve Reaktif gücün vektörel toplamları ile bulunan güçtür.

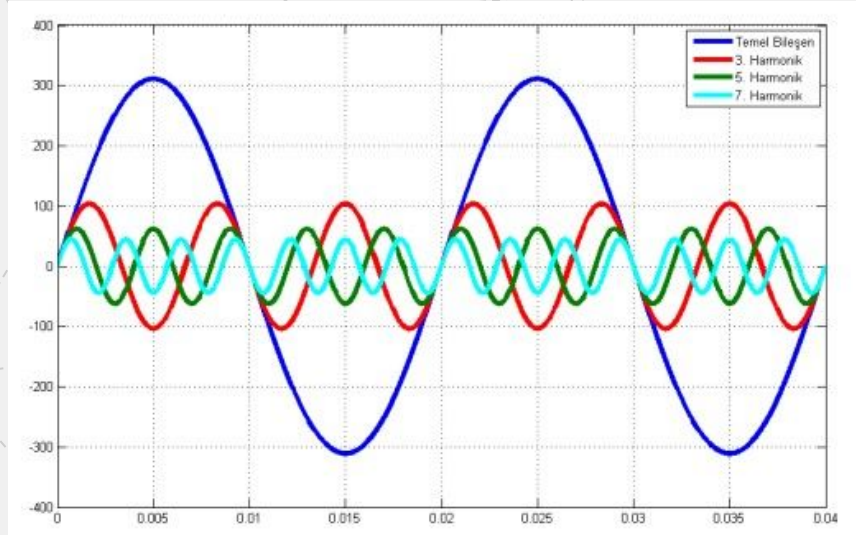


## Güç Faktörü Nedir?

- Gerçek gücün, Görünür güce oranı ya da bir başka deyişle bu iki vektör arasındaki açının Cosinüsü olarak ifade edilir.
- Güç faktörü bir alternatif akım kaynağından çekilen gücün, yüke ne kadar kaliteli ve verimli aktarıldığını gösteren bir tanımdır. Şebeke akımının bozulma oranını ve akım ile gerilim arasındaki faz farkını temsil eder.

## Harmonikler ve Etkileri

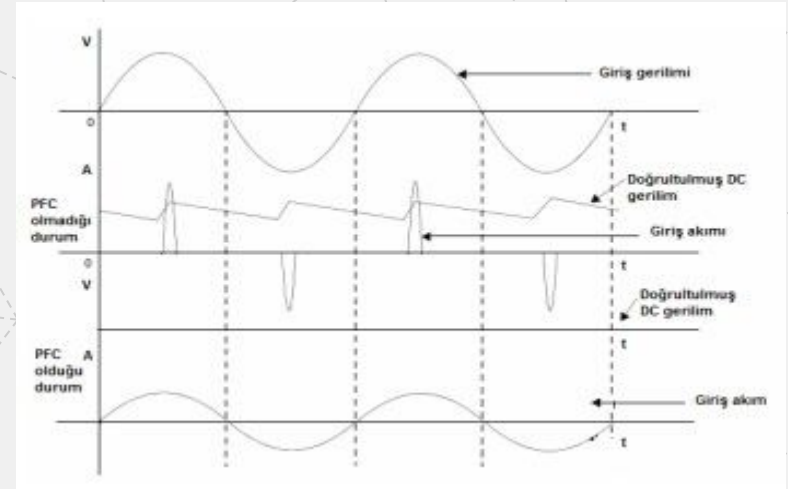
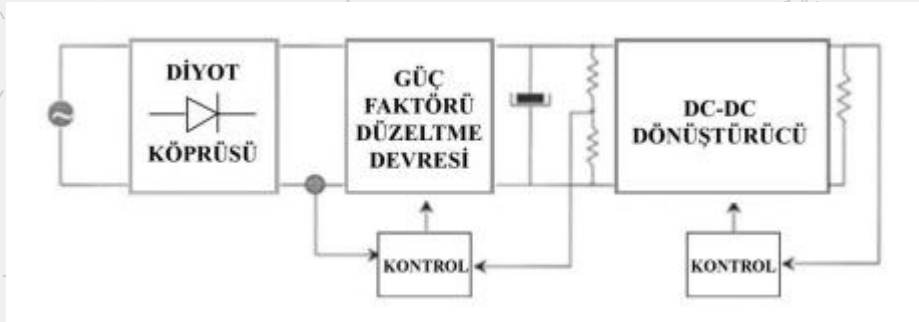
- Bir dalga şeklinin temel bileşen frekansının katlarında oluşan bileşenlerine harmonikler adı verilir. Lineer olmayan yükler, şebekeden harmonik içerikli akımlar çekerler.



- Günümüzde pek çok elektronik cihaz harmonik üreterek gerek şebeke gerek cihazlar üzerinde istenmeyen etkilere sebep olmaktadır;
  - Şebekede Güç Kalitesi problemlerine yol açma,
  - Dağıtım maliyetlerinde artış,
  - Elektronik cihazlar üzerinde EMC ve EMI davranışında artış,
  - Elektrik motorlarının çalışma verimlerinin düşmesi.

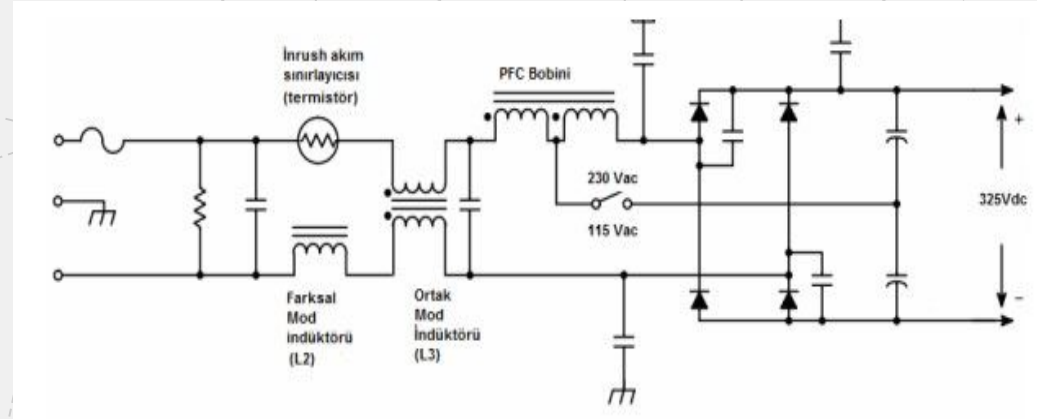
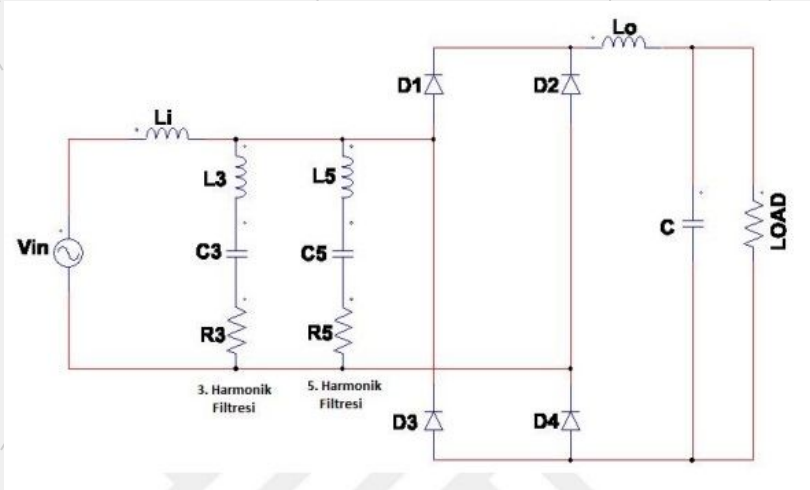
# Güç Faktörü Düzeltme (PFC)

- ❑ Harmoniklerin ortadan kaldırılmasını sağlayan bu işlem, Güç Faktörünün “1” değerine yakınlaştırılmasını sağlamaktadır.
- ❑ Güç Faktörü Düzeltme devreleri 75W ve üzerinde bir kaç KW güç seviyelerine kadar sıklıkla kullanılmaktadır.
- ❑ Güç Kaynaklarında ön düzenleyici konumunda görev alarak DA-DA dönüştürücülere gerekli olan akımı, saf sinüsoidal yapıda ve gerilim ile aynı fazda olacak şekilde iletmeyi amaçlar.
- ❑ Genellikle, 85VAC-265VAC arası değişebilen giriş gerilimini 400VDC olarak çıkışa aktarırlar.



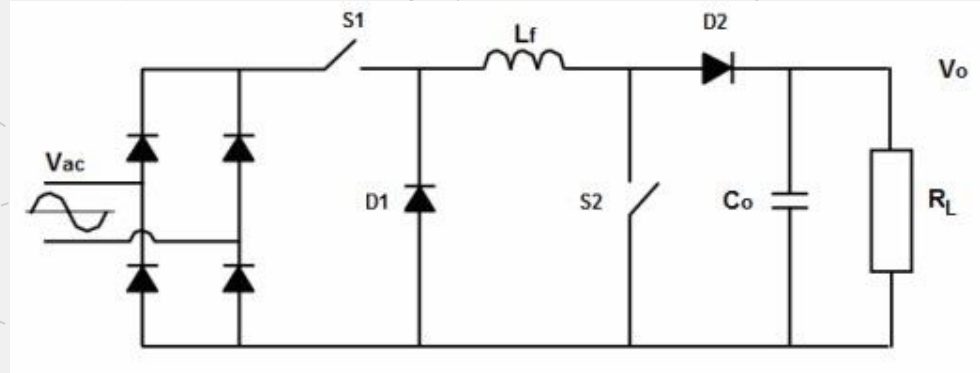
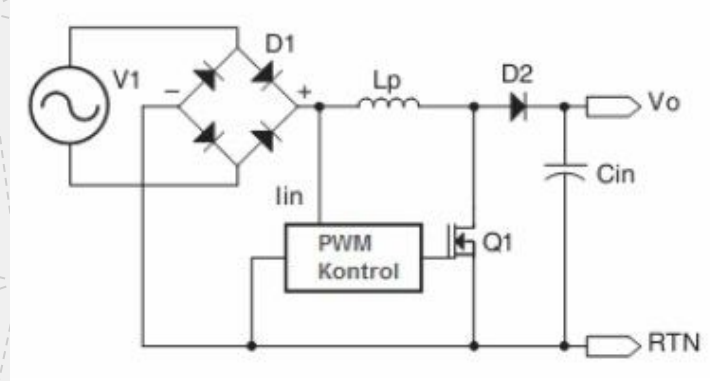
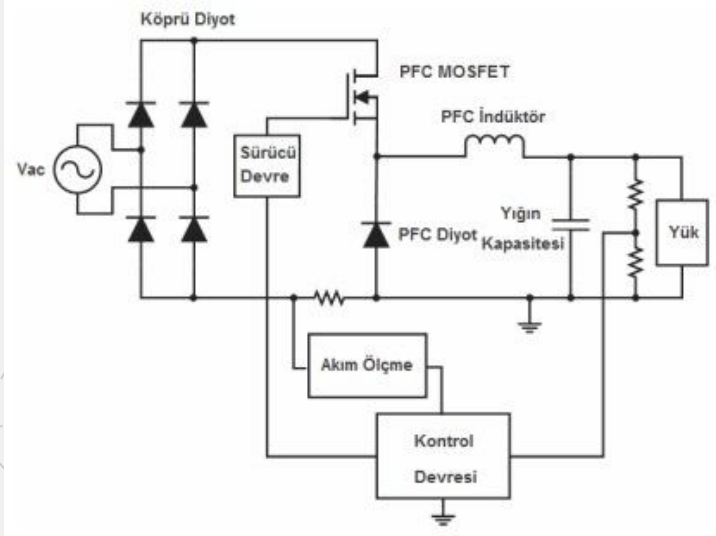
## PASİF GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTME

- ✓ Endüktör, kondansatör ve direncin çeşitli bağlantı kombinasyonlarının, dönüştürücü içerisinde ve genelde diyot köprüsünün önünde konumlandırılmasıyla elde edilen güç faktörü düzeltme tekniği, pasif güç faktörü düzeltme yöntemi denir.
- ✓ Pasif güç faktörü düzelticilerinin basit, güvenilir, gürültüden etkilenmeme ve yüksek frekans EMI girişiminin olmaması gibi avantajları vardır. Ancak, şebeke frekansına göre çalışan reaktif elemanlar oldukları için ağır ve maliyetlidirler. Ayrıca, kötü dinamik yanıtlara, düşük voltaj regülasyonuna sahiptirler.



## AKTİF GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTME

- ✓ Yüksek frekans ile çalışan DA-DA dönüştürücülerin doğrultma işlemi sonrasında yüksek değerlikli bir elektrolitik kondansatör yerine devreye entegre edilmesiyle oluşturulmaktadır. Alçaltıcı (Buck), Yükseltici (Boost), Alçaltıcı-Yükseltici (Buck-Boost) olmak üzere 3 temel topolojiyle uygulanmaktadır.
- ✓ Bu topolojiler arasında en yaygın olarak Yükseltici topoloji ile uygulanırlar.



## Neden Boost PFC?

Yükseltici dönüştürücülerin pek çok “PFC ön düzenleyici” uygulamasında sıklıkla tercih edilmesinin bir çok sebebi mevcuttur.

### Güç Faktörü ve THD

Boost PFC, oldukça düşük THD oranına bununla birlikte en iyi güç faktörüne erişebilir.

### Yüksek Çıkış Gerilimi

Hacimsel olarak verimli enerji depolama kondansatörleri iyi bir bekleme süresi sağlar. (Hold-Up)

### PFC Bobin ve Anahtar

Topoloji gereği PFC Bobini doğrudan giriş gerilimine bağlıdır bu alçak “MOSFET” kapı sürüşüne imkan tanır ve anahtar akımının kontrolünü kolaylaştırır.

### Uygulanabilirlik

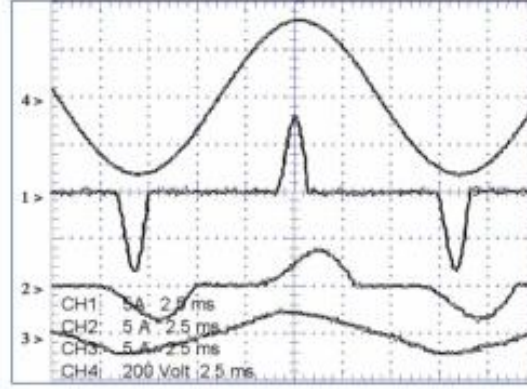
Ulaşılabilir kontrol entegrelerinin varlığı ve tasarım notları, tasarımcılar için avantajdır.



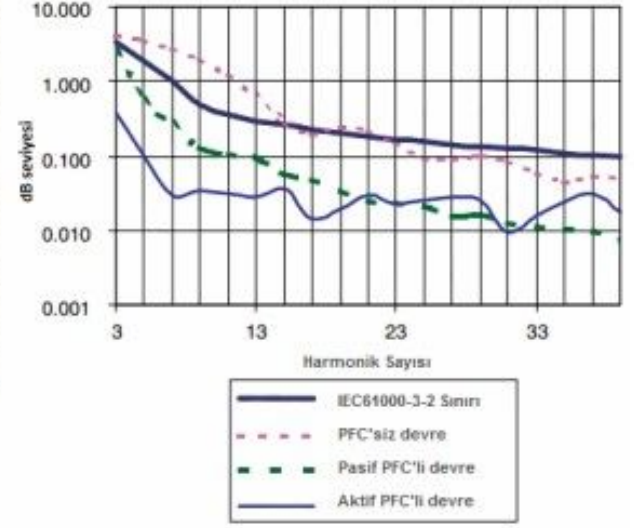
PASİF PFC

AKTİF PFC

YÜKSEK  
FREKANS  
BOOST PFC



Dalga Şekilleri 1.PFC olmadığı durumdaki giriş akımı  
2.Pasif PFC ile giriş akımı  
3.Aktif PFC ile giriş akımı  
4.Giriş gerilimi

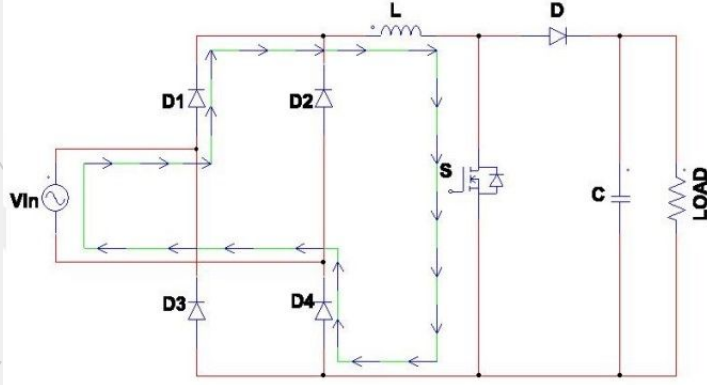


- ✓ Son yıllarda Yarıiletken teknolojisinin ilerleyişi ve entegre devre çeşitliliğinin ve ulaşılabilirliğinin artması sonucunda Aktif PFC çözümleri Pasif çözümlere nazaran daha cazip hale gelmiştir.

# Yükseltici (Boost)

PFC

**Durum 0:** Sağdaki şekilde başlangıçta bobin üzerinde herhangi bir yükün olmadığı kabul edilirse, giriş geriliminin çıkış gerilimine eşit olacağı görülür.



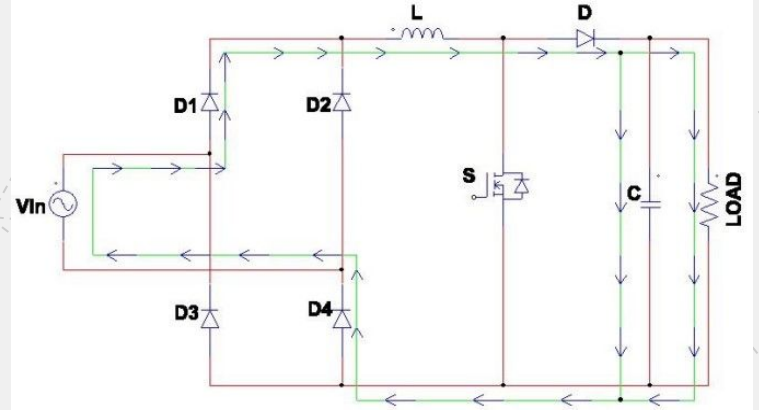
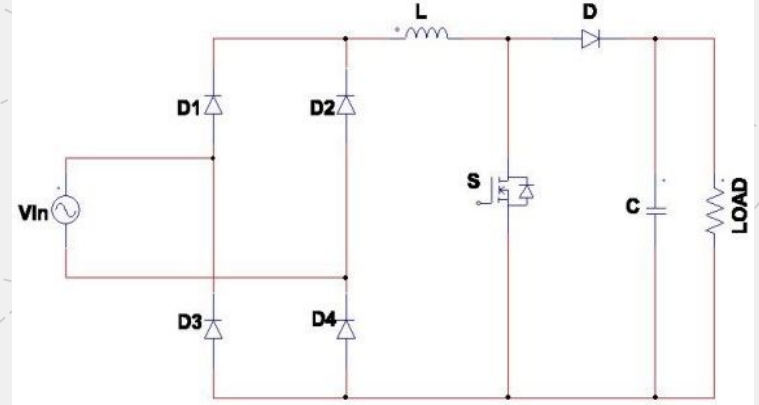
$$I_L = \frac{1}{L} \int V_L dt$$

**Durum 1:** Soldaki şekilde anahtar iletime geçtiğinde bobin akımı doğrusal olarak yükselir. Bu sırada bobin gerilimi ise giriş geriliminde kararlı hale geçene kadar üstel olarak yükselir.

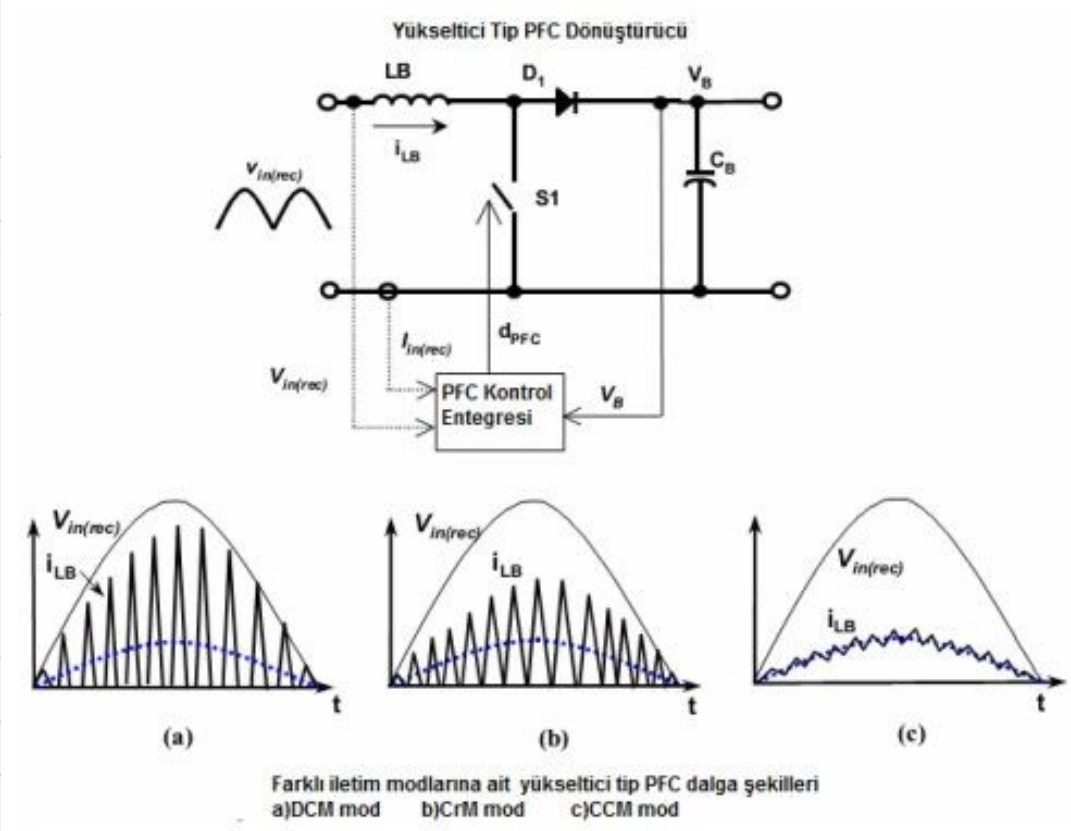
$$V_L = L \frac{di}{dt} \approx L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

**Durum 2:** Sağdaki şekilde anahtar kesime geçtiğinde ise bobin akımı maksimum değerinden 0'a doğru azalmaya başlar.

**Sonuç:** Bobinin ideal olmaması sebebiyle üzerindeki gerilim zıt yönde polarize olur ve giriş geriliminin üzerine eklenerek, diyot ve çıkış kondansatörü üzerinden, çıkış gerilimini oluşturur. Anahtar iletim de olduğu sürece yük kondansatör tarafından beslenir.



## BOOST PFC OPERASYON MODLARI



**Sürekli iletim modu (CCM)**: Bobin akımı hiç bir zaman 0' a düşmez. Tepe ve efektif akım değerleri en düşük seviyededir ancak bobin boyutları büyümektedir. Bu sebeple yüksek güçlü uygulamalar için uygundur.

**Süreksiz iletim modu (DCM)**: Bu mod, Durum1 ve Durum2 süreleri toplamı bir anahtarlama periyodundan küçük olmaktadır. Çünkü bobin akımının 0' a düşmesinden bir süre sonra anahtar iletime sokulur. Ancak bu durum tepe ve efektif akım değerlerinin en yüksek seviyede olmasına yol açarak kayıpları artırmaktadır.

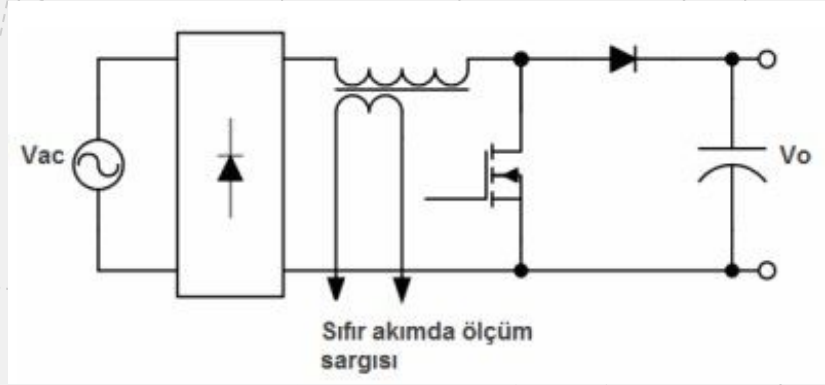
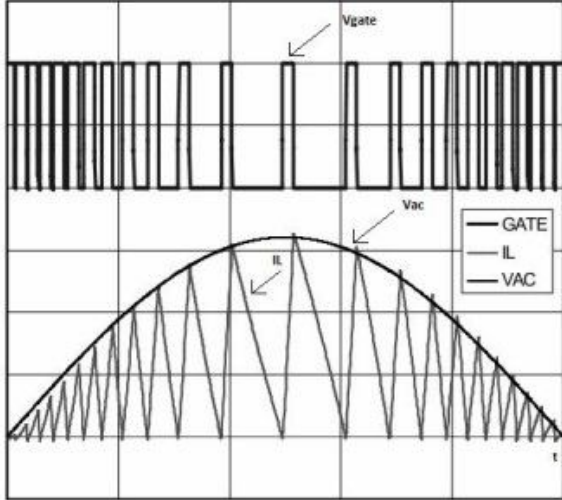
**Sınır iletim yada Geçiş modu (BCM /CRM/TM)**:

Bobin akımı 0' a düştüğü anda anahtar iletime sokulur. Bu şekilde kesikli iletim kipine göre daha düşük tepe ve efektif akım değerleri ve daha düşük akım stresleri elde edilir.

## GEÇİŞ MODU(TM) İLE ÇALIŞAN BOOST PFC

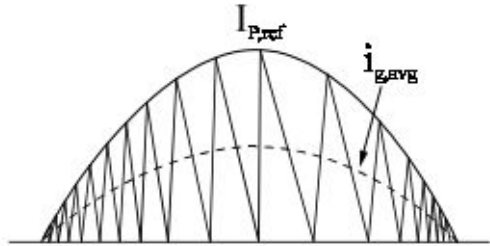
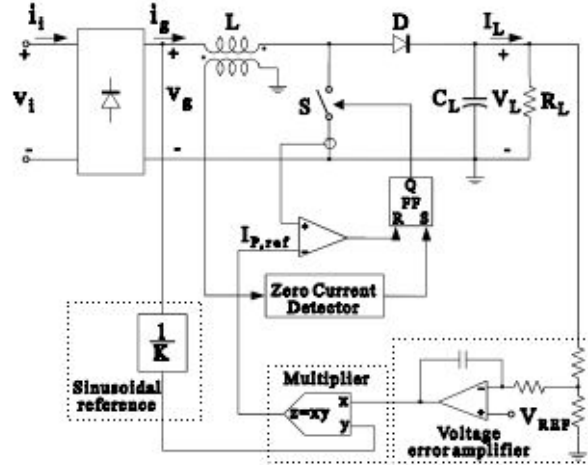
### DCM VE TM

- ✓ Her iki çalışmada da Bobin ve Anahtar, Tepe ve Etkin akım değerleri yüksektir.
  - ✓ Bobin boyutları küçüktür.
  - ✓ Çıkış diyodundaki Ters Toparlanma( $I_{rr}$ ) kayıpları azdır.
  - ✓ Temel farklılıkları ise DCM ile Bobin akımı 0 olduktan bir süre sonra yeni bir anahtarlama yapılırken, TM ile Bobin akımı 0 olduğu anda anahtarlama yapılır.
- 300W ve altında her ikisinde tercih edilebilir ancak Geçiş Mod çalışmanın önemli avantajları vardır;
- I. Tepe ve Etkin akım değerleri daha düşük olması,
  - II. Akım modlu kontrol entegrelerinin fazla olması sebebiyle daha stabil ve dinamik tepki.

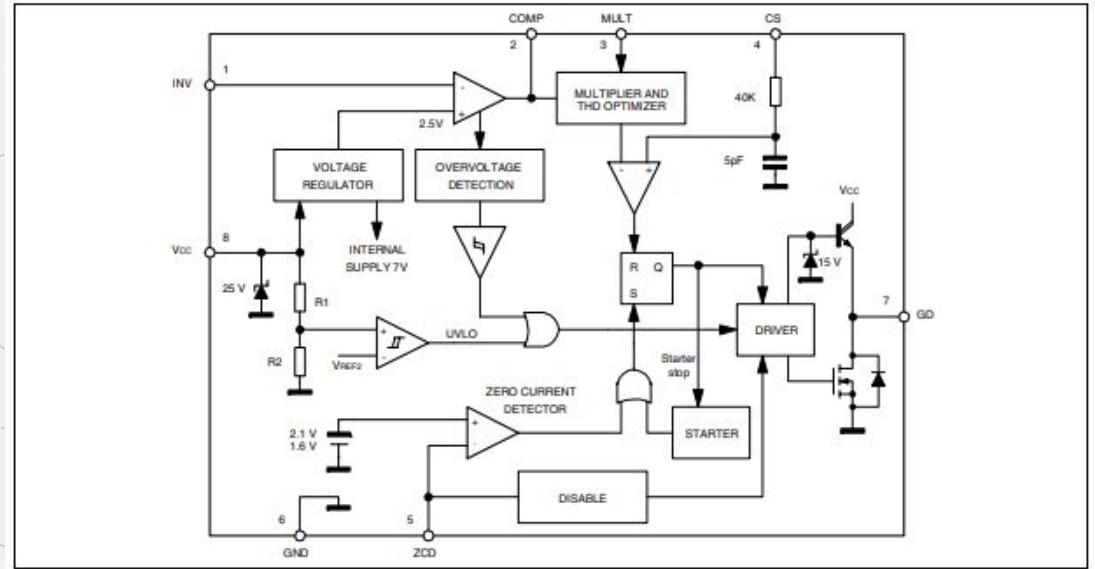


# KONTROL

## Sınırdaki Kontrol Prensipli (Borderline Control Technique)



Bu kontrol yaklaşımında, bobin akımının 0' a indiği anı izleyen bir Sıfır Akımda Algılama (ZCD) kullanılır. Anahtar tam olarak bu noktada iletme girerek Akım Algılama (CS) direnci üzerinden okuma yaparak bobini tepe akımına şarj edilmesini sağlar. Görev döngüsü sırasında anahtar açma süresi sabit tutulur. Dönüştürücü Sürekli ve Süreksiz İletim bölgeleri arasındaki sınırda çalışır.



Parametre	Değer
Pgiriş (Pin)	220 W
Pçıkış (Po)	200W
Verim (?)	~0.91
Vgirişefektif (Vinrms)	85VAC-265VAC
Vçıkış (Vo)	400 VDC
Içıkış (Io)	<b>0.5 A</b>
Igirişefektif (Iinrms)	0.83A- <b>2.59A</b>
Igiriş(tepe) (Iinpeak)	1.17A- <b>3.66A</b>
fanahtar (fsw)	100 kHz
fkaynak (fs)	50 Hz
? Vçıkış (? Vo)	40V
Azami Doluluk (Dmax)	0.7

### 3-Bobin Sınır Değerinin Belirlenmesi (L kritik)

$$L_{kritik} = \frac{V_{in} \times D \times T}{2 \times I_{inpeak}} \rightarrow (10), [5]$$

$$\frac{85\sqrt{2} \times 0.7 \times 10\mu s}{2 \times 3.66} = 114.95\mu H \rightarrow (11).$$

### 1-Çalışma Aralığının İncelenmesi

Sınır 1: Giriş geriliminin 85 VAC değerine eşit olduğunda;

$$I_{inrms} = \frac{P_{in}}{V_{inrms}} \rightarrow (3),$$

$$I_{inrms} = \frac{220W}{85VAC} = 2.59A \rightarrow (4),$$

$$I_{inpeak} = \sqrt{2}I_{inrms} = 3.66A \rightarrow (5).$$

Sınır 2 :Giriş geriliminin 265 VAC değerine eşit olduğunda.

### 2-Doluluk Oranı

$$\frac{V_{in}}{(V_o - V_{in})} = \frac{(1-D)}{D} \rightarrow (6), [5]$$

$$\frac{85\sqrt{2}}{(400 - 85\sqrt{2})} = \frac{(1-D)}{D} \rightarrow (7),$$

$$120.21 \times D = 279.79 \times (1-D) \rightarrow (8),$$

$$400D = 279.79 \Rightarrow D = \frac{279.79}{400} \cong 0.7 \rightarrow (9).$$

#### 4- Çıkış Kondansatör Değerinin Belirlenmesi (Cout)

Eğer Güç Faktörünün 1 olduğunu kabul edersek dönüştürücünün çalışma dalga biçimi grafikteki gibi ifade edilebilir ve  $[\pi/4, 3\pi/4]$  aralığında giriş gücünün çıkış gücünden büyük olduğu görülebilir. 0 zaman, bu aralıktaki enerji değişimi alttaki şekilde ifade edilebilir,

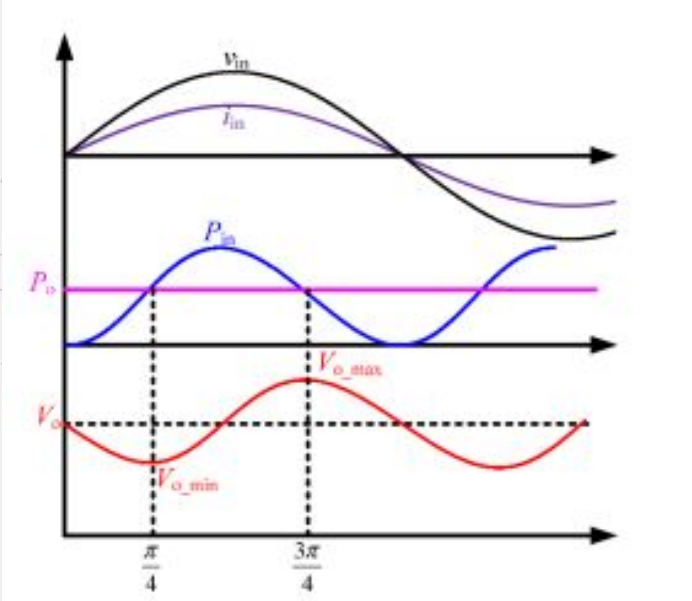
$$\Delta E = \int_{\pi/4}^{3\pi/4} \frac{1}{\omega} (P_{in} - P_o) d\omega t = \frac{P_o}{\omega} \rightarrow (12).$$

Ayrıca, bu aralıkta Gerilim çıkış geriliminin dip değerinden tepe değerine doğru artmakta olduğundan enerji değişimi şu şekilde yazılabilir,

$$\Delta E = \frac{1}{2} C_o (V_o^2(\text{tepe}) - V_o^2(\text{dip})) \rightarrow (13).$$

Bu yaklaşım sonucunda, çıkış kondansatörü şu formül ile bulunur,

$$C_o = \frac{P_o}{V_o \Delta V_o \omega} \rightarrow (14), \quad C_o = \frac{200}{400 * 40 * 2\pi * 50} = 39.79 \mu F \rightarrow (15).$$









## Anahtar (MOSFET)

Anahtar seçiminde önemli olan belirleyici özellikler şunlardır;

- MOSFET efektif akım ve efektif gerilim değerleri,
- MOSFET sıcaklık ile değişen iç direnci, "Rds(on)",
- anahtarlama ve iletim kayıpları.

Termal Hesaplamalar

$$P_{max} < 0.8 W \rightarrow (17).$$

$$P_{max} = I_{efektif}^2 \cdot R_{ds(on)} \rightarrow (18).$$

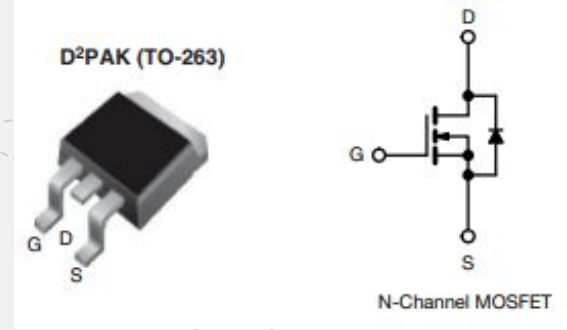
$$P_{max} = I_{efektif}^2 \cdot (R_{ds(on)} \cdot 1.5) \cdot P_{loss} \rightarrow (19),$$

$$P_{max} = 1.27^2 \cdot (R_{ds(on)} \cdot 1.5) \cdot (P_{loss} = 2) < 0.8 W \rightarrow (20),$$

$$P_{max} = 1.6129 \cdot R_{ds(on)} \cdot 1.5 \cdot 2 < 0.8 W \rightarrow (21),$$

$$4.8387 \cdot R_{ds(on)} < 0.8 W \rightarrow (22),$$

$$R_{ds(on)} < 165.33 m\Omega \rightarrow (23).$$



Soldaki işlemler tek bir MOSFET için uygulandığında Rds(on) sınır değeri soğutucusuz bir tasarımı gerçekleyemeyecek kadar düşük olmaktadır (~41mΩ).

VISHAY SILICONIX-SIHB100N60E-GE3

Rds(on)=100mΩ

Kapı Yüğü (Qc)=50 nC

## PFC Bobin

- Kesintili yada Geçiş modu bobin akımı dalgalanmaları kayıpları artırmaktadır.
- Öte yandan Geçiş modunda anahtarlama frekansının değişken olup çok yüksek frekanslara çıkabilmesi mümkündür. Dolayısıyla bobin tasarımında, hem Nüve kayıplarını önlemek için Ferrit malzeme tercih edilecek, hemde Girdap kayıplarını ve Histerisiz kayıplarını önleyebilmek için Litz teli ile sarım yapılacaktır.
- Gereklilikler
  - Ana Bobin 2 temel sargıdan oluşacaktır. Birinci sargı Ana Bobin olacaktır, ikinci sargı ise Kontrol devresi için sıfır akım algılama sargısı olacaktır. Ana sargı ile Kontrol sargısı 10:1 oranında sarılacaktır.
  - Karkas seçiminde temel kıstas Nüve üzerindeki alanın etkili kullanım miktarı olmaktadır (%20-%40) [6]. Bu seçimde en uygun karkas tekrarlamalı hesaplar ile bulunmaktadır. Pek çok karkas ile yapılan iteratif hesaplarda **ETD29\*16\*10** karkasının uygun olacağı görülmüştür.



**Tablo 3. ETD29\*16\*10 Veriler**

$$A_e = 76 \text{ mm}^2$$

$$A_n = 97 \text{ mm}^2$$

$B = 0.25$  T, bobin nüvesinin doymasını önlemek için izin verilen maksimum manyetik alan yoğunluğudur. [8]

- Tur Sayılarının Hesaplanması

$$L \times I_{L\text{tepe}} = N \times B \times A_e \rightarrow (26),$$

$$100 \mu\text{H} \times 7.72 \text{ A} = N \times 0.25 \text{ T} \times 76 \text{ mm}^2 \rightarrow (27),$$

$$N_{\text{birincil}} = 40.63 \cong 41 \rightarrow (28),$$

$$N_{\text{ikincil}} = 4 \rightarrow (29).$$

Toplam sarım sayısı **45** olacak ve sarım yönleri birbirlerine ters olacaktır.

$$N_{\text{toplam}} \cdot A_{\text{toplam}} = A_n \rightarrow (31),$$

$$45 \cdot 0.592 \text{ mm}^2 = 26.94 \text{ mm}^2 \rightarrow (32),$$

$$\frac{26.94 \text{ mm}^2}{97 \text{ mm}^2} = 0.27 \rightarrow (33).$$

## □ Akım Yoğunluğu

-  $J$ , akım yoğunluğu,  $3A/mm^2$  ile  $8A/mm^2$  arasında seçilmelidir.

Bu Dönüştürücü için  $5A/mm^2$  seçilmiştir.

- O halde,  $2.96A$  için tek bir sarımın kapladığı alan  $0.592mm^2$  olmaktadır.

$$\pi \times r^2 = 0.592mm^2$$

$$r = 0.434mm$$

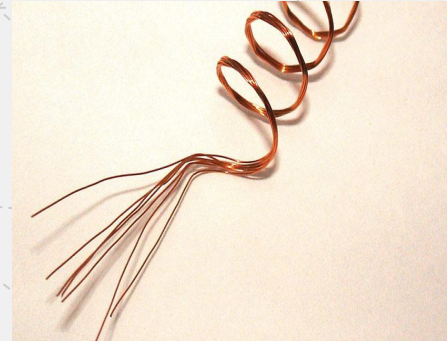
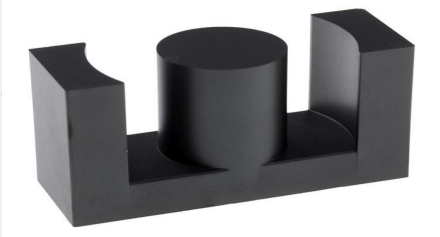
$$R = 0.868mm$$

## Ferrit Nüve

- Ferrit, demir ve diğer manyetik elemanların (Ni, Zn, Mn) oksit karışımlarıdır. Yüksek frekanslarda (20KHz-3MHz) düşük çekirdek kayıpları için tercih edilirler.

## Litz Teli

- Litz teli, içerisinde bir çok başka telin izoleli bir şekilde bulunduğu özel bir teldir. Yaklaşık 1 MHz'e kadar olan frekanslarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır.
- Yüksek frekanslarda meydana gelen Deri (skin) Etkisine ve Yakınlık (Proximity) Etkisine bağlı tel direncindeki artışı azaltır.



## PFC Diyot ve Köprü Diyot

- ✓ Güç Faktörü Düzeltme devrelerinde önemli noktalardan bir diğeri de hızlı çıkış diyotlarının kullanılmasıdır. Özellikle Ters Toparlanma süresi düşük olan diyotlar verimin yükseltilmesinde pay sahibi olmaktadır. Ayrıca, düşük iç dirence sahip diyotlar seçilerek ısı etkileri minimize edilmelidir. (ST-STTH8L06, D2PAK/62°C)
- ✓ Öte yandan doğrultucu diyotların ısı etkileri kontrol altında tutulmalıdır ve bunun için kılıf seçimi oldukça önemlidir. (Onsemi-1N5408/DO-201AD/28°C)

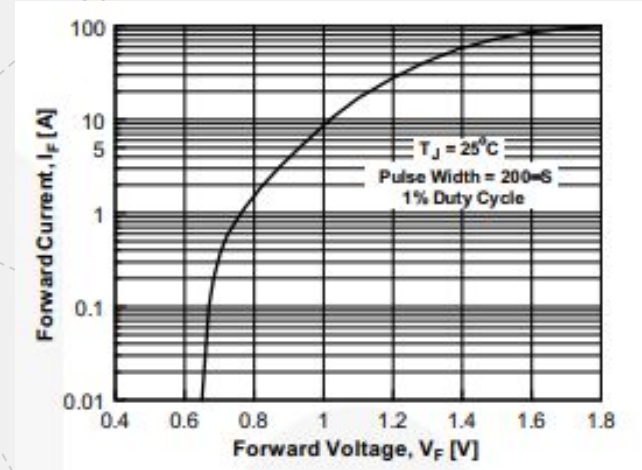
$$P_d = \frac{1}{T} \int u_D \times i_D dt = \frac{1}{T} \int (U_{DO} + r_D \times i_D) i_D dt \rightarrow (34),$$

$$P_d = U_{DO} \times \frac{1}{T} \int_0^T i_D dt + r_D \times \frac{1}{T} \int_0^T i_D^2 dt \rightarrow (35),$$

$$P_d = U_{DO} \times I_{D_{ortalama}} + r_D \times I_{D_{efektif}}^2 \rightarrow (36).$$

Parametre	Değer
$U_{DO}$ (Eşik Gerilimi)	0.89
$r_D$ (Eşdeğer Direnç)	0.022
$u_D$ (Uygulanan Gerilim)	$V_{rrm}=600V$
$t_{RR}$ (Ters Toparlanma süresi)	75 ns

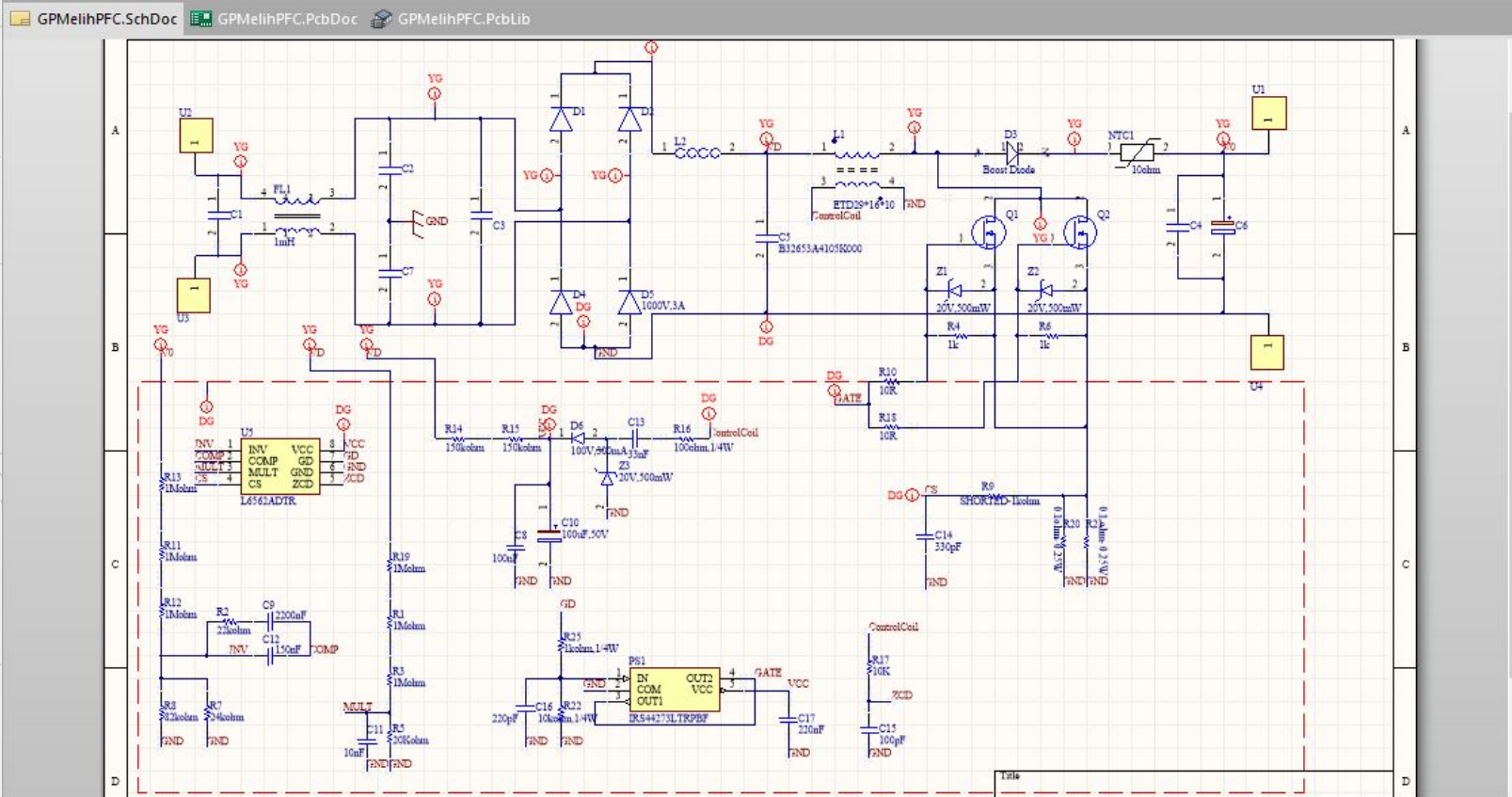
$$P_d = 0.89 \times 0.5 + 0.022 \times 1.5^2 = 0.4945W \rightarrow (37),$$



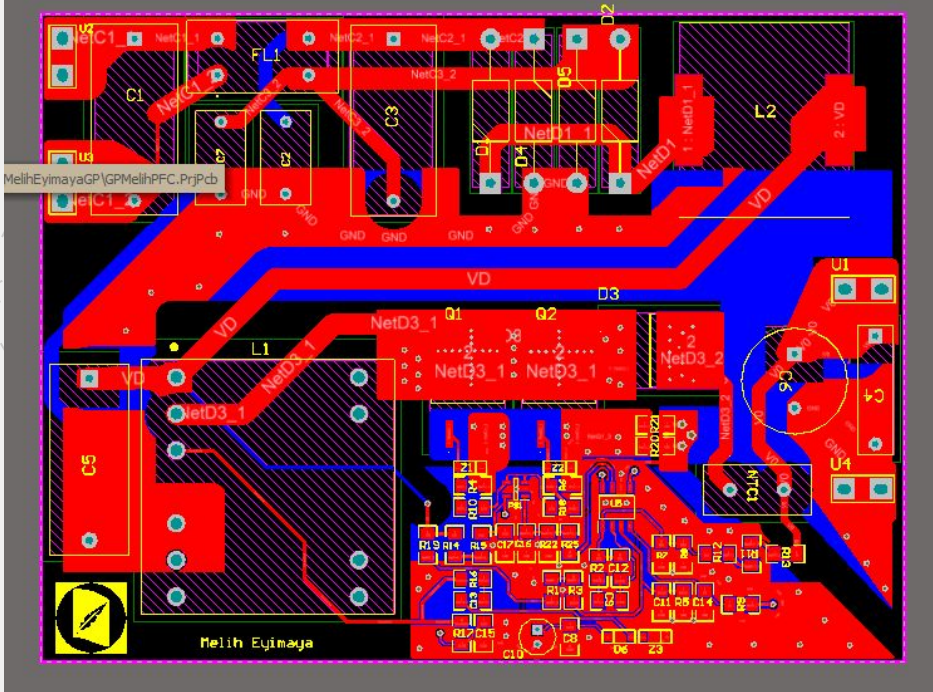
$$P_{loss} = V_{forward} * I_{average} \rightarrow (39),$$

$$P_{loss} = 0.75 * 1.04 = 0.78W \Rightarrow P_{loss} < 1W \rightarrow (40).$$

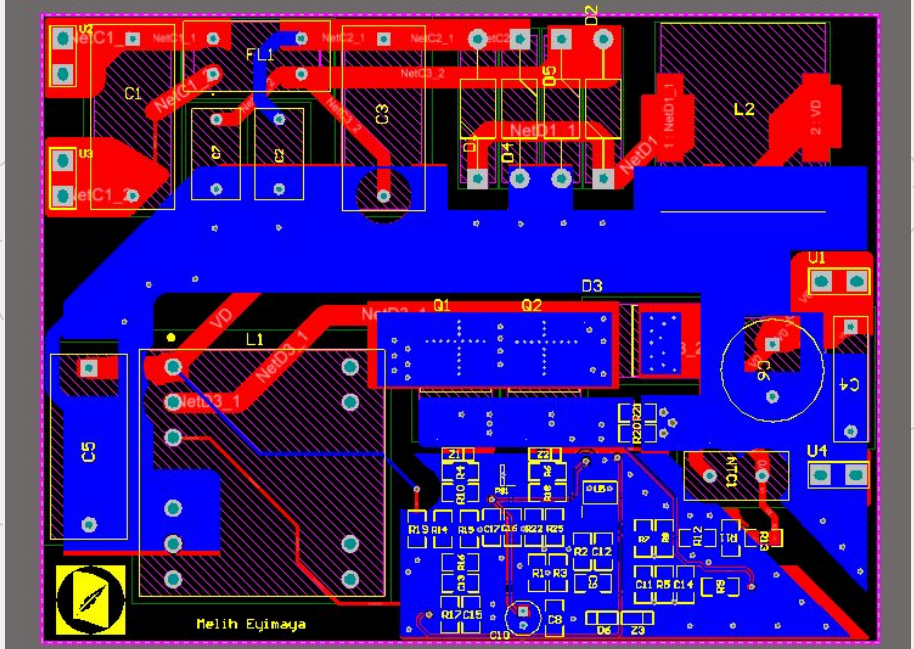
# PCB TASARIM

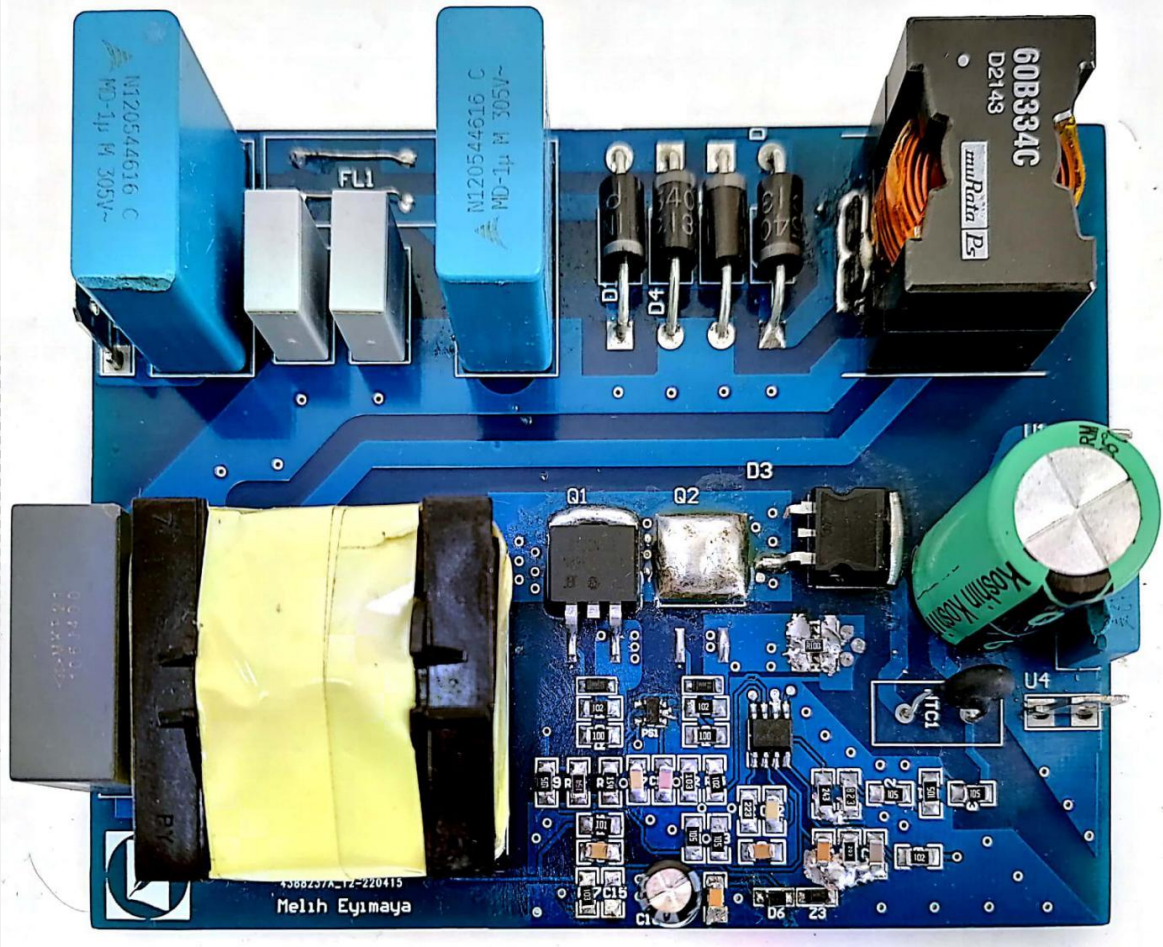






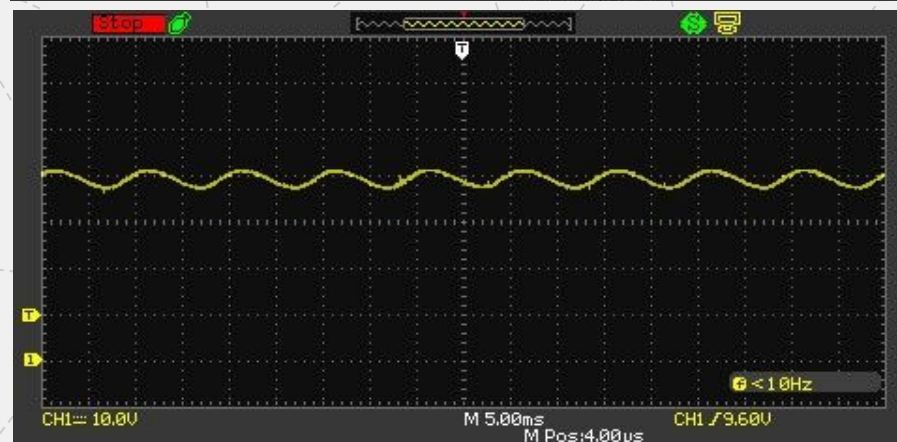
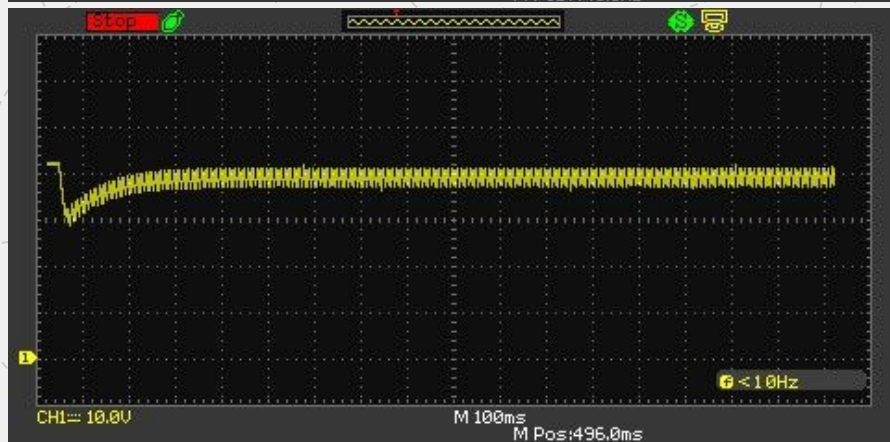
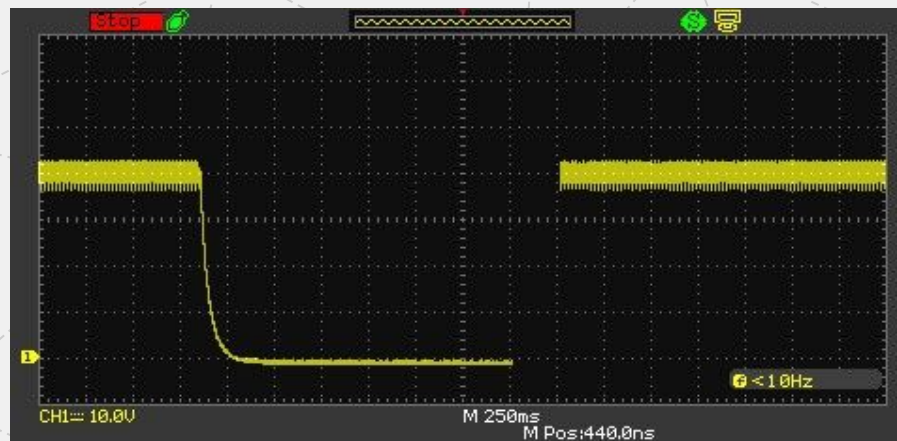
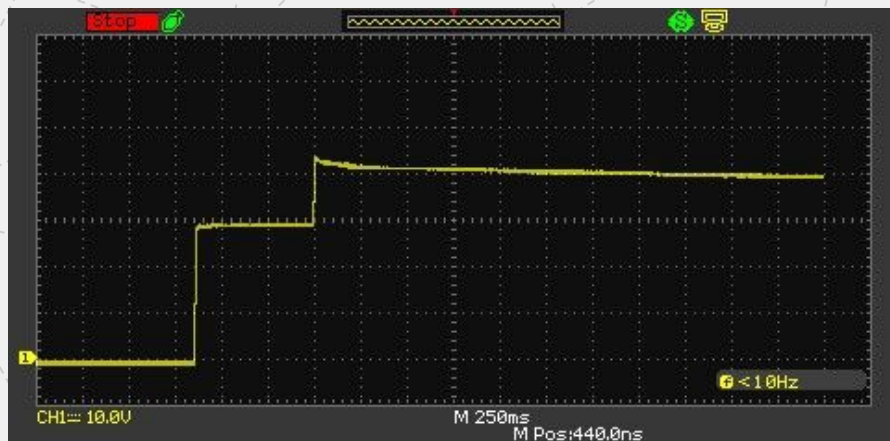
MeliHPCF.PcbDoc



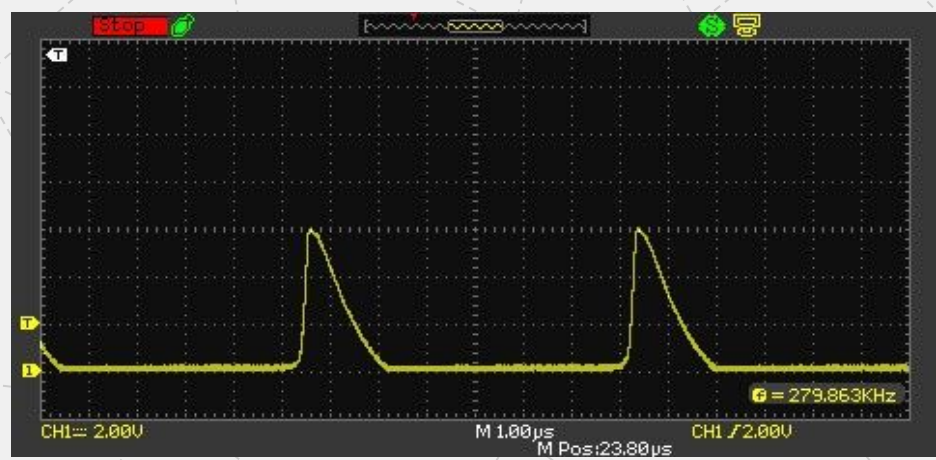
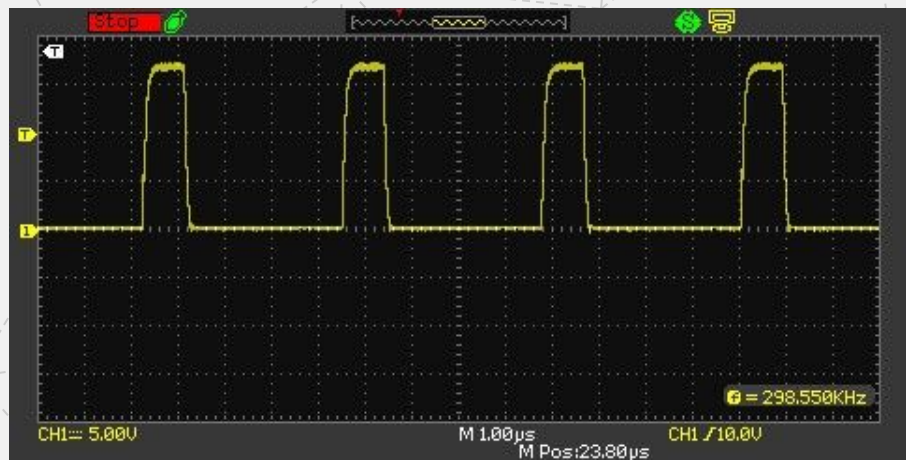
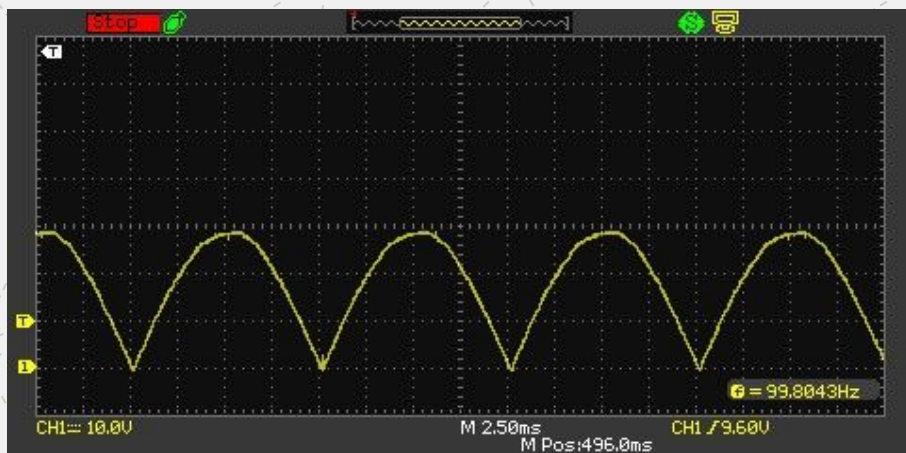


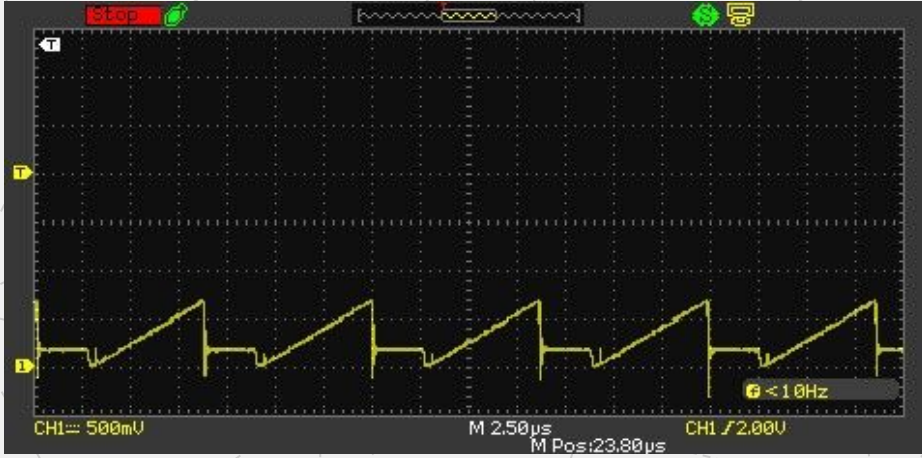


# DENEYSEL ÇALIŞMALAR









## Sonuç

Bu yazıda, Güç Faktörü Düzeltmeli Yükseltici AA-DA dönüştürücü önerilmiştir. Dönüştürücü, 100kHz ile Geçiş/Sınır bölgesinde çalışarak 200W güç aktarımı sağlamıştır. "ST-L6562" akım mod Darbe Genişlik Modülasyonu entegresiyle kontrol edilmiştir. Yüksek frekans ile GFD Bobini boyutları küçültülmüştür. Ayrıca, sargı için Litz teli kullanılarak yüksek frekans ve yüksek efektif akımın ısıl etkileri ortadan kaldırılmıştır. Bunun yanı sıra bu çalışma ile yarı iletken seçiminde oldukça önemli termal analizler gösterilerek tasarım soğutucu bir ürün kullanılmadan çalışmaya müsait hale getirilmiştir. Bu bağlamda 2 adet MOSFET paralel kullanılarak anahtar akım stresi oldukça düşürülmüştür. Dönüştürücü, 120cm\*90cm baskılı devre kart üzerinde uygulanarak yüksek verimlilik ve yüksek güç yoğunluğu elde edilerek tanıtılmıştır.

Vinrms (VAC)	Pin (W)	Po (W)	Verim (?)	Güç Faktörü
85	224.64	201.5	0.897	0.985
220	216.38	200.8	0.928	0.948
265	214.98	200.8	0.934	0.904

**Teşekkürler**