

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVİRİCİLERDE YENİ BİR YUMUŞAK ANAHTARLAMA  
DEVRESİNİN TASARIMI, GERÇEKLEŞTİRİLMESİ  
VE ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Yük. Müh. Mustafa NİL**

**Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği**

**Danışman: Prof.Dr. Bekir ÇAKIR**

**KOCAELİ, 2009**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVİRİCİLERDE YENİ BİR YUMUŞAK ANAHTARLAMA  
DEVRESİNİN TASARIMI, GERÇEKLEŞTİRİLMESİ  
VE ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Yük. Müh. Mustafa NİL**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23 Ekim 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 25 Aralık 2009**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Bekir ÇAKIR**



**Üye**

**Prof. Dr. İrfan ALAN**




**Üye**

**Prof. Dr. Kadir ERKAN**



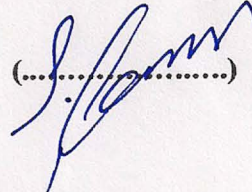
**Üye**

**Prof. Dr. Nurettin ABUT**



**Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Sabri ÇAMUR**



**KOCAELİ, 2009**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Eviricilerde yeni bir yumuşak anahtarlama devresinin tasarımı, gerçekleştirilmesi ve analizi konusunda doktora çalışması sunulmuştur. Yapılan çalışmanın bundan sonra çalışacak meslektaşlarıma fayda sağlamasını ümit ederim.

Çalışmalarımın her döneminde verdiği desteklerden ötürü başta tez danışmanım, değerli hocam Prof.Dr.Bekir ÇAKIR'a ve tez izleme komitesinin diğer üyeleri Prof.Dr.Kadir ERKAN ile Yrd.Doç.Dr.Sabri ÇAMUR'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Büyük desteklerini gördüğüm Prof.Dr.Nurettin ABUT'a, Yrd.Doç.Dr.İsmail AKSOY'a, Arş.Gör.Dr.Uğur YÜZGEÇ'e, Arş.Gör.Dr.Oktay AYTAR'a, Dr.Ersoy BEŞER'e, Arş.Gör. Murat DEMİR'e, Yük.Müh.Metin NİL'e, kıymetli babam Abdi NİL'e, sabırlarından ötürü eşime ve çocuğuma, emeği geçen herkese teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLOLAR DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET .....	viii
İNGİLİZCE ÖZET .....	ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. YUMUŞAK ANAHTARLI EVİRİCİLERİN SINIFLANDIRILMASI ...	6
2.1. Yük Rezonanslı Evirici .....	7
2.1.1. Seri rezonanslı paralel yüklü evirici (SRPLC) .....	8
2.1.2. Paralel rezonanslı seri yüklü evirici (PRSLC) .....	9
2.2. Rezonans Geçişli Eviriciler .....	10
2.2.1. Kısmi rezonanslı ZVS (QR-ZVS) veya rezonans kutuplu evirici (RPI) .....	10
2.2.2. Kısmi rezonanslı ZCS evirici (QR-ZCS) .....	12
2.3. Rezonans Bastırma Temelli Eviriciler (RSI) .....	12
2.4. Yumuşak Geçişli Eviriciler .....	14
2.4.1. ZVT eviricisi .....	15
2.4.2. ZCT eviricisi .....	16
2.5. Rezonans Hatlı Eviriciler .....	18
BÖLÜM 3. REZONANS GEÇİŞLİ EVİRİCİLER .....	19
3.1. Yumuşak Geçişli ZVT Eviricileri .....	20
3.2. Yumuşak Geçişli ZCT Eviricileri .....	20
3.3. Yumuşak Geçişli ZCZVT Eviricileri .....	21
3.4. Evirici Tekniklerinde Kayıplar .....	22
BÖLÜM 4. YENİ BİR YUMUŞAK ANAHTARLAMALI EVİRİCİ .....	24
4.1. Giriş .....	24
4.2. Sunulan Eviricinin Çalışma Aralıkları .....	30
4.2.1. Birinci aralık ( $t_0-t_1$ ) – ( $t_0 < t < t_1$ ) .....	30
4.2.2. İkinci aralık ( $t_1-t_2$ ) – ( $t_1 < t < t_2$ ) .....	30
4.2.3. Üçüncü aralık ( $t_2-t_3$ ) – ( $t_2 < t < t_3$ ) .....	31
4.2.4. Dördüncü aralık ( $t_3-t_4$ ) – ( $t_3 < t < t_4$ ) .....	32
4.2.5. Beşinci aralık ( $t_4-t_5$ ) – ( $t_4 < t < t_5$ ) .....	33
4.2.6. Altıncı aralık ( $t_5-t_6$ ) – ( $t_5 < t < t_6$ ) .....	34
4.2.7. Yedinci aralık ( $t_6-t_7$ ) – ( $t_6 < t < t_7$ ) .....	35
4.2.8. Sekizinci aralık ( $t_7-t_8$ ) – ( $t_7 < t < t_8$ ) .....	35
4.2.9. Dokuzuncu aralık ( $t_8-t_9$ ) – ( $t_8 < t < t_9$ ) .....	36
4.2.10. Onuncu aralık ( $t_9-t_{10}$ ) – ( $t_9 < t < t_{10}$ ) .....	37
4.2.11. Onbirinci aralık ( $t_{10}-t_{11}$ ) – ( $t_{10} < t < t_{11}$ ) .....	37
4.2.12. Onikinci aralık ( $t_{11}-t_{12}$ ) – ( $t_{11} < t < t_{12}$ ) .....	38
4.2.13. Onüçüncü aralık ( $t_{12}-t_{13}$ ) – ( $t_{12} < t < t_{13}$ ) .....	39
4.2.14. Ondördüncü aralık ( $t_{13}-t_{14}$ ) – ( $t_{13} < t < t_{14}$ ) .....	40
4.2.15. Onbeşinci aralık ( $t_{14}-t_{15}$ ) – ( $t_{14} < t < t_{15}$ ) .....	40

4.2.16. Onaltıncı aralık ( $t_{15}-t_{16}$ ) – ( $t_{15} < t < t_{16}$ ).....	41
<b>BÖLÜM 5. YENİ BİR YUMUŞAK ANAHTARLAMALI EVİRİCİ UYGULAMASI</b>	
.....	43
5.1. Sürücü Besleme Devresi .....	44
5.2. Giriş DC Kaynak Kısmı .....	44
5.3. Sürücü ve Mikrodenetleyici Devresi.....	45
5.4. Uygulama Sonuçları.....	47
5.4.1. Tasarım kılavuzu.....	48
5.4.2. Deneysel veriler ve yorumlar .....	50
<b>BÖLÜM 6. YUMUŞAK ANAHTARLAMALI EVİRİCİLER İÇİN GÜVENİLİRLİK</b>	
<b>YÖNTEMLERİ VE ANALİZİ</b> .....	55
6.1. Giriş.....	55
6.2. Test Tipleri, Uygulamaları ve Yararları.....	56
6.3. Güvenilirlik ve Ömür Testleri.....	59
6.4. Baskı Devre Kartı Bileşenlerinin Ömrü.....	61
6.4.1. Lehim noktası.....	61
6.4.2. Kapasitörler .....	63
6.4.2.1. Seramik kapasitörler .....	63
6.4.2.2. Film kapasitörler .....	63
6.4.2.3. Elektrolitik kapasitörler.....	64
6.4.3. Diyotlar .....	66
6.4.4. Transistörler .....	67
6.4.5. Anahtarlar.....	67
6.4.6. Sigortalar .....	68
6.5. Güvenilirlik Analizinde Kullanılan Yöntemler.....	68
6.5.1. Güvenilirlik tahmini .....	68
6.5.2. Güvenilirlik blok diagramı.....	68
6.5.3. Hata modları etki analizi .....	69
6.5.4. Hata ağacı.....	69
6.5.5. Weibull.....	69
6.5.6. Durum ağacı .....	69
6.6. Güvenilirlik Tahminlerinde Kullanılan Modeller .....	70
6.7. Güvenilirlik SW Analizi .....	72
6.8. Yumuşak Anahtarlamalı Tek Fazlı Evirici Devresinin Güvenilirlik Analizi ve	
Sonuçları .....	73
<b>BÖLÜM 7: SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	76
<b>KAYNAKLAR</b> .....	79
<b>EKLER</b> .....	83
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	89

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Bastırma Hücrelerinin Genel Olarak Sınıflandırılması [18].....	3
Şekil 1.2: Bastırma Hücrelerinin Gelişmişlik Açısından Sınıflandırılması [18].....	4
Şekil 2.1: Sistematik Olarak Eviricilerin Sınıflandırılması [24].....	7
Şekil 2.2: SRPLC Devre Şeması ve Dalga Şekilleri [24] .....	8
Şekil 2.3: PRSLC Devre Şeması ve Dalga Şekilleri [24] .....	10
Şekil 2.4: RPI veya Yarı Rezonanslı Sıfır Gerilim Anahtarlama Evirici [24].....	11
Şekil 2.5: QR-ZCS Eviricinin Devre Şeması ve Dalga Şekilleri [24] .....	12
Şekil 2.6: Yardımcı Rezonans Komutasyonlu Kutuplu Evirici (ARCPI) [24] .....	13
Şekil 2.7: Doğrusal Olmayan Komutasyonlu Rezonans Kutuplu Evirici (NLRPI) [24] .....	14
Şekil 2.8: ZVT Eviricisinin Devre Şeması [24] .....	15
Şekil 2.9: ZVT Eviricisinin Dalga Şekilleri [24] .....	16
Şekil 2.10: ZCT Eviricisinin Devre Şeması [24] .....	17
Şekil 2.11: ZCT Eviricisinin Dalga Şekilleri [24] .....	17
Şekil 3.1: Tek Fazlı Yardımcı Komutasyon Hücreli Evirici [27] .....	19
Şekil 3.3: Yumuşak Geçişli ZCT Evirici [27].....	21
Şekil 3.4: Yumuşak Geçişli ZCZVT Evirici [27] .....	22
Şekil 3.5: Yumuşak Geçişli Evirici Tekniklerinde Kayıplar [27].....	22
Şekil 4.1: Orcad 10.5 Programıyla Gerçekleştirilen ZCZVT Evirici Devresi .....	24
Şekil 4.2: Bağımsız İki Endüktanslı ZCZVT Eviricisinin Teoriksel Dalga Şekilleri [28] .....	25
Şekil 4.3: Bağımsız İki Endüktanslı ZCZVT Eviricisinin Benzetim Dalga Şekilleri.	26
Şekil 4.4: Ana ve Yardımcı Anahtarlardaki Tetikleme İşaretleri [Sarı : S1, Yeşil :SA1, Kırmızı:S3, Mavi:SA2 ] .....	27
Şekil 4.5: Ana ve Yardımcı Anahtarlardaki Tetikleme İşaretleriyle S1 Ana Anahtar Akımı Arasındaki İlişki [Eflatun: S1 Ana Anahtar Akımı] .....	27
Şekil 4.6: Ana ve Yardımcı Anahtarlardaki Tetikleme İşaretleriyle $I_{LR1}$ Yardımcı Anahtar Akımı Arasındaki İlişki [Koyu Sarı: $I_{LR1}$ Yardımcı Anahtar Akımı] ...	28
Şekil 4.7: Ana ve Yardımcı Anahtarlardaki Tetikleme İşaretleriyle $V_{CR1}$ Rezonans Kapasite Gerilimi Arasındaki İlişki [Açık Mavi : $V_{CR1}$ Rezonans Kapasite Gerilimi] .....	28
Şekil 4.8: Yük Akımı ile Yük Gerilimi Arasındaki İlişki [Siyah : Yük Üzerindeki Akım, Menekşe: Yük Üzerindeki Gerilim Olup 1/20 ölçeğinde gösterilmiştir].	29
Şekil 4.9: Ana ve Yardımcı Anahtarlardaki Tetikleme İşaretleriyle $V_{S1}$ Ana Anahtardaki Gerilim Arasındaki İlişki [Koyu Sarı : $V_{S1}$ Ana Anahtardaki Gerilimi 1/5 Ölçeğindedir] .....	29
Şekil 4.10: ( $t_0 < t < t_1$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	30
Şekil 4.11: ( $t_1 < t < t_2$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	30
Şekil 4.12: ( $t_2 < t < t_3$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	32
Şekil 4.13: ( $t_3 < t < t_4$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	32
Şekil 4.14: ( $t_4 < t < t_5$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	33
Şekil 4.15: ( $t_5 < t < t_6$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	34
Şekil 4.16: ( $t_6 < t < t_7$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	35

Şekil 4.17: ( $t_7 < t < t_8$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	36
Şekil 4.18: ( $t_8 < t < t_9$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	36
Şekil 4.19: ( $t_9 < t < t_{10}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	37
Şekil 4.20: ( $t_{10} < t < t_{11}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	38
Şekil 4.21: ( $t_{11} < t < t_{12}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	38
Şekil 4.22: ( $t_{12} < t < t_{13}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	39
Şekil 4.23: ( $t_{13} < t < t_{14}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	40
Şekil 4.24: ( $t_{14} < t < t_{15}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	41
Şekil 4.25: ( $t_{15} < t < t_{16}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu .....	42
Şekil 5.1: Sunulan Yeni ZCZVT Evirici Devresi .....	43
Şekil 5.2: Sürücülerin Besleme Devresi.....	44
Şekil 5.3: Evirici DC Bara Gerilim Devresi .....	44
Şekil 5.4: Sürücü Devresi.....	45
Şekil 5.5: Mikrodenetleyici Devresi .....	46
Şekil 5.6: ISIS Programında Mikrodenetleyici Devre Şeması.....	46
Şekil 5.7: ISIS Programında Ekranda Görülen Kontrol İşaretleri (Anahtarlama Frekansı : 50 kHz ).....	47
Şekil 5.8: Sunulan ZCZVT Evirici Devresinin Resmi.....	47
Şekil 5.9: $S_4$ Ana Anahtarı Üzerindeki Gerilim ( $V_{S4}$ ) - $S_1$ Ana Anahtarındaki Akım ( $I_{S1}$ ) İlişkisi [ $V_{S4}$ : 50 Volt/div (Mavi), $I_{S1}$ : 2 A/div (Siyah), time/div : 5 $\mu$ s, ~ 51 kHz'deki ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için].....	50
Şekil 5.10: $S_{A1}$ Yardımcı Anahtar Üzerindeki Gerilim ( $V_{SA1}$ ) - Akım ( $I_{SA1}$ ) İlişkisi [ $V_{SA1}$ : 20 Volt/div (Mavi), $I_{SA1}$ : 2 A/div (Siyah), time/div : 5 $\mu$ s, ~ 51 kHz'deki ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için].....	51
Şekil 5.11: $C_{R1}$ Rezonans Kapasitesi Üzerindeki Gerilim ( $V_{CR1}$ ) ile $L_{R1}$ Akım ( $-I_{LR1}$ ) Arasındaki İlişki [ $V_{CR1}$ : 20 Volt/div (Mavi), $-I_{LR1}$ : 2 A/div (Siyah), time/div : 5 $\mu$ s, ~ 51 kHz'deki ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için].....	51
Şekil 5.12: Yük Üzerindeki Akım ve Yük Gerilimi, [Yük Gerilimi( $V_{yük}$ ) : 50 Volt/div (Mavi), Yük Akımı ( $-I_{yük}$ ) : 2 A/div (Siyah), time/div : 5 $\mu$ s, ~ 51 kHz'deki ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için].....	52
Şekil 5.13: $S_4$ Ana Anahtarı Üzerindeki Gerilim ( $V_{S4}$ ) - Akım ( $I_{S1}$ ) İlişkisi [ $V_{S4}$ : 50 Volt/div (Mavi), $I_{S1}$ : 2 A/div (Siyah), time/div : 5 $\mu$ s, ~ 40 kHz'de ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için] .....	53
Şekil 5.14: $S_{A1}$ Yardımcı Anahtar Üzerindeki Gerilim ( $V_{SA1}$ )-Akım ( $I_{SA1}$ ) İlişkisi [ $V_{SA1}$ : 50 Volt/div (Mavi), $I_{SA1}$ : 2 A/div (Siyah), time/div : 5 $\mu$ s, ~ 40 kHz'de ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için].....	53
Şekil 5.15: $S_4$ Ana Anahtarı Üzerindeki Gerilim ( $V_{S4}$ ) - Akım ( $I_{S1}$ ) İlişkisi [ $V_{S4}$ : 20 Volt/div (Mavi), $I_{S1}$ : 2 A/div (Siyah), time/div : 5 $\mu$ s, ~ 40 kHz'de bağımsız iki endüktans için] .....	54
Şekil 5.16: $S_{A1}$ Yardımcı Anahtar Üzerindeki Gerilim ( $V_{SA1}$ )-Akım ( $I_{SA1}$ ) İlişkisi [ $V_{SA1}$ :50 Volt/div(Mavi), $I_{SA1}$ : 2 A/div (Siyah), time/div:5 $\mu$ s, ~ 40 kHz'de bağımsız iki endüktans için].....	54
Şekil 6.1: Güvenilirlik-Maliyet İlişkisi .....	58
Şekil 6.2: Yumuşak Anahtarlama Tek Fazlı Eviricinin Toplam Hata Ana Blok Diagramları .....	73
Şekil 6.3: Yumuşak Anahtarlama Tek Fazlı Eviricinin Toplam Hata Alt Blok Diagramları .....	74
Şekil 6.4: Küvet Eğrisi .....	75

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1: Temel Yarıiletken Güç Elemanlarının İyiden Kötüye Doğru Sıralanışı [15] .....	2
Tablo 6.1: Kapasitenin Yüzey Sıcaklığındaki Artışının Ömrüne Olan Etkisi .....	66
Tablo 6.2: Diyotların Bağlantı Sıcaklığı ile Maruz Kaldığı Stres Arasındaki İlişki...	67
Tablo 6.3: Transistörlerin Bağlantı Sıcaklığı ile Maruz Kaldığı Stres Arasındaki İlişki .....	67



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

IGBT	: İzole Kapılı Bipolar Transistör
MOSFET	: Metal Oksit Yarıiletkenli Alan Etkili Transistör
VSI	: Gerilim Kaynaklı Evirici
CSI	: Akım Kaynaklı Evirici
SRPLC	: Seri Rezonanslı Paralel Yüklü Evirici
PRSLC	: Paralel Rezonanslı Seri Yüklü Evirici
QR-ZVS	: Kısmi Rezonanslı ZVS Evirici
RPI	: Rezonans Kutuplu Evirici
RSI	: Rezonans Bastırma Temelli Eviriciler
NLRPI	: Doğrusal Olmayan Komutasyonlu Rezonans Kutuplu Evirici
ARCPI	: Yardımcı Rezonans Komutasyonlu Kutuplu Evirici
ZVS	: Sıfır Gerilimde Anahtarlama
ZCS	: Sıfır Akımda Anahtarlama
ZCT	: Sıfır Akımda Geçiş
ZCZVT	: Sıfır Akımda ve Sıfır Gerilimde Geçiş
EMI	: Elektro Manyetik Girişim
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
RACLC	: AC Hat Rezonanslı Evirici
RDCLC	: DC Hat Rezonanslı Evirici
$S_1, S_2, S_3, S_4$	: Ana Anahtarlar
$S_{A1}, S_{A2}$	: Yardımcı Anahtarlar
$D_{A1}, D_{A2}$	: Bastırma Diyotları
$C_{R1}, C_{R2}$	: Bastırma Kondansatörleri
$L_{R1}, L_{R2}$	: Bastırma Endüktansları
E	: Bara Gerilimi
$\lambda(t)$	: Hata Oranı
R(t)	: Güvenilirlik
$V_{CR1}, V_{CR2}$	: Bastırma Kondansatör Gerilimleri
$I_{LR1}, I_{LR2}$	: Bastırma Endüktans Akımları
$B_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$	: PIC 18F452 Mikrodenetleyicisinin B Portu Çıkışları
BJT	: İki Kutuplu Eklem Transistörü
GTO	: Kapıdan Söndürmeli Tristör
MTBF	: Ortalama Hatasız Çalışma Süresi
MTTF	: Hata İçin Ortalama Süre
PCB	: Baskılı Devre Kartı
Tan $\delta$	: Kapasitans Kaybı
$\beta$	: Isı Yayınım Faktörü
A	: Elektrolitik kapasitörün yüzey alanı
Lx	: Ortalama Ömür
L	: Üretici firma nominal ömür değeri
RBD	: Güvenilirlik Blok Diagramı

# EVİRİCİLERDE YENİ BİR YUMUŞAK ANAHTARLAMA DEVRESİNİN TASARIMI, GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE ANALİZİ

Mustafa NİL

**Anahtar Kelimeler:** Evirici, Anahtarlama Frekansı, Yumuşak Anahtarlama, Bastırma, Güvenilirlik Analizi

**Özet:** Bu doktora tez çalışmasında,  $S_{A1}$  ve  $S_{A2}$  yardımcı anahtarlar yardımıyla  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  ve  $S_4$  ana anahtarlarının sıfır akımda ve sıfır gerilimde, iletim ve kesime girmesine göre yeni bir bastırma hücreli PWM eviricisi sunulmuştur.

Bu evirici, geniş bir hat ve yük gerilimi altında yüksek frekanslarda yumuşak anahtarlama ile çalışabilir. Sunulan yeni devre, önceden arzu edilen devrelerdeki karakteristikleri üzerinde taşımaktadır. Yapılan yeni ortak hava aralıklı magnetik kuplajlı endüktanslı eviricisi devresiyle DC bara gerilimi kademeli olarak artırılmıştır. Aynı zamanda anahtarlama frekansı 51,02 kHz'e kadar sorunsuz olarak çıkartılabilmektedir. 51,02 kHz'deki sonuçlar değerlendirildiğinde, anahtarlama kayıplarında önemli bir artışın olmadığı da görülmüştür.

Deneysel sonuçlar komutasyon hücresinde önerilenleri kanıtlamaktadır. Ana ve yardımcı anahtarlar ilave gerilime maruz kalmamaktadır. Ayrıca önerilen evirici devresi için (IGBT'li anahtarlar ve 2117'li entegreli sürücülerle oluşturulan durumda), güvenilirlik analizi de gerçekleştirilmiştir.

## A NEW SOFT SWITCHING CIRCUIT DESIGN FOR INVERTERS, PERFORM AND ANALYSIS

Mustafa NİL

**Keywords :** Inverter, Switching Frequency, Soft Switching, Snubber, Reliability Analysis

**Abstract:** In this Ph.D. thesis, PWM inverter with a new snubber cell is presented based on the “on” / “off” switching conditions of main switches ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  and  $S_4$ ) at zero voltage and zero current instants by auxiliary switches ( $S_{A1}$  and  $S_{A2}$ ).

This inverter operates with soft switching at high frequencies under a wide range of line and load voltages. The new proposed circuit includes the characteristics of the desired circuits beforehand. DC bus voltage is increased gradually by new circuit consisting of magnetic coupling inductor with common air gap. Simultaneously, switching frequency is increased up to 51,02 kHz without any problems. Evaluating the results at 51,02 kHz, it is observed that there is not a significant increase on switching losses.

Experimental results prove the suggestions for the commutation cell. Main and auxiliary switches aren't subjected to the additional voltage stresses. Besides, the reliability analysis is realized for this proposed inverter circuit (in the case of forming with IGBT switches and 2117 driver circuits).

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Güç elektroniği, yüke verilen enerjinin kontrol edilmesi ve enerji şekillerinin birbirine dönüştürülmesini inceleyen bilim dalıdır [1]. Son yıllarda, modern güç elektroniği cihazlarının kullanımı hızla artmaktadır [2]. Güç elektroniği düzeneklerinin yüksek gerilim, endüstriyel ısıtma, motor sürücüleri, bilgisayarlar, yazıcılar ve televizyon gibi birçok kullanım alanı mevcuttur [3]. Genel anlamda evirici, DA / AA dönüştürücü veya doğru akım kaynağından alternatif akım ile beslenen bir yüke veya bir alternatif akım şebekesine güç aktarımı yapan devredir [4]. Eviriciler motor sürücü ve kesintisiz güç kaynağı (KGK) gibi DC/AC güç dönüşümü uygulamalarında yaygın olarak kullanılır [5]. Bu sebepten dolayı eviriciler üzerinde yapılan çalışmalar giderek artmakta ve buna bağlı olarak evirici teknolojisi hızlı bir şekilde gelişmektedir [6].

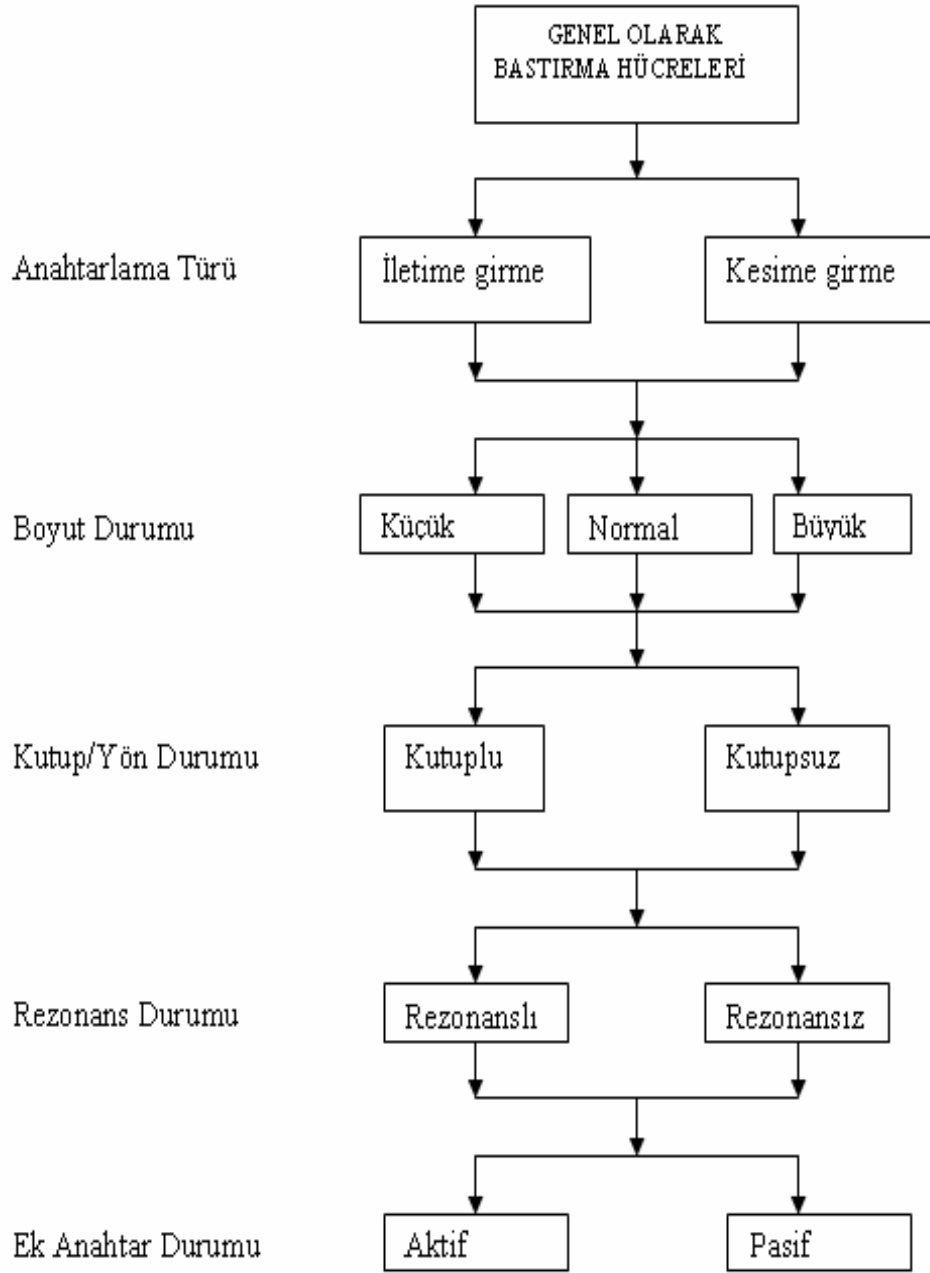
Son yirmi yıldır sert anahtarlama eviricilerin sakıncalarını ortadan kaldırmak için birçok yumuşak anahtarlama evirici yapıları geliştirilmiştir. Yumuşak anahtarlama eviriciler elektrikli araç uygulamaları [7], AC servo sürücüleri [8], indüksiyon motorları [9], DSP tabanlı paralel rezonanslı devreler [10] ve DC hatlı PWM inverter uygulamalarında [11] kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmeler ile yarı iletken güç anahtarlarının güçleri, anahtarlama hızları ve verimleri artırılmış, boyutları ise küçülmüştür. Bu nedenden ötürü günümüzde düşük iletim direncine sahip az sayıda kapı sürme gücü gerektiren İzole Kapılı Bipolar Transistörler (IGBT) yumuşak anahtarlama devrelerinde oldukça fazla kullanılmaktadır. IGBT orta güçlü çalışmalarda en önemli devre elemanıdır. IGBT, sürme devresi gerilimlere karşı iyileştirilmiş tek kutuplu transistördür. Klasik sert anahtarlama devrelerinde IGBT'ler 4-8 kHz arasındaki frekanslarda çalışırlar [12]. Yumuşak anahtarlamanın temel sınırları IGBT'ler ve güç diyotlarının ayrıntılı fiziksel davranışları ile sınırlıdır [13]. Ticari MOS kontrollü tristörler henüz yüksek güç uygulamaları için uygun değildir [14]. Devrelerin tasarımında maliyet ve boyut açısından devre elemanlarının küçük boyutlu ve hafif olmaları istenir. Yarı iletken güç elemanlarının bu amaca uygun sıralaması Tablo 1.1'de verilmektedir.

Tablo 1.1: Temel Yarıiletken Güç Elemanlarının İyiden Kötüye Doğru Sıralanışı [15]

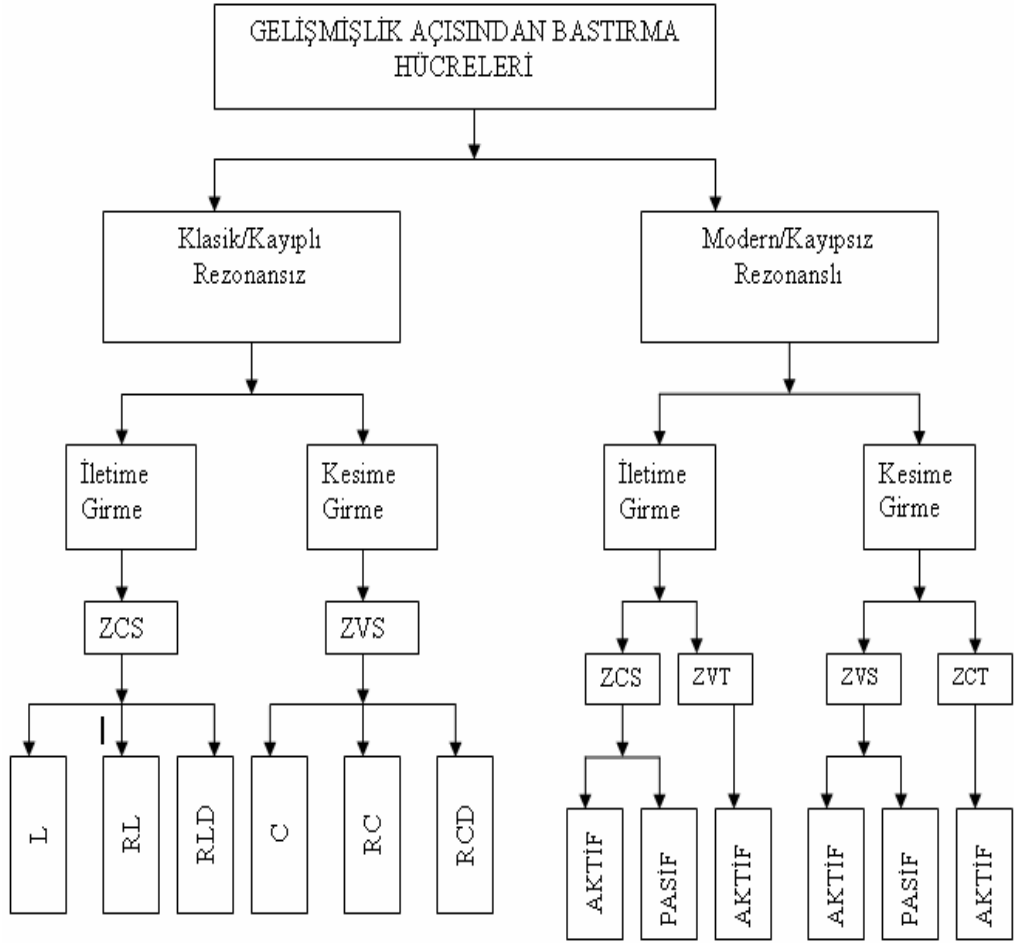
TEMEL YARI İLETKEN GÜÇ ELEMANLARININ İYİDEN KÖTÜYE DOĞRU SIRALANMASI				
Sürme Kolaylığı	MOSFET	IGBT	GTO	BJT
Sönme Kolaylığı	MOSFET	IGBT	BJT	GTO
İletim Gerilim Düşümü	BJT	GTO (2.0 V)	IGBT (3.0 V)	MOSFET
Anahtarlama Güç Kaybı	MOSFET	IGBT	GTO	BJT
Akım Dayanımı	GTO (3000 A)	IGBT (800 A)	BJT (600 A)	MOSFET (100 A)
Gerilim Dayanımı	GTO	IGBT	BJT (1200 V)	MOSFET (1000 V)
Devre Gücü	GTO (10 MW)	IGBT (500 kW)	BJT (100 kW)	MOSFET (10 kW)
Çalışma Frekansı	MOSFET (100 kHz)	IGBT (20 kHz)	BJT (10 kHz)	GTO (1 kHz)
Fiyat	BJT	GTO	IGBT	MOSFET
<p>Not: 1. Güç BJT'leri genellikle Darlington yapıda ve NPN türündedir.                  2. Burada GTO tristör ailesini temsil etmektedir.</p>				

Yumuşak anahtarlama devrelerinin en önemli avantajları akım ve gerilimdeki salınımların azaltılması, anahtarlama kayıplarının en aza indirilmesi ve rezonanslı devrelerde yüke bağımlılığın kaldırılması şeklinde sıralanabilir. Yumuşak anahtarlama eviricilerde bastırma hücresi, uygun rezonans elemanlarıyla devrenin tekrar ilk konumuna gelmesini sağlar [16].

Devre düzeneğinin ek elemanlara ihtiyaç duyması ve denetim güçlükleri bu alanda yeni yöntemlerin geliştirilmesine neden olmaktadır. Klasik bastırma devreleriyle sağlanan yumuşak anahtarlama, yarı iletken devre elemanlarının anahtarlama kayıpları azalmaktadır; ancak toplam kayıpta herhangi bir değişiklik olmamaktadır [17].



Şekil 1.1: Bastırma Hücrelerinin Genel Olarak Sınıflandırılması [18]



Şekil 1.2: Bastırma Hücrelerinin Gelişmişlik Açısından Sınıflandırılması [18]

Son yıllarda sade yapılarından dolayı PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) tabanlı DC-AC evirici güç elektroniği uygulamalarının temel seçimi olmuştur, çünkü oldukça sade bir yapısı vardır. Darbe Genişlik Modülasyonu ile hem gerilim kontrolü hem de harmonik eliminasyonu yapılır [19]. Bu tip eviricilerde, hat gerilimini doğrultmak için kullanılan bir doğrultucu ile giriş DA geriliminin değeri sabit tutulmaktadır [20]. Kesintisiz güç kaynağı, motor sürücüleri ve endüksiyonla ısıtma gibi uygulamalarda PWM'li evirici devrelerini görmek mümkündür. PWM eviricileri yarı iletken anahtarlama kayıpları ve sınırlamalarına karşın birkaç kHz ve 10 kW'lar seviyesinde oldukça uygundur. PWM eviricileri küçük boyut ve yüksek verim ile çok yüksek anahtarlama frekanslarında çalışabilirler [21]. Yapılan çalışmalarla yüksek frekanslarda güç yoğunluğu artırılarak devre performansı geliştirilmektedir. Yüksek anahtarlama bir PWM evirici için şu sınırlamalar mevcuttur:

- Güvenli çalışma alanı dışındaki iletim ve kesim geçişleri sırasında güç elemanları üzerindeki anahtarlama stresleri
- Anahtarlama kayıpları
- Elektro Manyetik Girişim (Electro-Magnetic Interference - EMI)'in neden olduğu yüksek akım ve gerilim değişimleri

Frekansın artması, anahtarlama kayıplarıyla beraber elektromanyetik girişim ve radyo frekans girişim gürültülerine sebep olur. Aktif anahtarlama sıfır akım (ZC) veya sıfır gerilim (ZV) geçişlerinde gerçekleşir ve bu yüzden anahtarlama kayıpları yok edilebilir [22]. Yumuşak anahtarlama konusunda pek çok makale yayınlanmıştır. Yazarlar tarafından anahtarlama kayıpları problemlerini çözmek amacıyla daha çok ZVS yumuşak anahtarlama çözümleri önerilmiştir [23]. Çeşitli yumuşak anahtarlama evirici devrelerinde yüksek frekanslarda ZVS veya ZCS tekniği kullanılarak anahtarlama kayıpları ve EMI yüksek frekanslarda azaltılmıştır. Anahtarlama frekansı arttıkça (18 kHz'e kadar) harmoniklerin filtrelenmesiyle gürültü azaltılabilir. Özellikle bu durum gelişmiş motor sürücü sistemleri için oldukça önemlidir. Ancak yüksek akım ve gerilim değerlerinde filtre devrelerinin karmaşıklığı ve yüksek maliyeti PWM tekniklerinde kullanımlarına engel olmuştur. Bununla birlikte yakın geçmişte bu problemlerin çözümü için bazı düzeltilmiş topolojiler sunulmuştur.

PWM tekniği kontrol yöntemi açısından oldukça büyük bir avantaj getirmesine karşın, anahtarlama güç kaybıyla yüksek gerilim ve akım değerlerinde yükselme hızlarında oluşan gürültüleri ortadan kaldırmak gereklidir. Bu nedenle rezonans teknikleri kullanılarak yapılan yumuşak anahtarlama evirici devreleri oldukça popüler bir konuma gelmiştir. Performansları iyi olan eviricilerin boyutları daha küçüktür ve yüksek frekansta güç anahtarlarının daha verimli çalışmasını sağlarlar [24,18].



## **BÖLÜM 2. YUMUŞAK ANAHTARLI EVİRİCİLERİN SINIFLANDIRILMASI**

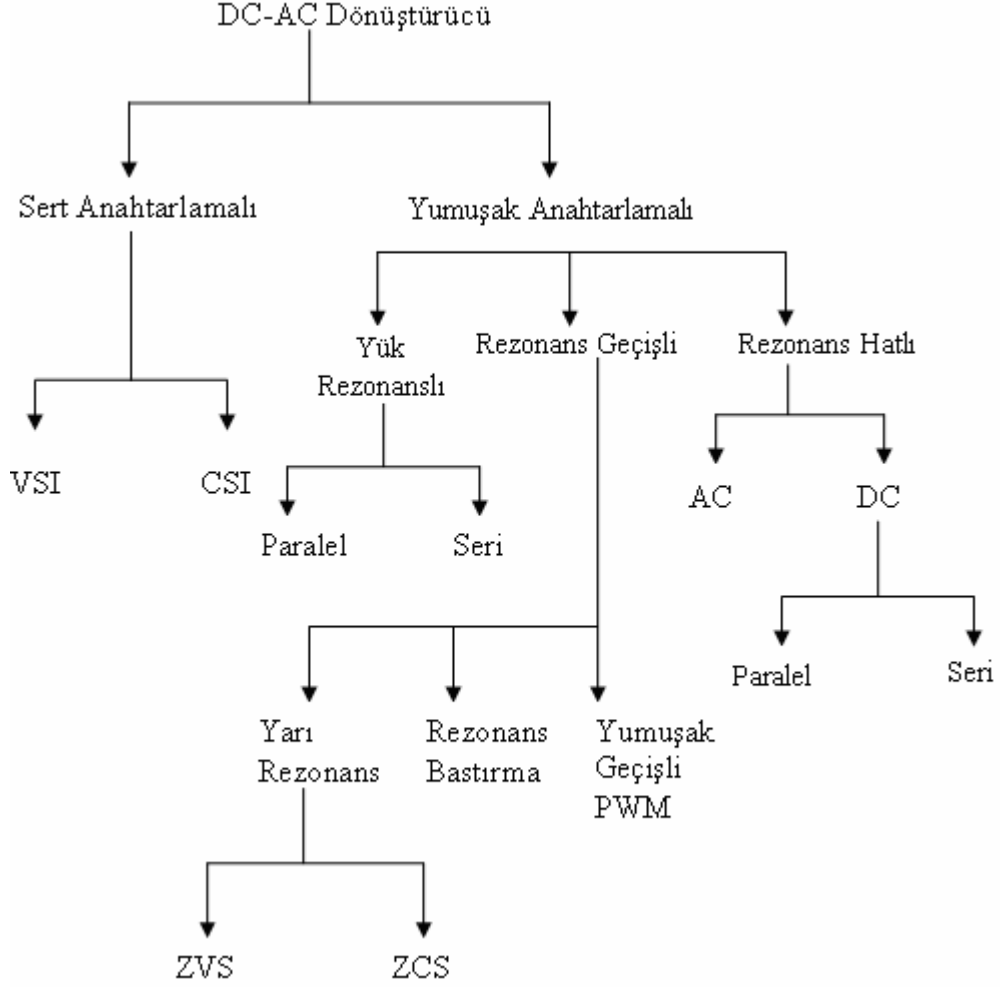
Sistematik olarak eviricilerin sınıflandırılması Şekil 2.1’de verilmektedir. Anahtarlama özelliklerine göre eviriciler genellikle sert ve yumuşak anahtarlama olarak iki sınıfa ayrılır. Sert anahtarlama PWM eviricisinde güç elemanları tamamen gerilim kaynağına (VSI : Gerilim kaynaklı evirici ) veya akım kaynağına ( CSI : Akım kaynaklı evirici ) bağlanır. Anahtarlama, akım ve gerilim dalga şekillerindeki ani farklılıklar, anahtarlama kayıplarına ve EMI’ya sebep olur [24]. Parazitik kapasite ve kaçak endüktansın güç elemanları üzerinde neden olduğu yüksek gerilim ve/veya akım tepeleri anahtarlama geçişleri sırasında gözlemlenebilir. Yumuşak anahtarlama topolojiler geleneksel sert anahtarlama PWM evirici yapılarına yüksek frekanslı rezonans hücresi eklenerek elde edilir. Rezonans devresi pasif elemanlar (L ve C) ile yardımcı diyot(lar) ve /veya anahtar(lar)’dan oluşur. Akım ve gerilim salınımları sıfırda çakıştığına yumuşak anahtarlama şartı sağlanmış olur. Anahtarlama kayıplarını en aza indirmek için anahtarlama işaretleri rezonans hücresindeki elemanlara bağlanır. Uygun eleman seçimleriyle anahtarlama kayıpları minimize edilir ve EMI önlenir [24].

Eviricilerin sistematik olarak sınıflandırılmasında rezonans hücresinin bulunduğu yer (yük, evirici köprüsü ve dc hat), anahtarlama dalga şeklinin karakteristiği (ZVS ya da ZCS) ve rezonans tipi (seri ya da paralel) dikkate alınır. Yumuşak anahtarlama eviriciler yapılarına göre şu şekilde tanımlanabilir[24] :

Yük rezonanslı eviricide, LC rezonans elemanlarından oluşan kısım yük tarafına seri, paralel ya da seri paralel LC’nin kombinasyonları biçiminde bağlanır. Bu nedenle ZVS veya ZCS durumları evirici köprüsündeki aktif anahtarlar için kullanılır [24].

Rezonans geçişli eviricide, rezonans hücresi evirici köprüsüne eklenerek ZVS ve ZCS durumları oluşur. DC hatta salınım oluşmaz [24].

Rezonans hatlı eviricide, rezonans hücresi DC kaynakla evirici köprüsü arasına bağlanır. Böylece giriş hattı güç elemanlarının yumuşak anahtarlama durumlarına bağlı salınım yapar. Bu nedenle rezonans hatlı eviricilerin giriş hattı geleneksel PWM sistemlerinden farklıdır [24].



Şekil 2.1: Sistematik Olarak Eviricilerin Sınıflandırılması [24]

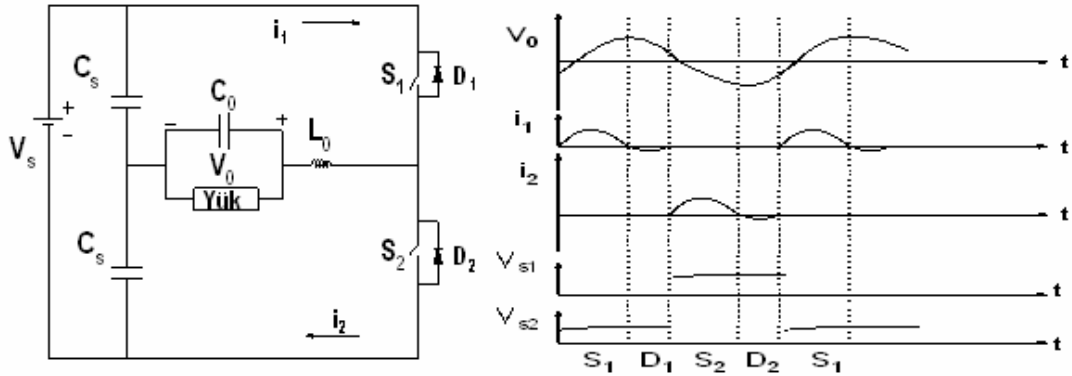
## 2.1.Yük Rezonanslı Evirici

Bu eviricide rezonans hücre yüke bağlanarak  $f_0$  rezonans frekansında  $T_s$  anahtarlama periyodu boyunca salınım yapar. Salınan yük akımı ve gerilimi ZVS ve ZCS durumlarını sağlar. Evirici köprüsü yarım köprü ya da tam köprü şeklinde görülür [24]. Bu tip eviriciler seri ve paralel rezonanslı eviriciler olarak sınıflandırılır.

Seri rezonans yapıda köprü evirici kendisine seri bağlanan rezonans hücrelerini kare dalga gerilimle besler. Yük rezonans hücrelerine seri veya paralel şekilde bağlanabilir. Paralel rezonans yapıda köprü evirici kendisine paralel bağlanan rezonans hücrelerini kare dalga akımla besler. Rezonans yüklü eviriciler sabit yüklü uygulamalar için oldukça uygundur [24].

### 2.1.1. Seri rezonanslı paralel yüklü evirici (SRPLC)

Yarım köprü SRPLC ve dalga şekilleri Şekil 2.2’de verilmektedir. Anahtarlama frekansı rezonans frekansından küçüktür ve  $f_0 / f_s$  oranı 1.1-1.3 arasında değişir. Bu durumda çıkış empedansı kapasitiftir. Anahtar ve diyotlar ZCS altında ilettime ya da kesime girerler. Böylece SCR’ler kullanılabilir. Yük akımının ters yönlerindeki geçişlerine izin vermek için aktif anahtara paralel diyot bağlanmıştır. Kayıpsız durumda rezonans frekansı  $f_0 = 1/\sqrt{L_0 C_0}$ ’dır [24].



Şekil 2.2: SRPLC Devre Şeması ve Dalga Şekilleri [24]

Kesimde paralel diyot aktif anahtarla yük akımını paylaşır. Aktif anahtarın iletim anları, kontrol sinyalleri ile belirlenir, ancak kesim anları yüke bağlıdır. Rezonans kapasitesi  $C_0$  çıkış gerilim bozulmalarını azaltmak için yüke paralel bağlanmıştır. Bu devrenin değişebilen frekans kontrolü sınırlıdır ve çıkış bozulmalarını engeller. Paralel ya da seri yüklü rezonans eviricinin sağladığı düşük bozulma endüksiyon ısıtma ve yüksek güçlü eviricilerde aranan özelliklerdendir [24].

Anahtarlama frekansı rezonans frekansından büyük ise iletim ve kesimde ZVS altında çalışır ve yüksek frekanslarda BJT ve güç MOSFET’i kullanılabilir. Bu sebeple anahtarın kesimdeki kayıplarını önlemek için kapasite anahtara paralel bağlanır. Tam köprü devresi kullanılır ve çıkışı kontrol için sabit frekans altında faz kaydırma modülasyonu uygulanır [24].

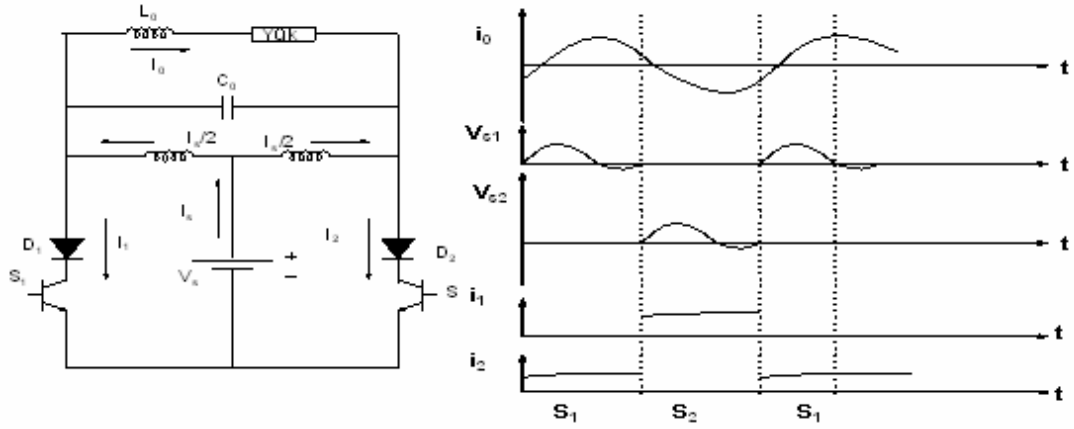
Rezonans aralığı anahtarlama aralığında  $f_s \ll f_0$ ’dır. Anahtarlama transformatörü izolasyon transformatörünün kaçak endüktansı evirici tarafında seri rezonans hücreinde toplanır. Bu nedenle yüksek güçlü kaynak uygulamalarında oldukça yaygındır. Seri rezonanslı eviricide ZVS altında devreyi çalıştırmanın bir başka yolu da kısmi seri rezonans tekniğidir. Burada  $f_s < f_0$  durumu geçerlidir ve rezonans anahtarlama periyodunun bir kısmında görülür. Bu teknik başlangıçta DC-DC dönüştürücüler için tasarlanmasına karşın endüksiyon ısıtmada da uygulanmıştır. Seri rezonans eviricilerin performansının diğerlerinden daha iyi olduğu görülmüştür [24].

### **2.1.2. Paralel rezonanslı seri yüklü evirici (PRSLC)**

Seri yüklü paralel rezonanslı evirici Şekil 2.3’de verilmektedir. PRSLC devrelerinde giriş kaynağının yerine yalıtım transformatörünü kullanmak mümkündür. Doğrultulmuş yük akımını  $L_0$  endüktansı sağlar.  $f_s < f_0$  olduğunda çıkış empedansı endüktif olmaya başlar. Devrenin çalışmasında anahtarın iletimde olması önemlidir ve kontrol sinyalleri kesim süresini belirler.  $S_1$  anahtarı üzerindeki gerilim sifıra düşene kadar tam olarak ilettime geçemez [24].

Buna karşın  $S_1$  anahtarı herhangi bir anda kesime gidebilir ve rezonans kapasitesi yük akımını üzerine alır. Bu yapıda anahtar  $C_0$ ’dan ötürü ZVS altında ilettime ve kesime gider. Anahtarların ters gerilim tutma kapasiteleri salınım gerilimlerine dayanmak zorundadır. Paralel yüklü seri rezonanslı devrede  $S_1$  ve  $S_2$  güç anahtarları seri diyotlar ile ters gerilime karşı korunur.  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları çift yönde akım akıtabilmesi için gereklidir, yük akımı  $L_0$ ’dan geçer. Seri yüklü paralel rezonans devrede sıfır akımda yumuşak anahtarlama ile güç anahtarları iletim ya da kesime girer. ZVS işlemi kısmi rezonansla yapılabilir [24].

Yük akımının ters yönlerindeki geçişleri ters paralel diyotlarla yapılır.  $S_1$  ve  $S_2$ 'nin IGBT ve MOSFET olması durumunda negatif gerilim bloke edilir [24].



Şekil 2.3: PRSLC Devre Şeması ve Dalga Şekilleri [24]

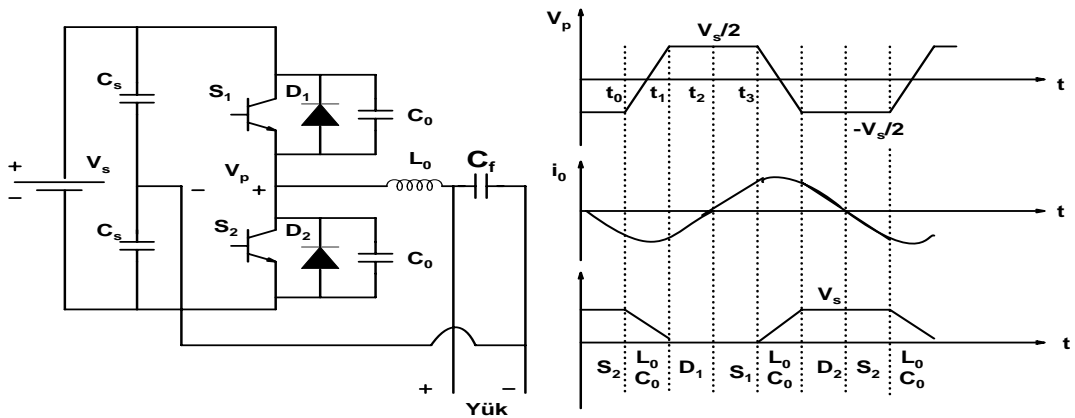
## 2.2. Rezonans Geçişli Eviriciler

Rezonans geçişli eviricide giriş hat gerilimi tamamen VSI veya CSI'dır. Evirici anahtarlarının akım ve/veya gerilimlerinin rezonansa girmesiyle yumuşak anahtarlama durumu yerine getirilmiş olur. İdeal olanı rezonans hücresinin sadece geçiş aralığında aktif edilmesidir. Parazitler rezonansın bir parçasıdır. Rezonans enerjisi yüke bakmaksızın ZVS ve ZCS yumuşak anahtarlama durumlarını sağlayabilecek seviyededir. Aynı zamanda rezonans hücresi PWM denetleyicinin denetim işaretine bağlı tasarlanmalıdır [24].

### 2.2.1. Kısmi rezonanslı ZVS (QR-ZVS) veya rezonans kutuplu evirici (RPI)

Rezonans hücresi yumuşak anahtarlama şartlarını sağlamak için kullanılır. Rezonans işlemi anahtarlama işleminin bir parçasıdır. Rezonans hücresi evirici kutuplarına paralel bağlanarak evirici hattındaki iki anahtar için de yumuşak anahtarlama yapmak mümkün hale gelir. Üç fazlı evirici devrelerinde her evirici hattı için kutuplanmış rezonans hücresi gereklidir. RPI'nin (Resonance pole inverter), PWM evirici yapılarında uygulanması mümkündür. Bu devrelerin en önemli handikapı anahtar sayısının fazla olmasıdır. Bu da devrenin karmaşık olmasına neden olur [24].

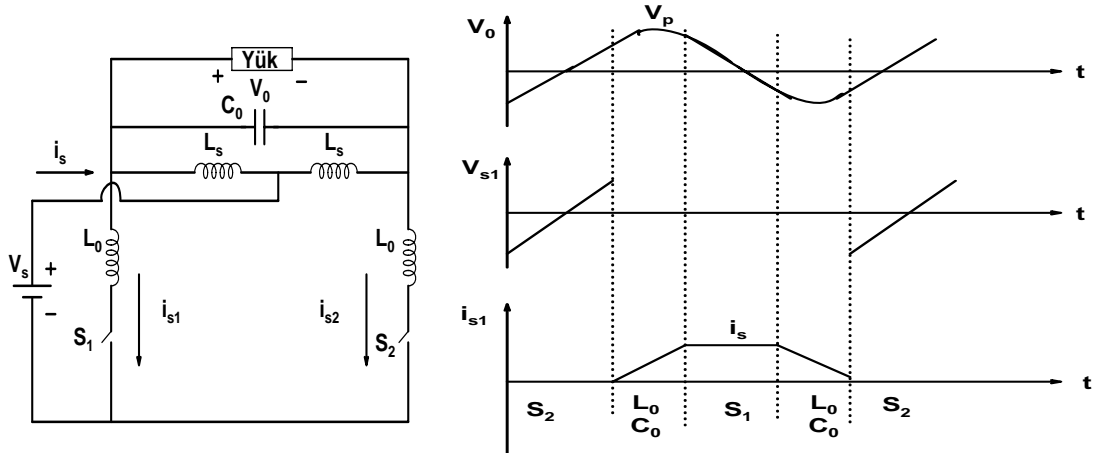
Şekil 2.4’de tek fazlı RPI versiyonu gösterilmiştir.  $C_0$  rezonans kondansatörü aktif anahtarların çıkış kapasitansıdır.  $L_0$  endüktansı yük tarafına bağlanır ve  $C_F$  kondansatörü filtre amaçlı Şekil 2.4’deki gibi bağlanması önerilir.  $V_P$  kutup gerilimi PWM sinylidir ve aktif gerilim oranı ise  $V_S$ ’dir, bu da geleneksel PWM eviriciyle aynıdır. Rezonans endüktansı kutup gerilimiyle birlikte dolup boşalarak yük üzerindeki akım ve gerilim üzerinde salınım neden olur. PWM sinyaline göre  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarının iletme girmeleri birbirini takip eder. Geçiş anlarında  $V_P$  işaretine göre  $L_0$  endüktansı ile  $C_0$  arasında rezonans görülür.  $t < t_0$  anında  $S_1$  kesimde iken  $S_2$  iletimdedir. Rezonansa almak için  $S_2$  ZVS altında kesime götürülür. Paralel rezonansla  $S_1$  anahtarında biriken kapasitif enerji  $S_2$  anahtarına aktarılır. Rezonans çalışma aralığı anahtarlama periyoduna göre küçük olması sebebiyle kısmi rezonanslı ZVS olarak adlandırılır.  $t = t_1$  anından sonra  $S_1$  anahtarının gerilimi sıfıra kenetlenir.  $D_1$  diyotu iletimdedir. Rezonans endüktansı  $V_S/2$  gerilimiyle dolar. Ters paralel diyot  $S_1$  anahtarından daha önce iletme girer. Yük akımının pozitif değerinde  $S_1$  iletimdedir ve kontrol devresi  $t = t_3$  anında paralel rezonans işlemi için  $S_1$  anahtarını kesime götürür. Rezonans endüktansı yüke seri bağlandığında RPI yapıları sürülen motorun stator endüktansının değerinin düşmesinden ötürü motor sürücü devreleri için uygun değildir. Düşük güçlerde ZVS şartlarının gerçekleşmeme ihtimali nedeniyle bu eviricinin yük aralığı sınırlıdır. RPI evirici yapıları 10 kVA’nın üzerinde aktif güç filtreleri ile yapılabilir [24].



Şekil 2.4: RPI veya Yarı Rezonanslı Sıfır Gerilim Anahtarlama Evirici [24]

### 2.2.2. Kısmi rezonanslı ZCS evirici (QR-ZCS)

Kapasitif kuplajlı evirici (CCI) veya kısmi rezonanslı ZCS (QR-ZCS) eviricinin yapısı Şekil 2.5'de görülmektedir. Şekil 2.4'deki yapıya benzeyen QR-ZCS devrelerde aktif anahtarlardaki düşük akım oranları için akım ara devreleri kullanılır.  $L_s$  kaynak endüktansı sürekli iletim durumundadır ve  $C_0$  kondansatörünü ters yönde doldurur.  $L_0$  rezonans endüktansı  $C_0$  kapasitif enerjisinin dolaşımını gerçekleştirerek anahtarın iletim ve kesim şartlarını sağlar.  $S_1$  kesimdeyken  $S_2$ 'nin iletimde olması şartı (ya da tersi) sağlanmalıdır. Güç anahtarı ZCS altında kesime götürülür. Rezonans endüktansı anahtarların sıfır akımda iletime geçmesini sağlar. Düşük frekanslı sistemlerde bang-bang kontrol QR-ZCS devrelerine uygulanabilir. Bu evirici devrelerinde rezonans kapasitörü endüktif yük üzerinde alternatif gerilim şeklinde bir dalga şekli oluşturduğundan, yapıları, hareket (konum) kontrolü ve endüksiyon ısıtma sistemleri için oldukça uygundur [24].

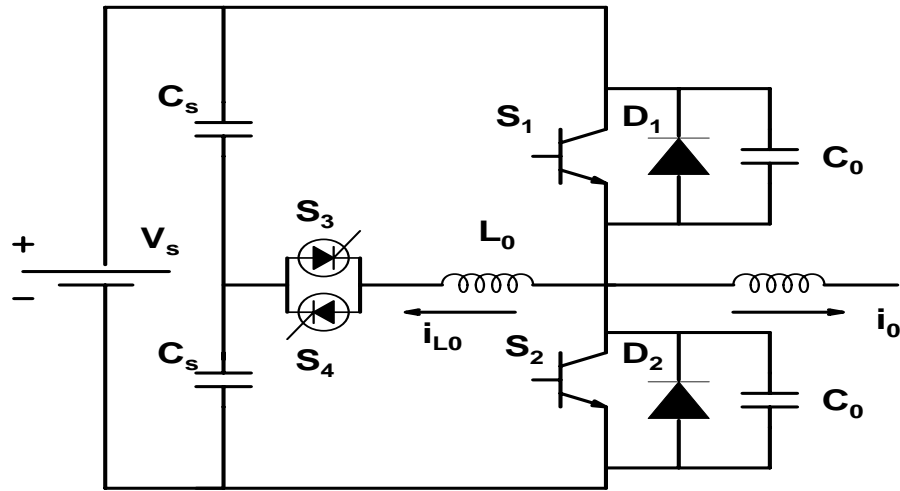


Şekil 2.5: QR-ZCS Eviricinin Devre Şeması ve Dalga Şekilleri [24]

### 2.3. Rezonans Bastırma Temelli Eviriciler (RSI)

Rezonans bastırma temelli eviricinin yapısı Şekil 2.6'da verilmektedir. Ana anahtarlar GTO ve IGBT gibi kesime geçirilebilen anahtarlarla ZVS'de çalışırken, yardımcı anahtarlar ZCS'de çalışırlar. Yardımcı anahtar olarak MCT ve tristör kullanıldığında, bu topoloji yardımcı rezonans komutasyonlu kutuplu evirici (ARCPI) olarak adlandırılır [24].

Hedef, rezonans endüktansının ana güç kaynağından uzaklaşmasıdır.  $S_3$  ve  $S_4$  yardımcı anahtarları depolanan enerjinin yönünün kontrolünde kullanılır. Anahtarlama kayıplarını azaltmak amacıyla kontrol yapısını düşük gerilim seviyelerde, yardımcı anahtarlar kontrol edilerek, tam yükte çalıştırmak gerekir. Ters paralel diyotlar rezonans endüktansı boşaldığında hem yük hem de rezonans akımı taşırlar. Boşalma süresi anahtarlama süresinin çok küçük bir aralığına karşılık gelir. Komutasyon işlemi ve verim yüke bağlıdır. ARCPI’de yardımcı anahtarların iletim zamanlarının her anahtarlama periyodunda farklılık göstermesinden dolayı kontrol yapısı karmaşık bir yapıya sahiptir. ARCPI’nın en önemli sorunu sıfır akım geçişlerinin yakalanmasıdır. Yapılan çalışmalarda rezonans hücresinin komutasyonu için bağlandığı yer tartışılmıştır (DC hattının orta noktası yerine faz çıkışları arasına bağlandığı yer). Rezonans bastırma temelli yumuşak anahtarlama eviricilerin anahtarlama karakteristiklerinde verimin artırılması kullanılan güç anahtarının karakteristiklerine (çalışma akım aralığı, frekansı, vb.) ve bastırma devresinin özelliklerine bağlıdır [24].

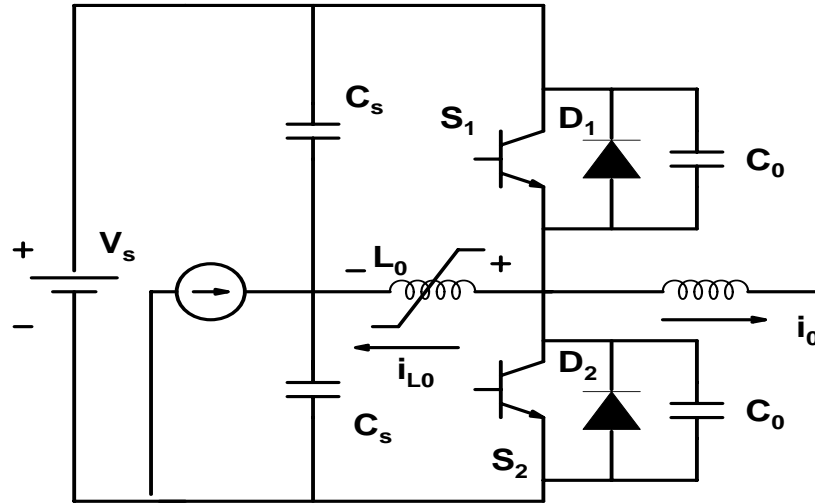


Şekil 2.6: Yardımcı Rezonans Komutasyonlu Kutuplu Evirici (ARCPI) [24]

Doğrusal olmayan komutasyonlu rezonans kutuplu evirici (NLRPI) Şekil 2.7’de gösterilmektedir. Bu devrenin ARPCI’den farkı yardımcı komutasyon devresi yerine doğrusal olmayan endüktansın kullanılmasıdır. Bu yapıda doyumsuz endüktansın faydaları, rezonans endüktansı üzerinde düşük Volt-Amper oranı, düşük akım oranı, aktif anahtarların diyotlarıyla, düşük iletim süresidir [24].



Doğrusal olmayan endüktansın enerji dengesi anahtarlama peryodunda sifıra eşit olmazsa artık enerji oluşur (kontrollü akım kaynağı kondansatörlerin orta noktasına bağlanarak artık enerjinin kompanzasyonu sağlanır) ve NLRPI kararsız konuma girdiği için bu evirici yapısının kontrol zorluğu endüktans yapısının enerji dengesiyle alakalıdır. Yardımcı anahtarların seçimindeki güçlük ve ek elemanlar eviricinin kamaşıklığını arttırmasına karşın, rezonans tabanlı bastırma temelli toplojisinin yararları PWM çalışmanın faz ayaklarından bağımsız olması ve yüksek verim olarak sayılabilir [24].



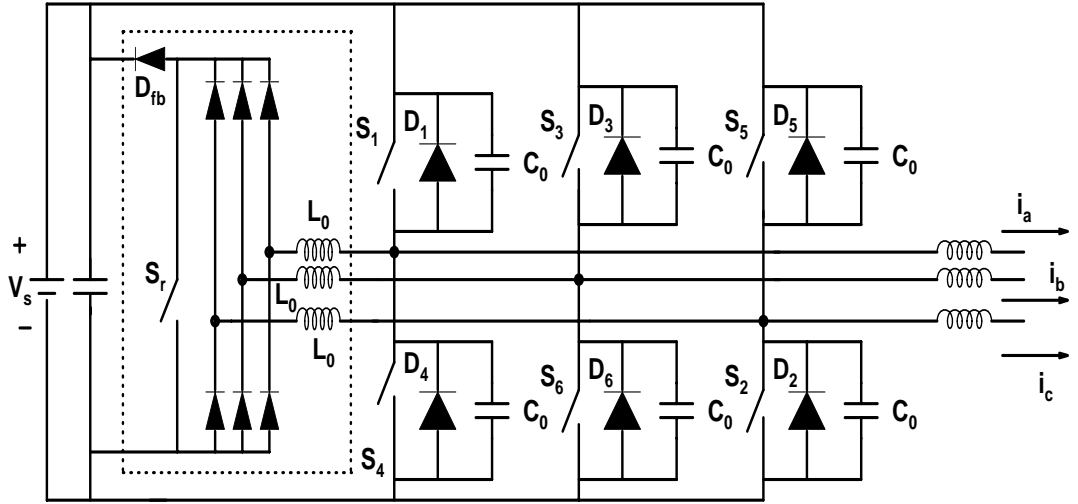
Şekil 2.7: Doğrusal Olmayan Komutasyonlu Rezonans Kutuplu Evirici (NLRPI) [24]

#### 2.4. Yumuşak Geçişli Eviriciler

Bu kavram başlangıçta AC-DC ve DC-DC yapıları için uygulanmış, eviricilerle genişletilmiştir. Yumuşak geçiş yapısı, evirici ve PWM yapılarının birleşmesinden oluşur. DC hat gerilimi sabit iken, evirici yapısı klasik PWM gibi çalışır. Yardımcı hücre, evirici anahtarlarının yumuşak geçişle çalışmasını sağlamak için anahtarlama geçiş anlarında yapılır. Yardımcı anahtarlar rezonansı aktive edebilmek için eviricilerle eş zamanda çalışmalıdır [24].

### 2.4.1. ZVT eviricisi

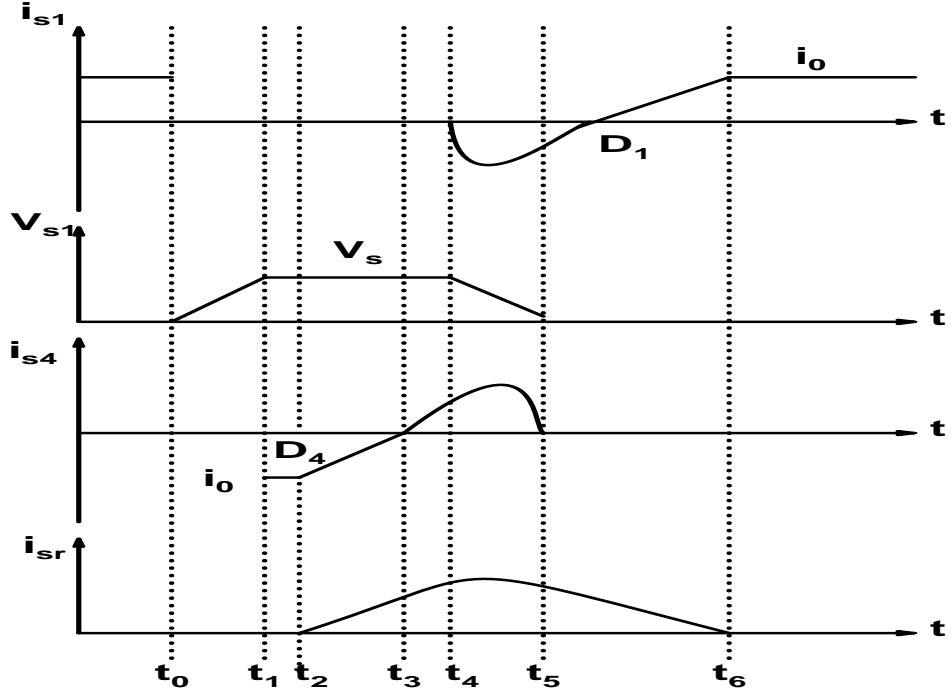
Yumuşak geçişli ZVT eviricisinin devresi Şekil 2.8’de, dalga şekilleri ise Şekil 2.9’da verilmiştir. Bu evirici yardımcı rezonans komutasyonlu kutuplu eviricinin (ARCPI) geliştirilmiş durumudur. Şekil 2.8’deki ZVT eviricisinin yardımcı komutasyon devresinde düşük güç seviyeli diyotlar mevcuttur. Yardımcı anahtar  $S_r$  anahtarının ZVT komutasyonuna etki eder.  $D_{fb}$  diyodu depolanan enerjiyi DC tarafa aktarır. Bütün diyotlar ve ana anahtarlar ZVT altında anahtarlanırken, sıfır akımda iletim ve kesim durumu hedeflenir. Bu anahtarlama kayıpları ciddi şekilde azaltılması sonucunu doğurur. ZVT’li PWM yapılarında rezonansın toplam periyodun bir parçası olduğu uygulamaları, ancak MOSFET ve IGBT gibi güç anahtarlarıyla yapılabilir. Bu nedenle ZVT’li PWM devresi klasik anahtarlama eviricilere göre yüksek frekanslarda daha rahat çalışır [24]. Yumuşak anahtarlama sırasında yük akımından bağımsız trafolu ZVT eviricisi mevcuttur[25].  $S_1, S_2, S_6$  anahtarlarını iletimde olursa,  $i_a$  akımı eviriciden dışarı yöne iken diğer faz akımları eviricinin içe doğrudur. Sıfır gerilimde anahtarlama  $C_0$  ve yük endüktansı gerçekleştirir [24].



Şekil 2.8: ZVT Eviricisinin Devre Şeması [24]

$t=t_1$  anında ana hat akımları  $D_3, D_4$  ve  $D_5$  üzerinden geçer.  $t=t_2$  iken  $S_r$  yardımcı anahtarı etkin hale getirilerek  $L_0$  endüktansı dolmaya başlar.  $t=t_3$ ’den sonra  $D_3, D_4$  ve  $D_5$  üzerindeki akım sıfır olduktan sonra  $S_3, S_4$  ve  $S_5$  anahtarları  $t=t_4$  anına kadar yardımcı devreyi etkiler [24].

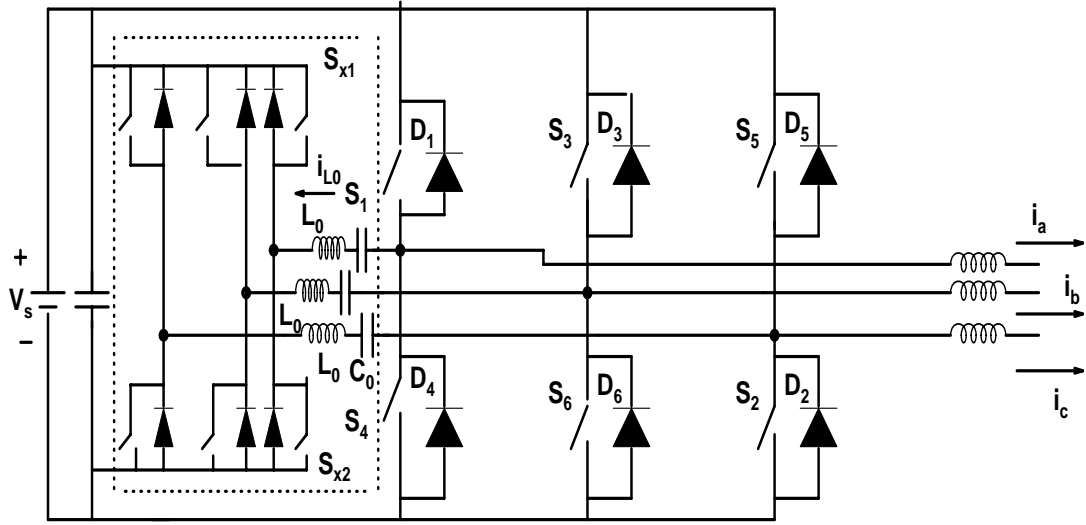
$L_0$  ve  $C_0$  arasındaki rezonans, etkin anahtarların sıfır gerilimde kesime girebilme şartını sağlamalıdır. Aynı durumlar daha sonra  $S_1, S_2$  ve  $S_6$  anahtarları içinde gerçekleşmelidir [24].



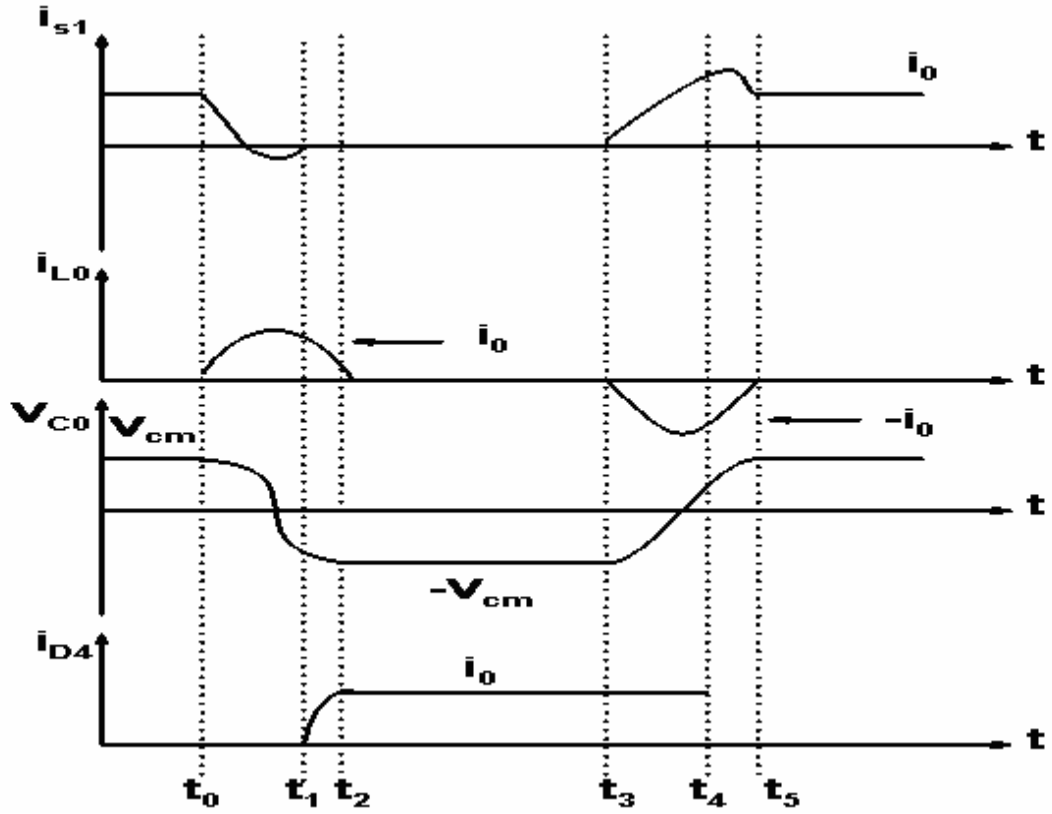
Şekil 2.9: ZVT Eviricisinin Dalga Şekilleri [24]

#### 2.4.2. ZCT eviricisi

Yumuşak geçişli ZCT eviricisi Şekil 2.10'da, dalga şekilleri ise Şekil 2.11'de verilmiştir. Bu eviriciler yüksek güçlü tristörlü evirici devrelerinde kullanılan akım darbe zorlamalı komutasyon devrelerinin değiştirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Aktif anahtarların üzerindeki akım ve gerilim topolojileri bu eviricilerin üstünlüğünü, yardımcı anahtarlar ve diyotların davranışı ise dezavantajını oluşturur. Bütün aktif anahtarlar ZCS altında kesime ve iletme girer [24].



Şekil 2.10: ZCT Eviricisinin Devre Şeması [24]



Şekil 2.11: ZCT Eviricisinin Dalga Şekilleri [24]

$S_{x1}$  anahtarı aktif olduğunda  $S_1$  ana anahtarı kesime gider,  $C_0$  kondansatörü  $V_{cm}$  gerilimine ulaşır.  $t=t_1$ 'den  $t=t_2$ 'ye kadar  $D_4$  diyotundaki akım artar.  $t=t_2$ 'de  $C_0$  kondansatörü  $-V_{cm}$  değerine ulaşır ve  $t=t_3$ 'e kadar bu değerini korur. Rezonans kondansatöründe biriken enerji,  $t=t_3$ 'den sonra  $S_1$  ana anahtar akımının ilettime geçmesiyle değişmeye başlar [24].

Evirici köprüsünün diyotları ve yardımcı anahtarlar kesim için yumuşak anahtarlama amaçlamadığı için kesimde ters toparlanma kayıpları oldukça sorunludur. Sonuç olarak, rezonans hücresinin elemanları rezonans bastırma temelli eviricilerinin (RSI) bastırma yapıları ile değiştirilebilir. Hedef bu yapıların geliştirilmesidir [24].

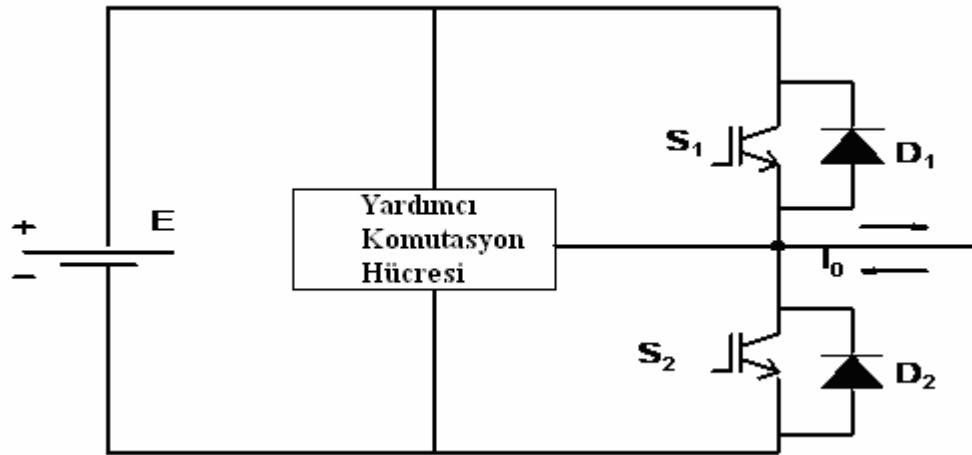
## 2.5. Rezonans Hatlı Eviriciler

Rezonans hatlı eviricide rezonans hücresi evirici köprüsünden DC hatta ötelenmiştir. Rezonans hücresinin yapısına ve anahtarlama sinyaline bağlı olarak rezonans hatlı evirici ikiye ayrılır. Paralel rezonanslı AC Hat dönüştürücülerinde, rezonans hücresi akım ara devreli DC bara ve inverter köprüsü arasına bağlanır. Rezonans elemanları  $L_o$  ve  $C_o$ 'dır. Evirici köprüsünün sıfır gerilim anlarında iletim ve kesime giderek anahtarlama kayıpları azaltılabilir. Seri rezonanslı AC Hat dönüştürücülerinde ise giriş gerilimi doğrultularak hat akımı girişteki doğrultucuyla değiştirilebilir. Bu hattaki reaktif elemanların yüksek hat frekansı için küçük seçilmesi zorunludur [24].

Rezonans hatlı eviriciler, genel olarak AC hat rezonanslı evirici (RACLC) ve DC hat rezonanslı eviriciler (RDCLC) olarak iki ana gruba ayrılır. Hattın dalga biçimi RACLC'de AC, RDCLC'de ise DC tabanlıdır. RACLC'de, iki yönlü; RDCLC'de ise tek yönlü anahtarlar kullanılarak ZVS ve ZCS koşullarını gerçekleştirebilecek devre yapılarına sahiptirler [24]. Paralel rezonanslı DC hatlı yumuşak anahtarlama eviriciler, darbe genişlik modülasyonuna uygundur [26].

### BÖLÜM 3. REZONANS GEÇİŞLİ EVİRİCİLER

Rezonans geçişli eviricilerde giriş hat gerilimi gerilim ara devreli (VSI) veya akım ara (CSI) devrelidir. PWM yöntemi ve yumuşak anahtarlama teknikleri bu eviricilerde de kullanılmaktadır. Yardımcı hücre, evirici anahtarlarının yumuşak geçişini sağlamak amacıyla sadece anahtarlama geçiş periyotlarında çalıştırılmaktadır [27]. Yumuşak anahtarlı yüksek frekanslı klasik PWM'li evirici Şekil 3.1'de verilmektedir.

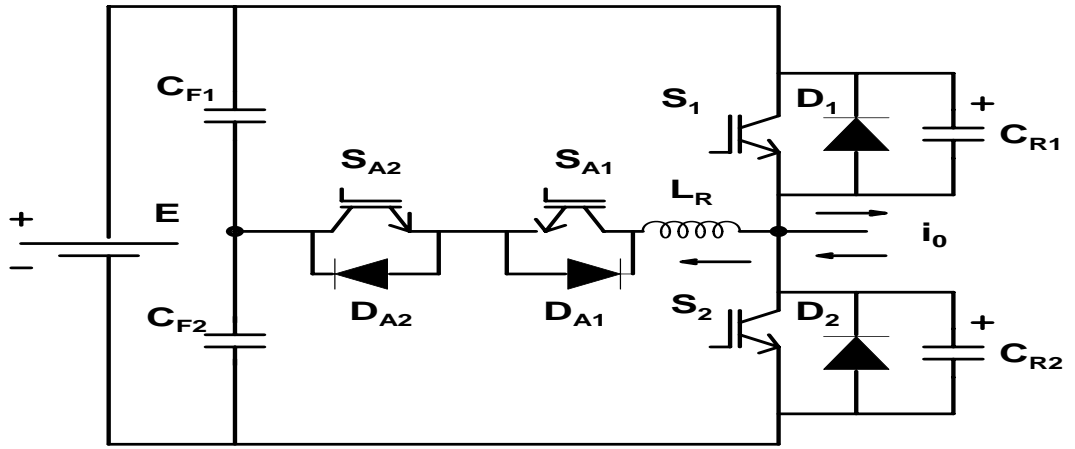


Şekil 3.1: Tek Fazlı Yardımcı Komutasyon Hücreli Evirici [27]

Komutasyon hücresi aşırı akım ve gerilim salınımlarının azalmasına katkı sağlar. Oluşan rezonansla elektromanyetik girişimin etkisi düşerken, anahtarlama stresleri en az seviyeye indirilmektedir. ZVS'li kısmi rezonanslı eviricinin en büyük dezavantajı akım stresleri, ZCS'li kısmi rezonanslı eviricide ise düşük akım oranlarına karşın yüksek gerilim oranlarına sahip olmasıdır. Rezonans bastırma temelli eviricilerde ana anahtarlar GTO ve IGBT gibi kendinden sönmümlü anahtarlarla ZVS'de, yardımcı anahtarlar ise ZCS'de çalışmaktadır. Yardımcı rezonans komutasyonlu kutuplu evirici (ARCPI) ile hedef, rezonans endüktansının ana güç hattından uzaklaşmasıdır. Rezonans geçişli eviricilerin temelinde ise (ZVT, ZCT , ZCZVT eviricileri) ARCPI yer almaktadır [27].

### 3.1. Yumuşak Geçişli ZVT Eviricileri

ZVT'li rezonans geçişli eviricilerin en önemlilerinden birisi Şekil 3.2'de belirtilen ARCPI'dır. ZVT eviricilerin çalışma topolojisinde, ana anahtarlar sıfır gerilimde yardımcı anahtarlar ise sıfır akımda anahtarlanır. Yardımcı rezonans hücresi yük akımına bağlı olmadığı anlarda kondansatörlerin dolma boşalma zamanlarında etkili olur. Ana anahtar için IGBT kullanılarak kesimdeki yüksek anahtarlama kayıpları azaltılır [27].

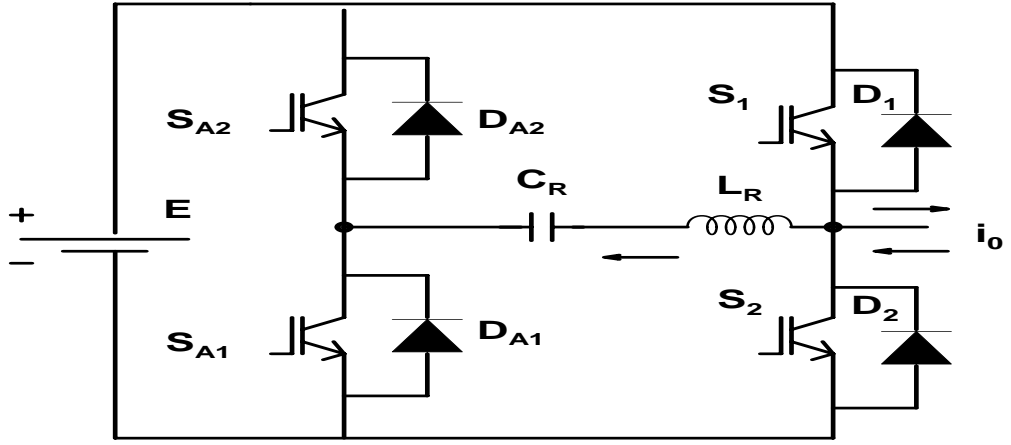


Şekil 3.2: Yumuşak Geçişli ZVT Evirici [27]

Yardımcı rezonans hücresinde değişiklikler yapılarak yeni rezonans hücresi oluşturmak mümkündür. Transformatörün gerilim oranından ötürü akım aşırı dalgalanmayabilir. Yardımcı anahtarlar sıfır akım durumu dışında kesimdedir ve transformatörün yapısından ötürü komutasyon süresi sınırlanır. Tek fazlı ZVT'li eviricilerde kuplajlı endüktanslar oldukça kullanılmaktadır [27].

### 3.2. Yumuşak Geçişli ZCT Eviricileri

Bu eviricilerde yardımcı rezonans hücresi yük akımı varken komutasyona geçirilir. Ana anahtarlar ZCS altında çalıştırılır. Yumuşak geçişli ZCT evirici Şekil 3.3'de verilmektedir. Bu eviricilerde tüm anahtarların komutasyonu sıfır akımda gerçekleştirilir. Anahtarlama stratejisine bağlı olarak bu devre farklı şekillerde çalıştırılabilir. ZCT ve ZC-NZVT bunlardan ikisidir [27].



Şekil 3.3: Yumuşak Geçişli ZCT Evirici [27]

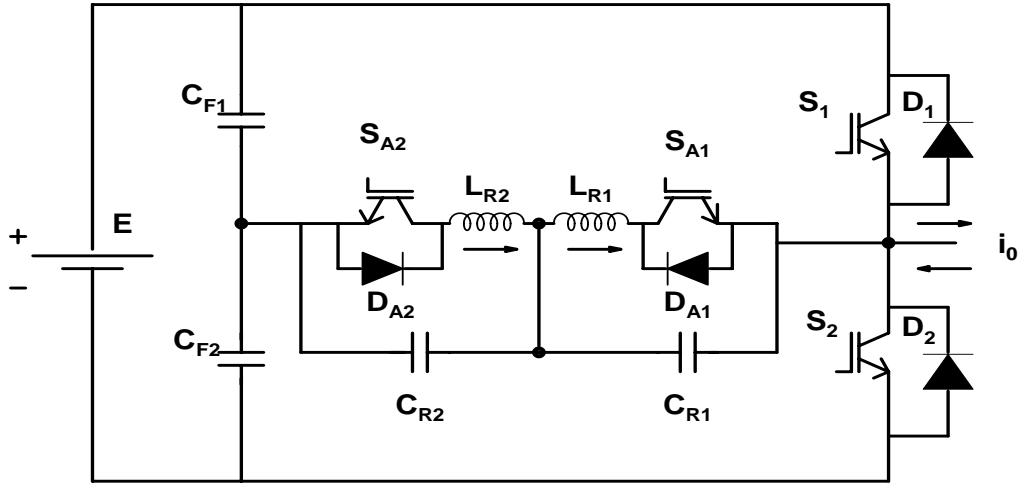
ZCT eviricilerinde ana anahtarlar iletimdeyken ortaya çıkan gerilim, iletim kapasitif kayıpları olarak bilinir. Ana diyodun ters toparlanma kayıpları ile ilgili problem istenilen seviyede değildir. Yardımcı anahtarlar çıkış gerilim seviyesine ulaştığı anda, ana anahtarlar o anda hemen iletime girmelidir. Buradan çıkış akımının anlık değerine bağlı olduğu sonucu ortaya çıkar, bu da daha karmaşık bir devreyi gerektirir [27].

### 3.3. Yumuşak Geçişli ZCZVT Eviricileri

Yumuşak geçişli ZCZVT evirici Şekil 3.4’de verilmektedir. Bu topolojide ana anahtarlar devrenin çalışma yapısına uygun olarak iletim ve kesime girerler. Yardımcı devre sadece komutasyon sırasında devrededir ve çıkış akımını üzerine alır, ayrıca ana anahtarların ve diyotların yumuşak anahtarlaması sırasında çalışır. Ana anahtarlar sıfır akımda kesime girdiğinden, devredeki parazitik endüktansın olumsuzluk etkisini önemli ölçüde azaltır ve sıfır gerilimde iletime girdiğinde ise elemanların kapasitif etkisini önemli ölçüde azaltır. Akım ve gerilim değişimlerinin kontrol edilmesinden dolayı ana diyodun ters toparlanma etkisi en az seviyededir ve EMI azaltılmaktadır [27].

Yardımcı devrenin süresi çıkış akımının anlık değerinde etkili değildir. MOSFET, IGBT ve MCT gibi güç elemanlarıyla ZCZVT komutasyonunu gerçekleştirmek mümkündür [27].

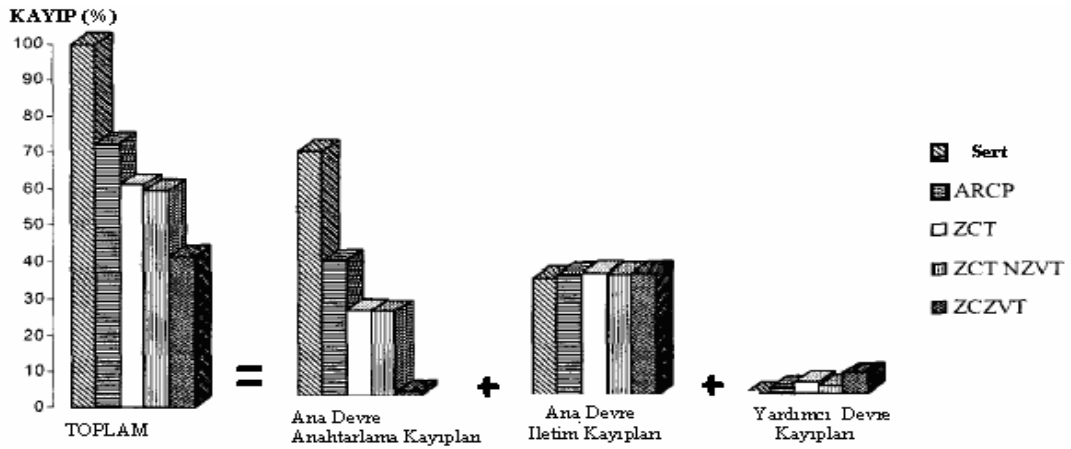




Şekil 3.4: Yumuşak Geçişli ZCZVT Evirici [27]

### 3.4. Evirici Tekniklerinde Kayıplar

Yumuşak geçişli eviricilerin tasarımında güç kayıpları oldukça önemlidir ve bu durumlarda uygun soğutucuların kullanılması gerekmektedir. İyi bir sonucun alınması için pasif elemanların, iletim ile anahtarlama kayıpları ve geçiş sıcaklıklarının bilinmesi gerekir. Şekil 3.5’de yumuşak geçişli evirici teknikleri için anahtarlama, iletim, yardımcı devre kayıpları birlikte gösterilmiştir. Toplam kayba bakıldığında ZCZVT tekniğinin diğer tekniklerden daha iyi olduğu görülmektedir [27].



Şekil 3.5: Yumuşak Geçişli Evirici Tekniklerinde Kayıplar [27]

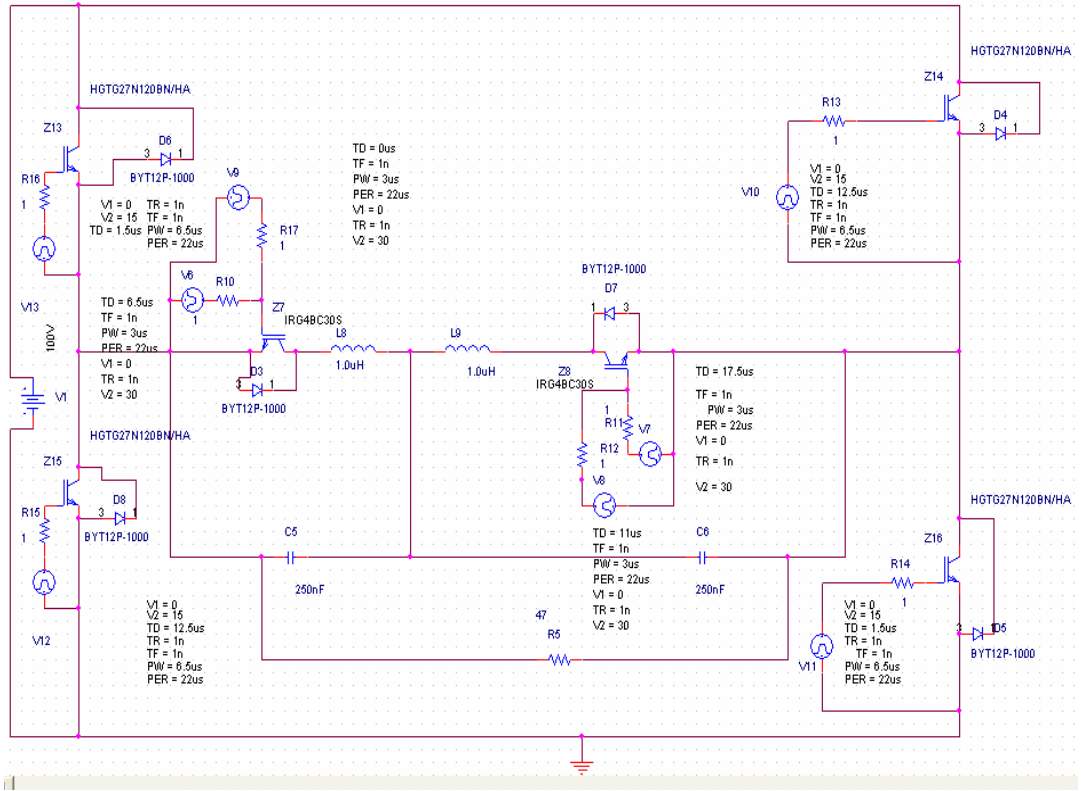
Maksimum verim elde edebilmek için yumuşak geçişli eviricilerde ana anahtarlardaki iletim ve kesim kayıpları azaltılmalıdır. Ayrıca yardımcı hücredeki anahtarlar yumuşak anahtarlanmalıdır. Yumuşak geçişli eviricilerdeki komutasyon elemanlarının veya devrelerin, aşırı gerilime, akıma veya ısı stresine neden olmaz. Yardımcı eleman sayısının düşük olması, fiyatının düşmesine ve devrenin basitleşmesine neden olmaktadır. Yapılan ZCT, ZVT ve ZCZVT çalışmalarının tablolardan verilen özellikleri pratik evirici uygulamalarına katkı sağlamaktadır. Geliştirilen ZCT ve ZCT-NZVT topolojileri kesimde ana anahtarlardaki anahtarlama kayıplarını azaltmaktadır, ancak rezonans kapasitesi üzerindeki gerilim stresi ve diyot üzerindeki ters toparlanma kayıpları mevcuttur. ZCZVT topolojisinde, ana anahtarlar sıfır gerilim ve sıfır akım altında iletime ve kesime girerler. Sıfır gerilim ve sıfır akımda iletimde pratik olarak ana diyot üzerindeki ters toparlanma gerilimi sıfıra gelir. Buna karşın yardımcı devre üzerinde yüksek akıma neden olmaları olumsuz taraftır. Yumuşak geçişli eviricilerde IGBT ve diyotların çalışma sıcaklıkları ve kayıpları hesaplanabilir. Yüksek verim bu yönde yapılan çalışmalarda en önemli unsur olmasına karşın EMI gürültüsü, çıkış gerilim aralığı ve karmaşıklığı da dikkate alınması gereken diğer unsurlardır [27].

## BÖLÜM 4. YENİ BİR YUMUŞAK ANAHTARLAMALI EVİRİCİ

### 4.1. Giriş

Bu bölümde yumuşak anahtarlamalı rezonans geçişli eviriciler ayrıntılı incelenerek belli devrelerin benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda yumuşak geçişli yeni bir ZCZVT evirici önerilmektedir.

Çalışma aralıkları incelenerek, sonuçlar benzetimle desteklenmiştir. Tasarlanan yeni ZCZVT evirici devresi Şekil 4.1’de verilmektedir.



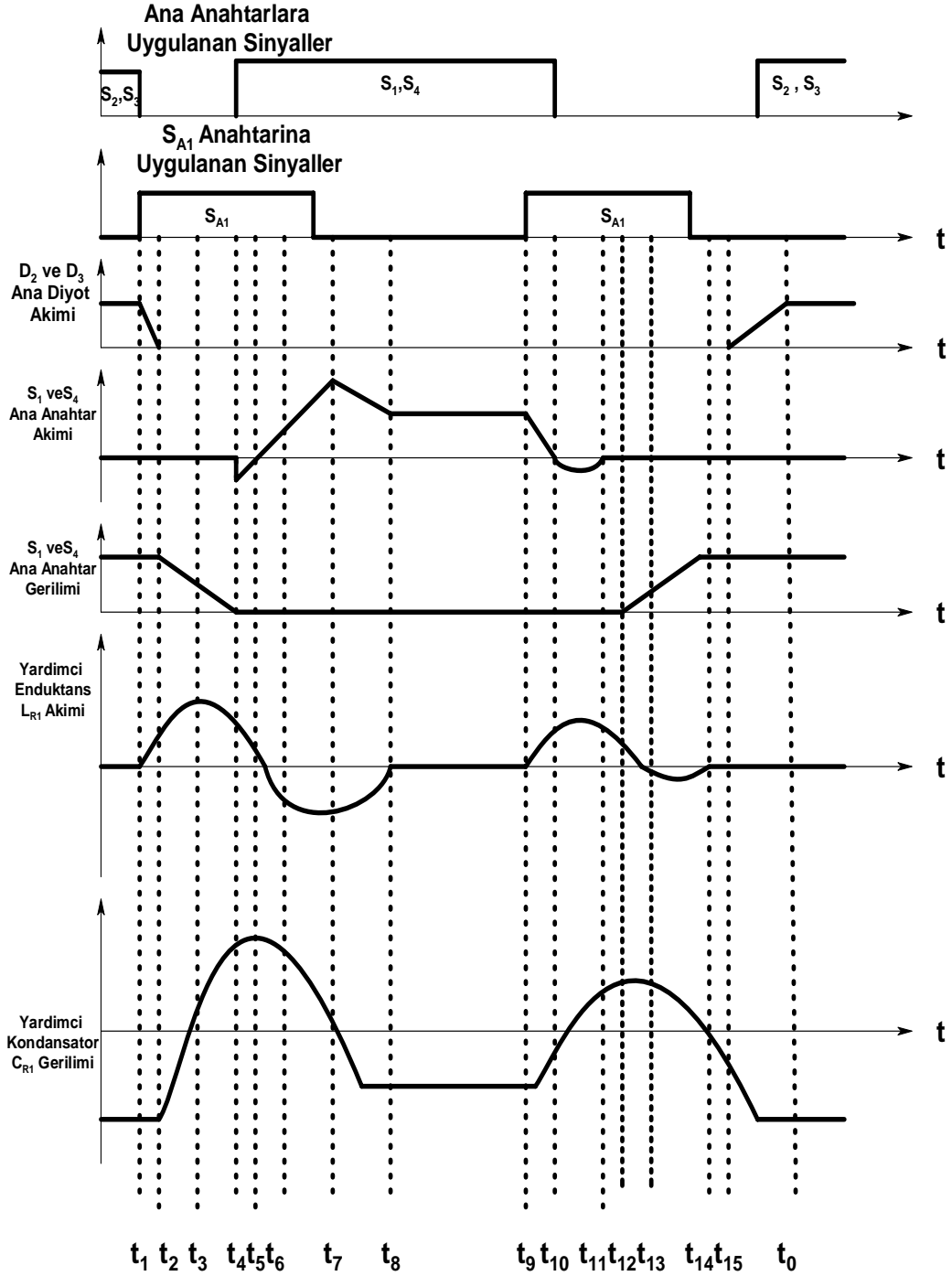
Şekil 4.1: Orcad 10.5 Programıyla Gerçekleştirilen ZCZVT Evirici Devresi

ZCZVT evirici devresinde olması gereken bazı teorik dalga biçimleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Benzetim Orcad 10.5 programı kullanılmıştır. Ayrıca ortak hava aralıklı endüktanslı devrenin benzetimi için Micro-Cap 8 Guap Edition programı kullanılarak dalga şekilleri ve devre şeması Ek-A’da verilmiştir.

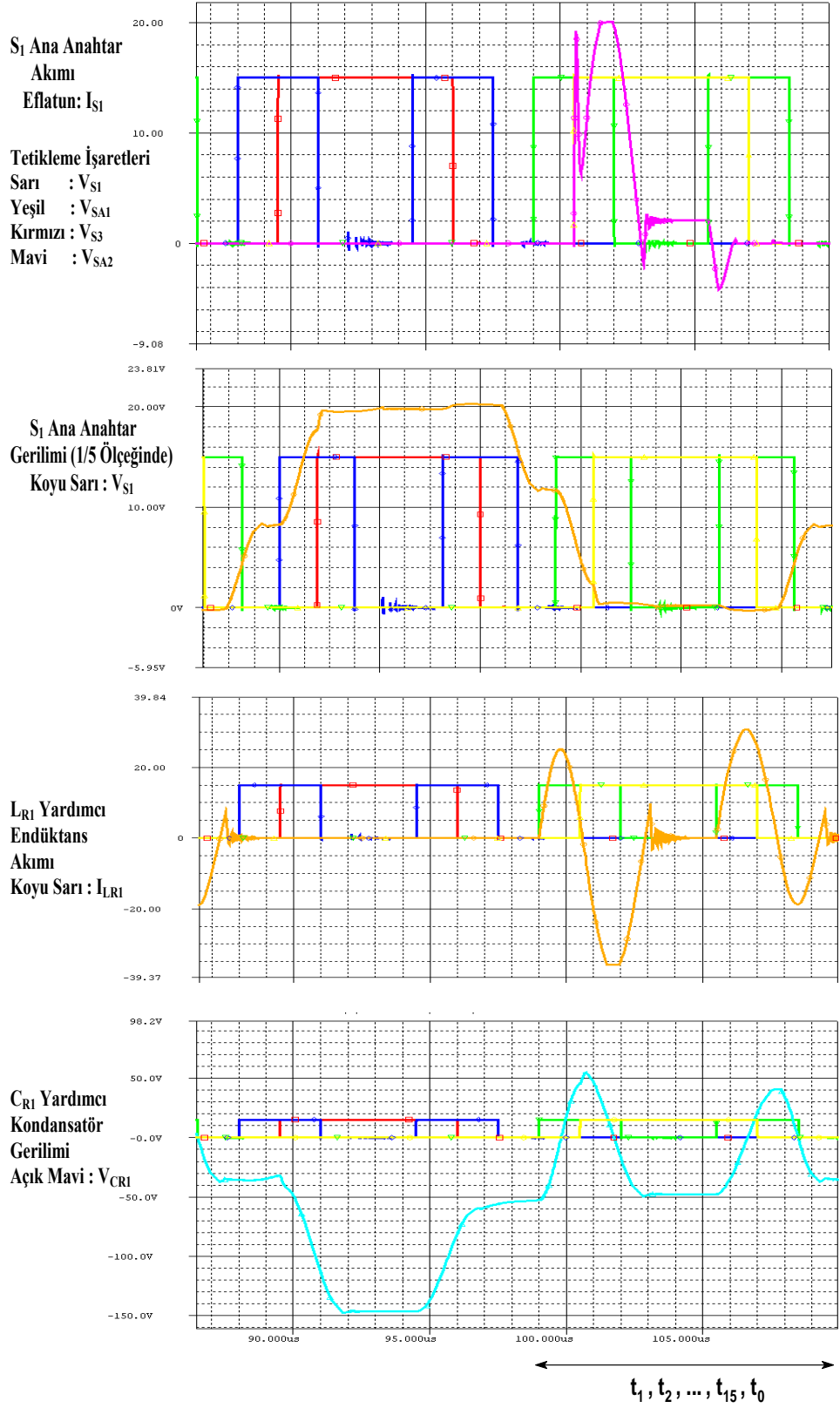
Orcad 10.5 programıyla yapılan benzetimde kullanılan bazı parametreler:

$L_{R1}=L_{R2}=1\mu\text{ H}$  ,  $C_{R1}=C_{R2}=250\text{ nF}$  ,  $E=100\text{ Volt}$ ,

Ana Anahtarlar : HGTG27N120BN/HA , Yardımcı Anahtarlar : IRG4BC30S

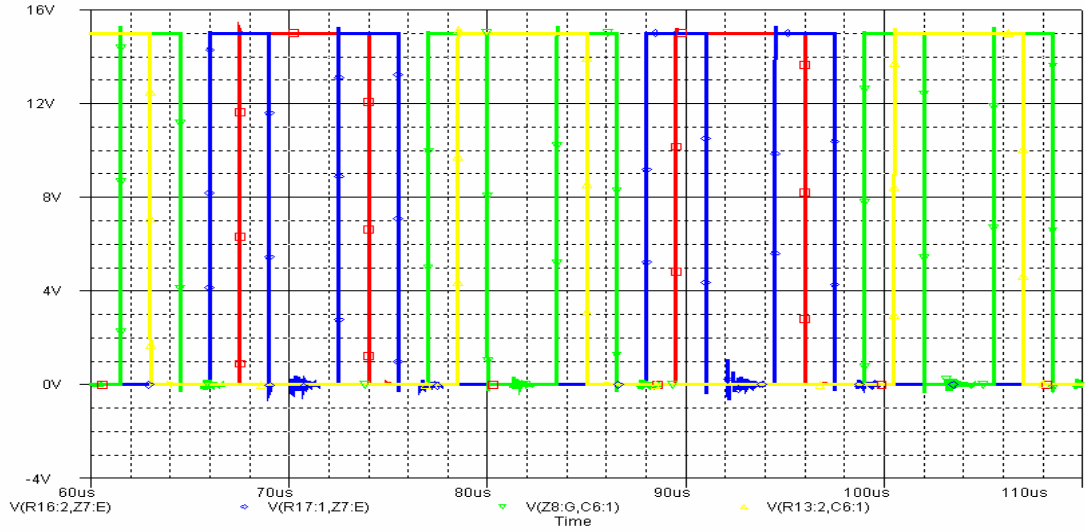


Şekil 4.2: Bağımsız İki Endüktanlı ZCZVT Evircisinin Teoriksel Dalga Şekilleri [28]



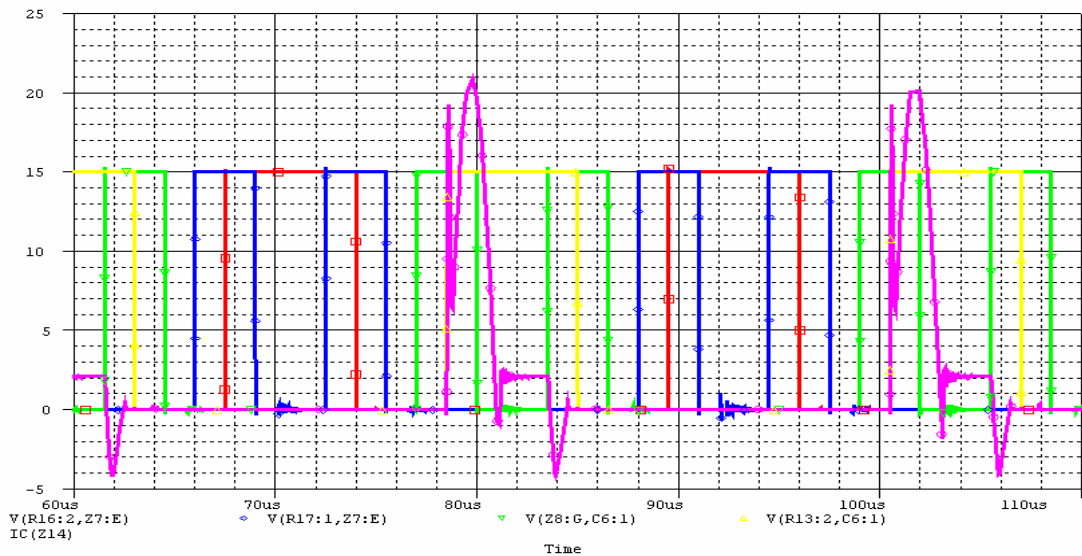
Şekil 4.3: Bağımsız İki Endüktanslı ZCZVT Evircisinin Benzetim Dalga Şekilleri

Orcad programı ile kurulan ZCZVT evircisinin teoriksel dalga şekillerinin Şekil 4.3 ile uyumlu olduğu görülmektedir.



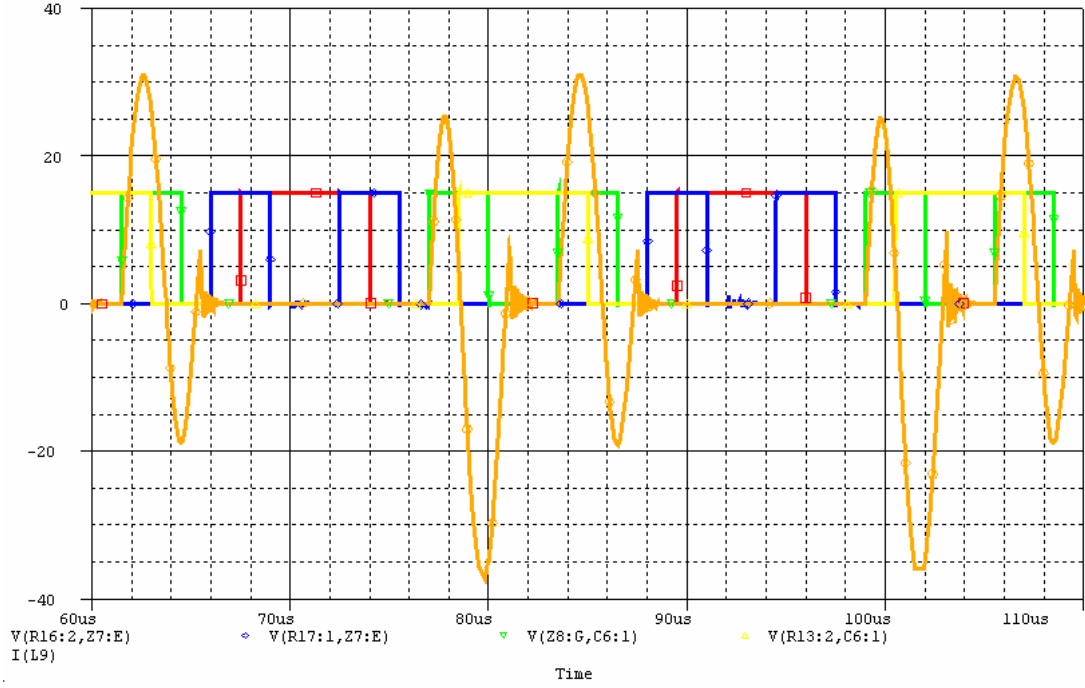
Şekil 4.4: Ana ve Yardımcı Anahtarlardaki Tetikleme İşaretleri [Sarı : S1, Yeşil :SA1, Kırmızı:S3, Mavi:SA2 ]

Şekil 4.4'te  $S_1$  ile  $S_3$  ana ve  $S_{A1}$  ile  $S_{A2}$  yardımcı anahtarlarına uygulanan tetikleme işaretleri verilmiştir. Devrenin çalışmasında sarı renkli kontrol işareti  $S_1$  ile  $S_4$  anahtarlarına, kırmızı renkli kontrol işareti ise  $S_2$  ile  $S_3$  kontrol işaretlerine uygulanır. Mavi renkli kontrol işaretleri  $S_{A2}$  anahtarına, yeşil renkli kontrol işaretleri ise  $S_{A1}$  anahtarına uygulanır. Şekil 4.5'te  $S_1$  ana anahtar akımıyla kontrol işaretleri arasındaki ilişki verilmiştir.



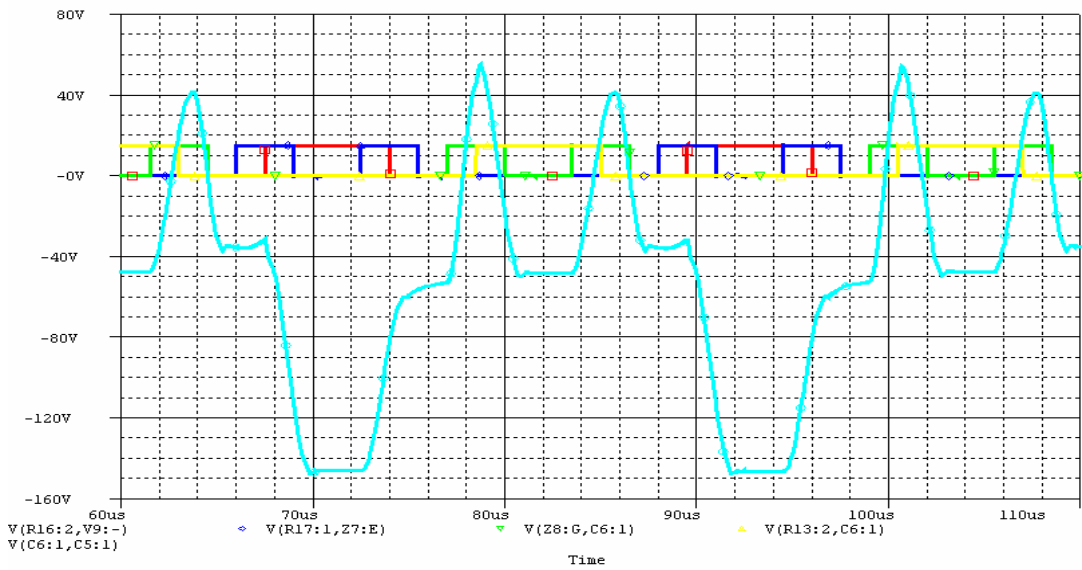
Şekil 4.5: Ana ve Yardımcı Anahtarlardaki Tetikleme İşaretleriyle S1 Ana Anahtar Akımı Arasındaki İlişki [Eflatun: S1 Ana Anahtar Akımı]

$S_{A1}$  yardımcı anahtarına kontrol işaretleri uygulanmasıyla, rezonastan ötürü  $L_{R1}$  endüktansında oluşan akımın dalga biçimi Şekil 4.6’da verilmektedir.

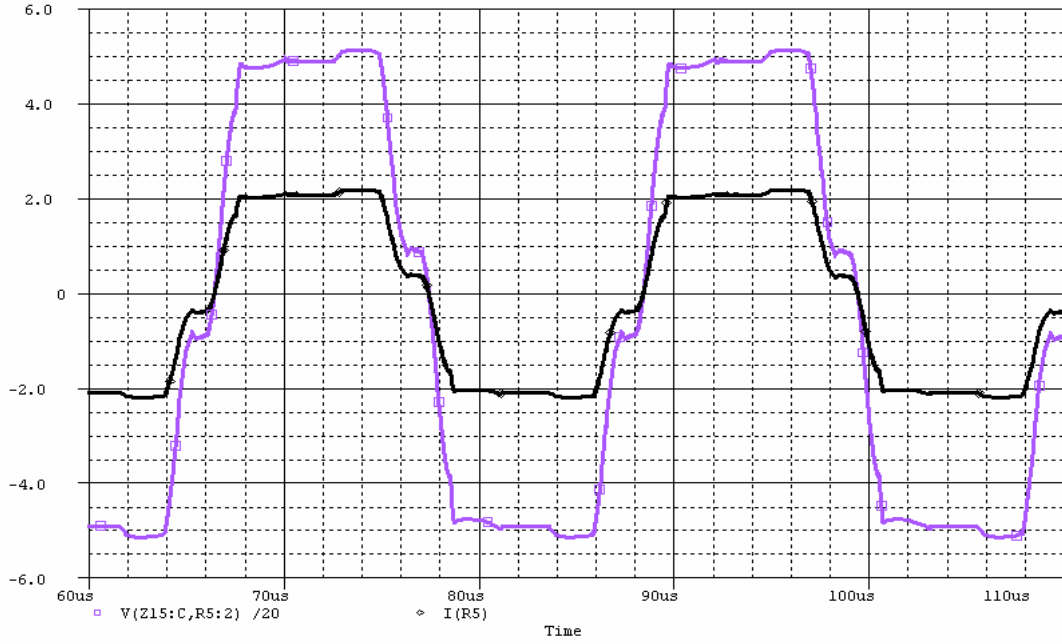


Şekil 4.6: Ana ve Yardımcı Anahtarlardaki Tetikleme İşaretleriyle  $I_{LR1}$  Yardımcı Anahtar Akımı Arasındaki İlişki [Koyu Sarı:  $I_{LR1}$  Yardımcı Anahtar Akımı]

Devrenin  $C_{R1}$  kondansatörü üzerindeki gerilim etkisi Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.2’de verilen  $t_8 - t_9$  aralığı ile sadece  $S_1$  anahtarının etkin bölgesinin örtüştüğü, Şekil 4.7’de açıkça görülmektedir.

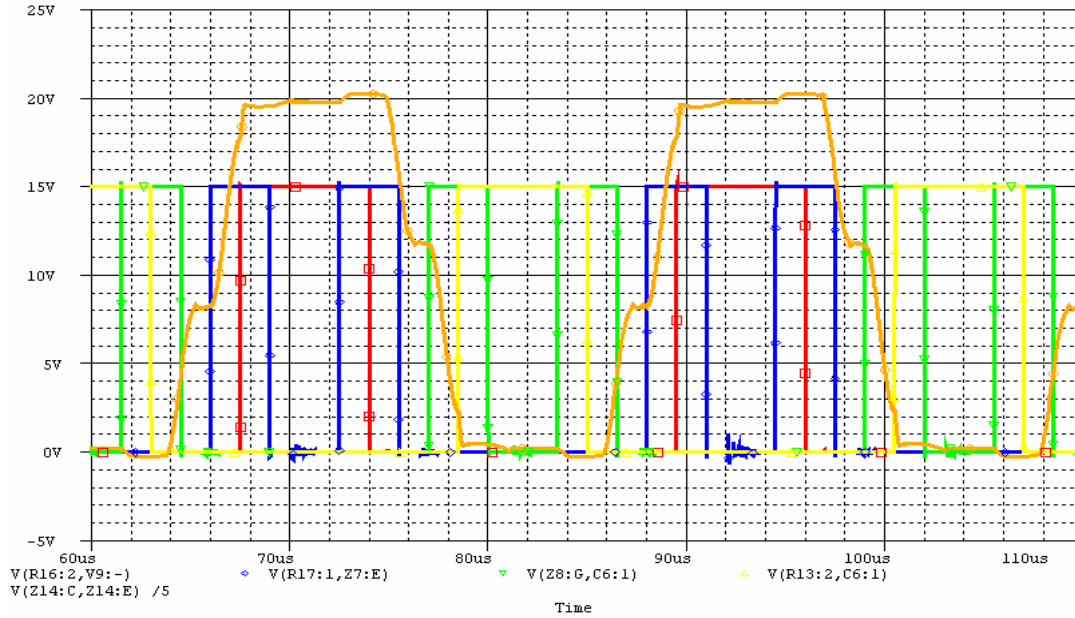


Şekil 4.7: Ana ve Yardımcı Anahtarlardaki Tetikleme İşaretleriyle  $V_{CR1}$  Rezonans Kapasite Gerilimi Arasındaki İlişki [Açık Mavi :  $V_{CR1}$  Rezonans Kapasite Gerilimi]



Şekil 4.8: Yük Akımı ile Yük Gerilimi Arasındaki İlişki [Siyah : Yük Üzerindeki Akım, Menekşe: Yük Üzerindeki Gerilim Olup 1/20 ölçeğinde gösterilmiştir]

Yük akımı ile yük gerilimi ise Şekil 4.8’de verilmektedir.  $V_{S1}$  ana anahtar gerilimi,  $S_3$  ana anahtarına uygulanan kontrol işaretinin olduğu bölgede bara gerilimini üzerine almaya çalıştığı Şekil 4.9’da görülmektedir.

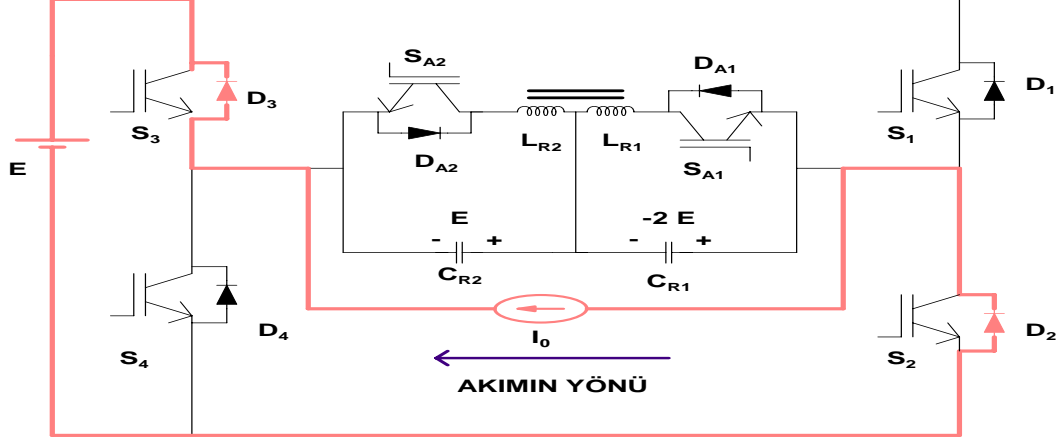


Şekil 4.9: Ana ve Yardımcı Anahtarlardaki Tetikleme İşaretleriyle  $V_{S1}$  Ana Anahtardaki Gerilim Arasındaki İlişki [Koyu Sarı :  $V_{S1}$  Ana Anahtardaki Gerilimi 1/5 Ölçeğindedir]



## 4.2. Sunulan Eviricinin Çalışma Aralıkları

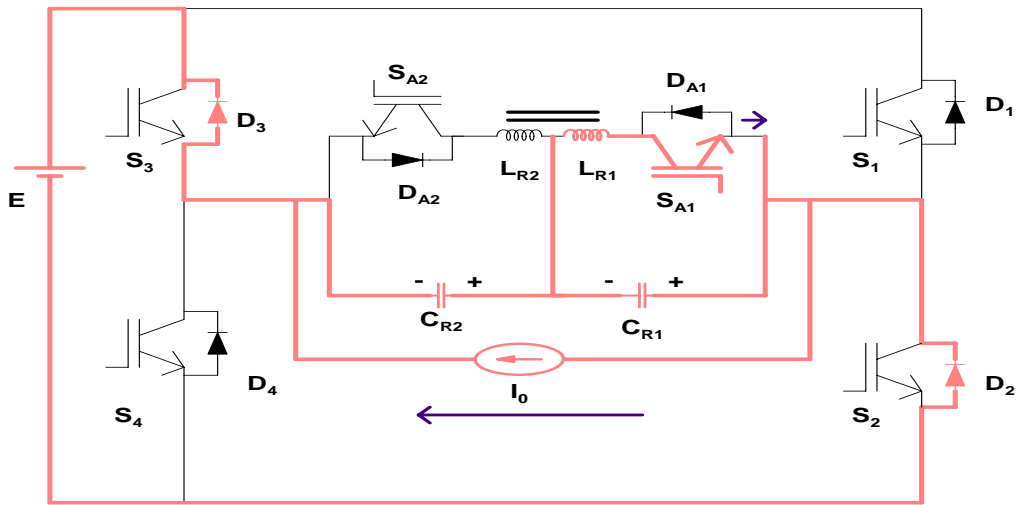
### 4.2.1. Birinci aralık ( $t_0-t_1$ ) – ( $t_0 < t < t_1$ )



Şekil 4.10: ( $t_0 < t < t_1$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

Birinci aralıkta devrenin durumu Şekil 4.10'da verilmektedir.  $I_0$  çıkış akımı  $D_2$  ve  $D_3$  diyotları arasından geçer. Rezonans kapasite gerilimleri  $V_{CR1}(t) = -2E$ ,  $V_{CR2}(t) = E$  değerindedir [28].

### 4.2.2. İkinci aralık ( $t_1-t_2$ ) – ( $t_1 < t < t_2$ )



Şekil 4.11: ( $t_1 < t < t_2$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

İkinci aralıkta devrenin durumu Şekil 4.11’de verilmektedir.  $S_{A1}$  yardımcı anahtarına kontrol sinyali uygulandığında bu aralık başlar. Bu andan itibaren  $I_{LR1}$  akımı  $L_{R1}$ ,  $C_{R1}$  ve  $C_{R2}$  arasındaki rezonans nedeniyle artarken  $D_2$  ve  $D_3$  diyot akımları aynı oranda azalır. Bu diyotlardan geçen akımın sifıra düşmesiyle de bu aralık sona erer [28].

$$Z_1 = sL_{R1} // 1/sC_{R1} = \frac{s/C_{R1}}{s^2 + \omega_0^2}, \omega_0^2 = \frac{1}{L_{R1}C_{R1}} \quad (4.1)$$

$$V_{CR2} = E - \frac{(I_0 - I_{D3})}{C_{R2}}(t - t_1) \quad (4.2)$$

$$V_{CR1} = (I_0 - I_{D3})Z_0 \sin \omega_0(t - t_1) - 2E \cos \omega_0(t - t_1) \quad (4.3)$$

$$I_{LR1} = I_i - (I_0 - I_{D3}) \cos \omega_0(t - t_1) - \frac{2E}{Z_0} \cdot \sin \omega_0(t - t_1) \quad (4.4)$$

$$I_i = I_0 - I_{D3} \quad (4.5)$$

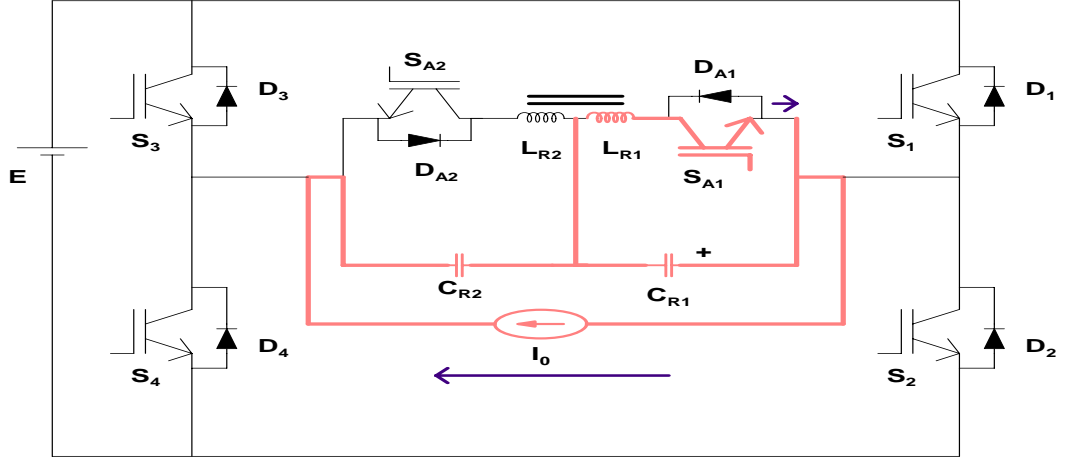
Burada ;

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_{R1}}{C_{R1}}} \text{ veya } \omega_0 C_{R1} = \frac{1}{\omega_0 L_{R1}} = \frac{1}{Z_0} \quad (4.6)$$

olduğu görülmektedir.

### 4.2.3. Üçüncü aralık ( $t_2-t_3$ ) – ( $t_2 < t < t_3$ )

Üçüncü aralıkta devrenin durumu Şekil 4.12’de verilmektedir. Bu aralıkta çıkış akımı doğrusal olarak  $C_{R2}$  üzerinden boşalır.  $V_{CR1}$  kapasite gerilimi  $L_{R1}$  ve  $C_{R1}$  arasında rezonansdan dolayı artar.  $V_{CR2}$  gerilimi sifıra ulaşıp ters yöne geçmeye kalktığına  $D_{A2}$  diyotu ilettime girer ve bu aralık biter [28].



Şekil 4.12: ( $t_2 < t < t_3$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

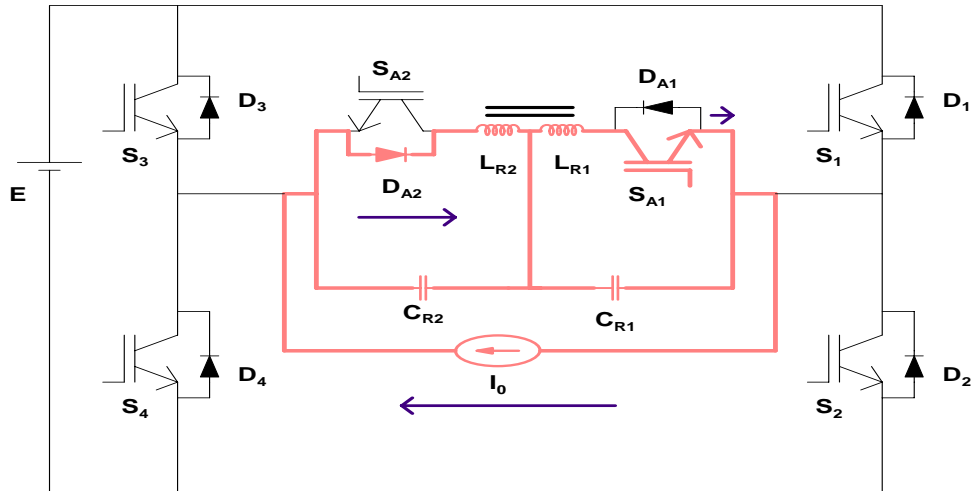
$$Z_1 = \frac{s/C_{R1}}{s^2 + \omega_0^2} \Leftrightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{L_{R1}C_{R1}} \text{ ve } Z_0 = \sqrt{\frac{L_{R1}}{C_{R1}}} \text{ veya } \omega_0 C_{R1} = \frac{1}{\omega_0 L_{R1}} = \frac{1}{Z_0} \text{ eşitlikleri}$$

geçerlidir.

$$V_{C_{R1}} = [I_0 - I_{L_{R1}}(t_2)]Z_0 \sin \omega_0(t - t_2) + V_{C_{R1}}(t_2) \cos \omega_0(t - t_2) \quad (4.7)$$

$$I_{L_{R1}} = I_0 - I_{C_{R1}} = I_0 - [I_0 - I_{L_{R1}}(t_2)] \cos \omega_0(t - t_2) + \frac{V_{C_{R1}}(t_2)}{Z_0} \sin \omega_0(t - t_2) \quad (4.8)$$

#### 4.2.4. Dördüncü aralık ( $t_3-t_4$ ) - ( $t_3 < t < t_4$ )



Şekil 4.13: ( $t_3 < t < t_4$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

Dördüncü aralıkta devrenin durumu Şekil 4.13'de verilmektedir. Bu aralıkta  $V_{CR1}$  ve  $V_{CR2}$  gerilimleri rezonans etkisiyle değişmektedir.  $V_{CR1}$  ve  $V_{CR2}$  toplamı sıfıra inip ters yöne geçmeye kalktığında  $D_1$  ve  $D_4$  diyotları ilettime başlar [28].

$$Z_1 = \sqrt{\frac{L_{R1}}{C_{R1}}}, Z_2 = \sqrt{\frac{L_{R2}}{C_{R2}}}, \text{dir.}$$

$$Z_{T1} = \frac{s/C_{R1}}{s^2 + w_1^2} \Leftrightarrow w_1^2 = \frac{1}{L_{R1}C_{R1}}, Z_{T2} = \frac{s/C_{R2}}{s^2 + w_2^2} \Leftrightarrow w_2^2 = \frac{1}{L_{R2}C_{R2}} \quad (4.9)$$

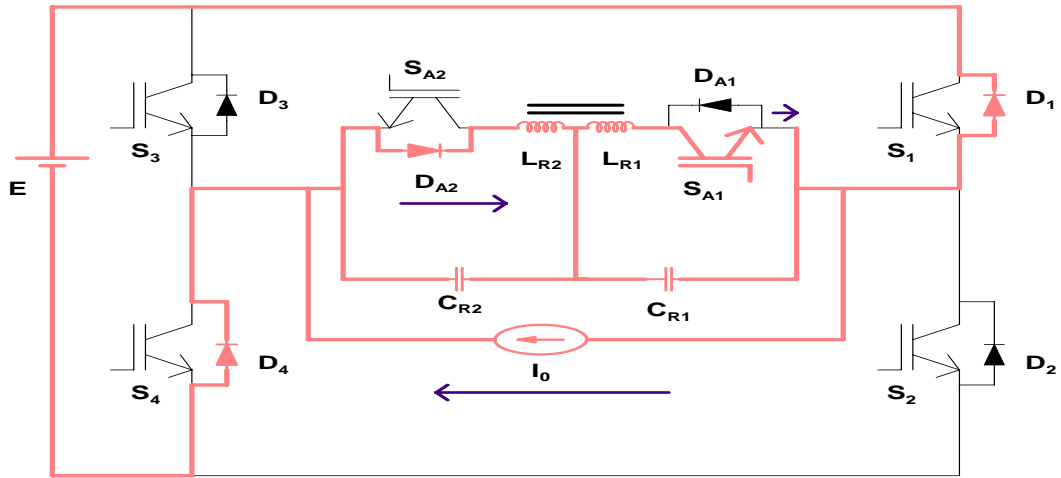
$$V_{C_{R1}} = [I_0 - I_{L_{R1}}(t_3)]Z_1 \sin w_1(t - t_3) + V_{C_{R1}}(t_3) \cos w_1(t - t_3) \quad (4.10)$$

$$V_{C_{R2}} = [I_0 - I_{L_{R2}}(t_3)]Z_2 \sin w_2(t - t_3) + V_{C_{R2}}(t_3) \cos w_2(t - t_3) \quad (4.11)$$

$$I_{L_{R1}} = I_0 - [I_0 - I_{L_{R1}}(t_3)] \cos w_1(t - t_3) + \frac{V_{C_{R1}}(t_3)}{Z_1} \sin w_1(t - t_3) \quad (4.12)$$

$$I_{L_{R2}} = I_0 - [I_0 - I_{L_{R2}}(t_3)] \cos w_2(t - t_3) + \frac{V_{C_{R2}}(t_3)}{Z_2} \sin w_2(t - t_3) \quad (4.13)$$

#### 4.2.5. Beşinci aralık ( $t_4-t_5$ ) – ( $t_4 < t < t_5$ )



Şekil 4.14: ( $t_4 < t < t_5$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

Beşinci aralıkta devrenin durumu Şekil 4.14'de verilmektedir. Bu aralıkta  $D_1$  ve  $D_4$  diyotları iletimdeyken,  $S_1$  ve  $S_4$  ana anahtarlarının iletime geçirilmesi ile ZCS ve ZVS geçişleri sağlanır.  $D_1$  ve  $D_4$  diyotlarındaki akım sıfıra inip ters yöne geçmeye kalktığında, iletime geçirilen  $S_1$  ve  $S_4$  akımı devralır.  $I_a = I_0 + I_{D_4}$  'dür [28].

$$V_{C_{R_1}} = [I_a - I_{L_{R_1}}(t_4)]Z_1 \sin w_1(t - t_4) + V_{C_{R_1}}(t_4) \cos w_1(t - t_4) \quad (4.14)$$

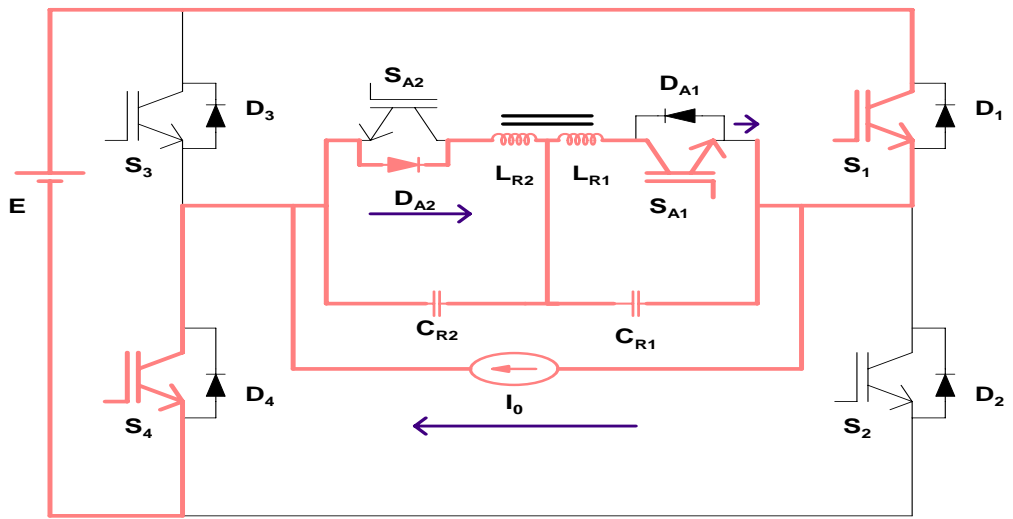
$$V_{C_{R_2}} = [I_a - I_{L_{R_2}}(t_4)]Z_2 \sin w_2(t - t_4) + V_{C_{R_2}}(t_4) \cos w_2(t - t_4) \quad (4.15)$$

$$I_{L_{R_1}} = I_a - [I_a - I_{L_{R_1}}(t_4)] \cos w_1(t - t_4) + \frac{V_{C_{R_1}}(t_4)}{Z_1} \sin w_1(t - t_4) \quad (4.16)$$

$$I_{L_{R_2}} = I_a - [I_a - I_{L_{R_2}}(t_4)] \cos w_2(t - t_4) + \frac{V_{C_{R_2}}(t_4)}{Z_2} \sin w_2(t - t_4) \quad (4.17)$$

$$Z_1 = \sqrt{\frac{L_{R_1}}{C_{R_1}}}, Z_2 = \sqrt{\frac{L_{R_2}}{C_{R_2}}} \text{ ve } w_1^2 = \frac{1}{L_{R_1}C_{R_1}}, w_2^2 = \frac{1}{L_{R_2}C_{R_2}} \text{ 'dir.}$$

#### 4.2.6. Altıncı aralık ( $t_5$ - $t_6$ ) - ( $t_5 < t < t_6$ )

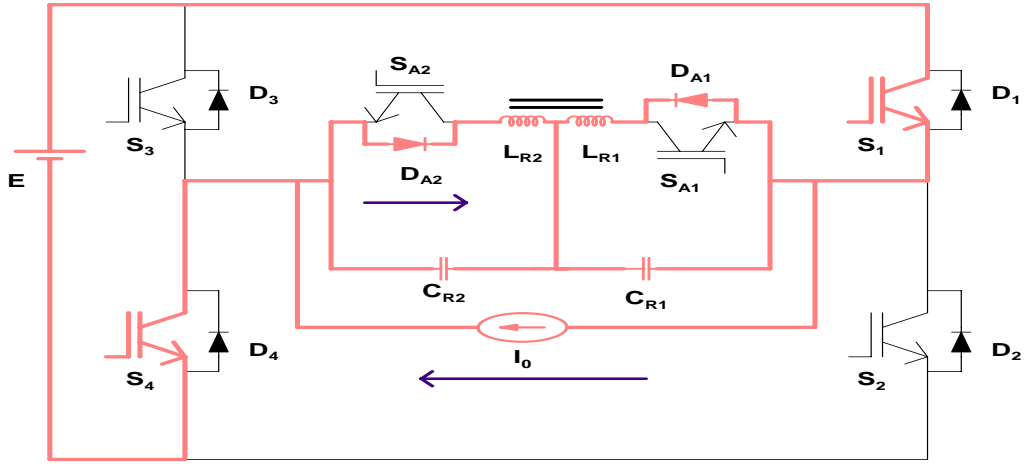


Şekil 4.15: ( $t_5 < t < t_6$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

Altıncı aralıkta devrenin durumu Şekil 4.15’de verilmektedir. Bu aralıkta  $I_{LR1}(t)$  akımı azalır,  $I_{LR2}(t)$  akımı artar.  $I_{LR1}(t)$  akımı azalarak sıfıra inip ters yöne geçmeye kalktığında  $D_{A1}$  diyotu ilettime girer [28].

#### 4.2.7. Yedinci aralık ( $t_6-t_7$ ) – ( $t_6 < t < t_7$ )

Yedinci aralıkta devrenin durumu Şekil 4.16’da verilmektedir. Bu aralıkta  $S_{A1}$  yardımcı anahtarı mutlaka ZCS ve ZVS altında kesimde olması sağlanmalıdır.  $I_{LR2}(t)$  akımı sıfıra inip ters yöne geçmeye kalktığında  $D_{A2}$  diyotu kesime girer [28].



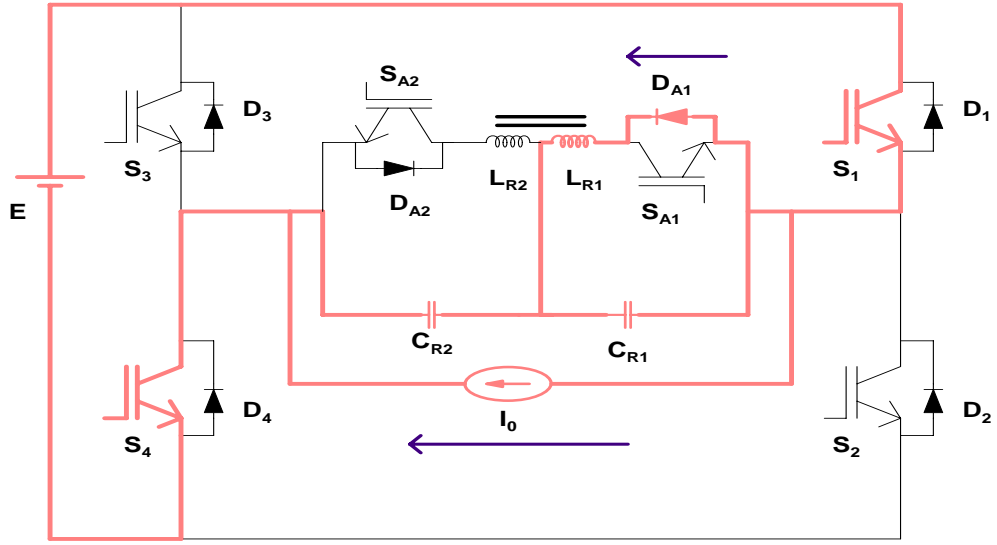
Şekil 4.16: ( $t_6 < t < t_7$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

#### 4.2.8. Sekizinci aralık ( $t_7-t_8$ ) – ( $t_7 < t < t_8$ )

Sekizinci aralıkta devrenin durumu Şekil 4.17’de verilmektedir. Bu aralıkta  $I_{LR1}$ ’in sıfıra ulaşması ve  $D_{A1}$  diyodunun kesime girmesiyle sona erer [28].

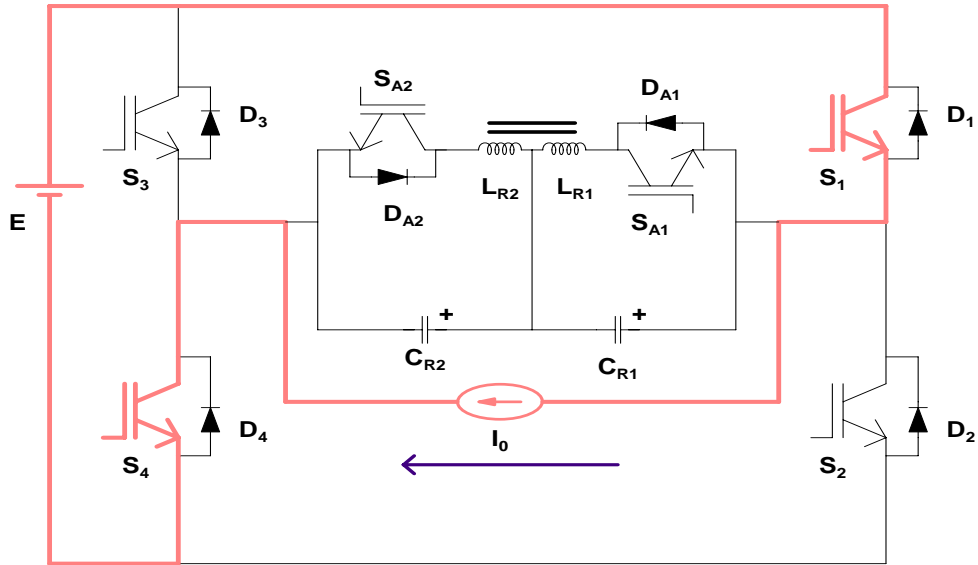
$$Z_1 = \frac{s/C_{R1}}{s^2 + \omega_0^2} \Leftrightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{L_{R1}C_{R1}}, \quad L_{R1} \frac{dI_{L_{R1}}}{dt} = V_{C_{R1}} \text{ 'dir.}$$

$$C_{R1} \frac{dV_{C_{R1}}}{dt} = I_{C_{R2}} - I_{L_{R1}} \quad (4.18)$$



Şekil 4.17: ( $t_7 < t < t_8$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

#### 4.2.9. Dokuzuncu aralık ( $t_8-t_9$ ) – ( $t_8 < t < t_9$ )

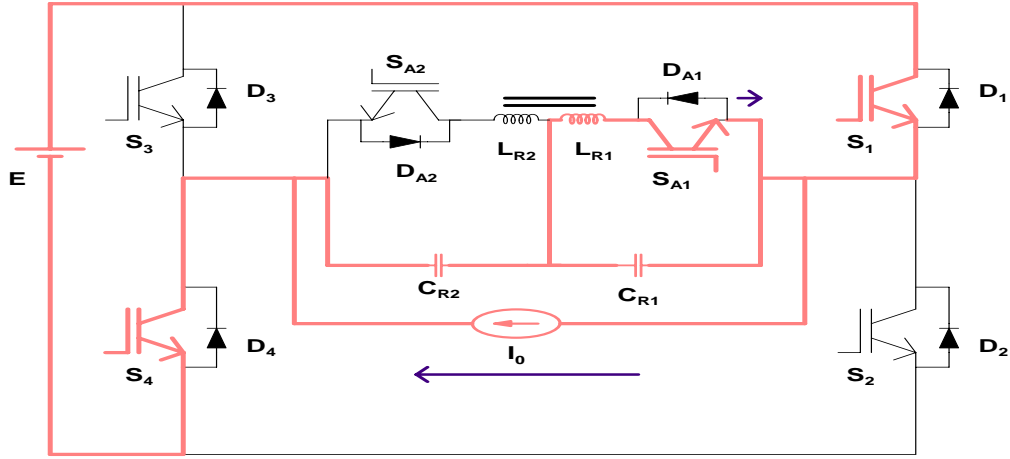


Şekil 4.18: ( $t_8 < t < t_9$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

Dokuzuncu aralıkta devrenin durumu Şekil 4.18’de verilmektedir. Bu aralıkta  $I_0$  çıkış akımı  $S_1$  ve  $S_4$  ana anahtarları arasından geçer.  $I_{S_1} = I_{S_4} = I_0$ ’dır. Devrenin çalışması sert anahtarlama PWM tam köprü evirici gibidir [28].

#### 4.2.10. Onuncu aralık ( $t_9-t_{10}$ ) – ( $t_9 < t < t_{10}$ )

Onuncu aralıkta devrenin durumu Şekil 4.19’da verilmektedir. Bu aralıkta  $S_{A1}$  yardımcı anahtarı ZCS altında tekrar ilettime girer.  $I_{LR1}(t)$  akımı artarak  $L_{R1}$ ,  $C_{R1}$  ve  $C_{R2}$  arasında rezonans başlar.  $S_1$  ve  $S_4$ ’deki akım sıfıra inip ters yöne geçmeye kalktığıında  $D_1$  ve  $D_4$  diyotları ilettime geçer.  $V_{C_{R1}}(t_9) = -E$  ve  $V_{C_{R2}}(t_9) = 2E$ ’dir [28].



Şekil 4.19: ( $t_9 < t < t_{10}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

$$I_{C_{R2}} = I_0 - I_{S_4}, \quad Z_1 = \frac{s/C_{R1}}{s^2 + \omega_0^2} \Leftrightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{L_{R1}C_{R1}}, \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L_{R1}}{C_{R1}}} \quad (4.19)$$

$$V_{C_{R2}} = 2E - \frac{(I_0 - I_{S_4})}{C_{R2}}(t - t_9) \quad (4.20)$$

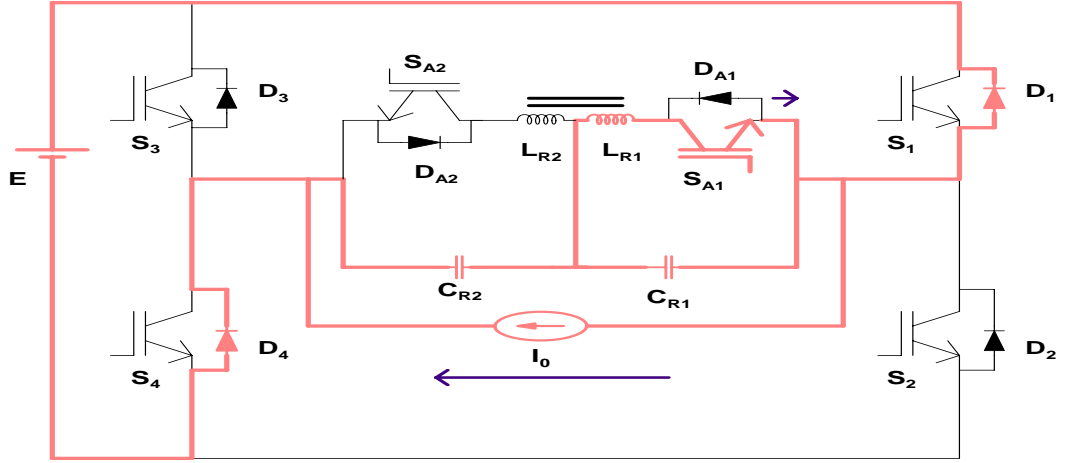
$$V_{C_{R1}} = (I_0 - I_{S_4})Z_0 \sin \omega_0(t - t_9) - E \cos \omega_0(t - t_9) \quad (4.21)$$

$$I_{L_{R1}} = (I_0 - I_{S_4})\left[1 - \cos \omega_0(t - t_9)\right] - \frac{E}{Z_0} \sin \omega_0(t - t_9) \quad (4.22)$$

#### 4.2.11. Onbirinci aralık ( $t_{10}-t_{11}$ ) – ( $t_{10} < t < t_{11}$ )

Onbirinci aralıkta devrenin durumu Şekil 4.20’de verilmektedir.  $D_1$  ve  $D_4$  diyotları üzerindeki akım sıfıra düşene kadar rezonans gerçekleşir [28].





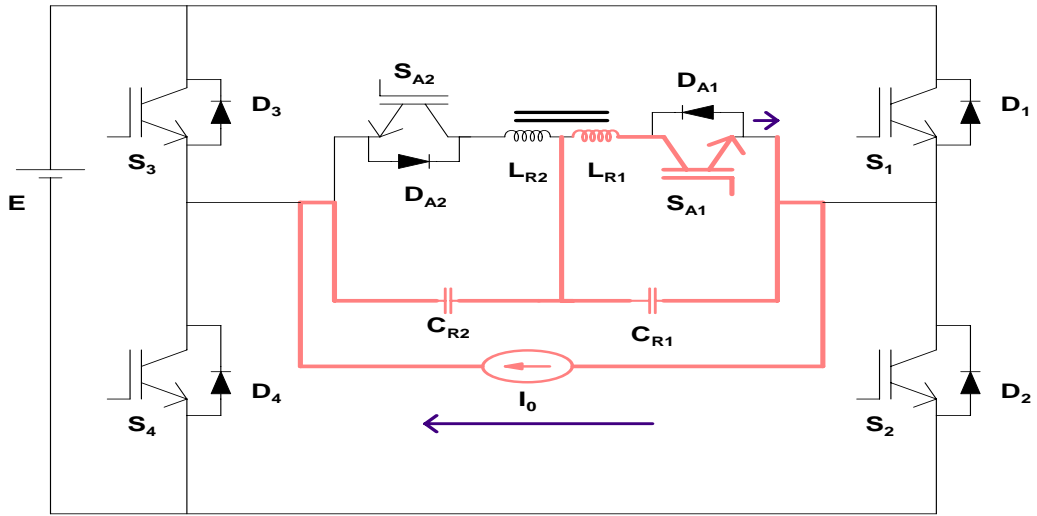
Şekil 4.20: ( $t_{10} < t < t_{11}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

$S_1$  ve  $S_4$  anahtarlarının kapılarına uygulanan gerilim, ZVS altında kesilip sıfır gerilimde kesime geçmeleri sağlanmalıdır [28].

$$Z_1 = \frac{s/C_{R1}}{s^2 + \omega_0^2} \Leftrightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{L_{R1}C_{R1}}, \quad L_{R1} \frac{dI_{L_{R1}}}{dt} = V_{C_{R1}}, \quad C_{R1} \frac{dV_{C_{R1}}}{dt} = I_{C_{R2}} - I_{L_{R1}} \text{ 'dir.}$$

$$C_{R2} \frac{dV_{C_{R2}}}{dt} = I_0 + I_{D4} \quad (4.23)$$

#### 4.2.12. Onikinci aralık ( $t_{11}$ - $t_{12}$ ) – ( $t_{11} < t < t_{12}$ )



Şekil 4.21: ( $t_{11} < t < t_{12}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

Onikinci aralıkta devrenin durumu Şekil 4.21’de verilmektedir. 3.aralığın aynısıdır. Çıkış doğrusal olarak  $C_{R2}$  üzerinden boşalır.  $V_{C_{R2}}$  sıfıra ulaşıp ters yöne geçmeye

kalktığında  $D_{A2}$  diyotu iletme başlar [28].  $Z_0 = \sqrt{\frac{L_{R1}}{C_{R1}}}$  ve  $w_0^2 = \frac{1}{L_{R1}C_{R1}}$ ’dir.

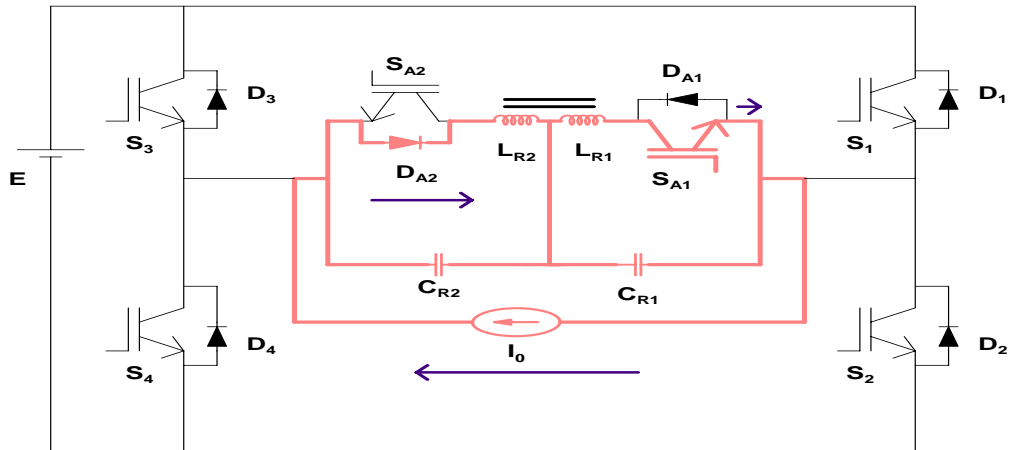
$$V_{C_{R1}} = [I_0 - I_{L_{R1}}(t_{11})]Z_0 \sin w_0(t - t_{11}) + V_{C_{R1}}(t_{11}) \cos w_0(t - t_{11}) \quad (4.24)$$

$$I_{L_{R1}} = I_0 - [I_0 - I_{L_{R1}}(t_{11})] \cos w_0(t - t_{11}) + \frac{V_{C_{R1}}(t_{11})}{Z_0} \sin w_0(t - t_{11}) \quad (4.25)$$

$$V_{C_{R2}} = V_{C_{R2}}(t_{11}) - \frac{I_0}{C_{R2}}(t - t_{11}) \quad (4.26)$$

#### 4.2.13. Onüçüncü aralık ( $t_{12}-t_{13}$ ) – ( $t_{12} < t < t_{13}$ )

Onüçüncü aralıkta devrenin durumu Şekil 4.22’de verilmektedir. Bu aralıkta  $I_{L_{R1}}$  akımı azalırken  $L_{R1}$ ,  $L_{R2}$ ,  $C_{R1}$  ve  $C_{R2}$  arasında rezonans olur.  $I_{L_{R1}}$  sıfıra inip ters yöne geçmeye kalktığında  $D_{A1}$  diyodu iletme girer [28].



Şekil 4.22: ( $t_{12} < t < t_{13}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

$$Z_1 = \sqrt{\frac{L_{R1}}{C_{R1}}}, Z_2 = \sqrt{\frac{L_{R2}}{C_{R2}}}, w_1^2 = \frac{1}{L_{R1}C_{R1}}, w_2^2 = \frac{1}{L_{R2}C_{R2}} \text{’dir.}$$

$$V_{C_{R1}} = [I_0 - I_{L_{R1}}(t_{13})]Z_1 \sin w_1(t - t_{13}) + V_{C_{R1}}(t_{13}) \cos w_1(t - t_{13}) \quad (4.27)$$

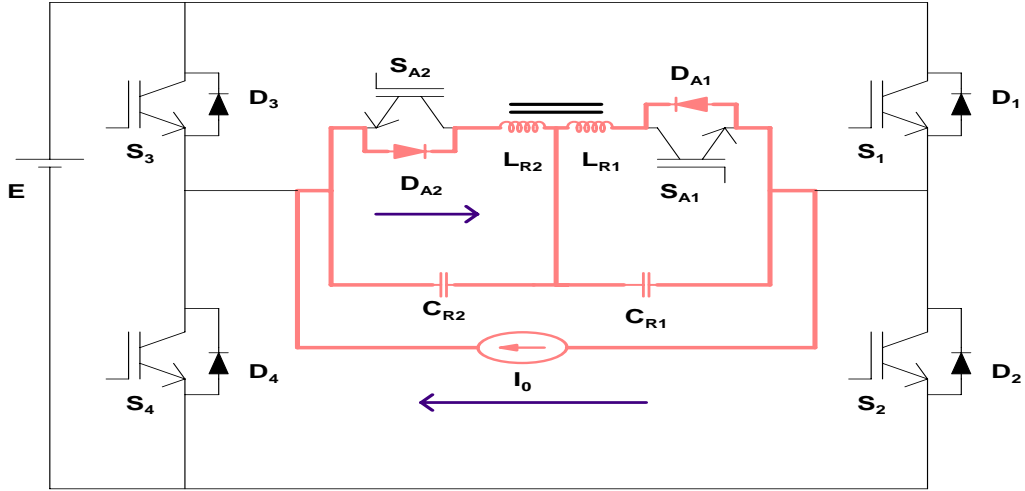
$$V_{C_{R2}} = [I_0 - I_{L_{R2}}(t_{13})]Z_2 \sin w_2(t - t_{13}) + V_{C_{R2}}(t_{13}) \cos w_2(t - t_{13}) \quad (4.28)$$

$$I_{L_{R1}} = I_0 - [I_0 - I_{L_{R1}}(t_{13})] \cos w_1(t - t_{13}) + \frac{V_{C_{R1}}(t_{13})}{Z_1} \sin w_1(t - t_{13}) \quad (4.29)$$

$$I_{L_{R2}} = I_0 - [I_0 - I_{L_{R2}}(t_{13})] \cos w_2(t - t_{13}) + \frac{V_{C_{R2}}(t_{13})}{Z_2} \sin w_2(t - t_{13}) \quad (4.30)$$

#### 4.2.14. Ondördüncü aralık ( $t_{13}$ - $t_{14}$ ) – ( $t_{13} < t < t_{14}$ )

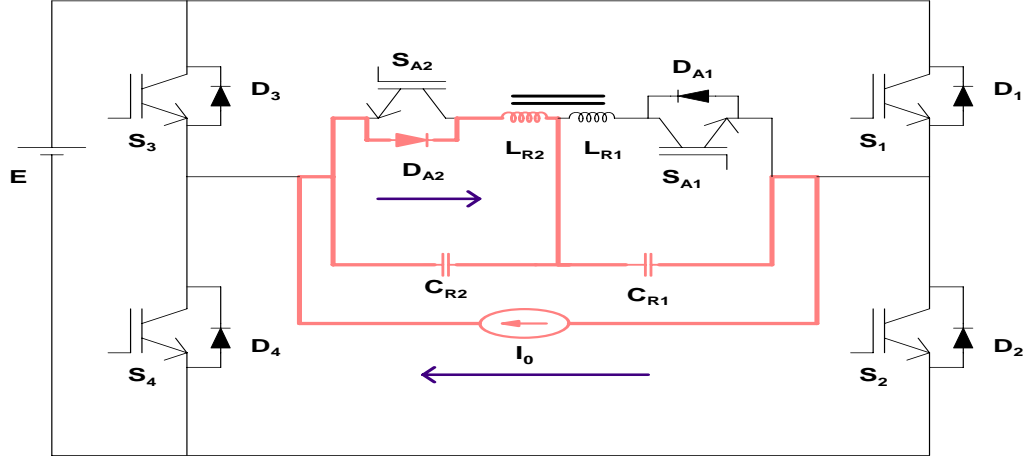
Ondördüncü aralıkta devrenin durumu Şekil 4.23’de verilmektedir. Bu aralıkta rezonans devam etmektedir.  $I_{L_{R1}}$  akımı tekrar sıfıra inip ters yöne geçmeye kalktığında  $D_{A1}$  diyodu kesime gider [28].



Şekil 4.23: ( $t_{13} < t < t_{14}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

#### 4.2.15. Onbeşinci aralık ( $t_{14}$ - $t_{15}$ ) – ( $t_{14} < t < t_{15}$ )

Onbeşinci aralıkta devrenin durumu Şekil 4.24’de verilmektedir. Bu aralıkta  $C_{R1}$  kapasitesi doğrusal olarak boşalır,  $V_{C_{R2}}$  artarak  $L_{R2}$  ve  $C_{R2}$  arasında rezonansa neden olur [28].



Şekil 4.24: ( $t_{14} < t < t_{15}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_{R2}}{C_{R2}}} \text{ ve } w_0^2 = \frac{1}{L_{R2}C_{R2}} \text{ 'dir.}$$

$$V_{C_{R2}} = [I_0 - I_{L_{R2}}(t_{14})]Z_0 \sin w_0(t - t_{14}) + V_{C_{R2}}(t_{14}) \cos w_0(t - t_{14}) \quad (4.31)$$

$$I_{L_{R2}} = I_0 - [I_0 - I_{L_{R2}}(t_{14})] \cos w_0(t - t_{14}) + \frac{V_{C_{R2}}(t_{14})}{Z_0} \sin w_0(t - t_{14}) \quad (4.32)$$

$$V_{C_{R1}} = V_{C_{R1}}(t_{14}) - \frac{I_0}{C_{R1}}(t - t_{14}) \quad (4.33)$$

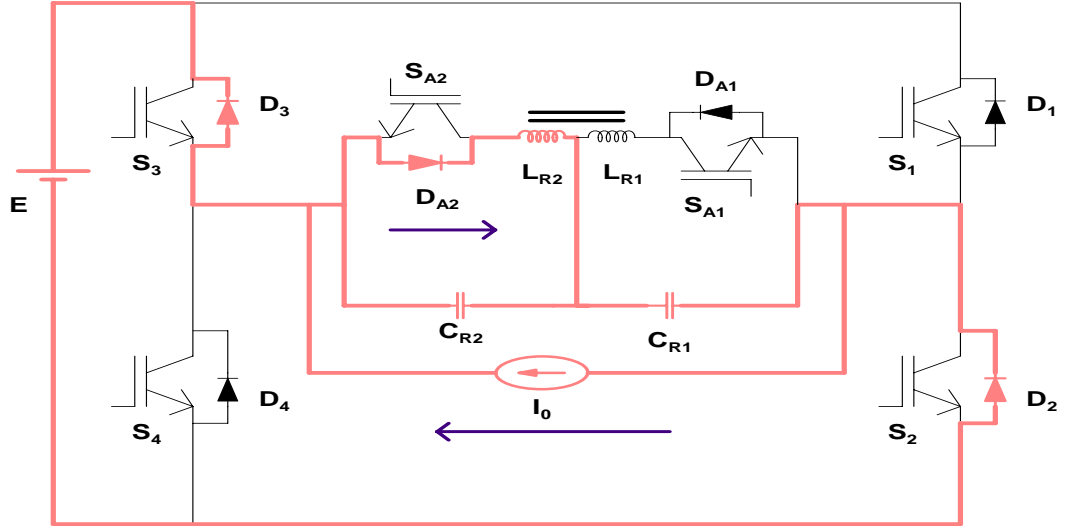
#### 4.2.16. Onaltıncı aralık ( $t_{15}-t_{16}$ ) – ( $t_{15} < t < t_{16}$ )

Onaltıncı aralıkta devrenin durumu Şekil 4.25’de verilmektedir. Bu aralıkta  $I_{L_{R2}}$  azalarak  $L_{R2}$ ,  $C_{R1}$  ve  $C_{R2}$  arasında rezonansa neden olur.  $I_{L_{R2}}$  sıfıra inip ters yöne geçmeye kalktığında  $D_{A2}$  kesime gider ve bir sonraki çevrim başlar [28].

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_{R2}}{C_{R2}}} \text{ ve } w_0^2 = \frac{1}{L_{R2}C_{R2}}$$

$$V_{C_{R2}} = [I_0 - I_{D3}]Z_0 \sin w_0(t - t_{15}) + V_{C_{R2}}(t_{15}) \cos w_0(t - t_1) \quad (4.34)$$

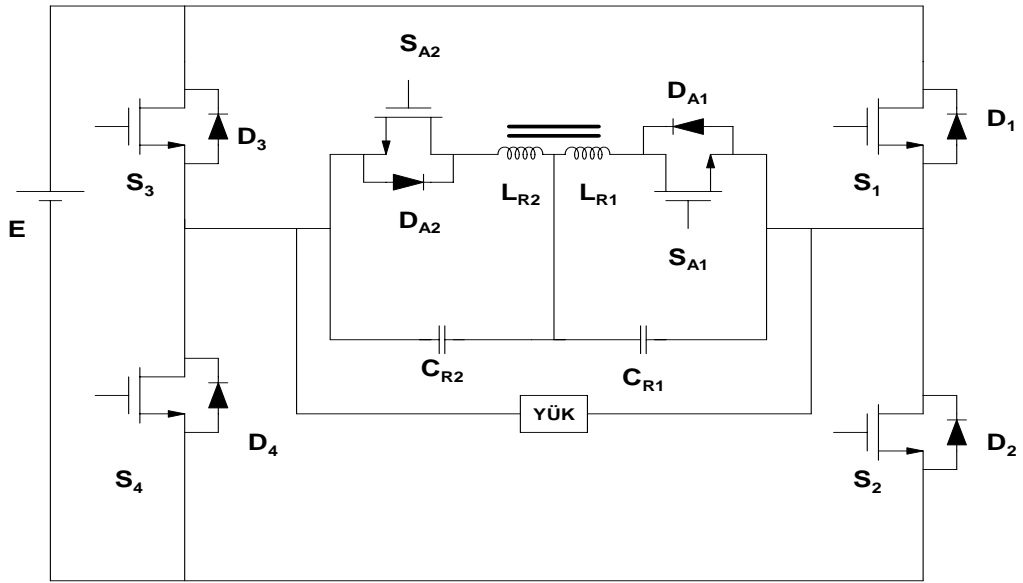
$$I_{L_{R1}} = [I_0 - I_{D_3}] [1 - \cos \omega_0(t - t_{15})] + \frac{V_{C_{R2}}(t_{15})}{Z_0} \sin \omega_0(t - t_1) \quad (4.35)$$



Şekil 4.25: ( $t_{15} < t < t_{16}$ ) Aralığındaki Devrenin Durumu

## BÖLÜM 5. YENİ BİR YUMUŞAK ANAHTARLAMALI EVİRİCİ UYGULAMASI

Bu bölümde sunulan yeni ZCZVT evirici devresi ile ilgili deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Evirici devresi, anahtarlar ve mikrodenetleyiciler için gerekli olan besleme üniteleri ile giriş DC gerilim kaynağından oluşmuştur.

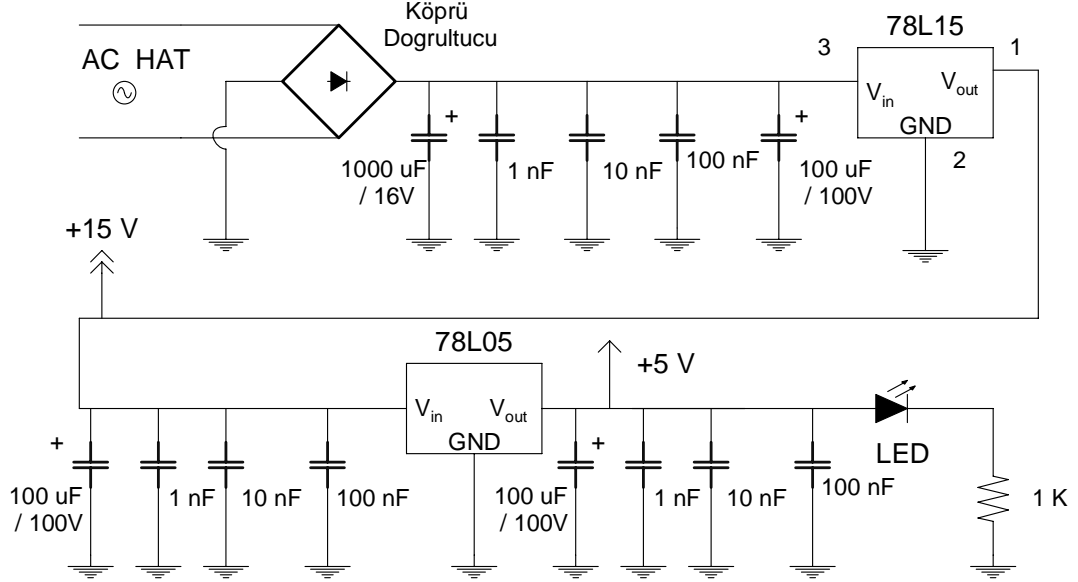


Şekil 5.1: Sunulan Yeni ZCZVT Evirici Devresi

$S_1, S_2, S_3, S_4, S_{A1}, S_{A2}$ : FDPF20N50 (Diyotlu) – MOSFETLER,  $C_{R1}, C_{R2}$ : 200 nF, YüK:  $\sim 47$  Ohm,  $L_{R1}, L_{R2}$ :  $\sim 1.3\mu\text{H}$  ( Ortak hava aralıklı magnetik kuplajlı endüktanslar )

## 5.1. Sürücü Besleme Devresi

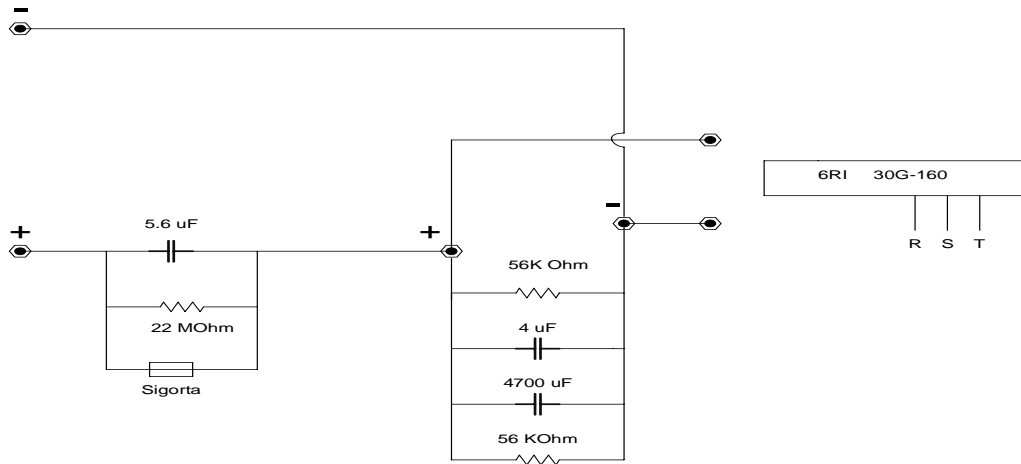
Sürücüler için gerekli besleme devresi Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2: Sürücülerin Besleme Devresi

## 5.2. Giriş DC Kaynak Kısmı

Evirici için gerekli DC baranın devresi Şekil 5.3’te verilmektedir.



Şekil 5.3: Evirici DC Bara Gerilim Devresi

### 5.3. Sürücü ve Mikrodenetleyici Devresi

Her bir güç anahtarı için 6N136 ve IXDD 414 kullanılarak sürücü devresi yapılmıştır. Kontrol tekniğinde sürücü kartları oldukça önemlidir. Çünkü kontrol sinyalinin süresinin hangi mertebede olduğuna göre kullanılması gereken sürücü entegresinin özellikleri önem kazanmaktadır. Yükün özelliklerine göre sürme teknikleri kullanılır.

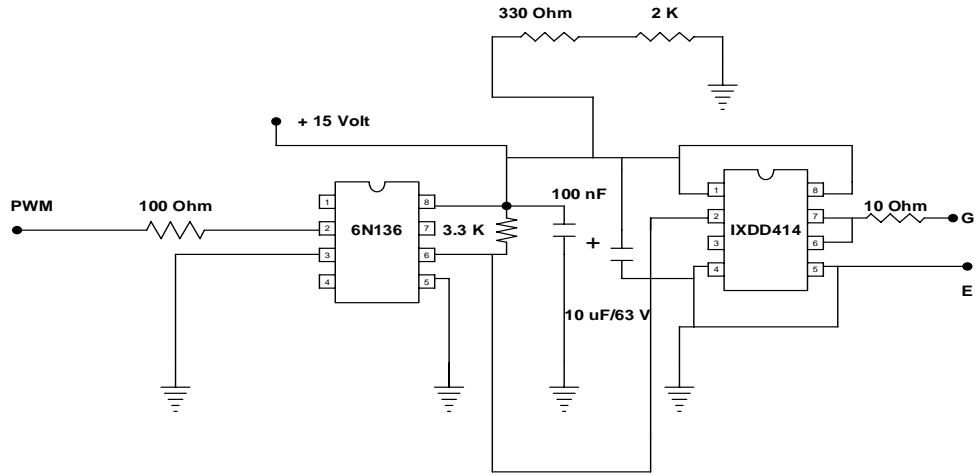
Herbir sürücü devresi ayrı ayrı izole edilmiştir. Sürücü devresinde kullanılan opto transistör 6N136 entegresinde akım kazancı, izolasyon gerilimi ve çalışma frekansı önemlidir. Özellikle çalışma frekansı hızı hakkında bilgi verir. Bazı optik bağlayıcılar çalışma durumlarına göre tercih edilmelidir

4N 25/35 : Normal hızlı

4N 45/46 : Yüksek kazançlı

6N 135 / 136 : Yüksek hızlı ve düşük kazançlı opto transistörlerdir.

Hassas devrelerde devrenin çıkışı ile besleme uçları arasında direnç bağlanması gerekir. Optotransistör gerilim kaynağının kısa devre olmasını engeller.

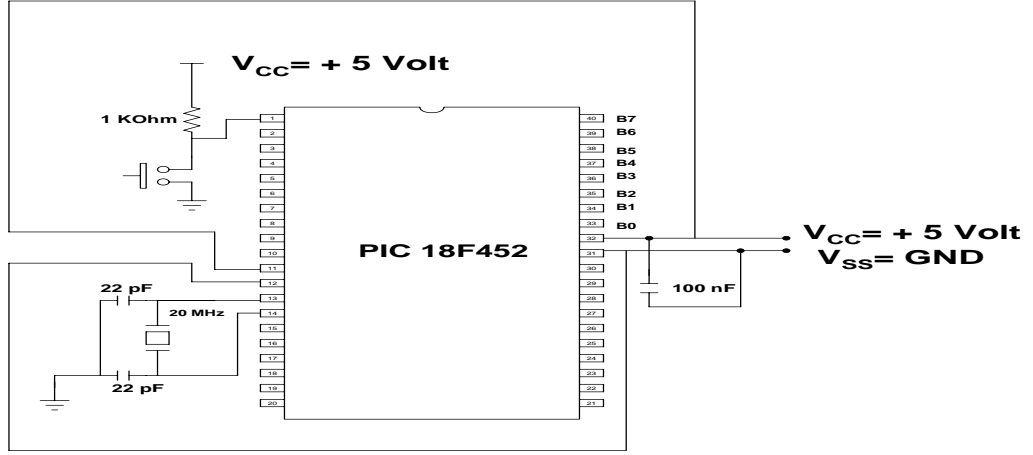


Şekil 5.4: Sürücü Devresi

Mikrodenetleyicili devrenin tasarımında PIC18F452 entegresi kullanılmıştır. Kontrol işaretleri yazılım programı ile elde edilir. S<sub>1</sub> ve S<sub>3</sub> anahtarlarının aynı anda devreye girmemesi için programda ölü zamanlar oluşturulmuştur.

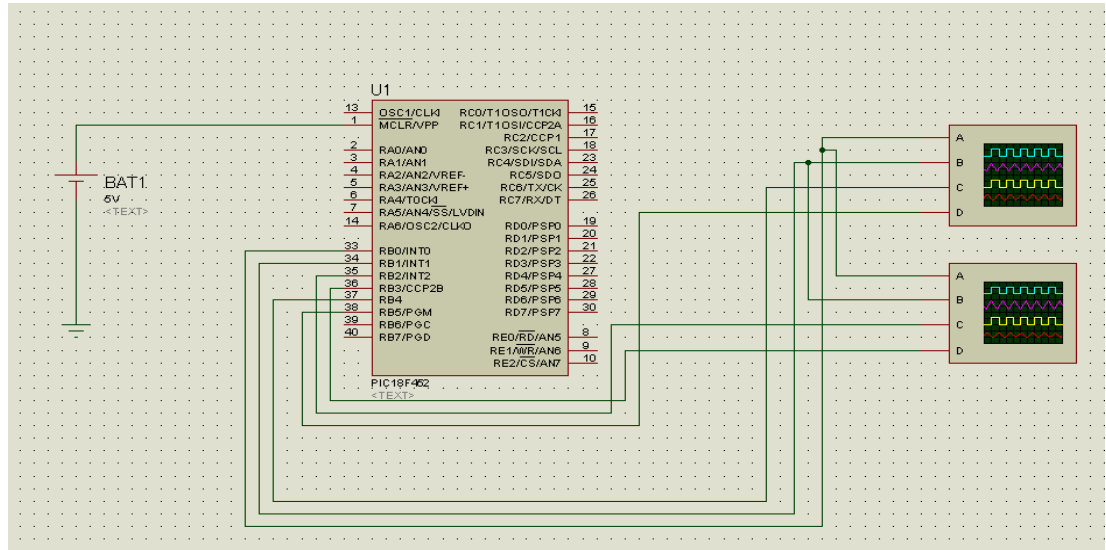


Ölü zamanlar kullanılan güç elemanlara göre değişir. Bu süre tristörlerde birkaç 100  $\mu$ s, BJT 'lerde birkaç 10  $\mu$ s, IGBT'lerde birkaç  $\mu$ s, MOSFET'lerde ise birkaç 100 ns civarlarında tanımlanmalıdır.

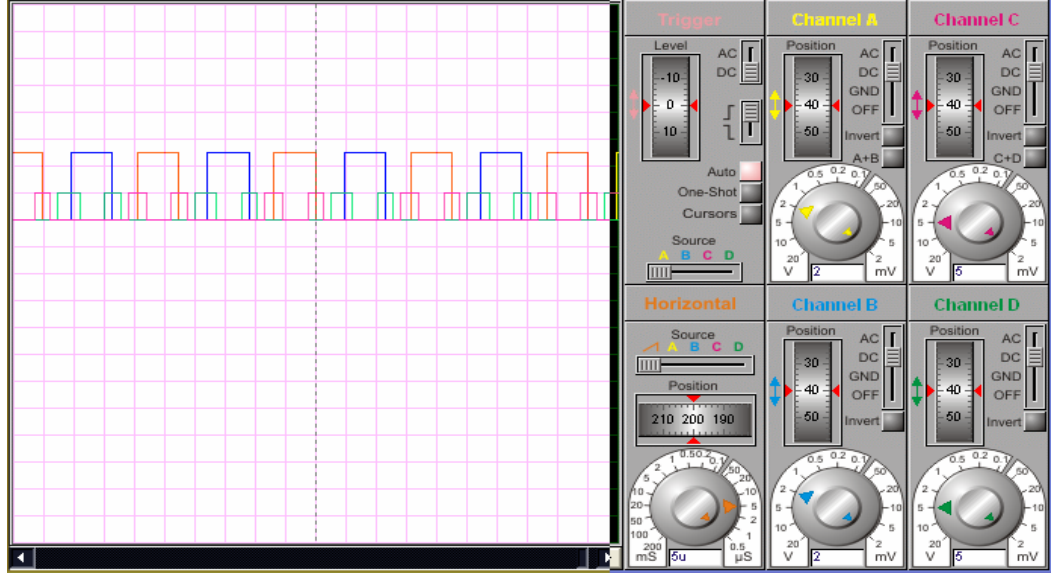


Şekil 5.5: Mikrodenetleyici Devresi

Güç elemanları gerilim tepeleri karşısında risk altındadır. Güç elemanlarının akım, gerilim, yükselme hızları ve sıcaklığa karşı korunması gerekir. Uygulamalarda sürücü kartları ana devreye mümkün olduğunca yakın, kontrol ünitesi ise mümkün olduğunca uzağında olması gerekir.



Şekil 5.6: ISIS Programında Mikrodenetleyici Devre Şeması



Şekil 5.7: ISIS Programında Ekranda Görülen Kontrol İşaretleri (Anahtarlama Frekansı : 50 kHz )

#### 5.4. Uygulama Sonuçları

Evirici devrelerinde koruma üniteleri parça parça ele alınmalıdır. Koruma kol bazında yapılarak devreden geçen akım dikkate alınmalıdır. Doğrultucu ünitesinde ayrıca koruma yapılması gerekir. Sunulan ZCZVT evirici devresi Şekil 5.8’de verilmektedir.



Şekil 5.8: Sunulan ZCZVT Evirici Devresinin Resmi

### 5.4.1. Tasarım kılavuzu

Tasarımda eleman seçiminde geçici rejim aralıklarının minimum olmasına dikkat edilmelidir [29]. Tasarlanan ZCZVT'li evirici ile ilgili mevcut tasarım elemanlarına göre aşağıdaki hesaplamalar verilmiştir:

Çıkış Gücü ,  $P_0 = 1000$  Watt, Giriş Gerilimi ,  $E = 200$  Volt,

Çıkış Akım Dalgalılık Oranı ,  $\Delta I = \% 20$

45,45 KHz için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir:

$$\sin\left(\frac{22}{180}\pi\right) = 0.374 \quad (\text{Değeri Radyan olarak hesaplanmıştır})$$

Giriş değerlerine göre çıkış akımı ;

$$I_0 = \frac{\sqrt{2} \cdot P_0}{V_0} \cdot (1 + \Delta I) \quad (5.1)$$

$$= \frac{\sqrt{2} \cdot 1000}{220} \cdot (1 + 0.2) = 6,5568 \text{ A olur.}$$

$C_{R2}$  kapasitesinin akımının tepe değeri (5.2)'de verilmektedir.

$$I_{pk} = \frac{E}{\sqrt{2} \cdot Z} \quad (5.2)$$

(5.1.) ve (5.2.) eşitliklerindeki  $I_0$  ve  $I_{pk}$  değerleri arasında  $k$  ile gösterilen bir oran vardır.

$$k = \frac{I_{pk}}{I_0} \quad (k \geq 1) \quad (5.3)$$

Bu katsayı parazitik kayıplara karşılık gelir ve bu değer 1,1 olarak seçilmiştir.  $k=1,1$  Karakteristik empedans  $Z$ , ( 5.4 ) eşitliği ile verilmiştir.

$$Z = \frac{E}{\sqrt{2}.I_{pk}} \quad (5.4)$$

$$= \frac{E}{\sqrt{2}.k.I_0} \frac{200}{\sqrt{2}.6,5568.1,1} = 19,60 \text{ Ohm olur.}$$

$di_D/dt$  oranı  $80A/\mu s$  'e uygundur [30].

$$w = \frac{\left(\frac{di}{dt}\right)\sqrt{2}.a.\sin(1/2k)}{I_0} \quad (5.5)$$

( 5.5 ) denkleminde [28] nolu kaynak referans alınmıştır.

$$w = \frac{80\sqrt{2}.10^6.0,374}{6,5568} = 6,453.10^6 \text{ rad/sn}$$

$$Z = \omega.L_{R1} , Z = \omega.L_{R2} , Z = \frac{1}{w.C_{R1}} , Z = \frac{1}{w.C_{R2}} \text{ 'dir .}$$

$$L_{R1} = L_{R2} = \frac{Z}{w} \quad (5.6)$$

( 5.6 ) denkleminde [31] nolu kaynak referans alınmıştır.

$$L_{R1} = L_{R2} = \frac{19,60}{6,543.10^6} = 3.037.10^{-6} \text{ H} \quad (5.7)$$

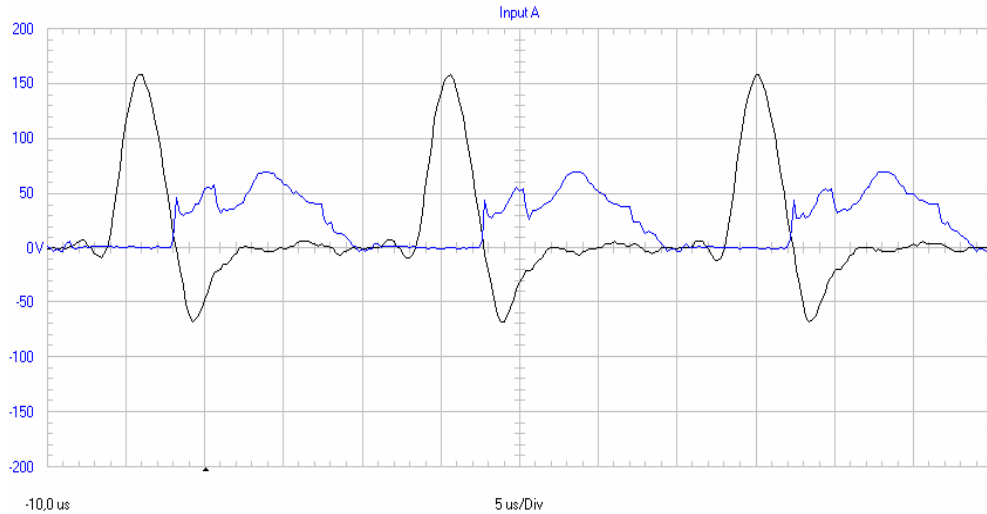
$$C_{R1} = C_{R2} = \frac{1}{Z.w} = \frac{1}{19,60.6,543.10^6} = 7,906.10^{-9} \text{ F} = 7,906 \text{ nF} \quad (5.8)$$

Tasarım kılavuzunda hesaplanan değerler, Orcad 10.5 paket programı kullanılarak dalga şekillerinden elde edilmiştir.  $S_1$  ana anahtarındaki akım 20 nanosaniyeden daha az bir süre içerisinde 88A - 89A arası bir değere ulaşmıştır. Böyle bir durumda kullanılan anahtar elemanının darbe akımına dayanabileceği katalog bilgisi oldukça önemlidir.

Hesaplanan  $S_{A1}$  yardımcı anahtarındaki akımda oluşan salınımlar ile  $C_{R1}$  rezonans kapasitesindeki gerilimde oluşan bozukluklar hesaplanan değerlerin pratikte farklılıklar oluşturabileceğini göstermiştir. Yalnız bu farklılıkların da bir sınırı olmalıdır.

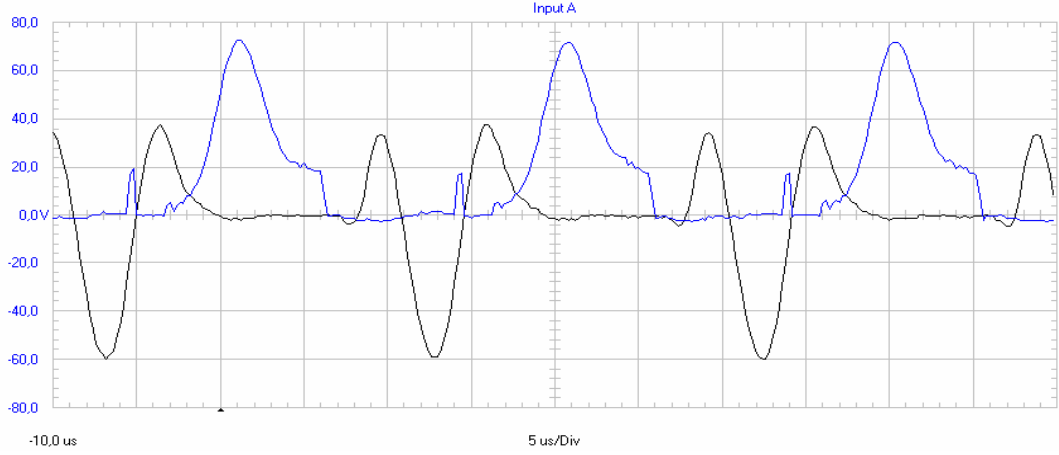
#### 5.4.2. Deneysel veriler ve yorumlar

Tezin deneysel kısmında hedeflenen  $\sim 51$  kHz'deki ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktanslı durum gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki aşamada ise  $\sim 40$  kHz'de ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans ile bağımsız iki endüktanslı durum karşılaştırılmıştır.  $\sim 51$  kHz'de ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için,  $R_{yük} = \sim 47$  Ohm, Akım Probu = 100 mV/ A iken aşağıda belirtilen sonuçlar alınmıştır:



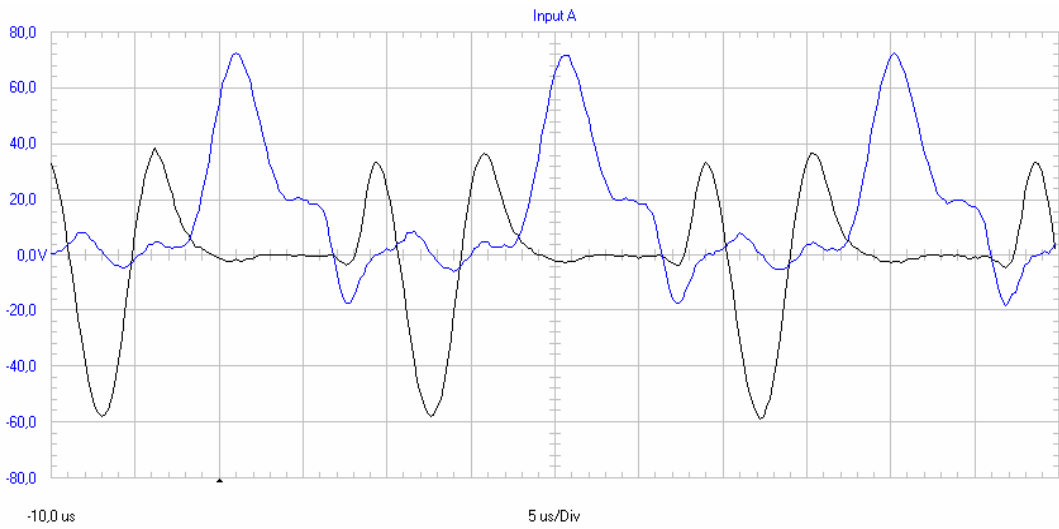
Şekil 5.9:  $S_4$  Ana Anahtarı Üzerindeki Gerilim ( $V_{S4}$ ) -  $S_1$  Ana Anahtarındaki Akım ( $I_{S1}$ ) İlişkisi [ $V_{S4}$  : 50 Volt/div (Mavi),  $I_{S1}$  : 2 A/div (Siyah), time/div : 5  $\mu$ s,  $\sim 51$  kHz'deki ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için]

~ 51 kHz'de  $S_4$  ana anahtarı ile  $S_1$  ana anahtarındaki akım ilişkisi Şekil 5.9'da verilmektedir. Ana anahtara kontrol işaretinin uygulanmasıyla başlangıç anında bir miktar ters yönde akıma sebep olmasına karşın, daha sonra akım makul seviyeye gelmektedir.  $S_{A1}$  yardımcı anahtar üzerindeki gerilim-akım ilişkisi ise Şekil 5.10'da verildiği gibi görülmüştür.



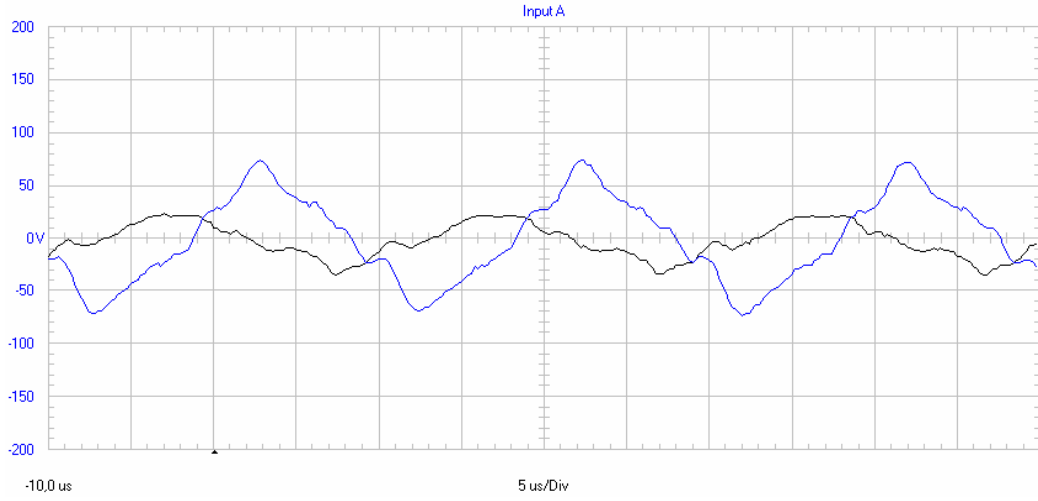
Şekil 5.10:  $S_{A1}$  Yardımcı Anahtar Üzerindeki Gerilim ( $V_{SA1}$ ) - Akım ( $I_{SA1}$ ) İlişkisi [ $V_{SA1}$  : 20 Volt/div (Mavi),  $I_{SA1}$  : 2 A/div (Siyah), time/div : 5  $\mu$ s, ~ 51 kHz'deki ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için]

$S_{A1}$  yardımcı anahtarı üzerindeki akımın sinüzoidal olduğu bölgede belirtilen çalışma aralıklarındaki rezonansların gerçekleştiği kısmı gösterir.  $C_{R1}$  rezonans kapasitesi üzerindeki gerilim ile  $L_{R1}$  endüktansı arasındaki ilişki ise Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11:  $C_{R1}$  Rezonans Kapasitesi Üzerindeki Gerilim ( $V_{CR1}$ ) ile  $L_{R1}$  Akım ( $-I_{LR1}$ ) Arasındaki İlişki [ $V_{CR1}$  : 20 Volt/div (Mavi),  $-I_{LR1}$  : 2 A/div (Siyah), time/div : 5  $\mu$ s, ~ 51 kHz'deki ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için]

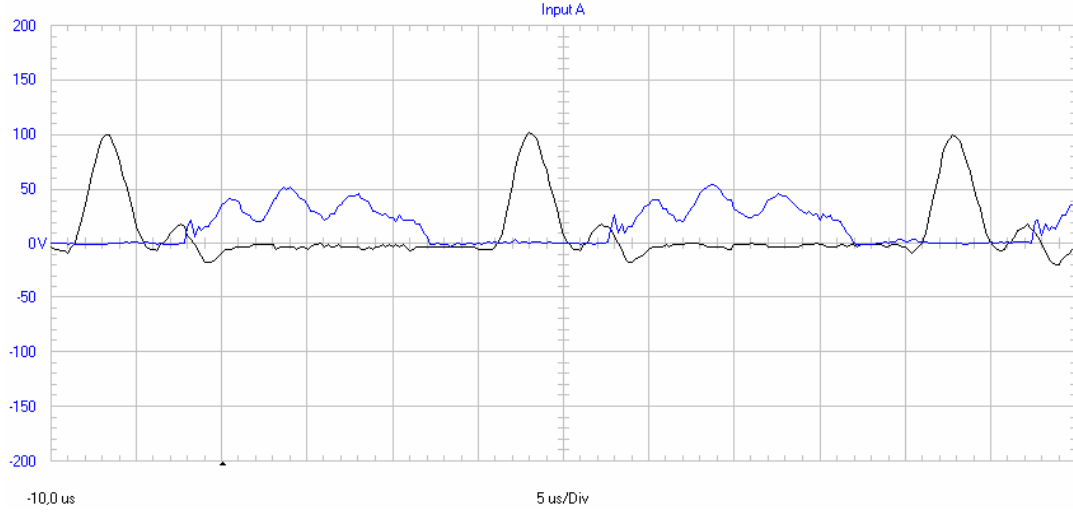
Yük üzerindeki akım ve gerilimin sinuse yakın bir durumdaki olduğu Şekil 5.12’de görülmektedir.



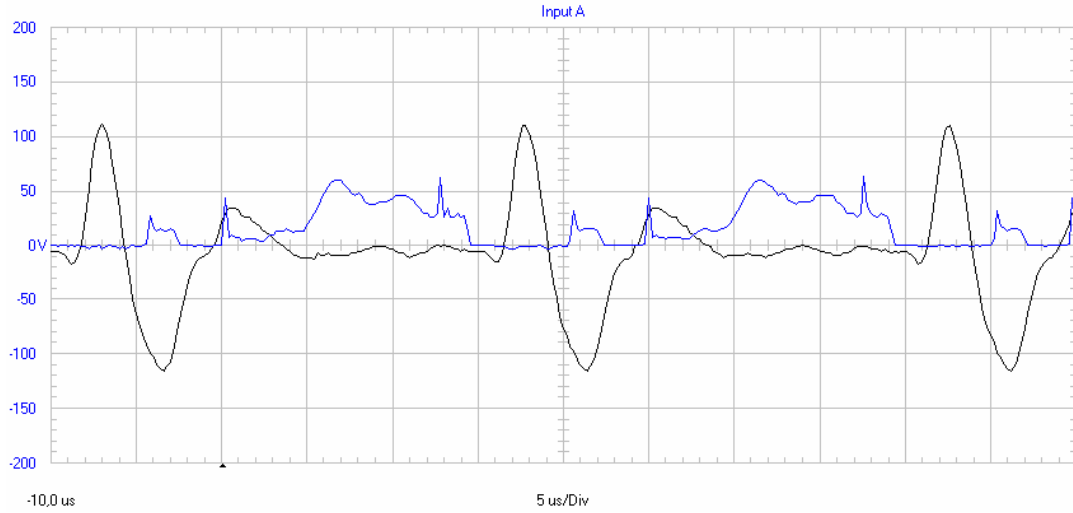
Şekil 5.12: Yük Üzerindeki Akım ve Yük Gerilimi, [Yük Gerilimi( $V_{yük}$ ) : 50 Volt/div (Mavi), Yük Akımı ( $-I_{yük}$ ) : 2 A/div (Siyah), time/div : 5  $\mu$ s,  $\sim$  51 kHz’deki ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için]

$\sim$  40 kHz’de ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için ,  $R_{yük} = \sim$  47 Ohm , Akım Probu = 100 mV/ A iken şu değerlere yer verilmiştir:  $S_4$  ana anahtarı ile  $S_1$  ana anahtarındaki akım ilişkisi Şekil 5.13’deki gibi elde edilmiştir. Ana anahtara kontrol işaretinin uygulanmasıyla başlangıç anındaki ters akım bu frekans değerinde çok küçük bir değerde kalmıştır.

$S_{A1}$  yardımcı anahtar üzerindeki gerilim-akım ilişkisi ise Şekil 5.14’de verildiği gibi görülmüştür. Ancak  $\sim$  51 kHz’e göre yardımcı anahtar üzerinde bir miktar salınım gözlemlenmiştir.



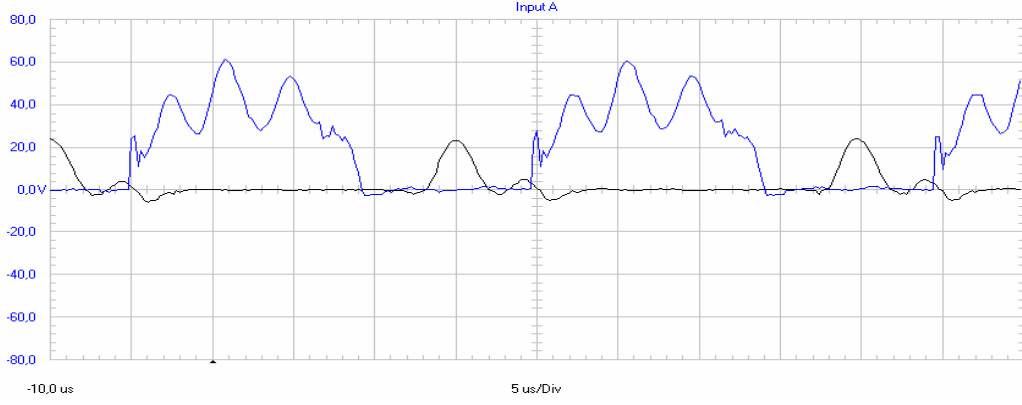
Şekil 5.13:  $S_4$  Ana Anahtarı Üzerindeki Gerilim ( $V_{S4}$ ) - Akım ( $I_{S1}$ ) İlişkisi [ $V_{S4}$  : 50 Volt/div (Mavi),  $I_{S1}$  : 2 A/div (Siyah), time/div : 5  $\mu$ s, ~ 40 kHz'de ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için]



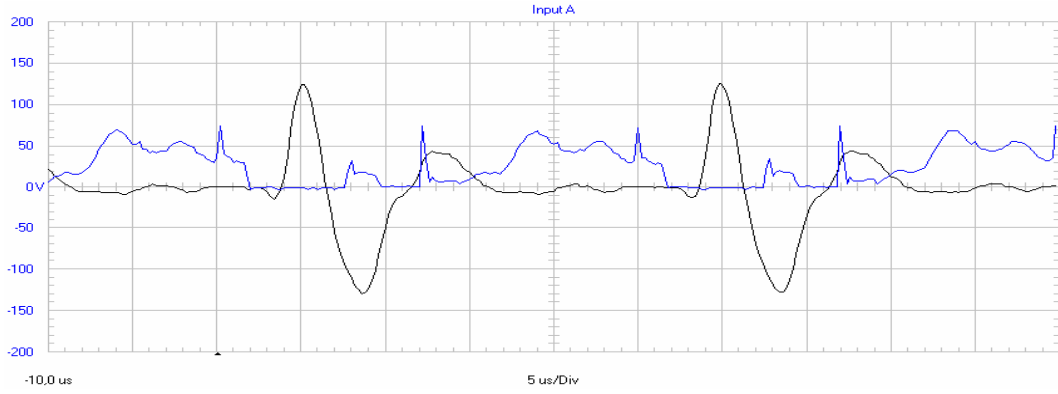
Şekil 5.14:  $S_{AI}$  Yardımcı Anahtar Üzerindeki Gerilim ( $V_{SAI}$ )-Akım ( $I_{SAI}$ ) İlişkisi [ $V_{SAI}$  : 50 Volt/div (Mavi),  $I_{SAI}$  : 2 A/div (Siyah), time/div : 5  $\mu$ s, ~ 40 kHz'de ortak hava aralıklı kuplajlı iki endüktans için]

~ 40 kHz'de bağımsız iki endüktans için,  $R_{yük} = \sim 47$  Ohm, Akım Probu=100mV / A iken şu değerlere yer verilmiştir:  $S_4$  ana anahtarı ile  $S_1$  ana anahtarındaki akım ilişkisi Şekil 5.15'de,  $S_{AI}$  yardımcı anahtar üzerindeki gerilim-akım ilişkisi ise Şekil 5.16'da verilmektedir. Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'daki sonuçların ortak hava aralıklı kuplajlı endüktansların dalga şekilleriyle örtüştüğü görülmektedir.





Şekil 5.15:  $S_4$  Ana Anahtarı Üzerindeki Gerilim ( $V_{S4}$ ) - Akım ( $I_{S1}$ ) İlişkisi [ $V_{S4}$  : 20 Volt/div (Mavi),  $I_{S1}$  : 2 A/div (Siyah), time/div : 5  $\mu$ s,  $\sim$  40 kHz'de bağımsız iki endüktans için]



Şekil 5.16:  $S_{A1}$  Yardımcı Anahtar Üzerindeki Gerilim ( $V_{SA1}$ )-Akım ( $I_{SA1}$ ) İlişkisi [ $V_{SA1}$ :50 Volt/div(Mavi),  $I_{SA1}$  : 2 A/div (Siyah), time/div:5  $\mu$ s,  $\sim$  40 kHz'de bağımsız iki endüktans için]

Bastırma hücresinde bağımsız iki endüktanslı ve  $\sim$  40 kHz'de yapılan ölçümlerle, 51 kHz'de ve ortak hava aralıklı endüktanslarla da aynı sonuçlar görülmüştür.  $S_4$  ana anahtarındaki gerilim ile  $S_1$  ana anahtarındaki akım arasındaki ilişkiden yumuşak anahtarlama gerçekleşmiştir.

## **BÖLÜM 6. YUMUŞAK ANAHTARLAMALI EVİRİCİLER İÇİN GÜVENİLİRLİK YÖNTEMLERİ VE ANALİZİ**

### **6.1. Giriş**

Güvenilirliğin pek çok tanımı yapılabilir. Bu tanımlardan bazıları aşağıda verilmiştir. Güvenilirlik, bir cihazın veya sistemin belirli koşullar altında, belirli zaman aralığında, kendinden beklenen fonksiyonlarını yerine getirebilme olasılığıdır. Daha geniş bir tanımlama ile güvenilirlik, kullandığı tahmin ve analiz araçlarıyla belirli bir zaman içerisinde hataların azaltılmasını ve önlenmesini amaçlayan bilimdir. Dolayısıyla bu tanımda en önemli kelime güvenilirliğin bir bilim olarak tanımlanmasıdır. Güvenilirlik, hataların etkilerinin analizini gerçekleştirir [32].

Güvenilirlik, bir cihaz veya aygıtın belirli koşullar altında hatasız olarak ne kadar çalışacağına olasılığıdır. Kalite bakış açısı ile güvenilirlik, bir cihazın veya sistemin belirli bir zaman aralığı boyunca çalışır olma olasılığı olarak tanımlanır. Daha detaylı bir tanımla ile güvenilirlik, bir cihazın veya sistemin, kendisinden beklenen fonksiyonlarını, belirli güvenilirlik ve zaman aralığında, belirli koşullar altında (çevresel koşullar, performans limitleri, stres seviyeleri vs) hatasız olarak yerine getirebilme olasılığıdır [33]. Güvenilirlik ve ömür testleri, tüketici elektroniği, otomotiv, uzay ve havacılık, savunma sanayinde çok hızlı gelişen ve önem verilen bir alan olmuştur [34].

Güvenilirlik, tamir edilebilir sistemlere ( repairable system ) uygulanabildiği gibi tamir edilemeyen sistemlere ( non repairable system ) de uygulanır. Herhangi bir cihazın veya sistemin çalışma ve hata fonksiyonlarının tanımlanmış olması, güvenilirlik analizlerinin başlama noktasıdır. Sistemin gerekli fonksiyonları ve/veya çalıştırma koşulları zamanın birer fonksiyonudur. Dolayısıyla güvenilirlik analizlerinde sistemin ortalama ömür hesaplamalarında bu tanımların yapılmış olması gereklidir.

Güvenilirlik ve ömür testleri, bileşenlerin, bileşenlerden oluşan elektronik kartların, kartlardan oluşan sistemlerin, belirli bir ortamda, belirli koşullarda kendisinden beklenen fonksiyonları, belirli bir zaman aralığında hatasız yerine getirebilme olasılığının belirlenmesinde teorik ve pratik araçlar olmuşlardır. Geleneksel güvenilirlik ve ömür testleri bir takım eksikliklere sahiptir. Günümüzdeki yeni tekniklerle (QFD, HALT, HASS, ...) bu testlerin daha etkin olması sağlanmıştır [35].

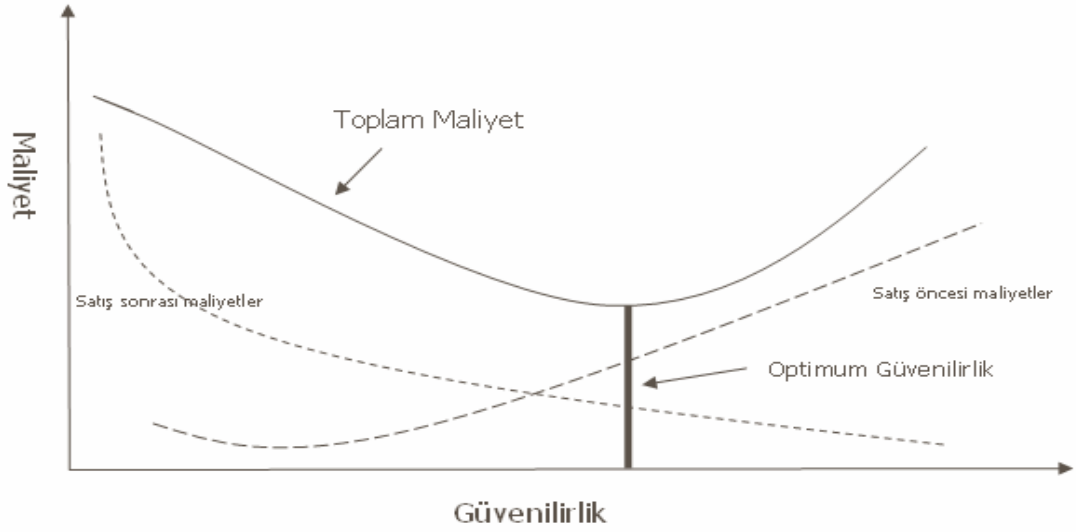
## **6.2. Test Tipleri, Uygulamaları ve Yararları**

Güvenilirlik testleri, tasarlanan bir ürünün veya elektronik kartın veya bu tasarımda kullanılan elemanların belirli koşullar altında kendisinden beklenen fonksiyonlarını yerine getirip getirmediğini veya daha ne kadar getirebileceğinin bilgisini özel ekipmanlar, cihazlar, odalar ve istatistiksel araçlar kullanarak ortaya çıkaran bir dizi bilimsel işlemler dizisidir. Güvenilirlik testleri, tasarım doğrulama veya kalite testlerinden biraz daha farklı bir yapıdadır. Bu testler ile amaçlanan ürünün sadece normal çalışma koşullarındaki durumu değil en kötü durumda ve maksimum stres seviyesine kadarki durumunu da analiz etmektir. Tasarımın dahada geliştirilmesi için bu bilgi gereklidir. Bu bilgi aynı zamanda tasarım kalite seviyesinde göstergesidir. Güvenilirlik testleri mutlaka bir program dahilinde uygulanması gerekir. Yönetimi olmayan test programları, istatistiksel ve bilimsel veriler üretmez. Bu veriler özel laboratuvar koşullarında gerçekleştirildiği gibi sahada alınan veriler de doğru analiz için gereklidir. Güvenilirlik testleri bileşen seviyesi testler ve sistem seviyesi testler olmak üzere birbirinden farklı 2 aşamada uygulanır. Bileşenler, sistem içerisinde daha kesin ve hassas tanımlamalara sahiptir. Sistem ise, bu bileşenlerin birbiriyle etkileşimi sonucu daha fonksiyonel bir yapıya sahiptir. Test planlaması daha kolay olup, test süresi daha düşüktür. Karar kriteri daha somut çıktılara dayanır (çalışıyor, arızalı, performans kötü vs). Örneğin, bir elektronik ana kart üzerinde kapasiteler (elektrolitik, MKP, SMD vs), diyotlar (güç diyotları, zener diyotlar vs) dirençler (film, karbon, metal glaze dirençler vs) transistörler (anahtarlama, güç vs), entegre devreler gibi bileşenlerden oluşur. Uygulanacak güvenilirlik testleri ile bu bileşenlerin laboratuvar koşulunda (veya herhangi bir stres altındaki çalışma koşulunda), üretici belirli değerlerinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolüne yönelik testler eleman seviyesi testidir.

Bu testler, daha karmaşık olup daha özel ekipmanlar ve ölçümler alınması gerekebilir. Bu bileşenlerin elektronik tasarım kurallarının uygulandığı ve belirli bir fonksiyonun çalıştırılmasına yönelik kart tasarımı gerçekleştirilir. Bu kartın, kendinden beklenen fonksiyonunun yerine getirilip getirmediğini anlamak amacıyla yapılan performans testleri sistem seviyesi testidir. Bu iki seviyeli testler bir bütündür ve birlikte analiz edilmelidir. Tek başına bileşen seviye testleri çoğu zaman güvenilirlik analizlerinde karar üretebilmek için yeterli değildir. İstatiksel olarak doğru bir karar verebilmek için çok sayıda testlerin yapılması, test ortamlarının benzetiminin yapılması ve testlerin çok uzun sürelerde yapılması gerekebilir. Ancak her bir testin tasarımcıya bir maliyeti vardır. Bu anlamda tasarım mühendisi ile test mühendisi sürekli olarak çatışma halindedirler. Tasarım mühendisleri, tasarlanmış olan elektronik kartın veya cihazın veya sistemin ne kadar süre ile hatasız çalışacağını merak eder ve hata oranı düşük, kendisinden beklenen fonksiyonları uzun sürede gerçekleştirmesini isterler. Bu amaca ulaşmak için matematik, istatistik ve mühendisliğin kurallarını uygulurlar.

Tasarımın anlık çalışıyor olması, doğru tasarlandığının tek göstergesi değildir. Tasarımda, doğru elektronik bileşenlerin doğru çalışma aralığında seçilerek kullanılması, hem olası donanımsal hata durumunu azaltacak hem de maliyet açısından ucuz bir tasarım gerçekleşmiş olacaktır [36]. Test mühendisi ise, tasarımcı tarafından tasarlanan sistemin risksiz olarak üretilmesini ve dolayısıyla geri dönüş oranı en az olacak şekilde test planı hazırlar. Doğal olarak kendileri de aynı firmanın bir çalışanı olarak para kazanmak isterler. Bu noktada en önemli soru kaç adet test uygulanacak? Bu testler ne kadar sürecek? Uygulanan bu testlerin maliyeti ne kadar olacak ?

Elektronik bir ürünün alıcıları, doğru kalitedeki ürünü en ucuz fiyata almaya çalışırlar. Üretici tarafında güvenilir bir cihaz üretebilmek için üç ayrı maliyet faktörü yer alır: tasarım ve geliştirme maliyeti, üretim maliyeti ve bakım–tamir maliyeti. Bu maliyetlerin güvenilirlikle olan değişimi Şekil 6.1’de verilmiştir. Güvenilirlik arttıkça tasarım ve geliştirme maliyeti de artmaktadır, çünkü, tasarım sırasında daha fazla test yapılmasına ve ürünün dayanıklılığının ispat edilmesi için daha çok zaman ayrılmasına ihtiyaç vardır.



Şekil 6.1: Güvenilirlik-Maliyet İlişkisi

Güvenilirliğin artması ile üretim maliyetleri de artar, çünkü, daha iyi kalitede elemanların kullanımı, üretim süreçlerinin, kontrol ve test süreçlerinin daha yakından takibi gerekir. Diğer yandan ise bakım ve tamir maliyeti düşer[37]. Şekil 6.1, optimum güvenilirlik seviyesini yakalamanın, toplam maliyeti en aza indirmek anlamı taşıdığını ifade etmektedir.

Güvenilirlik testleri 3 ana aşamada uygulanır:

İlk aşama, tasarım geliştirme güvenilirlik testleridir. Bu testler, tasarımın ilk safhalarında çalışır. Örnekler üzerinde yapılan, anakart seviyesinde uygulanan çevresel ve elektriksel testler, tasarım doğrulama testleri, hızlandırılmış ömür testleri, kritik bileşen zayıf nokta analiz testleri, yaşlandırma testlerini içerir. İstatistiksel analizlerin yapılmasına olanak sağlayacak sınırlı sayıda örnek üzerinde testler gerçekleştirilir.

İkinci aşama, tasarım yeterlilik ve güvenilirlik doğrulama testleridir. Bu testler, ürünün veya cihazın veya sistemin seri üretim öncesinde belirli çevresel koşullarda belirtilen performans speklerini sağlayıp sağlamadığını belirlemek için uygulanır. Önseri testleri, çevresel testler, fonksiyon testleri, performans testleri, uzun süreli ömür testleri, ESS çevresel stres ekran testleri, güvenilirlik doğrulama testleri ve analizleri, uyum testlerini içerir.

Üçüncü aşama, kalite güvence güvenilirlik testleridir. Bu testler, giriş kalite ve çıkış kalite bölümlerine üretim sayısı ile yüzdesel olarak orantılı sayıda test örneklerinde gerçekleştirilen eleman seviye, anakart seviye veya sistem seviyedeki testlerdir.

Güvenilirlik testleri, doğası gereği bir zaman alır ve maliyeti vardır. Güvenilirlik maliyet ilişkisi grafiğinden de anlaşılacağı üzere optimum güvenilirlik seviyesinin belirlenmiş olması bu maliyetin minimum olmasını sağlamaktadır. Örneğin yarı iletken bileşen teknolojilerinde, hatanın oluşması için çok uzun yıllar beklemek zorunda kalabiliriz. Yapacağımız testlerde çok fazla sayıda numuneye gereksinim duyulmaktadır. Ancak, ürünü zamanında pazara sokabilmek ticaretin ruhunda vardır ve doğrudan karlılığı etkiler.

### **6.3. Güvenilirlik ve Ömür Testleri**

Hata, bir sistemin sistemi oluşturan modüllerinin, bu modülleri oluşturan bileşenlerin belirli bir sürede belirli koşullar altında fonksiyonlarını yerine getirememesidir. Hataların analizine bakıldığında çoğu ürün bağımlıdır.

Donanım hatalarını tasarım, malzeme, üretim, test ve kullanım olarak gruplandırabiliriz. Yazılım hatalarını da benzer şekilde gruplandırmamız mümkündür [38].

Hataların nedenlerini anlamak ve bu yönde tasarım kalitesini yükseltmek, güvenilirlik test ve analiz programı uygulamak ile mümkündür. Gerçekleştirilen bu testler ile tasarımın zayıf noktaları belirlenebilir ve hata durumu oluşmadan gerekli hata önleyici faaliyetler uygulanması daha güvenilir bir ürün tasarımı ve üretimi anlamı taşımaktadır.

Güvenilirlik bir ürünün belirlenen şartlar altında belirlenen süre boyunca istenen fonksiyonlarını yerine getirebilmesi olarak tanımlanır. Hata ise bir ürünün istenen fonksiyonunu yerine getirememesi durumudur. Güvenilirlik için en önemli belirleyici unsur ürünün ne sıklıkla hata verdiğiidir.

Hatalar arasındaki ortalama zaman (Mean Time Between Failures (MTBF)), tamir edilebilir durumlara uygundur ve bir ürünün tanımlanan stres koşullarında belirlenen süre çalıştırılması sırasında ortaya çıkan, birbirini izleyen hataların arasındaki sürenin ortalamasının hesaplanması ile bulunur. Örneğin, bir ürün 30000 saat çalışırken 3 kez hata verir ise MTBF 10000 saat olur. Hatanın zamanla değişimi eğer ekponensiyel değilse, MTBF'i tahmin etmek hemen hemen mümkün değildir[39]. Hata için ortalama süre (Mean Time to Failure (MTTF)), tamir edilemeyen durumlara uygulanır. MTTF pek çok sayıdaki ürünü belirlenen koşullarda, belirli sürede strese maruz bırakıp süreyi hata sayısına bölerek bulunur. Daha çok bileşenlere uygulanır.

Güvenilirlik ve ömür testleri aşağıdaki amaçları içerir:

1. Bileşenlerin, bileşenlerden oluşan kartların, kartlardan oluşan sistemlerin laboratuvar koşullarında veya kullanılması düşünülen sahada normal ve bilinen bir stres koşulu altında çalıştırıldığında hedef koşullarını sağlayıp sağlamadığını belirler.
2. Bileşenlerin, bileşenlerden oluşan kartların, kartlardan oluşan sistemlerin ilgili güvenlik aralığında (confidence level) hata oranı (Failure Rate), ortalama ömür (Mean Life), güvenilirlik (Reliability) hesaplamalarını belirler.
3. Belirli stres seviyesinde oluşan hata modlarını ve nedenlerini analiz eder.
4. Elde edilen sonuçlara dayanarak, düzeltici ve önleyici faaliyetlerin yer aldığı tasarım kılavuzları oluşturur.
5. Uygulanan düzeltici faaliyetlerden sonra yeni güvenilirlik analizleri gerçekleştirir.
6. Uygulanan güvenilirlik programı ile araştırma, mühendislik ve geliştirme aşamalarında güvenilirlik büyüme seviyesini (Reliability Growth Rate) belirler.
7. Tasarımın, istenilen güvenlik ve hata oranı seviyesinde olmasını sağlayacak istatistiksel ve bilimsel verileri sağlar. Bu verilere dayanarak tasarımda kullanılan bileşenlerin istenilen ömür aralığında olup olmadığını belirler.
8. Tasarımda kullanılacak elemanların uygun çalışma aralığında olup olmadığının ve farklı alternatif üreticilerin elemanlarının kullanımındaki risk seviyelerini belirler.
9. En optimum (performans ve maliyet) test planlamasını, testin gereksinimlerini ve bu plana göre en doğru karar ile test sonuçlarının analizini sağlar.

## 6.4. Baskı Devre Kartı Bileşenlerinin Ömrü

PCB malzemesinin ömrü, çalışma koşullarında maruz kaldığı sıcaklık tarafından belirlenir. Kartın mekanik özellikleri yüksek sıcaklıklarda bozulmaya uğrar. PCB sıcaklık artışı lokal olarak ısınan bir bileşenden dolayı meydana gelmiş olabilir. Örneğin aşırı akım çeken güç diyotları, transistörleri veya watt'lı dirençler ısı üretebilirler. Bu ısıdan dolayı PCB lokal olarak önce kararma ve ardından yangın riski oluşabilmektedir. Bu durumda ısınan aktif bileşenlerin soğutucu kullanılarak, bacak formlarının değiştirilerek veya ana karttan yükseltilecek bu ısı kaynağının PCB'ye zarar vermesi önlenir. Bunun yanısıra bakır yol hat kalınlığı, akım çeken hatların mesafeleri de önemlidir.

### 6.4.1. Lehim noktası

Lehim noktasının ömrü, lehimin yapısında meydana gelen mikro çatlakların neden olduğu mekanik stres tarafından belirlenir. Lehim oluşumunda mikro çatlaklar, ani sıcaklık değişimleri, aşırı sıcaklık, titreşim ile meydana gelir. Lehim noktasındaki stres, bileşen ile baskılı devre arasındaki termal uyumsuzluk, bileşenlerin pinleri arasındaki mesafe ve lehim noktasının maruz kaldığı ani sıcaklık değişimleri etkili olmaktadır. Lehim noktasının sıcaklık değişimi  $\Delta T$  olarak tanımlanır.

$$\Delta T = T_{\text{junction}} - T_{\text{amb}} \quad (6.1)$$

Burada  $T_{\text{junction}}$  ısınan elemanın pin sıcaklığını göstermektedir.  $T_{\text{amb}}$  ise sabit ortam sıcaklığını temsil etmektedir.

Lehim noktası stresi azaltmak için bileşen ile baskı devre kartının termal uyumsuzluğu minimum olmalıdır. Isı kaynağı olan bileşenin S formu dizilmesi 3-4 °C fark oluşturmaktadır. Doğru lehim oluşumu kullanmak, lehim noktası ömrünü artırır. Yüzey montajlı bileşenlerin lehim noktası güvenilirlik seviyesini artırmak için uygun alaşımli lehimler kullanılması gereklidir. Bu lehim bileşen pini ile PCB bakır malzemesi arasında kontak oluşturmaktadır. Lehim noktası güvenilirlik seviyesinin belirlenmesi için ısıl çevrime dayalı iki model kullanılır [40,41].



Bu modeller, Coiffon-Manson ve Engelmaier's formulüdür. Coiffon-Manson modeli, lehim noktası güvenilirliği için ısı çevrim hızlandırma faktörünün hesaplanabilmesine olanak sağlar.

$$AF = e^{\left(\frac{0.123}{k}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_s}\right) \cdot \left(\frac{f_u}{f_s}\right)^{0.3} \cdot \left(\frac{\Delta T_s}{\Delta T_u}\right)^{1.9}} \quad (6.2)$$

$T_u = ^\circ\text{K} (+273)$  kullanımdayken maksimum lehim düğüm sıcaklığı

$T_s = ^\circ\text{K}$  olarak stres sıcaklığındayken maksimum lehim düğüm sıcaklığı

$k = \text{Boltzman's sabiti} (.0000862)$

$f_u = \text{Kullanımdaki çevrimsel sıcaklık değişiminin frekansı}$

$f_s = \text{Stres durumundaki çevrimsel sıcaklık değişiminin frekansı}$

$\Delta T_u = \text{Normal çalışma durumundaki sıcaklık değişimi} - ^\circ\text{C}.$

$\Delta T_s = \text{Stres durumundaki sıcaklık değişimi} - ^\circ\text{C}.$

Engelmaier's formülleri, lehim noktası analizi için hata durumu oluşuncaya kadar gereken ısı çevrim stres çevrim sayısını hesaplamamıza yardımcı olur.

$$N_f = \frac{1}{2} \left\{ 2 \cdot \frac{\epsilon' \cdot f}{\gamma} \right\}^{-\frac{1}{C}} \quad (6.3)$$

$N_f = \text{Periyotlardaki hata sayısı},$

$\gamma = \text{Lehimlemedeki bilinen kopma gerilimi}$

$\epsilon' \cdot f = \text{Yorulma esneklik parametresi} (0.32 \text{ Kalay kurşunlu lehim için})$

$C = -0.442 - (6.10 \cdot 10^{-4} \cdot T_s) + (1.74 \cdot 10^{-2} \cdot \ln [1 + 360/td])$

$T_s = \text{Ortalama periyot sıcaklığı } ^\circ\text{C} (\text{çeşitli lehim düğümlerinin ortalaması}) \text{ için } \frac{\text{max temp.} + \text{min. temp.}}{2} \text{ kullanılabilir.}$

$td = \text{Yarım periyottaki oturma süresi}$

## 6.4.2. Kapasitörler

### 6.4.2.1. Seramik kapasitörler

Bu grup bileşenlerin ömrü, sıcaklık artışına bağlı olarak  $\tan\delta$  kapasitans kaybının artmasına bağlıdır. Ölçülen değer mutlaka üretici firmanın verdiği spek değerleri ile karşılaştırılmalıdır. Ölçülen değer, üretici firmanın verdiği değerlerin %80 stres seviyesinde olması istenen değerdir.

### 6.4.2.2. Film kapasitörler

Bu grup film kapasitörler, film/foil ve metal film teknolojili (paper-polyester-polypropylene dielectric) olanlardır. Bileşen ömrü, sıcaklık artışına bağlı olarak  $\tan\delta$  kapasitans kaybının artmasına bağlıdır. Bununla birlikte hızlı gerilim/akım değişimleriyle oluşan darbe ve geçişler ömrünü olumsuz etkileyen parametrelerdir. Dolayısıyla, maruz kalınan darbenin toplam sayısı bileşenin ömrünü doğrudan etkiler.

$$NBR_{pulses} = \left( \frac{V_{r,max} \times \left( \frac{dV}{dt} \right)_{max}}{V_{appl} \times \left( \frac{dV}{dt} \right)_{appl}} \right)^{6,5} \times 10^5 \quad (6.4)$$

$NBR_{pulses}$  = Tükeniş ömür bölgesine girmeden önceki toplam darbe sayısı

$V_{r,max}$  = Max nominal DC gerilimi

$V_{appl}$  = Uygulanan p-p DC gerilim

$(dV/dt)_{max}$  = max. nominal darbe dikliği

$(dV/dt)_{appl}$  = Uygulanan darbe dikliği

Örneğin;

$V_{r,max} = 63 V_{DC}$

$V_{appl} = 40 V_{pp}$

$(dV/dt)_{max} = 60 V/us$

$(dV/dt)_{appl} = 30 V/us$

Formülde yerine koyduğumuzda  $NBR 173 \times 10^6$  bulunur. Tekrarlama frekansı 50Hz olduğunda, toplam ömrü 961 saat olacaktır. Dolayısıyla istenilen ömür seviyesinin çok altında olacaktır. Başka bir bileşen seçilmesi gerekecektir. Uygulamada uzun ömür sağlanması için, yüksek gerilim değişimli film kapasiteler seçilmeli veya yüzey sıcaklığının düşük olması için düşük kapasite kayıplı ( $Tan\delta$ ) kapasitörler seçilmelidir.

### 6.4.2.3. Elektrolitik kapasitörler

Elektrolitik kapasitörler:

-Non-solid alüminyum kapasitörler(kutuplu/kutupsuz)

-Tantalyum kapasitörler

Bu kapasitörlerin ömrü, iç sıcaklıklarının değişimine göre belirlenir. İç sıcaklığı çalışma sıcaklığı, gerilim stres değeri, frekans ve ripple akıma bağlı olarak değişir. Çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığına ve ripple akım değerine bağlı olarak ömrü etkileyen en önemli parametredir. Ripple akım, ömrü olumsuz yönde etkileyen bir diğer parametredir. Ripple akım, ESR ve  $Tan\delta$  bağlı olarak ısı üretir ( $K_{ripple}$ ). Çalışma gerilimi elektrolitik kapasitenin ömründe genelde etkin bir parametre değildir. Frekans, ömrü etkileyen önemli parametrelerdendir. Elektrolitik kapasitörlerin ömür hesapları aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$L_x = L \cdot K_{Temp} \cdot K_{Voltage} \cdot K_{Ripple} \quad (6.5)$$

$L_x$ = Hesaplanan Ömür ,  $L$ =Nominal Ömür (Eleman Datasheet)

$K_{Temp}$  =Sıcaklık Faktörü ,  $K_{voltage}$ =Gerilim Faktörü (Yaklaşık 1)

$K_{ripple}$ = Ripple current Faktörü

$$K_{Temp} = 2^{\frac{T_0 - T_x}{10}} \quad (6.6)$$

$T_0$  = Max. Nominal Sıcaklık ,  $T_x$  = Çalışma Sıcaklığı

$$K_{Ripple} = 2^{\left(\frac{\Delta T_0 - \Delta T}{10}\right)} \quad (6.7)$$

$$\Delta T = \frac{I_{Ripple}^2 \cdot R_{ESR}}{A \cdot \beta} \quad (6.8)$$

$\Delta T_0$  = Max. ripple akımda ısı artışı

$\Delta T$  = Gerçek ripple akımda ısı artışı

$I_{ripple}$  = Kapasitörün Ripple akımı

$R_{ESR}$  = Eşdeğer seri direnç

$A$  = Elektrolitik kapasitörün yüzey alanı

$\beta$  = Isı yayılım faktörü ( $0,0023 \cdot A^{-0,2}$  (W/cm<sup>2</sup> · °C))

Buradan kapasitörün ömrü,

$$L_X = L \cdot 2^{\frac{T_0 - T_X}{10}} \cdot 2^{\frac{\Delta T_0 - \Delta T}{10}} \quad (6.9)$$

$$L_X = L \cdot 2^{\frac{T_0 - T_X}{10}} \cdot 2^{\left[1 - \left(\frac{I_{Ripple}}{I_{RatedRipple}}\right)^2\right] \frac{\Delta T_0}{10}} \quad (6.10)$$

bağıntısı ile bulunur.

Örneğin 1 °C sıcaklık değişiminin ömürdeki etkisine bakalım.

$$A = 2^{\frac{(T_0 - T_M)}{10}}, \quad T_0 - T_M = 1C, \quad A = 2^{0,1} = 1,071 \text{ 'dir.}$$

Bunun anlamı 1 °C lik sıcaklık düşümü ömürde 1,071'lik bir artış sağlamaktadır. 50 °C derecede ömrü 20.000 saat olan bir kapasitörün 49 °C'de ömrü 21470 saat olacaktır. 48 °C derecede ömrü 22940 saat olacaktır. 10 °C derecelik değişim ömürde yaklaşık 2 katlık bir değişime neden olacaktır.  $I_{ripple} = 2A$ ,  $I_{nominal\ ripple} = 8A$

$$2^{\left[1 - \left(\frac{I_{Ripple}}{I_{RatedRipple}}\right)^2\right]} = 2^{\left[1 - \left(\frac{2}{8}\right)^2\right]} = 2^{0,9375} \quad (6.11)$$

$I_{ripple} = 4A$  olması durumunda;

$$2^{\left[1 - \left(\frac{I_{Ripple}}{I_{RatedRipple}}\right)^2\right]} = 2^{\left[1 - \left(\frac{4}{8}\right)^2\right]} = 2^{0,75} \quad (6.12)$$

Ömür  $L_{4A}=0.878L_{2A}$

85 °C ve 105 °C olmak üzere 2 tip nominal değeri vardır. 2000 saat ve 5000 saat olmak üzere 2 ömür sınıfı vardır. Bu değerler üretici firma tarafından  $T=25$  °C ve  $T=40$  °C olarak verilir. Elektrolitik kapasitenin ömür hesabında  $\Delta T$  değeri etkin rol oynamaktadır. Arrhenius yaklaşımı kullanılarak aşağıdaki formül geçerlidir.

$$L_X = L \cdot 2^{\frac{T_0 - T_X}{10}} \quad (6.13)$$

$L_X$  = Ortalama Ömür ,  $L$  = Üretici firma nominal ömür değeri

$T_0$ =Elektrolitik kapasite maksimum çalışma sıcaklığı

$$T_X = T_0 - \Delta T - 25 \text{ °C} , \Delta T = T_{\text{amb}} - T_{\text{meas}} \quad (6.14)$$

Tablo 6.1.'e göre ripple akıma bağlı olarak Elektrolitik kapasitenin yüzey sıcaklığındaki 10 derecelik artış ömrün yaklaşık yarıya inmesi anlamına gelmektedir.

Tablo 6.1: Kapasitenin Yüzey Sıcaklığındaki Artışının Ömrüne Olan Etkisi

	$T_0$	$\Delta T = 2 \text{ °C}$		$\Delta T = 5 \text{ °C}$		$\Delta T = 10 \text{ °C}$		$\Delta T = 15 \text{ °C}$	
		MTBF	FR	MTBF	FR	MTBF	FR	MTBF	FR
4700uF/400V	105 °C	445722	2,24	362039	2,76	256000	3,91	181019	5,52
0.1 uF/63 V	105 °C	445722	2,24	362039	2,76	256000	3,91	181019	5,52
10 uF/16V	85 °C	111430	8,97	90510	11,05	64000	15,63	45255	22,10
	105 °C	445722	2,24	362039	2,76	256000	3,91	181019	5,52

*MTBF(Hours) FR per million*

### 6.4.3. Diyotlar

Bu grup elektronik bileşenlerin ömrü, bağlantı (junction) sıcaklığına ve akım/gerilim stres seviyesine bağlıdır. Diyotlar, ani gerilim ve akım değişimlerinden olumsuz etkilenirler ve ömürleri doğrudan ilişkilidir.

Tablo 6.2: Diyotların Bağlantı Sıcaklığı ile Maruz Kaldığı Stres Arasındaki İlişki

Max Stres Seviyesi			
JUNCTION TEMPERATURE:	Class A	Class B	Class C
Diyot >1000V	100 °C	115 °C	T <sub>j,max</sub>
Diyot <1000V			
Full-glass passivated	125 °C	150 °C	T <sub>j,max</sub>
Doğrultucu (glass mesa/planar)	100 °C	125 °C	T <sub>j,max</sub>
Doğrultucu (non glass passivated)	100 °C	125 °C	T <sub>j,max</sub>
Schottky	110 °C	115 °C	T <sub>j,max</sub>
Zener	100 °C	125 °C	T <sub>j,max</sub>
Small Signal	125 °C	150 °C	T <sub>j,max</sub>
Peak Reverse Gerilimi V(1) (Nominal değer in ölçülen değere oranıdır)	%80	%85	%100

#### 6.4.4. Transistörler

Transistörlerin aktif ömrü bağlantı sıcaklık değerine ve nominal akım ve gerilim değerlerinin stres seviyesine bağlıdır.

Tablo 6.3: Transistörlerin Bağlantı Sıcaklığı ile Maruz Kaldığı Stres Arasındaki İlişki

Max Stres Seviyesi			
JUNCTION TEMPERATURE:	Class A	Class B	Class C
Transistör >1000V	100 °C	115 °C	T <sub>j,max</sub>
Transistör <1000V	100 °C	125 °C	T <sub>j,max</sub>
I <sub>b</sub> ve VCE ölçülen değerler nominal değerlere oranı	%80	%85	%100

#### 6.4.5. Anahtarlar

Anahtarların ömrü anahtarlama sayısı ve şebekeden çekilen ani boşalma akımına bağlıdır. Ölçülen ani boşalma akımı nominal değerinin %80'inin altında olması istenmektedir.

#### **6.4.6. Sigortalar**

Sigortaların ömür hesaplamalarında aşağıdaki kritik değerler etkilidir.

Nominal Gerilim  $V_n$  , nominal akım  $I_n$ ,

Erime Alanı (Melding Integral)  $A^2s$  (A:Amper, s:sn)

Erime alanı  $A^2s/2$ 'nin %60'ından küçük olması ömür açısından kritiktir.

#### **6.5. Güvenilirlik Analizinde Kullanılan Yöntemler**

Güvenilirlik mühendisliğinin en önemli amaçlarından birisi bir cihazın veya sistemin hatasız ne kadar süre çalışabileceğinin analizini yapmaktır. Güvenilirlik doğası gereği bir olasılık olduğu için hiçbir zaman “Ne zaman” cevabını bulamayacaktır, ancak bir yaklaşımla tahmin edilebilmesi mümkündür. Güvenilirlik mühendisliğinde kullanılan analiz yöntemleri şunlardır:

Güvenilirlik tahmini, güvenilirlik blok diagramı (RBD), hata modları etki analizi (FMEA), hata ağacı, weibull, durum ağacı, dayanıklılık, ömür döngüsü maliyet analizi (LCC), Markov analizi

##### **6.5.1. Güvenilirlik tahmini**

Ne: Sistem parça ve bileşenlerin analizi

Nasıl: Kurulu standartlar (Mil-std-217) ve bileşen üretici firma bilgileri

Neden: Bileşen hata oranlarının tahmini

##### **6.5.2. Güvenilirlik blok diagramı**

Ne: Karmaşık sistemlerin analizi

Nasıl: Matematiksel algoritmalar ve Monte Carlo Analizi

Neden: Yedekli sistemler için hata oranı tahmini

### **6.5.3. Hata modları etki analizi**

Ne: Hata modları ve etkileri analizi

Nasıl: Bileşenlerin hata modları ve etkilerinin analizi

Neden: Bileşenlerin hata modlarının tanımlanması, etkilerinin incelenmesi ve düzeltici faaliyetlerinin tasarım aşamasında alınmasını sağlamak

### **6.5.4. Hata ağacı**

Ne: Sistem hatalarının nedenlerinin analizi

Nasıl: Mantık devreleri kullanarak sistemsel yapı oluşturmak  
(ve kapısı, veya kapısı vs.)

Neden: Potansiyel sistem hatalarının belirlenmesi

### **6.5.5. Weibull**

Ne: Veri analizi

Nasıl: Test verilerinin toplanması, hataların değerlendirilmesi

Neden: Uygun sistem güvenilirlik dağılımının belirlenmesi

### **6.5.6. Durum ağacı**

Durum ağacı analizi kullanışlı ve uygulanabilir analiz yöntemidir. Bu analiz tekniği karmaşık ve temel mühendislik sistemleri için sistem güvenilirliği hesabı, sistem tanımı ve sınıflandırılmasında kullanılır [42].

Ne: Sistemdeki olayların görsel modelinin çıkarılması

Nasıl: Durumların ve sonuçlarının sınıflandırılması ve tanımlanması

Neden: Durumların oluşma olasılıklarının belirlenmesi



Markov Analizinde; Markov modeli çok durumlu bileşenleri temsil için kullanılır [43]. Güvenilirlik tahmini bir sistemin, sistemi oluşturan modüllerin ve modülleri oluşturan elektronik bileşenlerin kurulu modellere dayanarak (Mil-std-217, bellcore, telcordia) hata oranı ( $\lambda(t)$ ), güvenilirliğini ( $R(t)$ ), ortalama hatasız çalışma süresini hesaplamak için kullanılan yöntemdir. Hata oranı ( $\lambda(t)$ ), hatanın oluşma oranıdır. Bir başka deyişle belirli zaman aralığında oluşan hatanın sayısıdır. Birimi milyon saat veya milyar saattir. (FIT-Failure in time) MTBF, ortalama hatasız çalışma süresidir. Küvet eğrisinin sabit hata oranlı bölgesi ekonomik ömür bölgesi için,  $MTBF = 1 / \lambda(t)$ ,  $\lambda(t)$  : hata oranıdır. MTBF, ürünün ne kadar güvenilir olduğunun bir ölçütüdür ve birimi saattir. Yüksek MTBF, daha güvenilir ürün anlamı taşımaktadır. Güvenilirlik  $R(t)$ , belirli koşullar altında, belirli süre için, sistemin kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilme olasılığıdır. Olasılık olduğu için (0-1) arasında yer alır.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)} \quad (6.15)$$

## 6.6. Güvenilirlik Tahminlerinde Kullanılan Modeller

Güvenilirlik tahminlerinde aşağıdaki modeller kullanılır: MIL-HDBK-217, Parts Count, Part Stress, Telcordia (Bellcore), Mechanical, GJB/Z 299B, GJB/Z 299B Parts Count, RDF 2000, CNET 93, HRD5, PRISM MIL-HDBK-217, 1960'lı yıllarda Amerikan askeri kuvvetler tarafından oluşturulmuştur ve 1995'te revize edilmiş güvenilirlik tahminlerinde kullanılan orjinal standarttır.

Elektronik cihazların bileşenleri için güvenilirlik matematik modellerini içerir. Elektronik bileşen devre bordları, kablo üretimlerinde bu güvenilirlik testleri halen kullanılmaktadır [44].

3G (Üçüncü nesil) haberleşme sistemlerinde kullanılan yüksek riskli bileşenlerin analizinde yine güvenilirlik testleri yapılmaktadır [45]. Parts Count, MIL-HDBK-217'nin bir bölümüdür. Daha basit matematiksel bir modeldir. Temelde, sistemi oluşturan tüm bileşenlerin ayrı ayrı hata oranlarının toplanması suretiyle hesaplanır.

$$\lambda_{Sistem} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_g \pi_Q)_i \quad (6.16)$$

$\lambda_{Sistem}$  = Sistem Hata Oranı

$n$  = Genel kategori kısmının sayısı

$N_i$  = i. genel kısmının miktarı

$\lambda_g$  = i. genel kısmının hata oranı

$\pi_Q$  = i. genel kısmının kalite faktörü

Parts Stress, Parts count ile aynı adımlardan oluşur. Ancak analiz için çalışma stres seviyelerinin biliniyor olması gereklidir.

$$\lambda_p = (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E) \pi_Q \pi_L \quad (6.17)$$

$\lambda_p$  = Eleman hata oranı

$C_1$  = Karmaşıklık sona erdiren hata oranı

$C_2$  = Ünite hata oranı

$\pi_T$  = Sıcaklık faktörü

$\pi_E$  = Çevresel faktör

$\pi_Q$  = Kalite faktörü

$\pi_L$  = Öğrenme faktörü

Telcordia (Bellcore), orijinali AT&T Bell laboratuvarları tarafından geliştirilmiştir. MIL-HDBK-217'nin modifiye edilmiş halidir. Deneyimlerin, gerçek verilerin ve laboratuvar sonuçlarının kullanıldığı güvenilirlik eşitlikleri içerir. Ticari şirketler, güvenilirlik analizlerinde tercih ettikleri standarttır. MIL-HDBK-217 ile karşılaştırıldığında, birim (çarpan), ortam koşulları ve bileşen kalite seviyelerinde farklılıklar görülmektedirler.

## 6.7. Güvenilirlik SW Analizi

Elektronik endüstrisinde en yaygın ömür hesaplama yöntemi olarak Mil-Std-217F Parts Count analizi kullanılır. Uygulama alanlarına göre ticari modelleri de kullanılmaktadır. Ancak bu hesaplama yöntemi mutlak ömür değerini gösteremez. Güvenilirlik analizi doğası gereği bir olasılık içerir. Analiz, sistemin belirli koşullar altında doğru olarak çalışabilmesinin olasılığını zaman birimi olarak gösterir. Bu analiz gerçekleştirilirken belirli kabuller veya laboratuvar sonuçları veya üretici firma analiz sonuçları kullanılabilir. Analiz sonucunun gerçeğe en yakın değerinin belirlenmesi için çalışma koşulları altında bileşenlerin stres seviyelerinin ölçülmesi ile gerçekleşir. Sistemi oluşturan bileşenler ne kadar fazla stres altında çalışıyorlar ise ömrü o kadar azalmaktadır. Bir güç diyotunun %50 akım stresinde çalışmasındaki ömrü ile %90 akım stresindeki çalışmasındaki ömrü aynı olmayacaktır. Veya bir elektrolitik kapasitenin çalışma sıcaklığındaki 10 derecelik değişim ömründe yaklaşık 2 katlık bir farka neden olacaktır.

Bu açıdan laboratuvar sonuçları oldukça önemlidir. Test sürelerini kısaltmak için uzun süreli ömür testleri gerçekleştirilir. Ömür testleri ile istatistiksel dağılım modeli belirlenerek gerçek ömür analizi yapılabilir. Bileşen ömürleri yıllar, hatta on yıllar olabilir. Bu bileşenlerin ömürlerinin doğrulanması için gerçekleştireceği testler sırasında tasarımcının veya üreticinin bu kadar süre bekleme zamanı olamaz. Dolayısıyla olasılık dağılımlarının kullanıldığı, elektronik bileşenlerin stres seviyelerine bağlı hata durumlarının analizlerinin kullanıldığı yaklaşımlar ile ömür analizi gerçekleştirilir. Bunun için en kötü koşullar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen analizler ideal sonuca yaklaşmaktadır. En kötü koşul analizi ise, teorik olarak gerçekleşebilen en kötü durum senaryosudur. Güvenilirlik analizlerinin amacı sistemin ömrünün tam olarak kaç yıl olacağını belirlemek olmamıştır. Belirli yaklaşımla bu gerçek değere ulaşmayı hedeflemektedir. Dolayısıyla hedef çalışma süresini sürekli artırmak için tasarım kalitesini artırmayı amaçlar. Daha sağlam, daha güvenilir tasarımlar sürekli iyileştirmeyi hedefler.

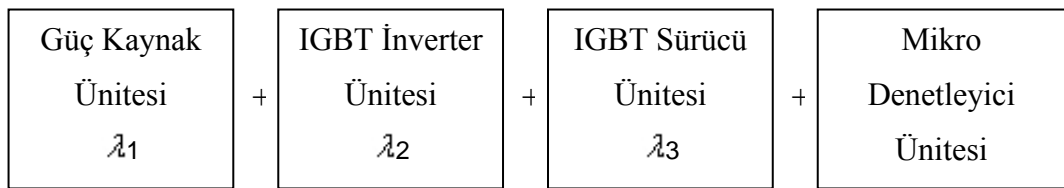
## 6.8. Yumuşak Anahtarlama Tek Fazlı Evirici Devresinin Güvenilirlik Analizi ve Sonuçları

Yumuşak anahtarlama tek fazlı evirici devresinin güvenilirlik analizi Mil-Std-217F standardına göre Parts Count yöntemine göre yapılmıştır. Bu analize göre sistemi oluşturan tüm bileşenlerin hata oranlarının seri olarak toplanmasıyla bulunur. Güvenilirlik mühendisliğinde güvenilirlik programları önemli rol oynar [46].

Yapılan analizler, Relex firmasının geliştirdiği yazılım kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bu yazılımın en önemli özelliği farklı çalışma koşullarına göre Mil-Std-217F’de yer alan bileşenlerin hata oranlarını seri olarak hesaplayabilmesidir. İlgili ölçüm parametreleri yazılımdaki veri tabanına girilerek standarda uygun olarak kolayca hesaplanabilmesine izin vermektedir.

Bu yazılımın ana kullanıcıları, NASA, askeri kuvvetler (Kara, Hava, Deniz), uçak motoru üreten şirketler, otomotiv firmaları, telekom şirketleri vs’dir. Sektörde bu yazılım ile gerçekleştirilen hesaplama standart hale gelmiştir.

Yumuşak anahtarlama evirici devresi 4 ana bölümden oluşmaktadır ve sistemin toplam hata oranı sistemi oluşturan modüllerinin hata oranlarının seri olarak toplanması ile bulunacaktır.



Şekil 6.2: Yumuşak Anahtarlama Tek Fazlı Eviricinin Toplam Hata Ana Blok Diagramları

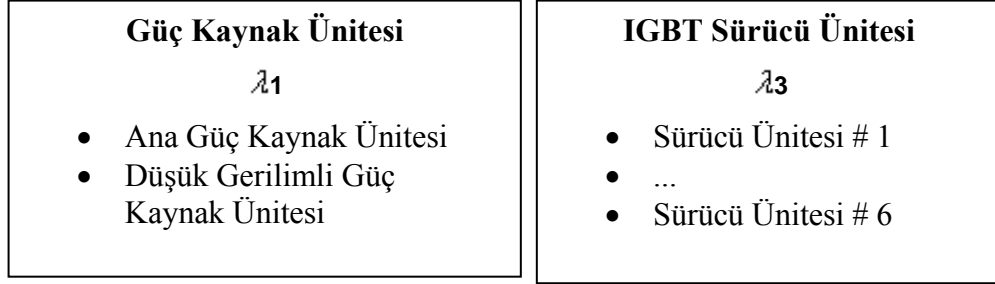
Sistemin toplam hata oranı;

$$\lambda_{sis} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 \quad (6.18)$$

Sistemin ortalama hatasız çalışma süresi (MTBF):

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_{sis}} \quad (6.19)$$

Her bir modülün alt modülleri ve elemanları mevcuttur. Analiz koşulları aşağıda verilmiştir.

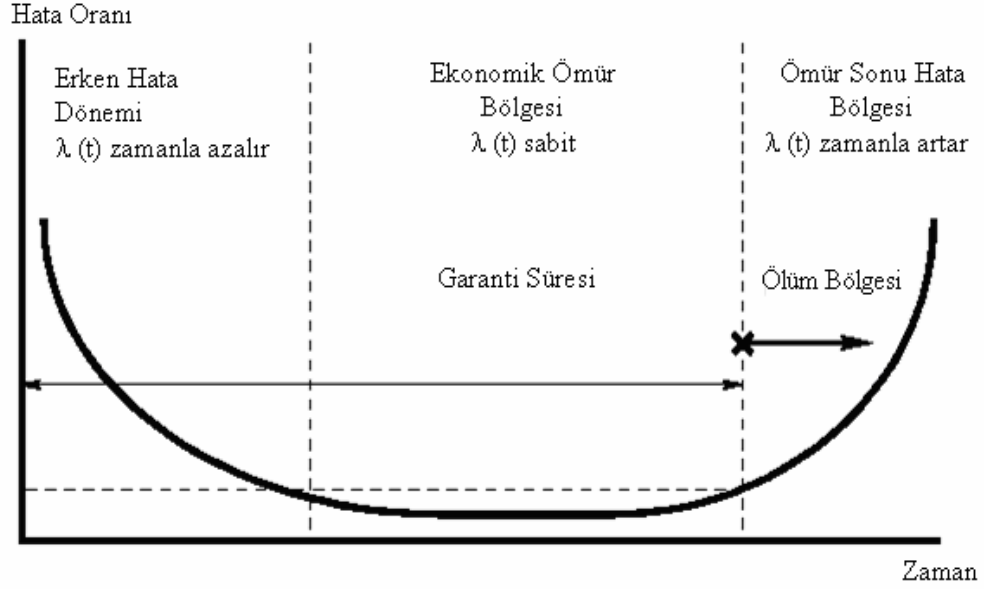


Şekil 6.3: Yumuşak Anahtarlama Tek Fazlı Eviricinin Toplam Hata Alt Blok Diagramları

Yumuşak anahtarlama tek fazlı evirici devresinin benzetiminde kullanılan kriterler Standart: Mil-Std-217F, Metod: Parts Count, Ortam Sıcaklığı:  $T_{amb} = 30^{\circ}C$ , Ortam: Toprak, iyi yapıda, kontrol edilebilir.

Güvenilirlik analizlerinin sonuçlarına göre,  $T=25^{\circ}C$  derecede 24 saat aralıksız çalışması durumunda  $MTBF:8070,77$  saat elde edilir. Yıla dönüştürüldüğünde  $8070,77/8760=0,92$  yıl sonucu ortaya çıkar. Eğer günde 8 saat çalışması halinde,  $3 \times 0,92= 2,76$  yıl sorunsuz çalışacağı hesaplanmıştır.  $T=30^{\circ}C$  derecede ise  $MTBF:6165,50$  saat çıktığı görülmüştür. Analiz Relex programıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu koşullar altında analiz sonuçları tablolar halinde Ek-B'de verilmiştir. Eviricinin tasarım aşamasında gerçekleştirildiği güvenilirlik testleri ile hata durumlarını benzetmek ve bu hata durumlarının oluşmasına engel olmak, analizleri ile tasarım kalite seviyesini artırmak temel amaç olacaktır [47].



Şekil 6.4: Kuvvet Eğrisi

Erken hata döneminin mümkün olduğunca kısa sürede ve ekonomik ömür bölgesinin olabildiğince uzun olmasını isteriz. ZCZVT darbe genişlik modülasyonlu eviricilerin elektronik kart seviyesi ve entegre olmuş ürün seviyesinde gerçekleştirilecek güvenilirlik testleri ile tasarım kalitesi artırılarak yüksek güvenilirlik seviyesinde ticari olarak üretilmesi mümkündür.

## BÖLÜM 7: SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Rezonans temelli ZCZVT Darbe Genişlik Modülasyonlu (PWM) yumuşak anahtarlama eviricilerin anahtarlama karakteristikleri incelenerek [48], yapılan çalışmayla ayrıca güvenilirlik test yöntemleri üzerinde durulmuştur. Son yıllarda,rezonans ve PWM tekniklerinin iyi yönlerinin birleştirilmesi düşüncesi ile ZVT ve ZCT teknikleri ortaya çıkmıştır [49]. Rezonans bastırma temelli eviricinin farklı yumuşak anahtarlama eviricilerde kullanılabileceği fikri [50], yumuşak geçişli ZCZVT eviricisinde yardımcı rezonans hücresinde yapılan farklı bir düzenekle görülmüştür. Bölüm 3’de belirtilen ZCZVT topolojisinde ana anahtarlar sıfır gerilimde kesime, sıfır akım altında iletme girmesine karşın yardımcı anahtar üzerinde yüksek akıma neden olması deneysel olarak da gösterilmiştir. Kurulan deneysel düzenekle güç elemanları üzerindeki yumuşak anahtarlama olayı incelenmiştir. Anahtarlama frekansı bağımsız iki endüktanslı rezonans hücresinde 40 kHz’den 32 kHz seviyelerine çekilirken [28,31], yapılan yeni ortak hava aralıklı magnetik kuplajlı endüktanslı eviricisinde ise hem DC bara gerilimi kademeli olarak artırılarak hemde anahtarlama frekansı 51,02 kHz’e kadar sorunsuz olarak çıkartılabilmektedir. Ayrıca önerilen evirici devresi için (IGBT’li anahtarlar ve 2117’li entegreli sürücülerle oluşturulan şartlarda), güvenilirlik analizi de gerçekleştirilmiştir.

Aynı frekansta (~40 kHz) bağımsız iki endüktanslı ( $L_{R1}$  ,  $L_{R2}$ ) durum ile ortak hava aralıklı magnetik bağlantılı ( $L_{R1}$  ,  $L_{R2}$ ) endüktanslı rezonans devresinin durumu ile ilgili deneysel çalışma yapılarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ana ve yardımcı anahtarların akım-gerilim eğrileri, bastırma kapasite gerilimi ile bastırma endüktans akım eğrilerinin örtüştüğü görülmüştür. ~40 kHz’lik çalışma durumuna göre, ortak hava aralıklı magnetik bağlantılı ( $L_{R1}$  ,  $L_{R2}$ ) endüktanslı rezonans devresinin 51.02 kHz’e çıkarıldığı andaki sonuçları değerlendirildiğinde, anahtarlama kayıplarında önemli bir artışın olmadığı da görülmüştür.

ZVT tekniğinin temelinde rezonans yardımıyla anahtar uçlarındaki gerilimin önceden sıfıra düşmesi, ZCT tekniğinde ise akımın sıfıra düşürülmesi rezonansla sağlanır.  $S_1$  ve  $S_4$  ana anahtarları için  $S_{A1}$ ,  $S_2$  ve  $S_3$  ana anahtarları için  $S_{A2}$  yardımcı anahtarı kullanılır.  $S_1$  ve  $S_4$  ana anahtarlarına kontrol sinyali uygulanmadan önce,  $S_{A1}$  yardımcı anahtar iletimde iken rezonans olayı gerçekleşmektedir. Daha sonraki periyotta ise aynı olaylar  $S_2$  ve  $S_3$  ana anahtarlarıyla  $S_{A2}$  yardımcı anahtarı için gerçekleşmektedir. ZCZVT'li rezonans geçişli tek fazlı bastırma hücreli eviricinin benzetimi Orcad 10.5 ve Micro-Cap 8 Guap Edition programlarıyla gerçekleştirilmiştir. Sunulan yeni ZCZVT'li eviriciye ait aralıklara ilişkin matematiksel ifadeler Bölüm 4.'te yer verilmiştir. ISIS Programıyla kontrol işaretlerin önce benzetim sonuçları görülmüş, PIC 18F452 mikrodenetleyicisi ile ana ve yardımcı anahtarların işaretleri üretilmiştir. Herbir anahtar için 6N136 optik bağlayıcı ve IXDD 414 sürücü entegreleri kullanılmıştır.

Sunulan evirici devresinde, güç elemanları üzerinde ilave gerilim stresleri görülmemiştir. Ana anahtarlar ve yardımcı anahtarlar ZCS altında iletim, ZVS ile kesime girmektedir(Şekil 5.9). ZCZVT'li önerilen evirici devresi, yüksek frekansta güç anahtarı olarak MOSFET kullanıldığında istenilen çalışma performansı göstermiştir. Yardımcı komutasyon devresi anahtarlama geçişleri sırasında aktif olmuştur. Devrede ortak hava aralıklı magnetik kuplajlı endüktanslarla 51.02 kHz'de anahtarlama karakteristiği uygun görülmüştür. Rezonans hücresindeki aralıkta endüktanslar ile ana anahtarlar üzerindeki akım sınırlanmaktadır. Ana anahtar üzerindeki ters toparlanma akım değeri 40.485 kHz'e göre biraz daha büyüktür.

ZCZVT'li rezonans geçişli tek fazlı bastırma hücreli eviricinin güvenilirlik analizleri Relex programı kullanılarak yapılmıştır. Programın benzetiminde IGBT'lere ve 2117 sürücü entegrelerine göre, devrenin ideal şartlarda,  $T=25^{\circ}$  C derecede 24 saat aralıksız çalışması durumunda MTBF: 8070,77 saat sonucu elde edilmiştir. Yıla dönüştürüldüğünde, 0,92 yıl sonucu ortaya çıkmıştır. Eğer günde 8 saat çalışması halinde; 2,76 yıl sorunsuz çalışacağı tahmini hesaplanmıştır. Bu değerlere uygun garantinin verilmesi doğru olacaktır.



Sonuç olarak 51.02 kHz için MOSFET’li anahtarlarla başarılı deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. İdeal koşullarla IGBT’li anahtarlarla da güvenilirlik analizinin benzetimi sunulmuştur. Bu doktora çalışmasının ileriki aşamasında VESTEL’de güvenilirlik analizlerinin deneysel sonuçlarının alınması hedeflenmiştir. Bu ve benzeri çalışmaların yeni bastırma hücrelerinin ortaya çıkarılması ve geliştirilmesi yönünde devam edeceği düşünülmektedir. Güvenilirlik analizleri yapılan diğer çalışmalara katkı sağlıyacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Bodur, H., *Güç Elektroniği Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, [http://www.yildiz.edu.tr/~bodur/guc\\_elektronigi\\_I.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~bodur/guc_elektronigi_I.pdf), (**Ziyaret Tarihi: 28 Kasım 2005**).
- [2] Uçar, M., Kesler, M., Özdemir, E., “DSP Tabanlı Paralel Aktif Güç Filtresinin Tasarımı ve Uygulanması”, *ELECO*, 131-135, (2006).
- [3] Aydemir, S., Çakır, B., Uçar, M., Özdemir, E., “Harmoniklerin Azaltılmasında Walsh Fonksiyonlarının Eviricilerde Uygulanması”, *ELECO*, 136-140, (2006).
- [4] Abut, N., “Güç Elektroniği Güç Yarıiletkenleri ve Dönüştürücüler Kitabı”, *Birsen Yayınevi*, 270, (2004).
- [5] Demirkutlu, E., Çetinkaya, S., Hava, A., “Dört Bacaklı Eviricinin KGK Uygulamasında Modülasyon Yöntemleri”, *ELECO*, 191-195, (2006).
- [6] Beşer, E., Arifoğlu, B., Çamur, S., Kandemir Beşer, E., “Bir Fazlı 7-Seviyeli Evirici Tasarımı ve Uygulanması Design and Application of Single-Phase 7-Level Inverter”, *ELECO*, 326-330, (2008).
- [7] Dong, W., Choi, J.Y., Li, Y., Boroyevich, D., Lee, F.C., Lai, J., Hiti, S., “Comparative Experimental Evaluation of Soft - Switching Inverter Techniques for Electric Vehicle Drive Applications”, *IEEE*, 1469-1476, (2001).
- [8] Yoshitsugu, J., Hiraki, E., Nakaoka, M., Inoue, K., “Active Edge-Resonant DC Link Snubber-Assisted Three Phase Soft Switching Inverter for AC Servo Drive”, *The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 856-861, (2001).
- [9] Behara, S., Das, S.P., Doradla, S.R., “Quasi-Resonant Soft-Switching Inverter for Low and High Power Factor Loads”, *IEE Proc.- Electr. Power Appl.*, 451-459, (2004).
- [10] Li, Q., Wu, J., Jiang, H., “Design of Parallel Resonant DC-Link Soft-Switching Inverter Based on DSP”, *Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 5595-5599, (2004).
- [11] Obdan, H., Bodur, H., Aksoy, I., Bekiroglu, N., Yildirmaz, “A New Parallel DC Link for Soft Switching Inverters”, *Electric Power Components and Systems*, 159-169, (2005).
- [12] Venkataraman, G., Divan, D.M., “Pulse Width Modulation with Resonant DC Link Converters”, *IEEE Trans. On Ind. Appl.*, 113-120, (1993).

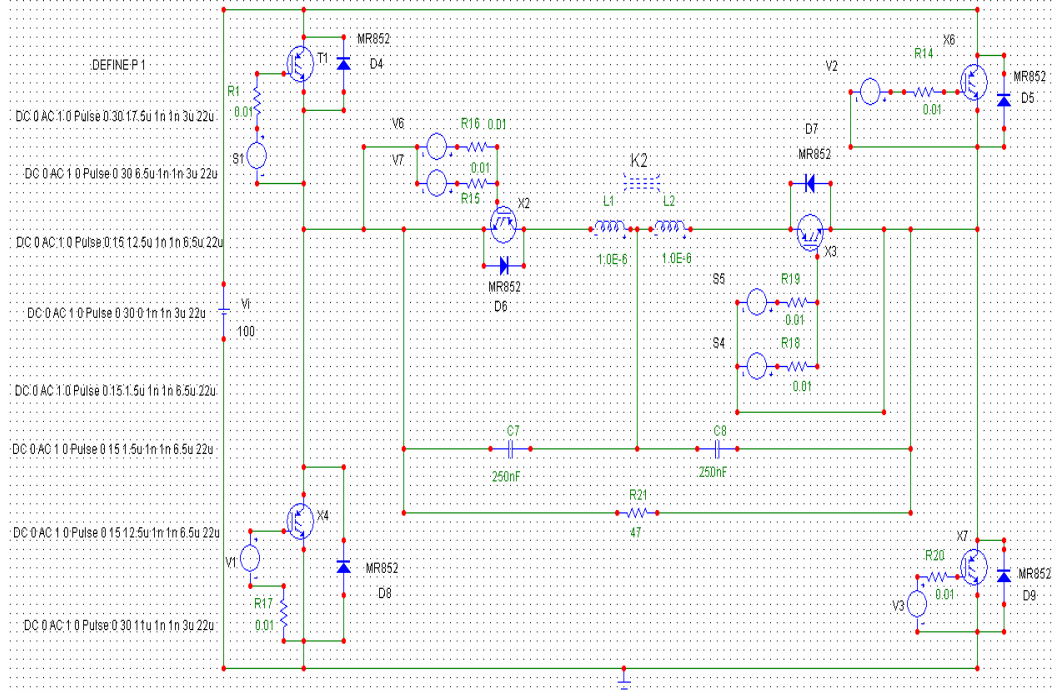
- [13] Johnson, C.M., Pickert, V., “Three-Phase Soft-Switching Voltage Source Converters for Motor Drives Part 2: Fundamental Limitations and Critical Assessment”, *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, 155-162, (1999).
- [14] Li, Y., Lee, F.C., “Design Considerations for a 50-kW Soft-Transition Inverter with Zero-Current and Near-Zero-Voltage Switching”, *IEEE*, 931-937, (2001).
- [15] Bodur, H., *Güç Elektroniklerinde Kontrol ve Koruma Teknikleri (1206403) Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, [http://www.yildiz.edu.tr/~bodur/ge\\_kkt.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~bodur/ge_kkt.pdf), **(Ziyaret Tarihi: 30 Kasım 2005)**.
- [16] Divan, D.M., Venkataramanan, G., “Design Methodologies for Soft Switched Inverters”, *IEEE Trans.on Ind.Appl.*, 126-135, (1993).
- [17] Pickert, V., Johnson, C.M., “Three-Phase Soft-Switching Voltage Source Converters for Motor Drives. I. Overview and Analysis”, *Proc.Inst.Elect.Eng.*, 147-154, (1999).
- [18] Bodur, H., “DC-DC Dönüştürücülerde Yumuşak Anahtarlama Teknikleri Ders Notları”, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 15, (2005).
- [19] Bodur, H., *Güç Elektronikleri Endüstriyel Uygulamaları I Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, [http://www.yildiz.edu.tr/~bodur/guc\\_end\\_uyg\\_II.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~bodur/guc_end_uyg_II.pdf), **(Ziyaret Tarihi: 29 Kasım 2005)**.
- [20] Çolak, İ., Kabalcı, E., “Evirici Topolojileri ve Gelişimleri Üzerine Bir İnceleme A Review on Inverter Topologies and Developments”, *ELECO*, 291-295, (2008).
- [21] He, J., Mohan, N., “Parallel Resonant DC Link Circuit-A Novel Zero Switching Loss Topology with Minimum Voltage Stresses”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 687-694, (1991).
- [22] Baha, B., Tokhi, M.O., “Dynamic Modelling and Control of Resonant Switch Mode Converters”, *Elsevier -Pergamon Control Eng. Practice*, 1533-1542, (1997).
- [23] Forest, F., Gonzalez, J., Costa, F., “Use of Soft-Switching Principles in PWM Voltage Inverters Design”, *EPE-The European Power Electronics Association*, 5-10, (1993).
- [24] Bellar, M.D., Wu, T.S., Tchamdjou, A., Mahdavi, J., Ehsani, M., “A Review of Soft Switched DC-AC Converters”, *IEEE Trans.Ind. Applicat.*, 847-860, (1998).
- [25] Dong, W., Peng, D., Yu, H., Lee, F.C., Lai, J., “A Simplified Control Scheme for ZeroVoltage Transition (ZVT) Inverter Using Coupled Inductors”, *IEEE*, 1221-1226, (2000).
- [26] Malesani, L., Tenti, P., Tomasin, P., Toigo, V., “High Efficiency Quasi-Resonant DC Link Three-Phase Power Inverter for Full Range PWM”, *IEEE Trans.on Ind.Appl.*, 141-147, (1995).

- [27] Stein, C.M.O., Grundling, H.A., Pinheiro, H., Pinheiro, J.R., Hey, H.L., “Analysis and Comparison of Soft-Transition Inverters”, *IEEE*, 538-543, (2003).
- [28] Stein, C.M.O., Hey, H.L., Pinheiro, J.R., Pinheiro, H., Grundling, H.A., “Analysis, Design, and Implementation of a New ZCZVT Commutation Cell for PWM DC-AC Converters”, *IEEE*, 845-850, (2001).
- [29] Ürgün, S., “Yumuşak Anahtarlamalı Eviriciler İçin Yeni Bir ZVT-ZCT Kısmi Rezonanslı DA Hat Devresinin Geliştirilmesi ve Gerçekleştirilmesi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 58, (2007).
- [30] Jovanovic, M.M., Jang, Y., “A Novel Active Snubber for High-Power Boost Converters”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 278-284, (2000).
- [31] Stein, C.M.O., Grundling, H.A., Pinheiro, H., Pinheiro, J.R., Hey, H.L. “Zero-Current and Zero-Voltage Soft-Transition Commutation Cell for PWM Inverters”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 396-403, (2004).
- [32] Healy, D.J., “Basic Reliability”, *Annual Reliability&Maintenance Symposium- LA California USA*, 148-164, (2000).
- [33] Barbati, S., “Reliability Concept Training Note-Vestel Elektronik A.Ş. ArGe Bölümü Eğitimi, Manisa”, 1-30, (2002).
- [34] Keçecioglu, D., “Reliability and Life Testing Handbook”, *PTR Prentice Hall Englewood Cliffs*, 1-47, (1992).
- [35] Shao, J., “New Thinking and Methodologies on Reliability Engineering”, *IEEE*, 149-153, (2009).
- [36] Nil, M., Nil, M., Çakır, B., “Rezonans Bastırma Temelli Yumuşak Anahtarlamalı Eviricilerin Anahtarlama Karakteristiklerinde Veriminin Arttırılması ve Güvenilirlik Yöntemleri ”, *ELECO*, 116-120, (2006).
- [37] Nil, M., Baylakoğlu, İ., “RoHS Direktifine Uygun Ürünler için Güvenilirlik Test Süreçleri”, *Doğa Uyumlu Elektronik Tasarım Konferansı-İstanbul*, 143-149, (2006).
- [38] Chan, A.H., Parker, P.T., “Product Reliability Through Stress Testing”, *2000 Annual Reliability&Maintenance Symposium-LA California USA*, 16-42, (2000).
- [39] Kumar, U.D., Knezevic, J., Crocker, J. “Maintenance Free Operating Period-an Alternative Measure to MTBF and Failure Rate for Specifying Reliability?”, *Elsevier – Reliability Engineering and System Safety*, 127-131, (1999).
- [40] Pollino, Emiliano, "Microelectronic Reliability: Integrity Assessment and Assurance", *Artech House- Norwood*, 361-399, (1989).

- [41] Ramakumar, R., "Engineering Reliability: Fundamentals and Applications", *Prentice Hall Englewood Cliffs-NJ*, 402-415, (1992).
- [42] Shalev, D.M., Tiran, J., "Condition-Based Fault Tree Analysis (CBFTA): A New Method for Improved Fault Tree Analysis (FTA), Reliability and Safety Calculations", *Elsevier – Reliability Engineering and System Safety*, 1231-1241, (2007).
- [43] Tian, Z., Levitin, G., Zuo, M.J., "A Joint Reliability-Redundancy Optimization Approach for Multi-State Series-Parallel Systems", *Elsevier – Reliability Engineering and System Safety*, 1568-1576, (2009).
- [44] Pecht, M., "Electronic Reliability Engineering in the 21st Century", *IEEE-Int'l Symposium on Electronic Materials and Packaging*, 1-7, (2001).
- [45] Salmela, O., "The Effect of Introducing Increased-Reliability-Risk Electronic Components into 3rd Generation Telecommunications Systems", *Elsevier – Reliability Engineering and System Safety*, 208-218, (2005).
- [46] Houtermans, M., Al-Ghumgham, M., Capelle, T.V., "Reliability Engineering & Data Collection to Improve Plant Safety & Availability", *IEEE- Second International Conference on Systems*, 42-42, (2007)
- [47] Nil, M., Nil, M., Çakır, B., "Eviricilerde Yumuşak Anahtarlama Karakteristikleri ve Güvenilirlik Yöntemleri", *Ç.Ü. 30.Yıl Sempozyumu*, 212-215, (2008).
- [48] Nil, M., Nil, M., Çakır, B., Sönmez, M., "ZCZVT Darbe Genişlik Modülasyonlu Eviricilerde Yumuşak Anahtarlama Karakteristikleri ve Güvenilirlik Yöntemleri", *ELECO*, 286-290, (2008).
- [49] Aksoy, İ., "Yeni ZVT-ZCT PWM Yüksek Çıkışlı DC-DC Dönüştürücünün Uygulanması", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 83, (2007).
- [50] Chan,C.C., Chau, K.T., Chan,D.T.W., Yao,J.,Lai,J.S., Li,Y., "Switching Characteristics and Efficiency Improvement with Auxiliary Resonant Snubber Based Soft-Switching Inverters", *IEEE*, 429-435, (1998).

## EKLER

### EK-A



Şekil A.1: Micro-Cap 8 Guap Edition Programı Kullanılarak Yeni Yumuşak Anahtarlamalı Evirici Devre Şeması

## MICRO-CAP 8 GUAP EDITION'DA BENZETİM DALGA ŞEKİLLERİNDE KULLANILAN NOTASYONLAR

### 1.BÖLGE

- 1- Açık Yeşil :  $S_1$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 1- Mor :  $S_{A1}$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 1- Sarı :  $S_{A2}$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 1- Mavi :  $S_2$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 1- Kırmızı :  $S_4$  Anahtar Gerilimi (1/5 ölçekli gösterilmiştir)
- 1- Pembe :  $S_3$  Anahtar Gerilimi (1/5 ölçekli gösterilmiştir)

### 2.BÖLGE

- 2- Sarı :  $S_{A2}$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 2- Mavi :  $S_2$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 2- Açık Yeşil :  $S_1$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 2- Mor :  $S_{A1}$  Anahtarı Tetikleme İşareti

### 3.BÖLGE

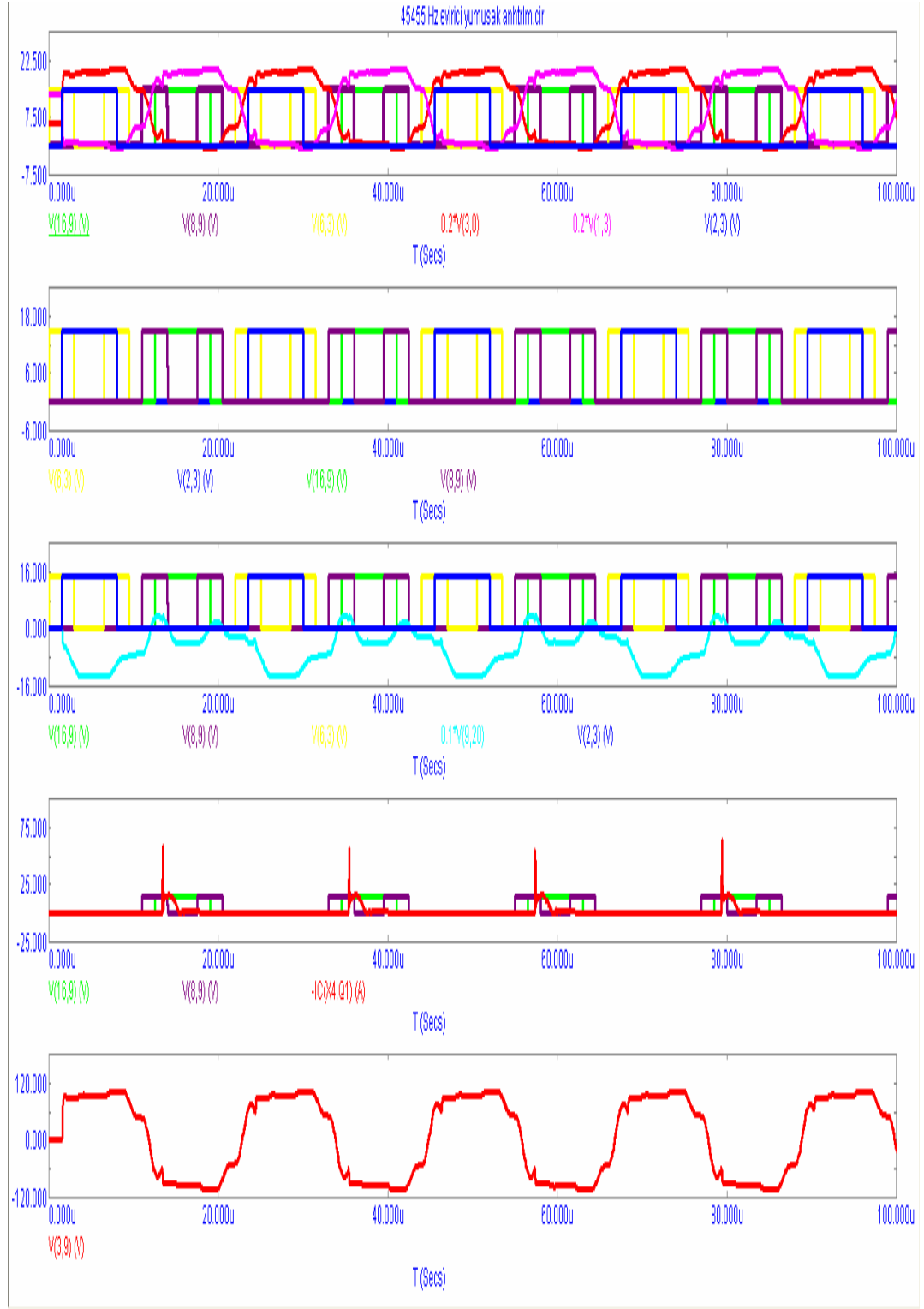
- 3- Açık Yeşil :  $S_1$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 3- Mor :  $S_{A1}$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 3- Sarı :  $S_{A2}$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 3- Mavi :  $S_2$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 3- Açık Mavi :  $C_{R1}$  Rezonans Kapasite Gerilimi (1/10 ölçekli gösterilmiştir)

### 4.BÖLGE

- 4- Açık Yeşil :  $S_1$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 4- Mor :  $S_{A1}$  Anahtarı Tetikleme İşareti
- 4 - Kırmızı :  $S_4$  Anahtar Akımı

### 5.BÖLGE

- 5- Kırmızı : Yük Gerilimi



Şekil A.2: Micro-Cap 8 Guap Edition Programı Kullanılarak Elde Edilen Dalga Şekilleri (Notasyonlar Bir Önceki Sayfada Verilmiştir)





Relx Software Report

PROJECT : Single Phase Soft Switching Inverter

**Analyzed By** :  
**Date** : 1/28/10  
**Time** : 22:43  
**Assembly** : Single Phase Soft Switching Inverter  
**Environment** : GB, GC - Ground Benign, Controlled  
**Temperature** : 25.00 °C  
**Description** : Top-level assembly  
**Reliability** : .99  
**Failure Rate** : 123.90  
**MTBF (Hours)** 8070.77

	Part Number	Description	Qty	Failure Rate	MTBF
Single Phase Soft Switching Inverter	System	Top-level assembly	1	123.903883	8,071
Power Supply Unit	Printed Circuit Board	Power Supply Unit	1	110.117146	9,081
Main Power Supply Circuit		Main Power Supply for IGBT circuitry	1	22.501474	44,442
Low Voltage PS Circuit		Regulated PS for ICs	1	87.615672	11,413
IGBT Inverter Unit	Printed Circuit Board	IGBT Switching Unit	1	0.789600	1,266,464
Inverter Circuit		Switching Circuit	1	0.789600	1,266,464
IGBT Driver Unit	Printed Circuit Board	IGBT Driver Circuit	1	12.743404	78,472
Driver Circuit1		IGBT1 Driver Circuit	6	12.743404	78,472
Microcontroller Unit	Printed Circuit Board	Microcontroller Unit	1	0.253732	3,941,159
Microcontroller Circuit		uController PCB	1	0.253732	3,941,159

Şekil B.1: Relx Programıyla Gerçekleştirilen Güvenilirlik Analiz Raporu – 1

Relx Software Report

Page # 2

**Analyzed By** :  
**Date** : 15/12/2008  
**Time** : 22:43  
**Assembly** : Main Power Supply Circuit  
**Environment** : GB, GC - Ground Benign, Controlled  
**Temperature** : 25.00 °C  
**Description** : Main Power Supply for IGBT  
**File Name** : PWM Controlled  
**Failure Rate** : 22.50  
**MTBF (Hours)** 44441.53

Part Number	Category	Description	Reference Designator	Failure Rate, Unit	Qty	Failure Rate
DF30AA120	Semiconductor	3 Phase Bridge Rectifier	D100	0.154787	1	0.154787
RES	Resistor	23 MOhm 1 W Resistor	R100	0.099670	1	0.099670
RES	Resistor	56 KOhm 1/4W Resistor	R101	0.045960	1	0.045960
RES	Resistor	56 KOhm 1/4W Resistor	R102	0.045960	1	0.045960
CAP	Capacitor	4700 uF/400 V Electrolytic Capacitor	C100	22.097000	1	22.097000
CAP	Capacitor	4 uF 180 V Metalized Polyester Film Capacitor	C101	0.058097	1	0.058097

Şekil B.2: Relx Programıyla Gerçekleştirilen Güvenilirlik Analiz Raporu - 2

**Analyzed By :**  
**Date :** 15/12/2008  
**Time :** 22:43

**Assembly :** Low Voltage PS Circuit  
**Environment :** GB, GC - Ground Benign, Controlled  
**Temperature :** 25.00 °C

**Description :** Regulated PS for ICs  
**File Name :** PWM Controlled  
**Failure Rate :** 87.62  
**MTBF (Hours)** 11413.48

Part Number	Category	Description	Reference Designator	Failure Rate, Unit	Qty	Failure Rate
KBL005	Semiconductor	1 Phase Bridge Rectifier	D200	0.103190	7	0.722330
CAP	Capacitor	Electrolytic Capacitor	C200,C210,C220	3.910000	7	27.370000
CAP	Capacitor	Electrolytic Capacitor	C201,C211,C221	3.910000	7	27.370000
CAP	Capacitor	Electrolytic Capacitor	C202,C212,C222	3.910000	7	27.370000
CAP	Capacitor	Metalized Polyester Film Capacitor	C203,C213,C223	0.033882	15	0.508228
CAP	Capacitor	Metalized Polyester Film Capacitor	C204,C214,C224	0.033882	15	0.508228
CAP	Capacitor	Metalized Polyester Film Capacitor	C205,C215,C225	0.033882	15	0.508228
7815	Integrated Circuit	+15 Volt Regulator IC	IC200,IC210,IC220	0.393895	7	2.757268
7805	Integrated Circuit	+5 Volt Regulator	IC201,IC211,IC221	0.039390	1	0.039390
TRF	Inductor	Transformer	TR200	0.066000	7	0.462000

Şekil B.3: Relax Programıyla Gerçekleştirilen Güvenilirlik Analiz Raporu - 3

**Analyzed By :**  
**Date :** 15/12/2008  
**Time :** 22:43

**Assembly :** Inverter Circuit  
**Environment :** GB, GC - Ground Benign, Controlled  
**Temperature :** 25.00 °C

**Description :** Switching Circuit  
**File Name :** PWM Controlled  
**Failure Rate :** .79  
**MTBF (Hours)** 1266464.46

Part Number	Category	Description	Reference Designator	Failure Rate, Unit	Qty	Failure Rate
GR40N60	Semiconductor	High Performance Fast IGBT	T500	0.112000	1	0.112000
GR40N60	Semiconductor	High Performance Fast IGBT	T501	0.112000	1	0.112000
GR40N60	Semiconductor	High Performance Fast IGBT	T502	0.112000	1	0.112000
GR40N60	Semiconductor	High Performance Fast IGBT	T503	0.112000	1	0.112000
GR40N60	Semiconductor	High Performance Fast IGBT	T504	0.112000	1	0.112000
GR40N60	Semiconductor	High Performance Fast IGBT	T505	0.112000	1	0.112000
COIL	Inductor	1.3uH Coil	L500	0.006800	1	0.006800
COIL	Inductor	1.3uH Coil	L501	0.006800	1	0.006800
CAP	Capacitor	200 nF Plastic Propylene Capacitor	C500	0.052000	1	0.052000
CAP	Capacitor	200 nF Plastic Propylene Capacitor	C501	0.052000	1	0.052000

Şekil B.4: Relax Programıyla Gerçekleştirilen Güvenilirlik Analiz Raporu - 4

**Analyzed By :**  
**Date :** 15/12/2008  
**Time :** 22:43  
**Assembly :** Driver Circuit1  
**Environment :** GB, GC - Ground Benign, Controlled  
**Temperature :** 25.00 °C  
**Description :** IGBT1 Driver Circuit  
**File Name :** PWM Controlled  
**Failure Rate :** 12.74  
**MTBF (Hours)** 78471.97

Part Number	Category	Description	Reference Designator	Failure Rate, Unit	Qty	Failure Rate
6N136	Semiconductor	Optocoupler	IC400,IC410,IC420,IC430,- IC440,IC450	0.216000	1	0.216000
IR2117	Integrated Circuit	High Voltage, High Speed Driver	IC401,IC411,IC421,IC431,- IC441,IC451	1.640442	1	1.640442
RES	Resistor	100 Ohm Carbon Resistor	R400,R410,R420,R430,R4- 40,R450	0.045960	1	0.045960
RES	Resistor	3K3 Ohm Carbon Resistor	R401,R411,R421,R431,R4- 41,R451	0.045960	1	0.045960
CAP	Capacitor	10uF/16 V Electrolytic Capacitor	C400,C410,C420,C430,C4- 40,C450	0.028245	1	0.028245
CAP	Capacitor	0.1 uF/63V Electrolytic Capacitor	C401,C411,C421,C431,C4- 41,C451	0.009794	1	0.009794
1N4001	Semiconductor	Rectifier	D400,D410,D420,D430,D4- 40,D450	0.137500	1	0.137500

Şekil B.5: Relax Programıyla Gerçekleştirilen Güvenilirlik Analiz Raporu - 5

**Analyzed By :**  
**Date :** 15/12/2008  
**Time :** 22:43  
**Assembly :** Microcontroller Circuit  
**Environment :** GB, GC - Ground Benign, Controlled  
**Temperature :** 25.00 °C  
**Description :** uController PCB  
**File Name :** PWM Controlled  
**Failure Rate :** .25  
**MTBF (Hours)** 3941159.35

Part Number	Category	Description	Reference Designator	Failure Rate, Unit	Qty	Failure Rate
PIC	Integrated Circuit	PIC18F452 uController	IC300	0.107858	1	0.107858
RES	Resistor	1kOhm Carbon Film Resistor	R300	0.045960	1	0.045960
CAP	Capacitor	22 pF Ceramic Capacitance	C300	0.021229	1	0.021229
CAP	Capacitor	22 pF Ceramic Capacitance	C301	0.021229	1	0.021229
CAP	Capacitor	100 nF Polypropylene Capacitance	C302	0.057456	1	0.057456

Şekil B.6: Relax Programıyla Gerçekleştirilen Güvenilirlik Analiz Raporu - 6

## **ÖZGEÇMİŞ**

1974 yılında İzmir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir’de tamamladı. 1991 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden 1996 yılında Elektrik - Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 1996-1999 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 1998 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmakta olup, evli ve bir çocuk babasıdır.