

29169

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MOS KONTROLLU TRİSTÖR (MCT)

VE SÜRME DEVRELERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh.A.Hülya OBDAN

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İSTANBUL - 1993

Ö N S Ö Z

Tez çalışmalarım esnasında beni yönlendiren , teşvik ve yardımlarını esirgemeyen sayın tez yöneticisi ve hocam Y.Doç.Dr. Hacı BODUR ' a şükranlarımı sunarım.

Ayrıca , tez çalışmalarım esnasında , çok yardımlarını gördüğüm Elk.Y.Müh. Nur DÖNMEZTÜRK , Mak.Y.Müh Zehra SÖĞÜT ve eşim Elk.Müh.Erol OBDAN 'a teşekkür ederim.

Müh. Hülya OBDAN

ÖZET

MCT (MOS-Kontrollü Tristör), yalıtılmış MOS kapısından pozitif ve negatif gerilim sinyali ile kontrol edilmek üzere dizayn edilmiş, tristörün mükemmel özelliklerine sahip yepyeni bir elemandır. Tristör gibi anodu ile katodu arasında p-n-p-n tabakaları ve üç jonksiyondan oluşmuştur. Yapısında ,biri n-kanallı ,diğeri p-kanallı olmak üzere iki FET ve biri npn, diğeri pnp olan iki transistör bulunmaktadır. MCT ,anoda negatif gerilim sinyali verilmek suretiyle ilettime geçirilir. Pozitif gerilim sinyali ile söndürülür.

MCT'nin iletimdeki gerilim düşümü çok azdır ve geniş bir SOA (Emniyetli Çalışma Alanı) özelliğine sahiptir. Yüksek di/dt ve dv/dt özelliği, sıcaklık yeteneği ,tristöre ilaveten hızlı anahtarlama imkanı sağlanmış olması ile MCT çok parlak bir gelecek vaad etmektedir.

MCT, yeni bir güç yarı iletkeni olmasına rağmen, DC ve AC Motor Kontrolü ,UPS Sistemleri, Endüksiyonla Isıtma ,DC-DC Dönüştürücüler ,Aktif Güç Hatları ve bunun gibi geniş uygulama alanları için olanaklar sağlar. MOS kontrollü bir tristör olan MCT, üstün özelliklerinden dolayı, çok yakın bir gelecekte günümüzün elemanlarına tercih edilecektir.

SUMMARY

MCT ,designed to be controlled through its isolated MOS gate with positive and negative voltage signals,is the newest device, which has also perfect specifications of thyristors. It is consisted of pnpn layers between its anode and cathode and three junctions, such as thyristors.It has two FET's ;one of them is p-channel and two transistors as npn and pnp. MCT is turned on by a negative voltage pulse at the gate and off by a positive voltage pulse.

This device has a low conduction drop and a large SOA capability with high di/dt and high dv/dt , temperature capability.It is faster switching possibility than thyristors.

Although MCT is a new power semi-conductor , It shows tremendous possibility for wide spread applications , as dc and ac motor drives , UPS systems , induction heating , dc-dc converters, active power line conditioners etc. MCT will be the major device in future as comparison to previous and present devices, because of its superior characteristics.

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

ÖNSÖZ	i
ÖZET	ii
İNGİLİZCE ÖZET (SUMMARY)	iii
BÖLÜM 1 MOS KONTROLLÜ TRİSTÖRLER	1
1.1. MCT'nin Yapısı	1
1.2. MCT'nin Üstünlükleri	4
1.2.1. İletim Durumu	4
1.2.2. Kapama Durumu	4
1.2.3. Anahtarlama Kayıpları ve SOA	5
1.2.4. Sıcaklık Yeteneği	5
1.3. P-MCT'nin P-Güç Elemanları Arasındaki Yeri ..	6
1.4. P-MCT'lerin Kullanma Alanları	7
1.5. MCT'nin Geliştirilmesi	7
BÖLÜM 2 MCT'NİN EŞDEĞER DEVRE MODELLERİ	8
2.1. MCT'nin SPICE Modeli	8
2.1.1. MCT'nin Eşdeğer Devresi	8
2.1.2. Parametre Hesabı	10
2.1.3. Parametre Ayarı	13
2.1.4. SPICE Modelinin Özeti	16
2.2. Özel MCT Modelleri	17
BÖLÜM 3 MCT KARAKTERİSTİKLERİ	20
3.1. Eşdeğer Devre ile Çalışmanın Açıklanması	20
3.2. Nominal Değerler	21

3.3. Parametreler	23
3.4. Karakteristik Eğriler	23
BÖLÜM 4 MCT'NİN KAPI DEVRELERİ	36
4.1. Kapı Dalga Şekilleri	36
4.1.1. Sınırlar	36
4.1.2. Negatif Genlik	37
4.1.3. Negatif Geçit	37
4.1.4. Pozitif Genlik	37
4.1.5. Pozitif Geçit	38
4.2. MCT'nin Yüksek Sıcaklıkta Çalıştırılması	39
4.3. Kapı Devreleri	40
4.3.1. Devrelerde Kullanılan Bölümler	40
4.3.2. Devre 1- Çift FET Kullanılan Sürme Devreleri	40
4.3.3. Devre 2- IC Sürme Devresinin Kullanımı	43
4.3.4. Geliştirilmiş MCT Sürme	43
Devresinin Blok Diyagramı	
BÖLÜM 5 MCT'NİN UYGULAMALARI	50
5.1. MCT'nin Kullanımı	50
5.2. Hızlı Anahtarlama	51
5.2.1. Kapama Durumu	51
5.2.2. 600 V 'luk 75P60 P-MCT 'nin Anahtarlama Kayıpları	54
5.2.3. İletim Durumu	56
5.3. Yavaş Anahtarlama	57
5.3.1. Devrenin Çalışması	58

5.3.2. Seri Endüktans Durumu	59
5.3.3. Paralel Kapasite Durumu	60
5.3.4. MCT Dinamik Devrilme Gerilimi	62
5.4. SCR Devreleri	63
5.4.1. DC Devre Kesicisi	67
5.5. AC Anahtarlama Devreleri	73
5.6. Tamamlayıcı Devreler	77
BÖLÜM 6 MCT ile IGBT'NİN KARŞILAŞTIRILMASI	79
6.1. İletimdeki Gerilim Düşümü Açısından Karşılaştırılması	79
6.2. İletim Durumu	80
6.3. Kapama Durumu	80
6.4. Kesimde Güvenli Çalışma Gerilimi	81
6.5. Uygulamalar	81
BÖLÜM 7 MCT 'LERİN GELECEKTEKİ DURUMU	82
7.1. İkinci Üretim MCT'ler	83
7.2. N-MCT'nin Gelişmesi	84
7.3. MCT Sürücüsü IC	84
EKLER	87
YARARLANILAN KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	105

BÖLÜM 1

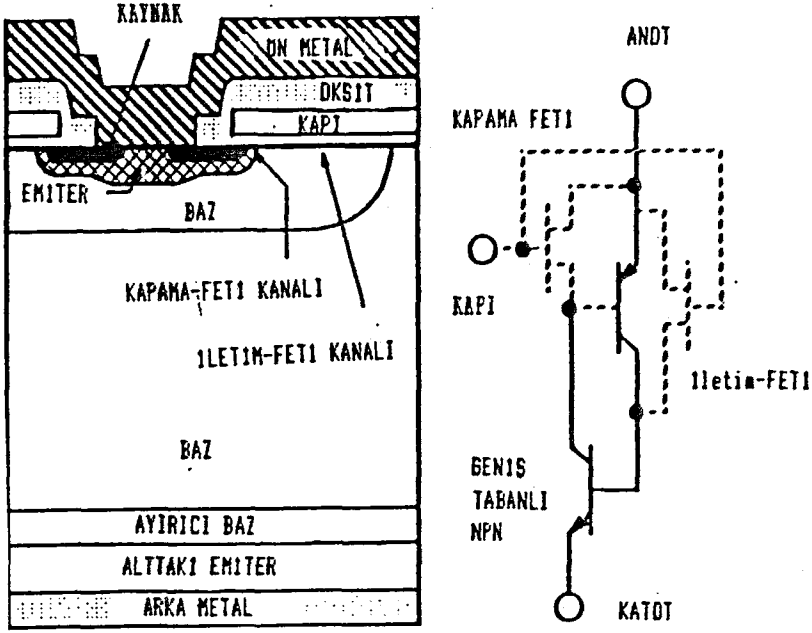
MOS KONTROLLU TRİSTÖRLER

MCT , tristörün akım ve gerilim özelliğini , kapının MOS kontrol özelliği ile birleştiren yeni bir güç yarı iletken elemanıdır. MCT ' nin bir çok çeşiti yapılmıştır. P- tipi ya da N -tipi , simetrik veya asimetrik bloklama , bir veya iki yönlü kapama FET 'i ile kapı kontrolü ve direkt ışıkla ilettime geçen , farklı iletim alternatifleri olabilir. Bütün bu çeşitlerin ortak bir noktası vardır . Kesim işlemi, kapama FET'inin ilettime geçirilmesi ve bir veya iki transistörün emiter-baz jonksiyonunun kısa devre edilmesi ile tamamlanır. P-MCT 'ler ticari olarak piyasaya sürülen ilk MCT 'lerdir.

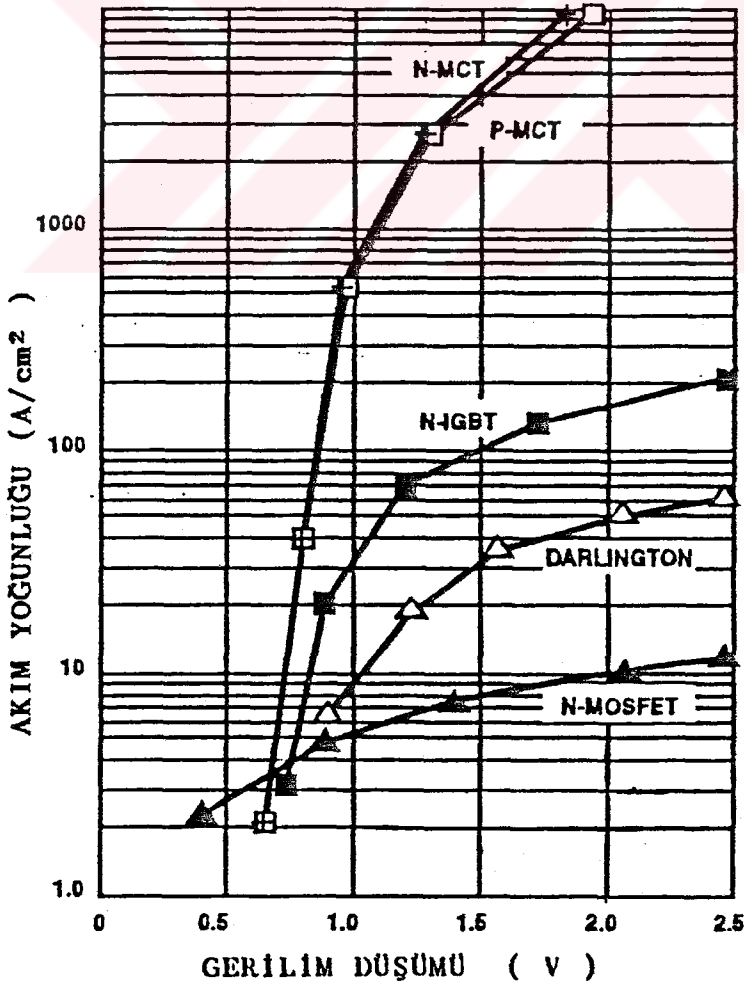
1.1. MCT 'nin Yapısı

Şekil 1.1 MCT 'nin temel bileşenlerini gösterir. Sol tarafta, elemanın temsili bir parçası görülmektedir. Bu elemanın 120 A'ı 150 °C jonksiyon sıcaklığında kesebildiği, denemelerle görülmüştür. Sağ tarafta , MCT ' nin iki transistörlü eşdeğer devresi görülmektedir. P-kanallı iletim FET 'i, alttaki transistörün bazındaki negatif gerilimle ilettime geçer.

MCT , iletimde çok az bir gerilim düşümü ve çok büyük di/dt yeteneği gösterir. Şekil 1.2 de, hücre mesafesi $35 \mu m$ olan 600 V'luk güç anahtarlama elemanlarını, akım yoğunluğu ve gerilim düşümü açısından karşılaştırılmaktadır. Şekilden de görüleceği gibi , ilk MCT ' lerin hücre boyutu , yeni gelişmiş



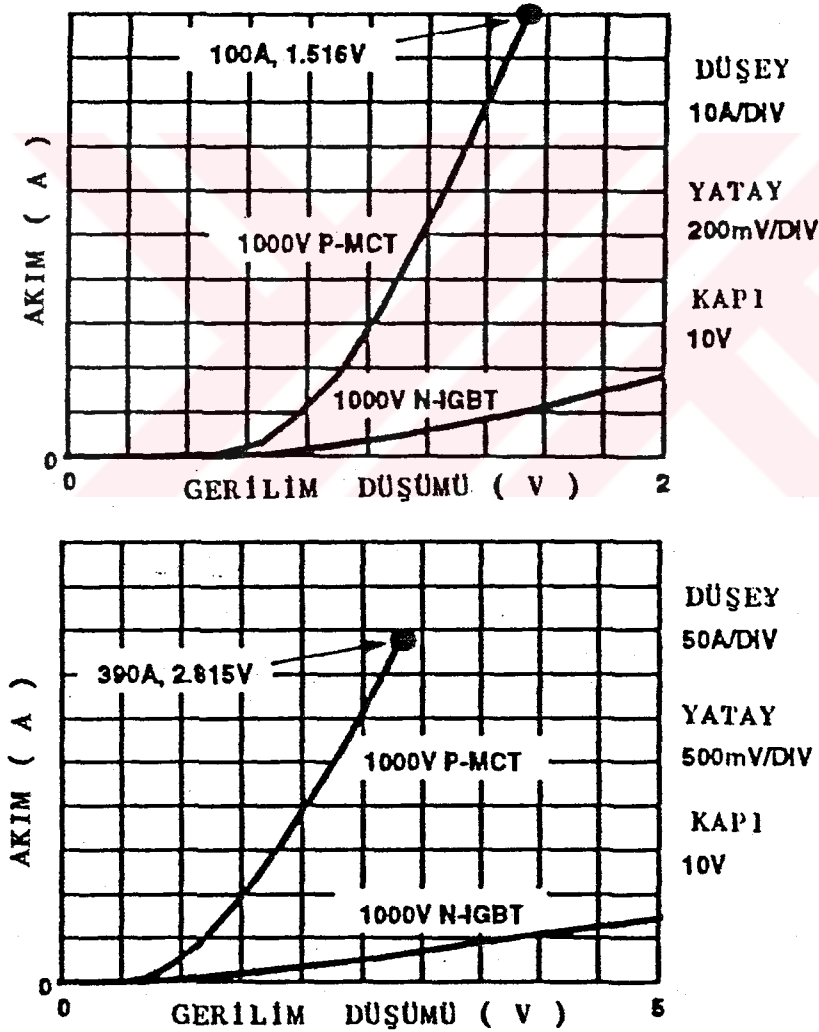
Şekil 1.1 MCT Hücre Kesiti ve P-MCT Devre Şeması



Şekil 1.2 Kapama Süresi $1 \mu s$ 'den az olan 600 V'luk Elemanların Karşılaştırılması

elemanların hücre boyutunun iki katı kadardır.

İlk MCT'ler ,sadece bir boyutlu tristörler olarak ortaya çıkmıştır.Daha sonraki, iki boyutlu MCT elemanının ölçülmüş değerlerinin karşılaştırılması Şekil 1.3' de görülmektedir. Burada 1000 V 'luk P-MCT ve IGBT elemanları akım ve gerilim düşümü açısından karşılaştırılmıştır. MCT aynı gerilim düşümünde diğerinin 10-15 katı akıma sahiptir.



Şekil 1.3 1000 V'luk P-MCT ve N-IGBT elemanlarının Karşılaştırılması

MCT , akım ters yönde akmaya başlayıncaya veya kapama-FET 'i pozitif kapı gerilimi ile sürülünceye kadar, iletimde kalır.Kapama-FET'i kapı gerilimi ve kapama-FET'i kanallarının yoğunluğu ne kadar yükseks ,emiter-baz jonksiyonundan daha fazla akım geçirilerek kısa devre edilmesi ile eleman kesime girer. Kapama işleminin tamamlanabilmesi için , tüm hücrelerin aynı anda kesime girmesi gereklidir.

1.2. MCT'nin Üstünlükleri

1.2.1. İletim Durumu

MCT'ler gerilim düşümü , aşırı akım ve di/dt açısından çok üstün elemanlardır. MCT'nin hücre boyutu GTO ile kıyaslandığında oldukça küçüktür ve MCT 'ler her gerilim değerinde yapılabilir.

1.2.2. Kapama Durumu

MCT'ler,karakteristik tristör gerilimleri olan 8-10 kV kadar yüksek ve FET gerilimi olan 100 V kadar düşük gerilimlerde yapılabilir. Her gerilim değerinde simetrik veya asimetrik kapama yapılabilir.

IGBT veya güç MOSFET'lerinde ,tıkama jonksiyonunda kanal bozulması olduğu için, ideal devrilme gerilimini sağlamak imkansızdır. MCT'nin yapısı itibarı ile ideal devrilme gerilimi sağlanabilir.

MCT'ler, bir santimetrekare'lik alanda yüzlerce amperlik akımı kesebilen ve aynı zamanda, çok yüksek dv/dt özelliğinden dolayı ,yüksek sıcaklıkta geçen kaçak akımı sabit tutan kapama FET 'ini devreye sokar. MCT ,çok yüksek dv/dt ile ve yüksek sıcaklıktaki kaçak akımla ilettime geçmez.

1.2.3. Anahtarlama Kayıpları ve SOA

Birbirinden farklı yarı iletken anahtarların fiziksel durumları , avantaj ve dezavantajları , iletim akımının kaç jonksiyondan geçtiğine (MCT 'de üçtür.), kapının nasıl ilettime girdiğine ve son olarak da elemanın nasıl kesime sokulduğuna bağlıdır. Örneğin MCT , teorik olarak aynı gerilim değerli IGBT 'den bir kaç kat daha hızlıdır.

MCT nin kapama jonksiyonu gerilimi,ideale IGBT veya güç transistöründen daha yakındır.Bu da güvenli çalışma bölgesinin ideale daha yakın olduğunu gösterir.

1.2.4. Sıcaklık Yeteneği

MCT'ler, 300 °C'de 80 A'i keser, 250 °C 'de 10 $kV/\mu s$ 'lik dv/dt 'ye dayanır ve 235 °C 'lik jonksiyon sıcaklığına kadar çalışabilirler. MCT'nin testlerinden elde edilen bu sonuçlar oldukça etkileyicidir. FET elemanının MCT 'ye yardımıdan daha fazla , MCT FET 'e yardım eder. Çünkü FET 'in maruz

kaldığı gerilim, sadece tristörün üstteki E-B jonksiyonu gerilim düşümüdür. Böylece MCT'nin FET elemanları ,FET içeren diğer elemanlardan 1000 - 1.000.000 kere daha az gerilime maruz kalırlar.

Kaçak akım ile ısı sürüklenme, (600 - 1000) V 'a kadar 250 °C civarında ,(100 - 300) V arasında ise 275 °C dolayındadır.

1.3. P-MCT'nin P-Güç Elemanları Arasındaki Yeri

100 V veya 200 V'un üzerindeki bazı devre hücreleri vardır ki, MCT tarafından iyi bir şekilde dağıtılamaz. İlk MCT'ler P-tipi olanlardır. Bunlar N-tipi olanlardan daha yüksek kazanç ve daha düşük SOA alanına sahiptir.

P-tipi MCT'lerin seçiminin nedeni ,kapama-FET'lerinin n-kanallı olması ile kesilebilecek akım yoğunluğunun 2-3 kat fazla olmasıdır. P-MCT'lerin yüksek akımda yüksek kapama yeteneğine ve n-kanallı kapama-FET'ine sahip olması, N-MCT' de %30 daha fazla SOA ve iki kat daha az anahtarlama kaybı elde edilmesinden daha önemlidir.

Eleman düşük iletim kaybı, iyi di/dt ve dv/dt , iyi gerilim, sıcaklık yeteneğine sahip olmasına karşın kullanılabiliirliği azalmıştır. Özellikle yüksek frekansta, SOA ve anahtarlama kayıplarının önemli olduğu hızlı anahtarlama devrelerinde ancak bir R-C elemanı ile kullanışlı hale getirilir.

1.4. P-MCT 'lerin Kullanma Alanları

İletim kayıplarının fazla olduğu devrede P-MCT kayıpları yarıya düşürür, aktif silikon bölgesinin yarısını kullanır. Bu da daha küçük ve daha etkili bir eleman olduğunu gösterir. Hızlı açılıp kapanan devrelerde birkaç kHz ve daha düşük frekanslarda bir çeşit R-C elemanı ile P-MCT kullanımı çok uygun olur. Birçok durumda , MCT 'nin yüksek di/dt ve çok hızlı iletim özelliği sadece bir kapasiteden ibaret snubber kullanımını gerektirir. Bu ,devreyi hem basitleştirir, hem de maliyeti düşürür.

1.5. MCT'nin Geliştirilmesi

MCT ' nin önce, gerilim bakımından geliştirilmesi düşünülmektedir. İlk asimetrik MCT'ler 200 V kadar düşük 600 V kadar yüksek gerilime sahiptir. Yüksek gerilimli MCT'ler bugünkü tristör ve GTO içeren devrelerde kullanılabilir.

P-MCT'ler, anahtarlama yeteneği, SOA ve kapama zamanı açısından geliştirilebilir. N-MCT'ler de , P-MCT' lerin maksimum kapama akımı yeteneğinin yarısı ile kullanılabilir.

Diğer FET içeren elemanlar gibi, daha yüksek akım anahtarları, genellikle diyotlardan oluşan modüller şeklinde üretilir. Testlere göre MCT 'lerin kolaylıkla paralel bağlanabildiği görülmüştür.

BÖLÜM 2

MCT'NİN EŞDEĞER DEVRE MODELLERİ

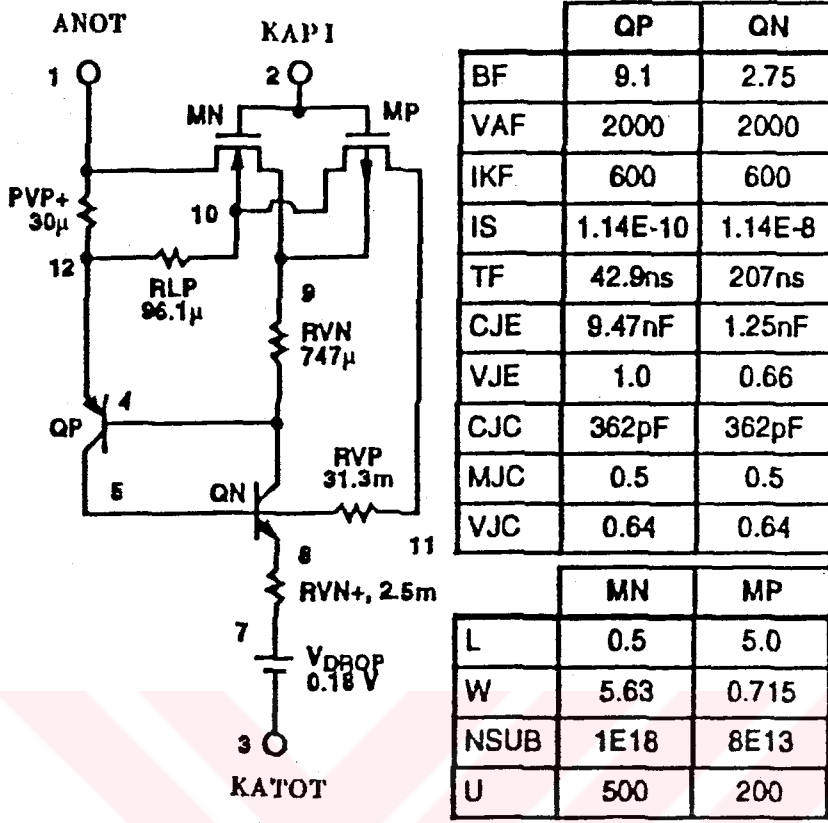
2.1. MCT'nin SPICE Modeli

MCT elemanının SPICE parametresini çıkarmak biraz zordur. Çünkü, MCT, PNPN tristörün dört tabakası ile NMOSFET ve PMOSFET elemanlarından oluşmuştur. SPICE programı PNPN elemanı için bir model değildir. Bir PNPN yapısı için ya üç diyot modeli ya da iki transistör modeli kullanılmalıdır. Genelde üç diyotlu model, fiziksel bir yaklaşımdır. Bu modellerin her ikisinin de gerçekleştirilmesi, bir yarıiletken tabakada PNPN elemanının ayrılmasını gerektirir, bu yüzden iki taraftaki azınlık taşıyıcı akımlar her zaman eşit olmaz.

Her iki model için diğer bir görüş de, PNPN'in akımının kuvvetlendirilmesinin sebep olduğu geçici analizdir. Bipolar modeli akım kuvvetlendirilmesine sahiptir, diyot modelinde bu durum yoktur. Bu modellemede iki transistörlü bipolar şekli seçilmiştir.

2.1.1. MCT 'nin Eşdeğer Devresi

İlk 600 V'luk P-MCT 'de olduğu gibi, bir P-MCT 'nin 0.4 santimetre karelik aktif alanında dokuz tane (20mm * 20mm) lik birim hücrenin bulunduğu yaklaşık 11000 paralel grubu içerdiği düşünülebilir. Her dokuz hücre grubu için bir iletim hücresi vardır ve etrafı sekiz kapama hücresi ile çevrilmiştir.



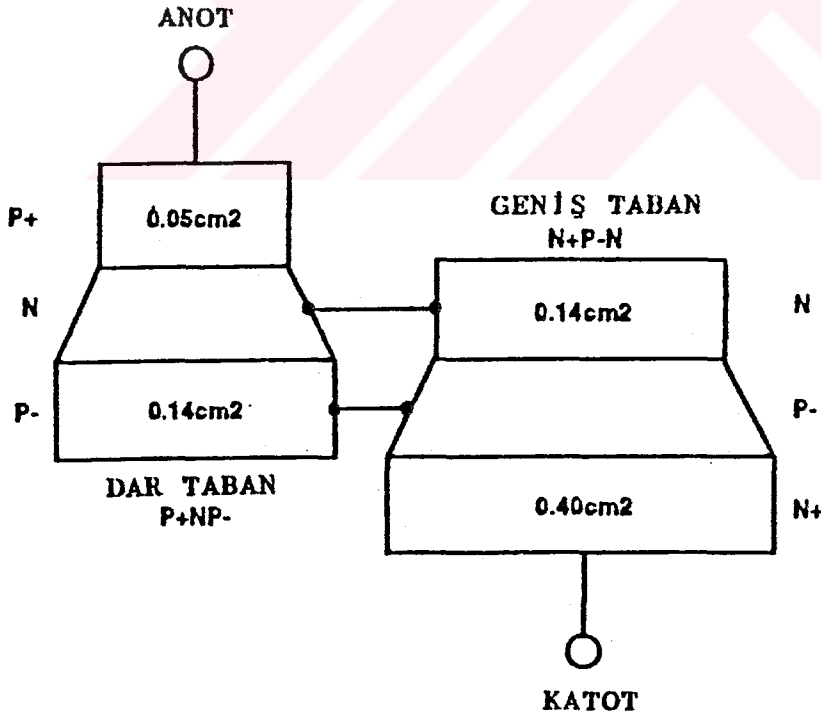
Şekil 2.1 P-MCT Alt Devresi

Şekil 1.1 , enine kesitin yarısı,yani, SPICE esasının temeli olan iletim hücresinin yarısı ve iki transistör elektriksel eşdeğer devre ile tam bir kapama hücrecini gösterir. Eşdeğer devre modeli,arka arkaya bağlı NPN ve PNP bipolar transistörleri,seri bağlı P-MOSFET ve N-MOSFET elemanları ayrıca parazitik pasif bileşenleri içerir. Üç boyutlu 600 V'luk P-MCT elemanı , bir boyutlu bileşenlerine Şekil 2.1 de verilen değerlerle dönüştürülmüştür.

2.1.2. Parametre hesabı

Her tabakada boyutlar ve fiziksel parametreler aynı olmalıdır. Ayrıca uygun bir hareketlilik kabiliyeti her katmana verilmelidir. Son olarak da öz direnç ve yayılma uzunlukları hesaplanır.

İki bipolar için yapılan parametre hesapları dikkat gerektirir. Birincisi, PNP ve NPN bipolarların kollektörleri aynı P veya N jonksiyonunu paylaşır. Demek ki, her bipoların kollektör alanı Şekil 2.2 de gösterilen, jonksiyon alanının yarısı olarak alınmalıdır. İkinci olarak, ters parametreler daima gereksizdir. Çünkü, MCT'nin ters çalışması engellenmiştir.



Şekil 2.2 NPN ve PNP Bipolar Transistörlerde P- / N Jonksiyonlarının Paylaşılması

Üçüncüsü, SPICE BJT modeli, ya iletimdeki doyma akımı (IS) ya da emiter-kollektör akımı (ISE ve ISC) DC modellerinden yalnızca birinin seçilmesine izin verir. IS modeli (Gummel-Poon) sadece basitliğinden dolayı seçilmiştir. Geniş tabanlı PNP ve dar tabanlı NPN bipolarların herbiri için, oniki tane hesaplanmış parametre Tablo 2.1 de ki A ve B tablolarında özetlenmiştir.

MCT'nin P-MOSFET ve N-MOSFET elemanları, bipolarlara göre oldukça hızlı elemanlardır. Yaklaşık 10 ns'lik kapı gecikmeleri dışında, gerilim kontrol anahtarları olarak çalışırlar. MOSFET, Shichman - Hodges modelini kullanır. Kapı kapasitans modeli de oniki bölümlü Meyer modelidir. Bu seçimler her mosfet için altı parametre sonucu vermektedir. Fiziksel parametreler Tablo 2.1 'in C ve D alt tablolarında görülmektedir. SPICE da uzunluk birimi "m" (metre) kullanılır.

Parazitik osilasyon devresi bir batarya ve altı dirençten oluşur. Batarya, NPN bipolar transistörün geniş tabanında bir elektrik alanı meydana getirir. NPN ve PNP emiter dirençleri (RVN+ ve RVP+) ileri iletim durumunda ölçülerek bulunmuştur. Diğer üç parazitik direnç Şekil 2.1 'den hesaplanmıştır. Bu da Tablo 2.1 'de görüldüğü gibi SPICE parametrelerinin toplamının 42'ye getirilmesi ile olmuştur.

Tablo 2.1 Hesaplanmış ve Değiştirilmiş SPICE Parametreleri

Tablo A Geniş Tabanlı N+P-N- Bipolar		Birim	Fiziksel Özellikler	Değişt. SPICE
Doyma Akımı	IS	A	1.14E-10	1.14E-10
İdeal Max.Beta	BF	-	0.536	2.75
Akım yayılma katsayısı	NF	-	1.0	1.18
Beta için zayıflama	IKF	A	3.45E-2	6.00E2
İleri Öngerilim	VAF	V	2.05E1	2.00E3
B-E Gerilimi	VJE	V	0.66	0.66
B-C gerilimi	VJC	V	0.64	0.64
Baz ileri geçiş zamanı	TF	sn	4.72E-7	2.07E-7
B-E sıfır gerilim kapasitesi	CJE	F	1.25E-9	1.25E-9
B-E jonksiyonu	MJE		0.5	0.5
B-C sıfır gerilim kapasitesi	CJC	F	3.62E-10	3.62E-10
B-C jonksiyonu	MJC	-	0.5	0.5

Tablo B Geniş Tabanlı N+P-N- Bipolar		Birim	Fiziksel Özellikler	Değişt. SPICE
Doyma Akımı	IS	A	6.67E-10	1.14E-10
İdeal Max.Beta	BF	-	9.10	9.10
Akım Yayılma Katsayısı	NF	-	1.0	1.18
Beta için zayıflama	IKF	A	4.42E1	6.00E2
İleri Öngerilim	VAF	V	2.00E2	2.00E3
B-E Gerilimi	VJE	V	1.00	1.00
B-C gerilimi	VJC	V	0.64	0.64
Baz ileri geçiş zamanı	TF	sn	4.29E-8	4.29E-8
B-E sıfır gerilim kapasitesi	CJE	F	9.47E-9	9.47E-9
B-E jonksiyonu	MJE		0.5	0.5
B-C sıfır gerilim kapasitesi	CJC	F	3.62E-10	3.62E-10
B-C jonksiyonu	MJC		0.5	0.5

Tablo C OFF MOSFET		Birim	Fiziksel Özellikler	Değişt. SPICE
Eşik Gerilimi	VTO	V	2.0	2.0
Tabaka Katkısı	NSUB	1/cm ³	1E18	1E18
Oksit kalınlığı	TOX	meter	7E-8	7E-8
Hareket yeteneği	UO	cm ² /V. sn	500	500
Kanal Uzunluğu	L	meter	0.5E-6	0.5E-6
Kanal Genişliği	W	meter	5.63	5.63

Tablo D OFF MOSFET		Birim	Fiziksel Özellikler	Değişt. SPICE
Eşik Gerilimi	VTO	V	-2.0	-2.0
Tabaka Katkısı	NSUB	1/cm ³	8.0E13	8.0E13
Oksit kalınlığı	TOX	meter	7E-8	7E-8
Hareket yeteneği	UO	cm ² /V. sn	200	200
Kanal Uzunluğu	L	meter	5.0E-6	5.0E-6
Kanal Genişliği	W	meter	0.715	0.715

Tablo E Parazit önleyiciler		Birim	Fiziksel Özellikler	Değişt. SPICE
PNP emiter direnci	RVN+	ohm	3.00E-5	
PMOS seri direnci	RLP	ohm	9.61E-5	9.61E-5
NMOS seri direnci	RVN	ohm	7.47E-4	7.47E-4
P-Tabaka direnci	RVP	ohm	3.17E-2	3.17E-2
NPN emiter direnci	RVN+	ohm	1.22E-3	
NPN baz gerilim düşümü	VDROP	V	0.18	

2.1.3. Parametre Ayarı

Hesaplanmış SPICE parametrelerinin, 600 V'luk P-MCT 'nin akım, gerilim, zaman, sıcaklık ve yük değerine bağlı olacak şekilde ayarlanması gereklidir.

Ayarın ilk basamağı,

parametrelerin 25°C/100°C/150°C de 700 V 'a kadar ölçülen kapama karakteristikleri ile karşılaştırılacak şekilde değiştirilmesidir. Kapama durumunda P-/N- jonksiyonundan geçen sızıntı akımı, MCT 'nin kapama akımını tayin eder. Kapama durumu için kritik SPICE parametreleri aşağıdaki gibidir.

1. NPN bipolar ; IS ,BF ,VAF

2. PNP bipolar ; IS ve VAF

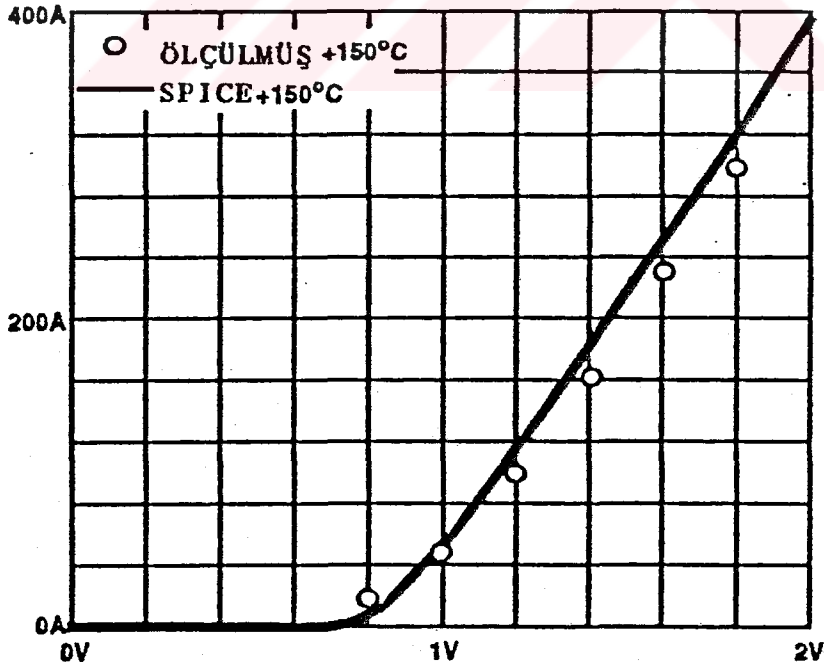
NPN'nin IS'i, ölçülmüş IS'e göre ayarlanır. Çünkü her iki bipoların da kollektörleri aynı P-/N- jonksiyonudur. Yüksek gerilim ve sıcaklıkta uyum vardır. Fakat yüksek kayıplardan dolayı daha kritik bir bölgedir. NPN, hesaplanmış 0,536 BF değerine getirildiğinde ayar, her gerilim ve sıcaklıkta %50 - %200 arasında olur. Daha sonra BF, geçiş uyumunu sağlamak için 2,75 olarak değiştirilir. Kapama durumundaki kayıp, 700 V ve 150 °C de 0,23 W'tır. 100 °C 'de ihmal edilebilecek kadar küçük olur. En önemli parametre olan PNP'nin IS'i 1,14E-10A 'de değişmeden kalmaktadır.

Ayarın ikinci basamağı, iletim karakteristikleridir. Bu durumda, MCT'nin bütün emiter jonksiyonları ileri polaritededir.

P- ve N- merkez tabakaları, P+ ve N+ emiterlerinden içeri sokulan iki çeşit taşıyıcılar tarafından güçlü bir şekilde modüle edilirler. Böylece gerilim düşümü ,diyoda benzer bir şekilde olur. Ölçülmüş ve benzetilmiş iletim karakteristikleri Şekil 2.3 ' de gösterilmiştir. Ayar, düşük akım haricinde yaklaşık 50 m V'tur.iletim karakteristikleri için SPICE parametreleri şunlardır.

1. NPN bipolar ; IS ,BF ve NF
2. PNP bipolar ; IS ve NF
3. Parazitik osilasyonlar ; RVN+ ,VDROP ve RVP+

IS ve BF'ler birinci basamakta hazırlanmış olmasına karşın, iki bipolarların NF'i, NPN emiter seri direnci (PVN+) ve



Şekil 2.3 SPICE İleri Gerilim Simülasyonu

PNP seri emiter direnci (RVP+) ölçülmüş değerlere ayarlanması için bulunur. Bir kere NPN 'nin BF'i hesaplanmış 0,536 değerine ayarlandığında, bütün değerler için uyum (+/-)100 mV'tur. 2,75 beta ayarlaması geçiş uyumundan gelir. Bütün sıcaklıklarda 100 A'deki güç kaybı 120 W civarındadır.

Üçüncü basamak, en zor ayarlamadır. İletim ve kesim geçişleri farklı olaylardan etkilenir. İletim geçişi için önemli bir olay da delik ve elektronlar tarafından taşınan plazma yayılmasıdır. Devredeki kapasiteler geçişi geciktirir. İletim, farklı akım, gerilim ve sıcaklık üzerinde tam bir şekilde sabittir. İletim geçişi için SPICE parametreleri aşağıdaki gibi olur.

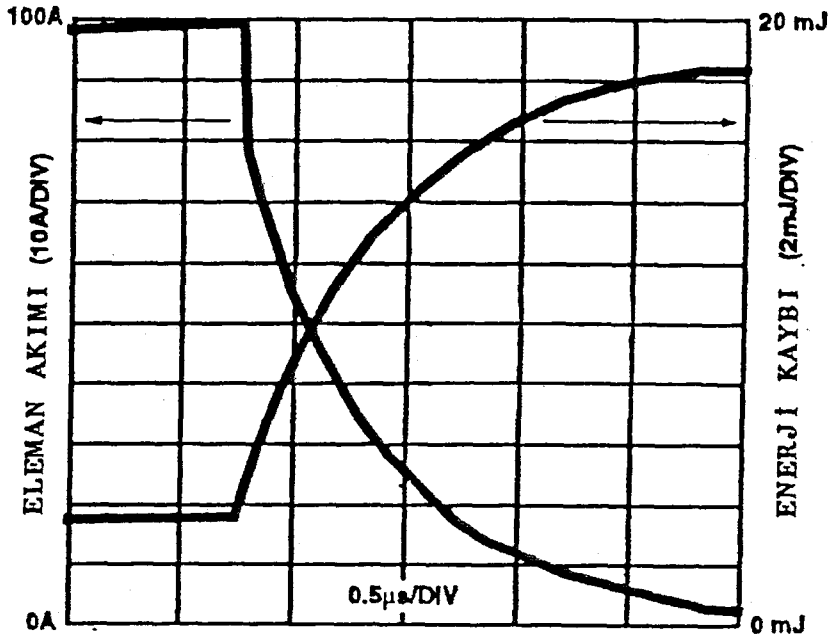
1. NPN bipolar ; BF

2. Parazitik osilasyonlar ; CPOLY

P- ve N- bölgesindeki azınlık taşıyıcıların kullanım süreleri kapama geçişi üzerinde önemli bir rol oynar. Bu SPICE 'da taban geçiş zamanlarında (TF) görülür.

Şekil 2.4, 150 °C de 100 A, R-C elemanı olmadan 300 V'a bağlı simüle edilmiş ve ölçülmüş kapama zamanları ve enerjiyi karşılaştırmaktadır. Deneye uyum %10 'dan daha iyidir.

Ayarlama ile beraber bu eleman sadece sınır sıcaklığı olan 150°C de gösterilmiştir. Fakat verilen model her sıcaklıkta kullanılabilir. Tablo 2.1 deki parametrelerle 25°C-150°C arasındaki uyum çok iyidir.



Şekil 2.4 Kapama Durumunda 600 V'luk P-MCT'nin SPICE Modellemesi

2.1.4. SPICE Modelinin Özeti

Yeni geliştirilen MCT modeli ,P-MCT elemanlarıyla birlikte P-MCT güç devre ve sistemlerini de simüle eder.P-MCT ve yardımcı devreleri, P-MCT güç devrelerinin gerçekleşmesi ve tasarımı için çok güçlü elemanlardır. Daha sonra bu model geliştirilerek,MOS kapasitör tipi CPOLY ile daha yüksek seviyelere getirilecektir. Daha fazla MCT geçiş ölçümleri, ihtiyacı karşılamak için gereklidir. SPICE modeli kullanırken,"nümerik gürültü" çok fazladır. Bu durum, MCT'nin çok kısa bir sürede ilettime ve kesime geçmesinden kaynaklanır. Maksimum zaman basamağı birçok durumda işe yarayabilir.Gerilimin çok hızlı değiştiği düğümler arasına R-C elemanı eklemek gereklidir.Örneğin Şekil 2.4 deki eğrilerde R -C elemanı bağlı değilken,

meydana gelecek nümerik gürültüyü, kabul edilebilir seviyelere indiren küçük maksimum zaman basamağı kullanılabilir. Aynı modeli ,yarım köprü devresinin bir parçası olarak kullanma durumunda, 0,5 ohm , 0,333 mikroyarad 'lık bir R -C elemanını SPICE simülasyonunun çalışması için MCT'nin karşısına eklemek gereklidir.

2.2. Özel MCT Modelleri

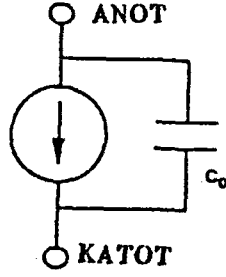
MCT modellerinin diğer elemanlara göre en büyük zayıflığı,fiziksel olmamasıdır.MCT 'nin P- ve N- tabakalarındaki delik ve elektronlar nedeniyle bakış açısı,SPICE veya başka bir model haline gelecek dört tabakalı bir elemana yönelmiştir. Fakat bu işte de tamamıyla başarılı olunamamıştır.Yine de MCT nin kapama hesaplarında bu gelişmiş modelin bazı bölümleri çok faydalı olmuştur.

Şekil 2.5,kapama durumundaki basit bir MCT modelini göstermektedir. MCT kapasite ile paralel bir akım kaynağı olarak kabul edilir.Fizik temelli bir modeldir. Alttaki transistörün akım kazancı ,sönüm zamanı sabiti ve kayıplarla beraber elemanı kapama durumuna getiren bir self-kapasite 'ye ihtiyaç duyar.Düşük ve yüksek gerilim ayarlamasında beklenen parametreler ,gerilim ve akımın birer fonksiyonudur. Geçiş bölgesi genişliği, bilindiği gibi akım yoğunluğuna bağlıdır.Azaltılmamış taban genişliği akım kazancını kontrol eder ve bu da

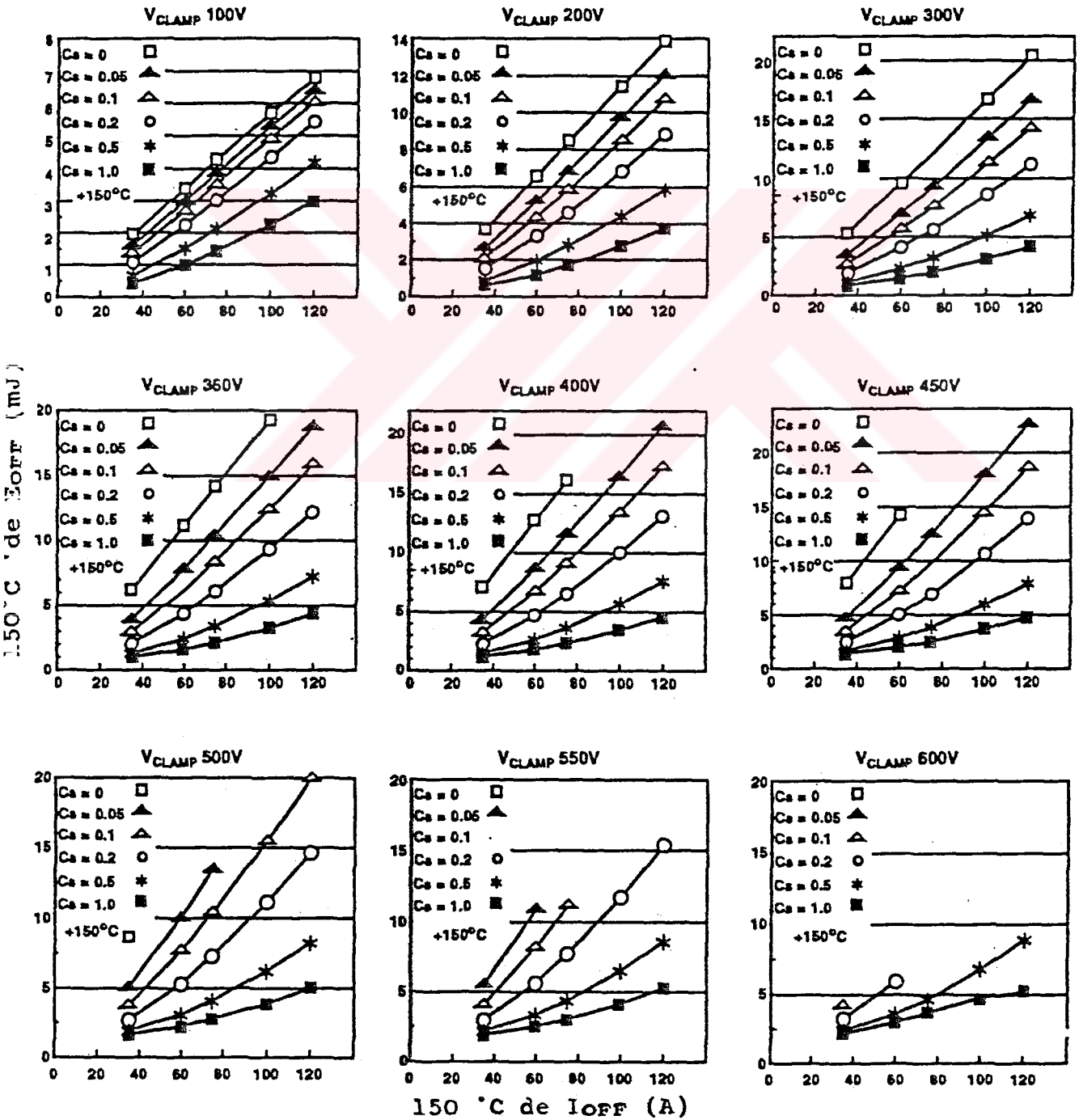
akım ile gerilime bağılıdır. Birleşen fazla taşıyıcılar birleşme ömürlerinin daha kısa olduğu katkılı tabakanın içine doğru itilirler. Burada daha az belirli olan parametre değişimi mümkündür.

Şekil 2.6 , 75 ° C ve 150 ° C de değişken snubber kapasiteleri ile farklı akımların endüktif kapamaları için hesaplanmış kapama enerjilerini gösterir.

Elemanın SOA'sını her zaman aşacak olan kapama enerjileri şekilde çizilmemiştir. Bu durumda kullanılan SOA tipik bir eleman içindir ve hepsi 600 V'luk 1. Üretim P-MCT (75P60) 'lerden değildir. Bu tarif edilen model "c" program dilinde gerçekleştirilir. Fakat daha az doğrulukla SPICE 'da da yapılabilir.



Şekil 2.5 Kapama Durumundaki Basit Bir MCT Modeli



Şekil 2.6 Kapama Enerjisi ve Akımın Değişimi

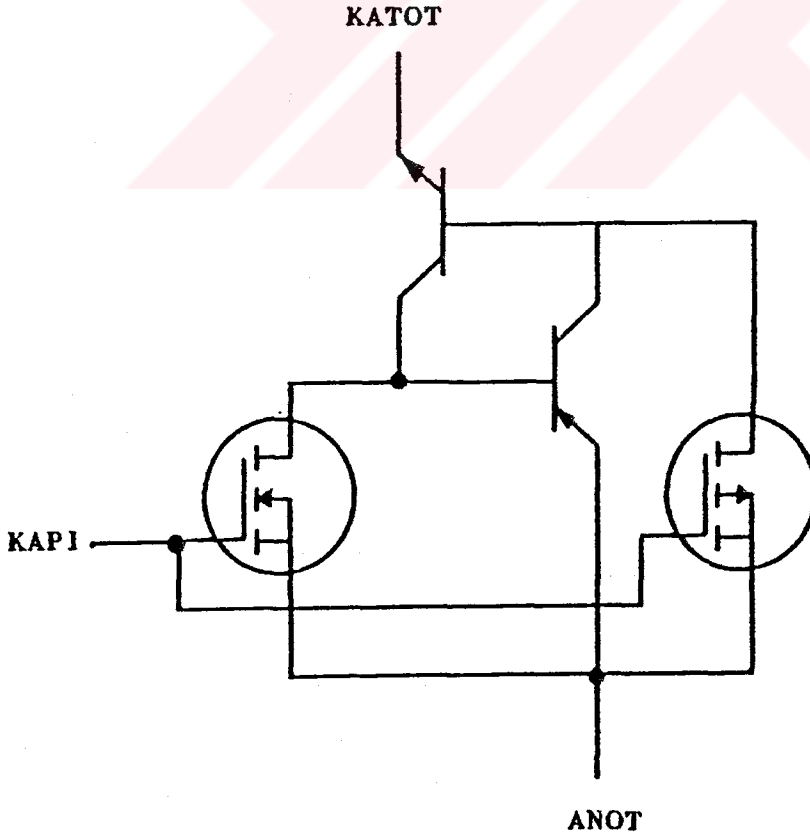
BÖLÜM 3

MCT KARAKTERİSTİKLERİ

MCT 'lerin piyasaya sürülmesi ile birlikte ,kullanım ve bilgilerle ilgili bir çok soru akla gelebilir. Nominal değerlerin,karakteristiklerin ve eğrilerin büyük çoğunluğu bir çok kullanıcıya tanıdık olmasına rağmen,kullanımda büyük faydaları olan küçük değişiklikler de vardır.

3.1. Eşdeğer Devre ile Çalışmanın Açıklanması

MCT 'nin birçok karakteristik özelliği Şekil 3.1 de ki eşdeğer devrenin ışığında kolaylıkla açıklanabilir.MCT iletimi ve kesimi için anodu ile uygun tabakaları arasına iki ters



Şekil 3.1 MCT'nin Eşdeğer Devresi

kutuplu MOSFET transistörü bağlanmış bir bipolar tristöre (iki transistör modeli) yakın bir şekilde benzer. MCT 'nin PNPN den daha çok NPNP elemanı olmasından dolayı, çıkış ucu veya katodu negatif gerilimli olmalıdır. Ortak uç veya anoda göre kapı ucuna negatif gerilim vermek, P-kanallı FET'i ilettime geçirir. Böylece SCR 'yi de ateşler. Anoda göre kapı ucuna pozitif gerilim verilerek, N-kanallı FET ilettime geçirilir. Daha sonra SCR'nin parçası olan PNP bipolar transistörün bazının sürülmesi ile , sonuçta SCR iletimden çıkar. Eşdeğer devreden de görüldüğü gibi elemanın kapı ucuna ,anod gerilimi uygulanmazsa bipolar SCR'nin giriş noktaları kutuplanamaz. Kapı ön gerilimi olmadan işlem yapmak önerilmez.

3.2. Nominal Değerler

* Kesimde Maksimum Kapama Gerilimi (V_{DRM}) :

Müsaade edilen maksimum Katod-Anod gerilimidir.

* Maksimum Ters Gerilim (V_{RRM}) :

MCT, ters kapama tasarımına sahip bir eleman değildir. Oysa IGBT' ler gibi ters paralel bağlı diyodun kullanımına izin veren, etkili bir kapama yeteneğine sahiptir.

* Sürekli Katod Akımı (I_C) :

Elemanın üzerinden geçen akımdır.

* Süreksiz Katod Akımı Tepe Değeri (I_{TSM}) :

Her darbe genişliğinde iletimde olan elemanın üzerinden

geçmesine izin verilen maksimum akımdır. Jonksiyon sıcaklığı , izin verilen tepe akımı ve darbe genişliğini sınırlar.

* Kontrollü Tepe Akımı (I_{TC}) :

MCT , kapı sinyali ile kumanda edildiğinde, elemanın kesime girmesine neden olan maksimum katod akımıdır. Özel bilgi cetvelinde listelenmiş devrelerde , elemanın kesime girmesi garanti edilmiştir .Bu özellik hem endüktif hem omik devrelerde vardır.Volt - amper yük hattı (Şekil 3.13 deki) kapama durumunda bağlanmalıdır.Kontrollü tepe akımının üzerindeki değerlerde elemanı kesime sokmak bozulmasına neden olabilir.Eğer elemanın kutupları kontrol edilebilir derecedeki akımda veya aşağısında değiştirildiyse, eleman tepe kontrollü akımdan daha yüksek değerlerde kullanılabilir.

* Sürekli Kapı - Anod Gerilimi (V_{GA}) :

MOS girişli diğer elemanlar gibidir.

* Maksimum Kapı - Anod Gerilimi (V_{GA}) :

iletim ve kesim esnasında kapı gerilimi geçişleri, geriliminin fazla gönderilmesine izin verir.

* Gerilim Yükselme Hızı (dv/dt)

* Akım Yükselme Hızı (di/dt)

* Maksimum Kayıp Güç (P_T) : Termik direncin $0.6 ^\circ C / W$ ve

jonksiyon sıcaklığının 125 °C olduğu durumun bir fonksiyonudur.

- * Lineer Bozulma Faktörü
- * İşletme ve Depolama Sıcaklığı (T_J , T_{STG})
- * Maksimum Lehimleme Sıcaklığı (T_L)

3.3. Parametreler

Nominal değerlerde olduğu gibi parametreler de Güç FET'leri veya tristör tipi elemanlara benzer. Daha çok açıklama gerektirenler aşağıdadır.

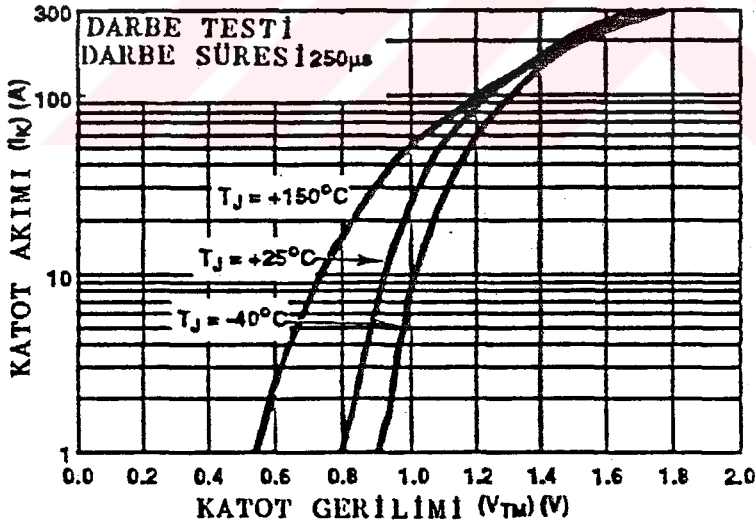
- * Kapama durumunda engelleme akımı tepe değeri (I_{DRM})
- * Ters engelleme akımı tepe değeri (I_{RRM})
- * İletim gerilimi (V_{TM})
- * Giriş kapasitesi (C_{ISS}) : MCT'nin ,Miller kapasitesi olmadığından, kapı karakteristikleri de yoktur. Kapı tam anlamı ile bir kapasite olarak görülebilir.
- * Anahtarlama karakteristikleri
- * Termik direnç (R_{JC})

3.4. Karakteristik Eğriler

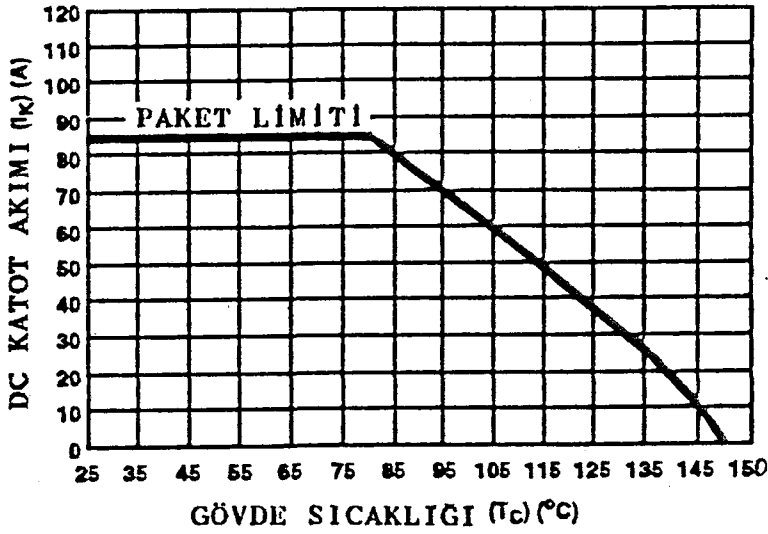
Doyma karakteristikleri, MCT'yi MOSFET, BİPOLAR ve IGBT 'den ayıran özelliklerdir. Karakteristik eğrilerin de gösterdiği gibi elemanın yüksek DC akım değerindeki doyma gerilimi, diyoda benzer. Sıcaklığın sıfır olduğu akım değeri ve doyma

geriliminin negatif değeri, bu akımın altında olduğu durumlar, doyma gerilimi karakteristiklerinin önemli noktalarıdır.

Şekil 3.2 de gösterildiği gibi sıcaklığın sıfır olduğu noktanın altında doyma gerilimi, artan sıcaklıkla azalır. Eğer elemanlar paralel bağlanırsa, birisi termik kaçışa girebilir. Bu nedenle pozitif sıcaklık noktasının üzerinde işlem yapmak avantajlıdır. Sıfır sıcaklık noktası üzerinde işlem yapmak için devre rezonansa getirilmeli veya devre kesilmeden önce akım, güvenli bir anahtarlama seviyesine getirilmelidir.



Şekil 3.2 Doyma Karakteristikleri



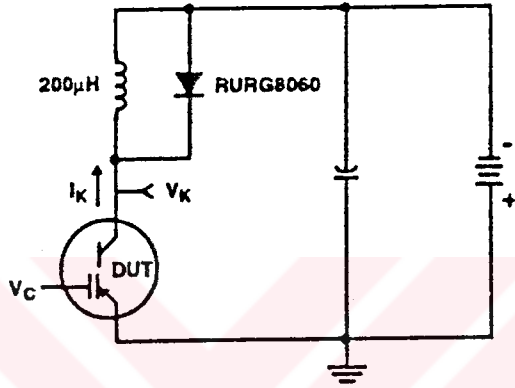
Şekil 3.3 DC Akım Yeteneği

Şekil 3.3 , elemanın sıcaklığa karşı DC akımı taşıma yeteneğini tarif eden hesaplanmış bir eğridir. Burada akıma sınırlama faktörü 150 °C jonksiyon sıcaklığıdır. Bu eğri , 0,6 °C /W termik dirence sahip bir elemanın 150 °C de I_{C90} da, V_{TM} (max) dan geçen I_K ve V_{TM} eğrisini gösterir. Yukarıdaki veriler ve aşağıdaki formül ile eğri hesaplanabilir.

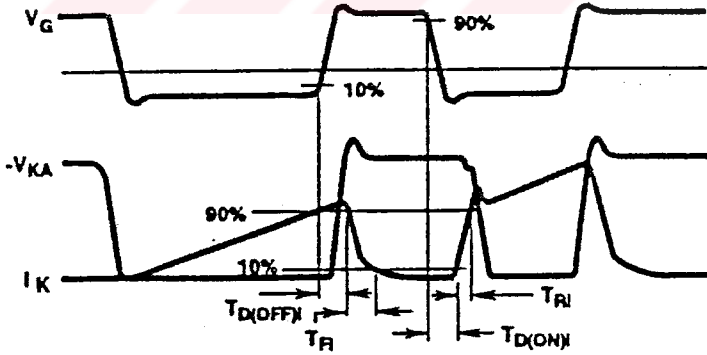
$$T_C = 150.0,6 * I_{DC} * V_{TM} \quad (3.4.1)$$

Eğride gösterilen paket limiti ,bağlantı kablolarındaki sınırlamayı gösterir ve MCT'nin bir fonksiyonu değildir.

Şekil 3.6 - 3.11 da hızlı anahtarlama karakteristikleri anlatılmaktadır. Şekil 3.4 ve 3.5 ,açma-kapama devresi ve anahtarlama (açma-kapama) dalga şeklini aşağı yukarı gösterir. İletim karakteristiklerini elde etmek için bir çift darbe testi yapmak gerekir.



Şekil 3.4 Endüktif Anahtarlama Devresi

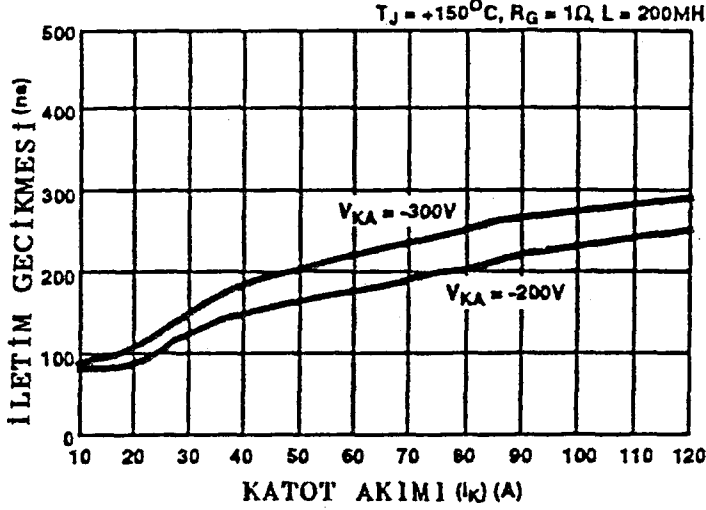


Şekil 3.5 Endüktif Anahtarlama Dalga Şekilleri

İlk darbe, yük endüktansını I_{C90} 'a kadar şarj eder. Katod akımı I_{C90} 'a ulaştığında MCT devreden çıkar ve akım, serbest geçiş diyoduna aktarılır. Bu diyod kesimde fazla gelen gerilimi sınırlayan bir gerilim kısıkaçı görevini görür. MCT'ye tamamen sönmesi için verilen (3-5)mikro saniyelik süre sonunda tekrar devreye girer ve akım, serbest geçiş diyo-
 undan MCT 'ye geçer. Eğer darbeler arasındaki gecikme zamanı gereğinden fazla olursa direnç ve diyod kayıpları, akımın I_{C90} seviyesinden daha aşağı düşmesine sebep olur. Aynı zamanda ikinci darbenin süresi çok uzun olursa MCT'nin maksimum anahtarlama yeteneğinin üzerine çıkılmış olur. Hızlı açma-kapamayı içeren bu testte veya diğer benzeri testlerde, iyi anlaşılması gereken bir nokta vardır. Tepe gerilimi V_{KA} besleme gerilimi değildir.

Kapama karakteristikleri, ilk akım darbesinin ard kenarında ölçülür ve iletim karakteristikleri de ikinci darbenin başlangıcında ölçülür. Anahtarlama zamanı ölçümleri aşağıdaki gibi tarif edilebilir.

- * İletim Gecikmesi ($T_{D(ON)1}$) : V_G 'nin %90'ından I_K 'nın %10'a yükseldiği zamana kadar geçen süredir.
- * Kapama Gecikmesi ($T_{D(OFF)1}$) : V_G 'nin %10'undan I_K 'nın %90'a düştüğü zamana kadar geçen süredir.
- * İletimde Yükselme Zamanı (T_{R1}) : I_K 'nın %10'dan %90'a yükselmesi için geçen süredir.



Şekil 3.6 İletim Gecikmesi ve Katot Akımı

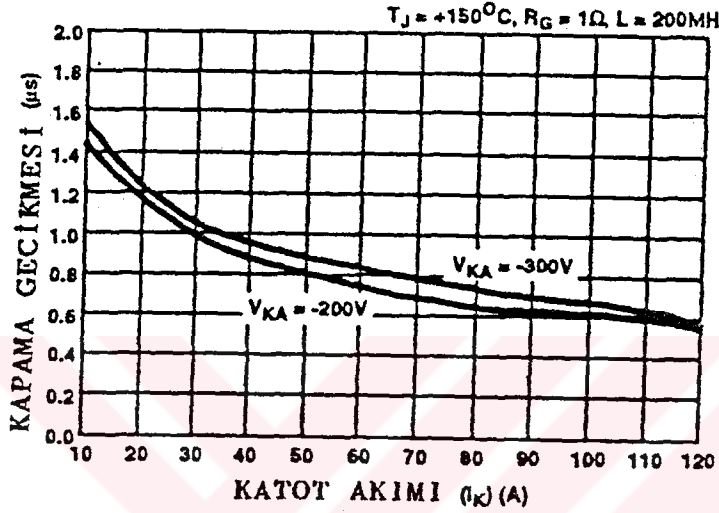
- * Kesimde Düşme Zamanı (T_{F1}) : I_K 'nin %90'dan %10'a düşünceye kadar geçen süredir.

Anahtarlama kaybı ölçümleri, aşağıda verilmiş olan zaman aralıkları arasındaki ani güç kaybının integrali olarak tarif edilebilir.

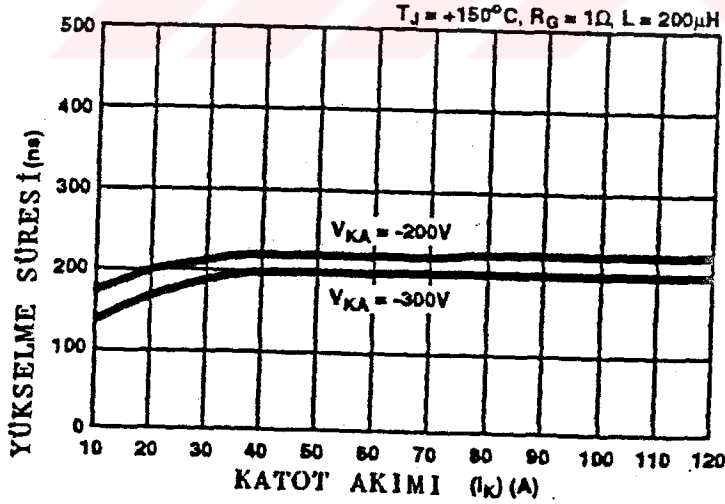
- * İletimdeki Anahtarlama Kaybı (E_{on}) : V_G 'nin %90'ından $V_{KA} = V_{TM}$ olduğu noktaya kadar ölçülmüştür.
- * Kesimdeki Anahtarlama Kaybı (E_{off}) : V_G 'nin %10'undan $I_K = 0$ noktasına kadar ölçülmüştür.

Tipik bir eleman için Şekil 3.12 deki maksimum işletme frekansı eğrileri, özel kullanım için elemanın performansını belirlemek amacıyla verilmiştir. Diğer frekans-katod

akımı eğrileri Şekil 3.6 -3.11 dedir. Elemanın işletme frekansı eğrileri herhangi bir noktadaki f_{max1} ve f_{max2} 'yi gösterir. Bu değerler elemanın ölçümlerinden elde edilmiş ve maksimum jonksiyon sıcaklığıyla sınırlandırılmıştır.



Şekil 3.7 Kapama Gecikmesi ve Katot Akımı



Şekil 3.8 İletimde Yükselme Süresi ve Katot Akımı

F_{MAX1} ,

$$F_{MAX1} = 0,05 / (T_D(ON)_1 + T_D(OFF)_1) \cdot T_D(ON)_1 + T_D(OFF)_1 \quad (3.4.2)$$

olarak bulunur.

Ölü zaman keyfi olarak %50 darbe-aralık oranı için iletim süresinin %10'unu tutar. $T_D(ON)$, giriş darbesinin ön kenarının %10'u ve katod akımının maksimum değeri olan %10'a yükseldiği an olarak tanımlanır. $T_D(OFF)$ ise giriş darbesinin ard kenarının %90'ı ve katod akımının maksimum değeri olan %90'a düştüğü an olarak tarif edilir. T_{JMAX} dışındaki uygulamalarda elemanın gecikmesi, ek bir frekans sınırlayıcı durum ortaya çıkarabilir. Hafif yüklü durumda , çıkış dalgasının kontrolünde $T_D(OFF)_1$ önemlidir. F_{MAX2} ,

$$F_{MAX2} = (P_d - P_c) / (E_{ON} + E_{OFF}) \quad (3.4.3)$$

şeklinde bulunabilir.

Müsaade edilen kayıp güç ise ,

$$P_d = (T_{JMAX} - T_c) / R_{JC} \quad (3.4.4)$$

olarak elde edilir.

Elemanın anahtarlama kayıpları ile iletim kayıplarının toplamı P_d 'yi geçmemelidir .%50 işletme faktörü kullanılmıştır ve iletim kayıpları ,

$$P_c = (V_{AK} \cdot I_{AK}) / \text{işletme faktörü} \quad (3.4.5)$$

olur.

E_{ON} ,giriş darbesinin ön kenarında ve anod-katod geriliminin doyma gerilimine eşit olduğu noktadaki güç kaybı olarak tarif

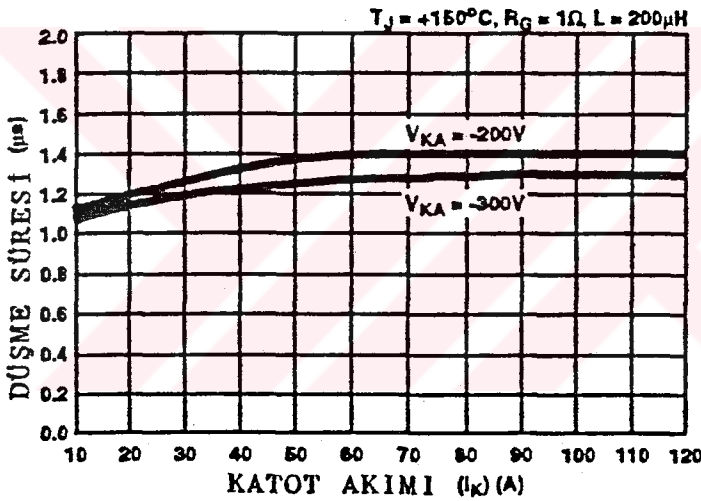
edilir. E_{OFF} , giriş darbesinin ard kenarında ve katod akımının sıfıra eşit olduğu noktadaki güç kaybı olarak açıklanır.

Anahtarlama güç kayıpları ise ,

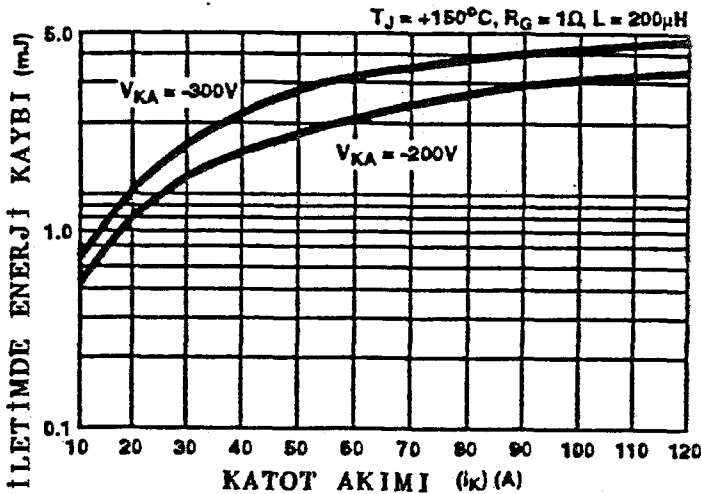
$$F_{MAX2} \cdot (E_{ON} + E_{OFF}) \quad (3.4.6)$$

olarak bulunur.

iletimdeki anahtarlama kayıpları, devre dışı şartlardan ve elemanlardan büyük bir ölçüde etkilenir. F_{max} eğrileri, hem iletim kayıpları ile hem de iletim kayıplarını ihmal ederek çizilmiştir.



Şekil 3.9 Kesimde Düşme Süresi ve Katot Akımı



Şekil 3.10 İletimde Enerji Kaybı ve Katot Akımı

Anahtarlama yeteneği, üç önemli noktadan etkilenir.

1. Kapı Gerilimi Yükselme Süresi: Katalogta önerilenden daha uzun olan kapı gerilimi yükselme süresi Şekil 3.13 de gösterilen anahtarlama SOA yeteneğini daha aşağıya düşürür.
2. Kapama Durumunda Kapı Gerilimi : MCT tamamen sönünceye kadar, kapı gerilimi önerilen değere erişmeli ve bunu sürdürmelidir. Önerilen değerden daha düşük kapı gerilimi, yata üst anahtarlama sınırının aşağıya düşmesine neden olur.
3. V_{KA} Tepe Değeri : Anahtarlama eğrisinin yüksek gerilim bölgesinde ,anahtarlama yeteneği, anahtarlama geçişi esnasında V_{KA} 'nın tepe değerinden de etkilenir. Gerilim, kaynak geriliminin üzerindeki her artışı içermelidir. Bu artış çok kısa bir sürede olur. Bunun için çok kısa darbeleri ölçme yeteneğine sahip osiloskoplar kullanılmalıdır.

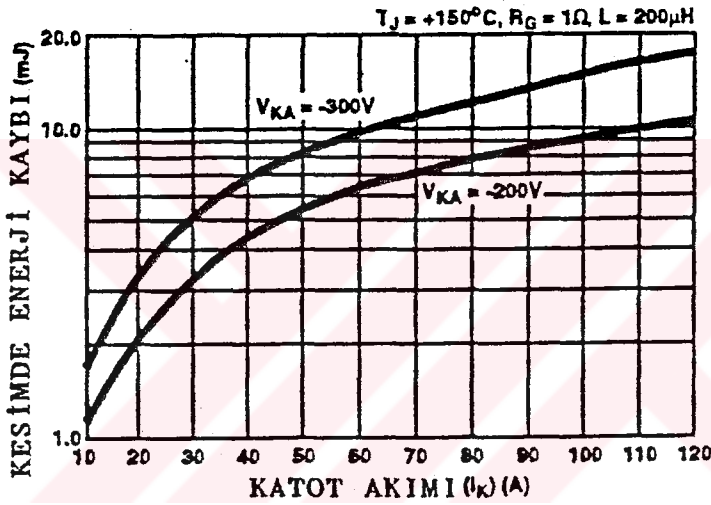
Tepe gerilimi ,MCT kilitlenmeden önce V_{KA} 'nın ulaştığı en büyük gerilim değeri olarak tarif edilebilir. Şekil 3.14'de gösterildiği gibi V_{SPIKE} sıcaklıkla artar.

Bu durum ,R-C elemanın değeri arttırılmak suretiyle ortadan kaldırılabilir.

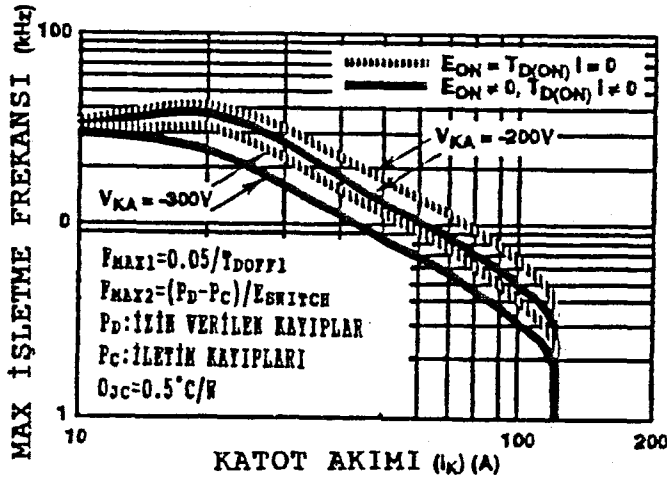
V_{SPIKE} test devresinde (Şekil 3.15) 20 V'luk kaynak geriliminin, diyod ve 500 ohm'luk direncin amacı, ters polarite sağlamaktır. Şekil 3.16 test esnasında dalga şeklinin zamanlamasını gösterir. Yük endüktansı ve kaynak gerilimi istenilen di/dt değerini elde etmek için düzeltilmiştir. Çünkü

V_{SPIKE} , endüktans geriliminden çıkarılır. Bu akımın değişiminin nonlinear olmasına neden olacaktır. V_{SPIKE} arttırılınca kaynak gerilimi de arttırılarak, I_K 'nin nonlinearitesi azaltılmalıdır.

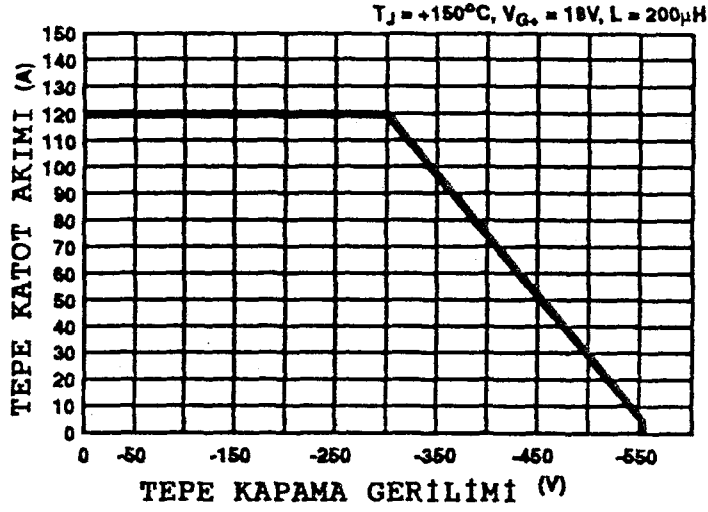
MCT'nin ters gerilim yeteneğini azaltabilecek iki faktör vardır. Bunlar , Sıcaklık ve dv/dt dir. Şekil 3.17 MCT 'nin ters gerilimi ile dv/dt arasındaki değişimi göstermektedir.



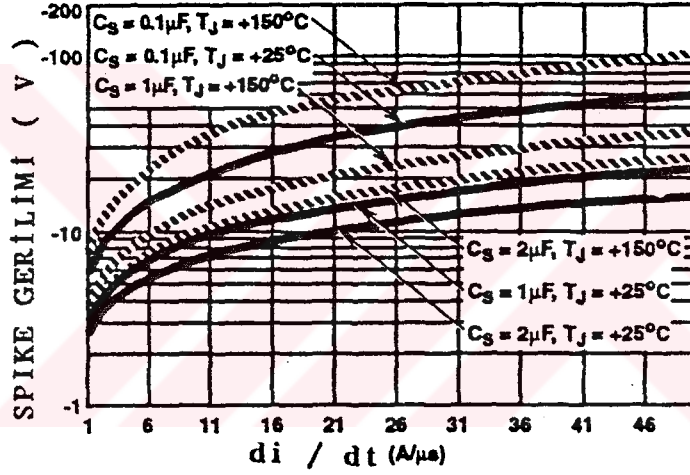
Şekil 3.11 Kesimde Enerji Kaybı ve Katot Akımı



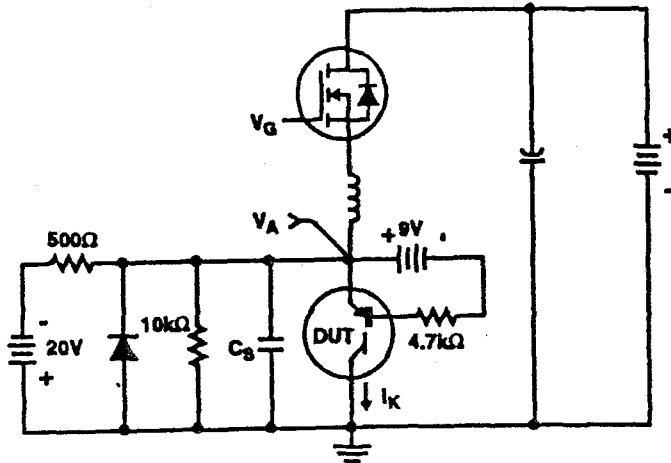
Şekil 3.12 SPIKE Gerilimi Eğrileri

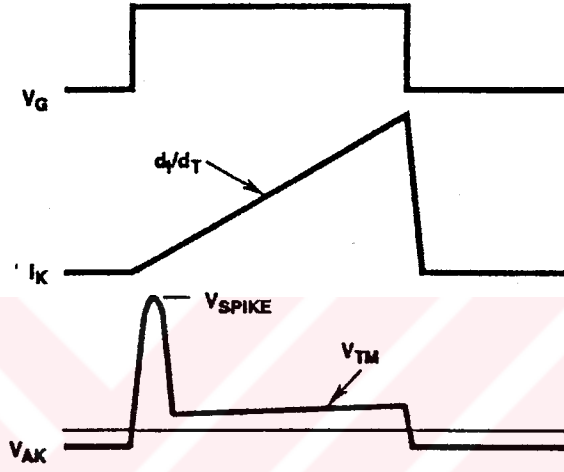


Şekil 3.13 Kapama Yeteneği Eğrileri



Şekil 3.14 SPIKE Gerilimi Eğrileri

Şekil 3.15 V_{SPIKE} Test Devresi



Şekil 3.16 SPIKE Gerilimi Dalga Şekilleri

BÖLÜM 4

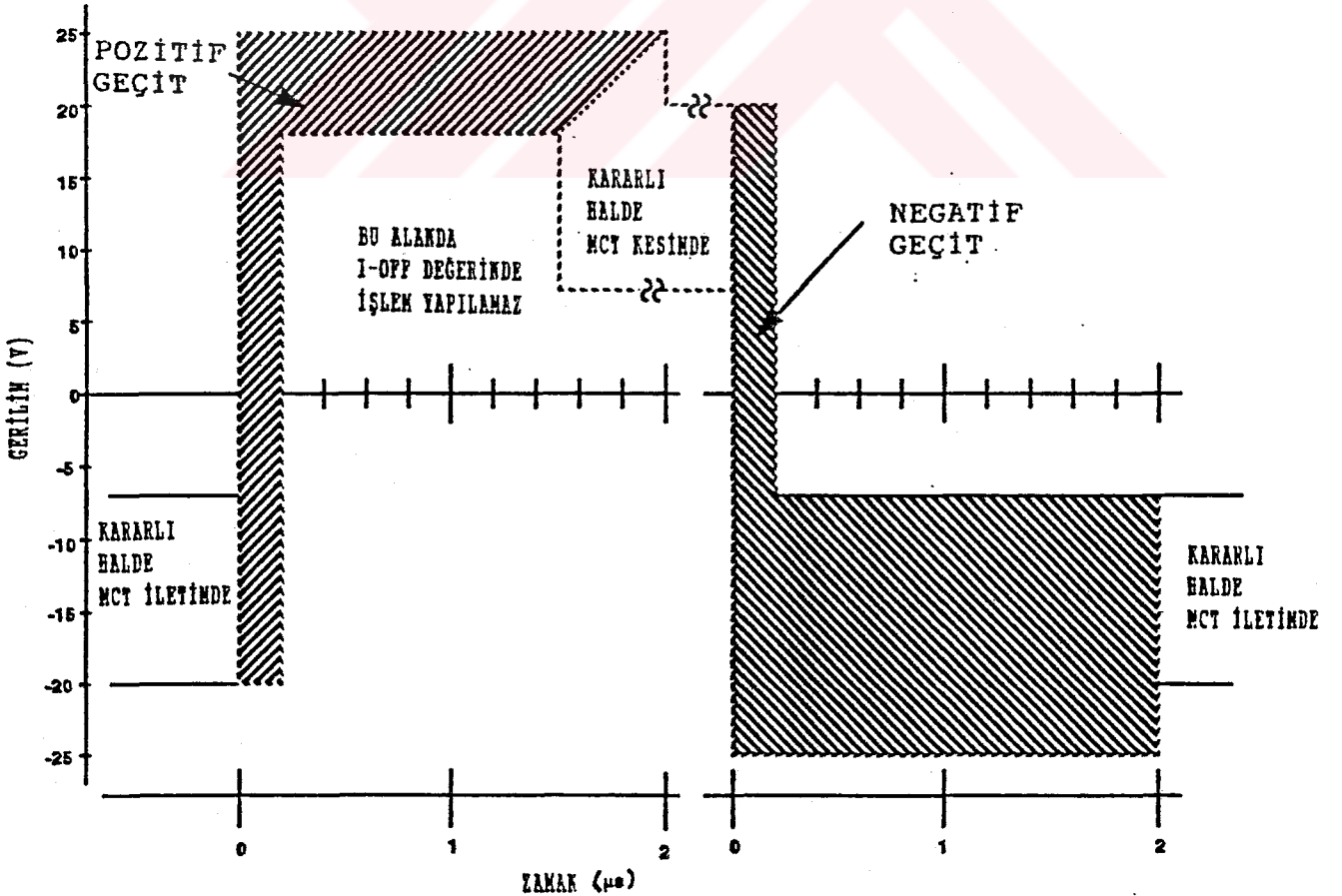
MCT'NİN KAPI DEVRELERİ

MCT'ler FET'ler ve IGBT' lere benzer bir şekilde sürmeyi kolaylaştıran MOS kapısına sahiptir. Kapı kapasitesi 10 nF'dır. Diğer MOS kapılı elemanlar gibi anahtarlama esnasında Miller akımını kullanmaz.

4.1. Kapı Dalga Şekilleri

4.1.1. Sınırlar

MCT'nin performansı, kapı dalga şeklinin genlik ve yükselme zamanındaki bazı değerlerle karşılaştırılmasını gerektirir. Şekil 4.1 dalga şekilleri için sınırları göstermektedir.



Şekil 4.1 MCT Kapı Dalga Şekli İçin Sınırlar

Kapı dalga şekli, MCT'nin iletimi ve kesimi esnasında ,kararlı hal sınırlarının içinde olmalıdır.Kapı dalga şekli,dalga şekli geçişlerinde taralı bölge içine düşmelidir.

4.1.2. Negatif Genlik

MCT , anoduna göre negatif bir gerilimle ilettime geçer. MCT bir tristör olduğundan,bir kere katod akımı elemanın tutma akımını aştığında ilettime geçer ve kilitlenir. -7 V' luk gerilim MCT 'nin ilettime geçmesi için yeterlidir ve uygun bir gecikmeyle açılmasını sağlar.-20 V'luk sınır da kapının aşırı gerilimden zarar görmemesini garanti altına alır.

4.1.3. Negatif geçit

MCT ve diğer MOS kapılı yarı iletkenler arasındaki bir ayırıcı farklılıkta şudur. Negatif kapı gerilimi geçişi anahtarlama gecikme zamanını etkilemesine karşın ,kapı MCT'nin anahtarlama zamanını kontrol edemez.Kapı gerilimi hala pozitif iken geçiş zamanı azaltılırsa, kapı yerdeğiştirme akımı MCT'nin iletim olayını başlatır.

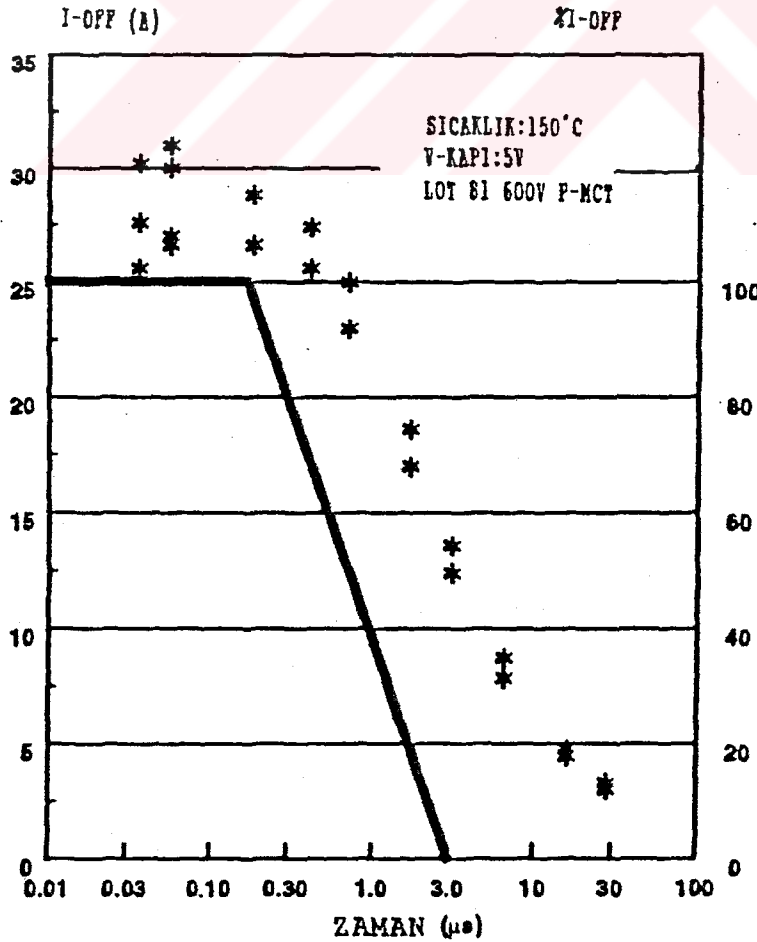
4.1.4. Pozitif Genlik

MCT, anoduna göre pozitif olan gerilimle kesime girer ve bu şekilde tutulur. 18 V > 1,5 mikro saniye süresince kapama gerilimi sınırlaması,MCT'nin 150°C de nominal akımı kesebileceğini garanti eder.20 V 'luk sınır, kapının aşırı gerilimden

den zarar görmemesini sağlar. Fakat yalnızca geçiş tabanlarında (20 - 25)V daha fazla gerilim gönderilmesine izin verilir.

4.1.5. Pozitif Geçit

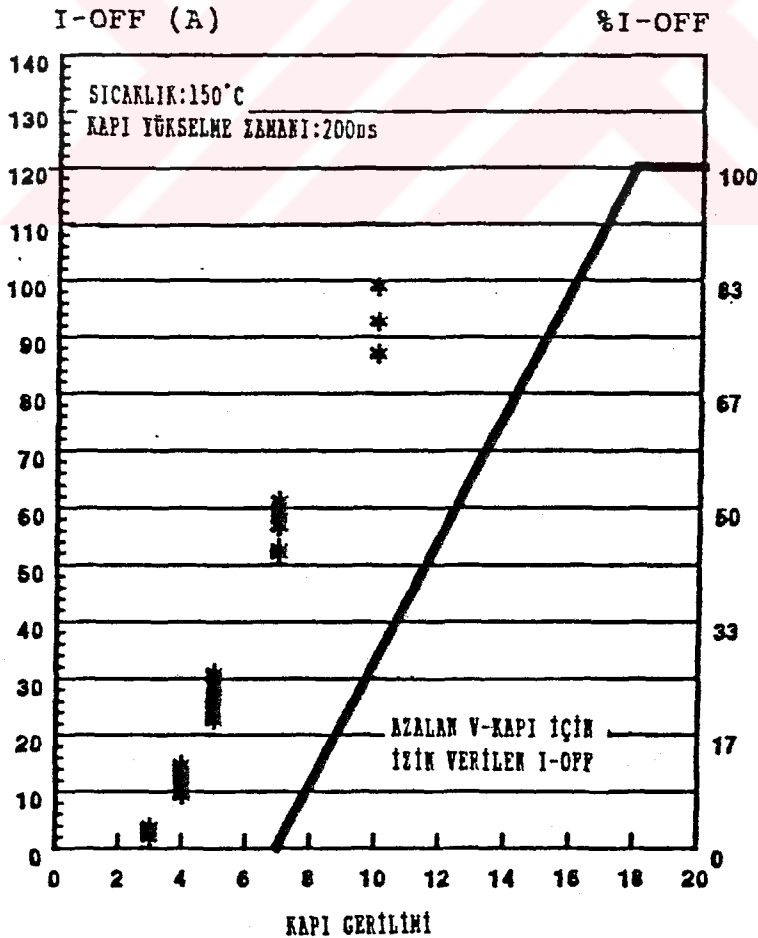
MCT ,içteki PNP transistörün taban-emiter jonksiyonunu kısa devre eden içteki FET transistörü tarafından kapatılır. Kapama yeteneğini arttırmak için,FET'ler düzenli ve hızlı bir şekilde ilettime geçirilmelidir.Bu,bütün MCT hücrelerinin aynı akımı kesmesini garanti altına almak için gereklidir.Eğer kapı gerilimi yavaş bir şekilde yükselirse,akım hücreler arasında dağılır ve bazı hücrelerde öyle bir değere ulaşır ki kapama durumu gerçekleşemez.Bu durumda , pozitive geçiş zamanı 200 ns olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2 Kapı Yükselme Süresi

4.2. MCT' nin Yüksek Sıcaklıkta Çalıştırılması

Sürekli halde pozitif kapı gerilimi azaltılırsa veya pozitif kapı gerilimi geçiş zamanı arttırılırsa, MCT' nin kapama yeteneği de Şekil 4.2 de gösterildiği gibi azaltılmış olur. Bu eğriler elemanların büyük bir çoğunluğunu temsil edebileceğine inanılan, küçük bir örnek grubun ölçülmüş performanslarını gösterir. Şekil 4.3 deki kapı gerilimi, 1,5 mikro sn' de pozitif kapı geçişinin hemen ardında ortaya çıkar. Eğer artan yükselme zamanı ve azalan kapı gerilimi ortaya çıkarsa, % oranlama faktörleri aynı zamanda çarpılmalıdır. Örneğin, 16 V 'a kadar olan 0,5 mikro saniyelik kapı darbesi yükselme zamanının, I_{OFF} yeteneğini $(0,6 * 0,83)$ 'e indirmesi beklenebilir.



Şekil 4.3 I-OFF ve Kapı Gerilimi

4.3. Kapı Devreleri

4.3.1. Devrelerde Kullanılan Bölümler

MCT'nin tetikleme devresinde aşağıda istenenler bulunmaktadır.

- * Kapı sürme gerilimi : (+ / -) 20 V 'a kadar
- * Yükselme / düşme zamanları : < 200 ns
- * Tepe akımı : 2 A 'e kadar
- * Termik : Kapı CVF akımı + DC kayıplarını tutar.
- * Sinyal arayüzü : Manyetik veya optik izolasyon
- * Güç yalıtımı : Kapı sürme devresi, MCT'nin anoduna omik olarak bağlanır.

Aşağıdaki devreler MCT'yi sürmek için değişik yaklaşımları gösterir. Şu da var ki , MCT için gerekli olan, tepeden tepeye kapı gerilimi, bir dereceye kadar FET'in sürme gerekliliğini aşar. MCT 'yi direkt olarak tetikleyen IC tercih edilir. Sürme devrelerinden herbiri transformatörün sekonderinden beslenir ve yalıtılmış DC gücü sağlamak için , akımı doğrultur. Anahtarlama sinyali , fiber optik ışık çubuğunun içinden veya opto bağlayıcıdan sağlanır. Bunların herbiri, zener dioduundaki yalıtılmış DC gerilimle beslenir.

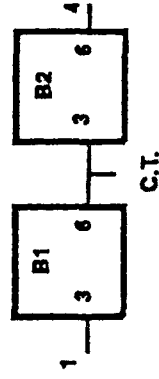
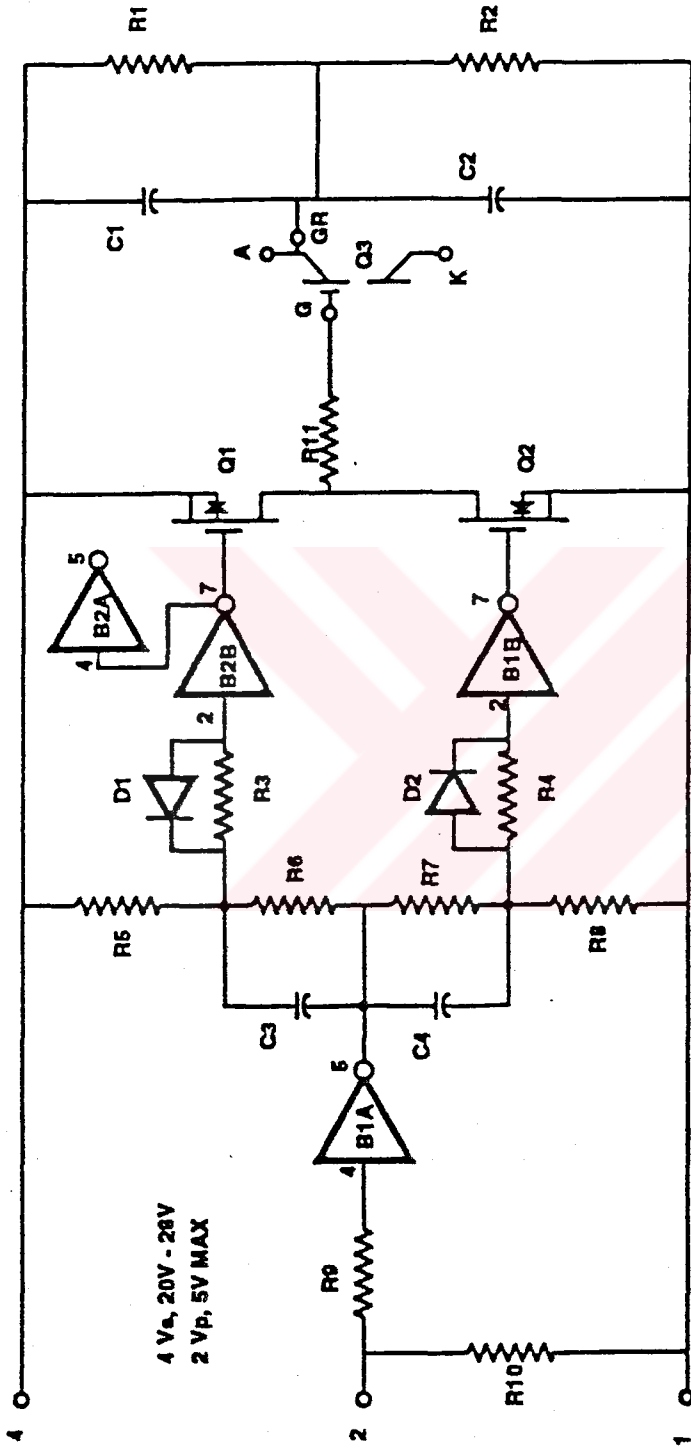
4.3.2. Devre 1 - Çift FET Kullanılan Sürme Devreleri

Şekil 4.4 iki çift 15V - 18V'luk FET sürücülü IC lerin kapı sürme devresini gösterir. FET istenilen 20 V'luk MCT kapı

sinyalinin üretir. Güç transformatörü, nötr ve diğer uç arası-
na bağlı olan iki çift güç inverterini, sekonderinden (+/-)13V
ile besler. Yukarıdaki ve aşağıdaki güç inverterlerini sürmek
için 2 noktasındaki giriş sinyalinin seviyesi değiştirilir.
Sırayla Q1 ve Q2 transistörleri iletime girer. Bu transistör-
lerin gerilim seviyesi MCT'nin ihtiyaç duyduğu 26 V sınırının
üzerindedir. D1-R3 ve D2-R4 elemanları, Q1 ve Q2 den geçen kısa
devre akımını azaltmak için, diferansiyel gecikmeyi sağlar. R11
direnci kapı gerilimi dalga şekli için, sönüm sağlar. R1 ve R2
dirençleri, MCT'nin kapısına uygulanan pozitif ve negatif geri-
lim arasındaki toplayıcı gerilimin bir kısmını meydana geti-
rir. C1 ve C2 kondansatörleri, MCT'nin kapı kapasitansı için ge-
rekli olan tepe akımını sağlar ve filtre vazifesi görür.

Devrenin avantaj ve dezavantajları ,

- + Devrenin çalışması, toplayıcı gerilimin değişimine karşı to-
leranslıdır.
- + Q1 ve Q2 'nin artan değeri ile devre, paralel MCT'leri süre-
bilir.
- + Bütün bölümler için çok sayıda kaynak vardır.
- Devre , tek bir MCT' nin sürülmesi için oldukça karmaşıktır.



- R1 = 6.7K**
R2 = 3.3K
R3 = 3K
R4 = 3K
R5 = 15K
R6 = 15K
R7 = 15K
R8 = 15k
R9 = 100
R10 = 1000
R11 = 0.15
R12 = 1000

Şekil 4.4 İki Çift Fet Sürücüsü İC Kullanılan MCT Kapı Sürme

4.3.3. Devre 2 - IC Sürme Devresinin Kullanımı

Şekil 4.5 , 20 V'luk MCT kapı sinyalini meydana getirmek için, 35 V değerinde FET güç sürücüsü kullanan bir kapı sürme devresini göstermektedir. Trafo ve diyotlar ,güç sürücüsü için gerekli olan 26 V gerilimi temin ederler. Giriş, değişik opto alıcılarıyla uyumludur. R3 direnci, kapı gerilimi dalga şeklinin sönümünü sağlar. R1 ile R2 dirençleri ,MCT'nin kapısına uygulanan pozitif ve negatif gerilim arasındaki, besleme gerilimini meydana getirir. C1 ve C2 kapasiteleri, MCT kapı kapasitansını anahtarlama için gerekli tepe akımını sağlar ve besleme gerilimini süzme görevini üstlenmektedir. Devre oldukça cazip olmasına rağmen ,sıcaklık 155 °C 'yi aştığı zaman, bu sürücünün iç termik kapanma özelliği vardır. MCT' nin maksimum jonksiyon sıcaklığı sınırı 150 ° C 'dir. Bu sıcaklık değerini aştığında ise, kısa bir süre arıza durumunda çalışır.

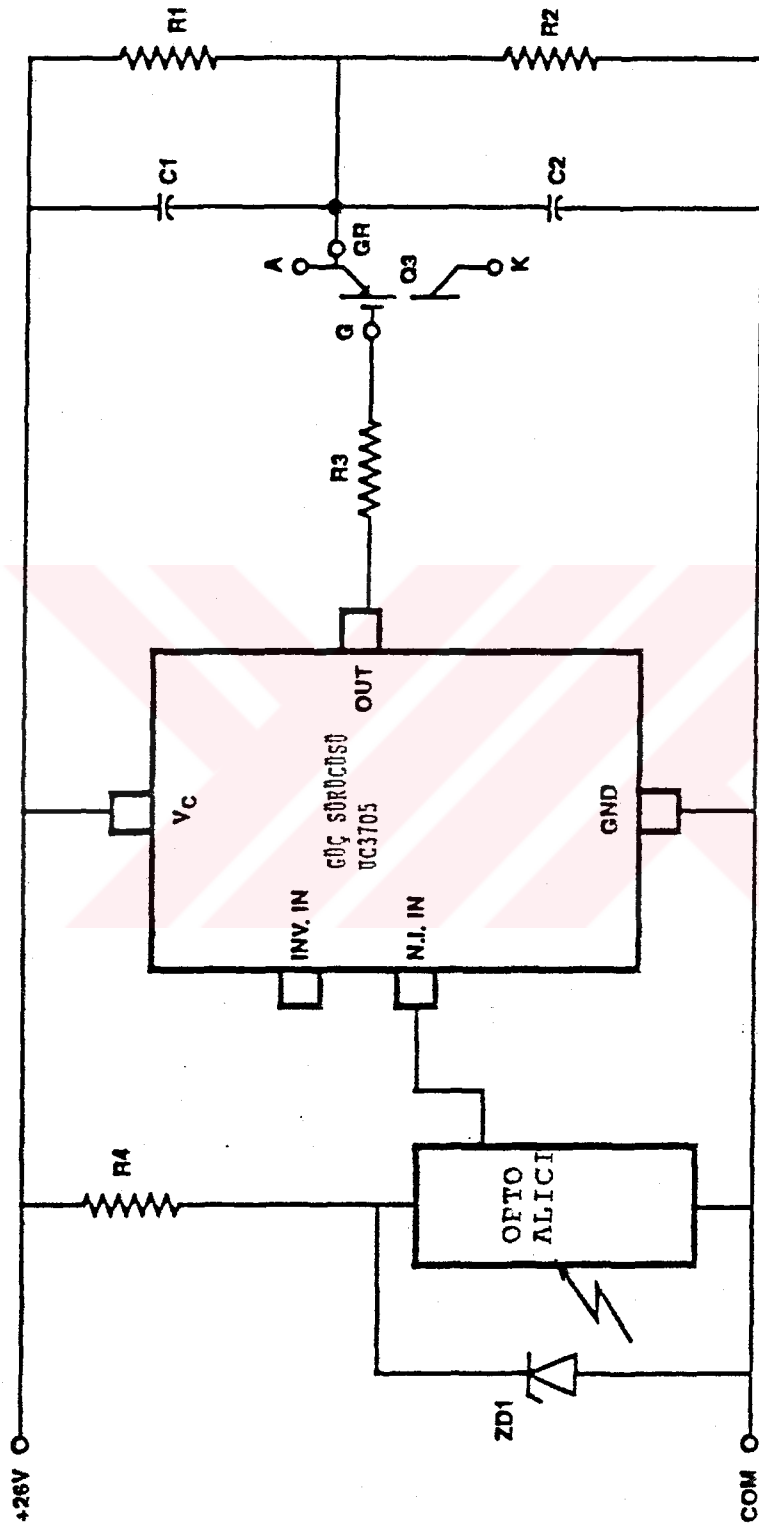
Devrenin avantaj ve dezavantajları ,

- + Devre az sayıda elemandan oluşur.
- + Daha yüksek çıkış akımı sürücüleri mevcuttur.
- İç termik kapanma MCT'yi kapıdan ilettime geçirir.

4.4.MCT Sürme Devresinin Geliştirilmiş Bölümleri

4.4.1. Geliştirilmiş MCT Kapı Sürme Devresinin Blok Diyagramı

Bir MCT sürme devresi olan IC geliştirilmiştir ve henüz

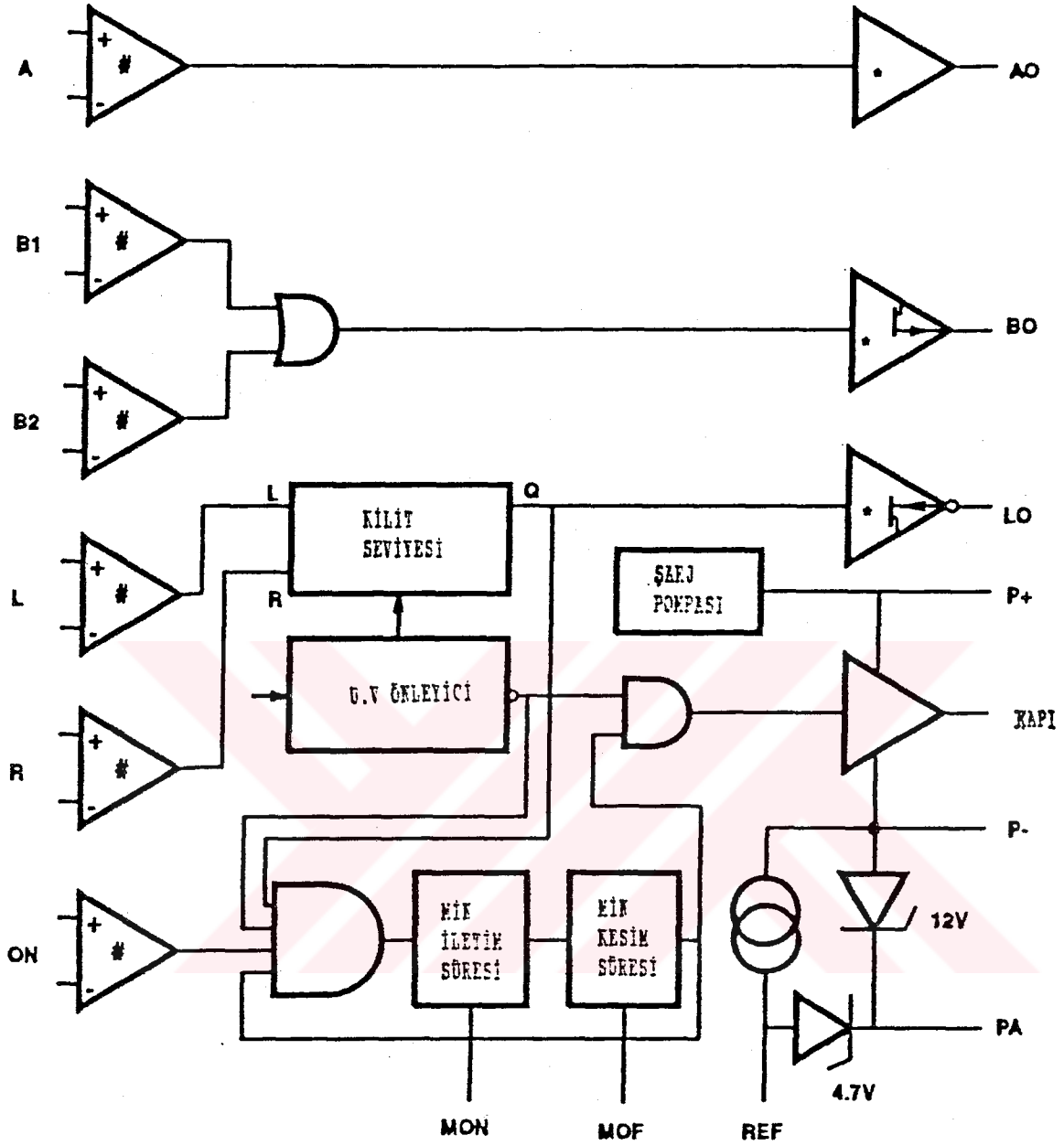


Şekil 4.5 Güç sürücüsü IC Kullanılan MCT Kapı Sürme Devresi

piyasada ticari olarak bulunmamaktadır. IC, güç devresi tasarım cıları için, birçok faydalı fonksiyon içerecek şekilde dizayn edilmiştir. Şekil 4.6, çıkış gerilimi giriş geriliminin integrali ile orantılı bu IC devresinin ,basit şemasını gösterir. Devre, güç devresi, ana MCT ON/OFF kanalı ve yardımcı komparatörlerden oluşur. Bu bölümdeki bütün gerilimlerin referansı, MCT'nin anoduna bağlı olan PA noktasıdır.

IC,içten 12 V'a bağlanmış bir negatif kaynak (7V - 12V) dan veya ara uçlu kaynaktan (P- _ PA _ P+) ya da tek uçlu kaynaktan (P- den P+ ya)beslenebilir.Negatif bir kaynak kullanıldığında,iç şarj pompası P+ noktasına enerji verir.A'daki referans gerilimi,30 mA'in üzerinde -4,7 V'a kadar düşebilir. ve direkt olarak opto alıcılarına ya da diğer kontrol devrelerine enerji vermekte kullanılabilir. IC için destek akımı 5 mA'den azdır.

Bütün kontrol sinyalleri, giriş sinyalinin sadece çok az bir kısmına gereksinim duyan karşılaştırmacılarından IC'ye doğru olur.Genel mod aralığı,PA noktasını ve parazitlerin yok edilmesini sağlayan 4,7 V'luk REF noktasını içerir.Ana iletim kanalı,paralel olarak bağlanmış dört MCT kapısını sürme yeteneğine sahip olan kapı çıkışını kontrol eder.iletim kanalı,minimum açma zamanını ve minimum kapama zamanını , dış kapasitans ilavesi ile kullanıcının programlayabileceği fonksiyonları içerir.Bu fonksiyonlar,R-C elemanına yeterli ayar zamanı sağlamak için kullanılabilir.

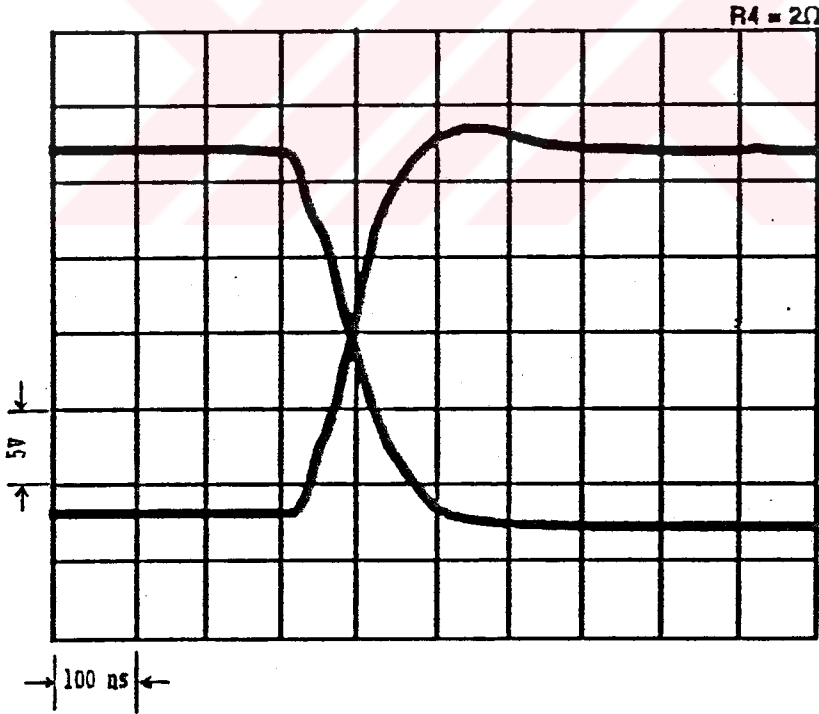


Şekil 4.6 Geliştirilmiş MCT Sürme Devresinin Blok Diyagramı

IC,iletim kanalını kapama durumuna getirmeye yarayan sür-
güye ve düşük gerilimi önleyen bir devreye sahiptir.

Sürgü ayarlandığında, LO çıkışı LED'i sürmek için, 20 mA maksimum kanal akımı sağlar.

IC, aynı zamanda birbirleriyle bağlantısız iki komparatör kanalını da içerir. "A" kanalı, 20 mA akımı sürebilen "AO" çıkışına sahiptir. "B" kanalı, OR kapısı ile bağlanmış, iki komparatör girişine sahiptir ve aynı zamanda "B" kanalı, bir LED 'i ilettime geçirmek için, akım kaynağı olan (20 mA.max) "BO" çıkışını sürer. Bu bağlantısız kanallar , zamanlamada veya lojik fonksiyonlarda kullanılabilir.



Şekil 4.8 Geliştirilmiş MCT Kapı Sürücüsünün Çıkış Gerilimi

Şekil 4.7 , bu entegre devrenin, en basit şekilde MCT'yi sürmek için nasıl kullanıldığını gösterir. REF noktası ,opto alıcısına güç vermek ve komparatör girişinin referans gerilimini sağlamak için kullanılır. MCT kapısına uygulanan pozitif ve negatif gerilimler arasında , besleme geriliminin bir kısmını R1 ve R2 dirençleri meydana getirir. C1 ve C2 kapasiteleri ,besleme gerilimini süzer ve MCT kapı kapasitesini anahtarlama için gerekli tepe akımını sağlar. R3 direnci, IC devresini güçlendirir. R4 direnci ise ,kapı gerilimi dalga şekline sönüm verir.

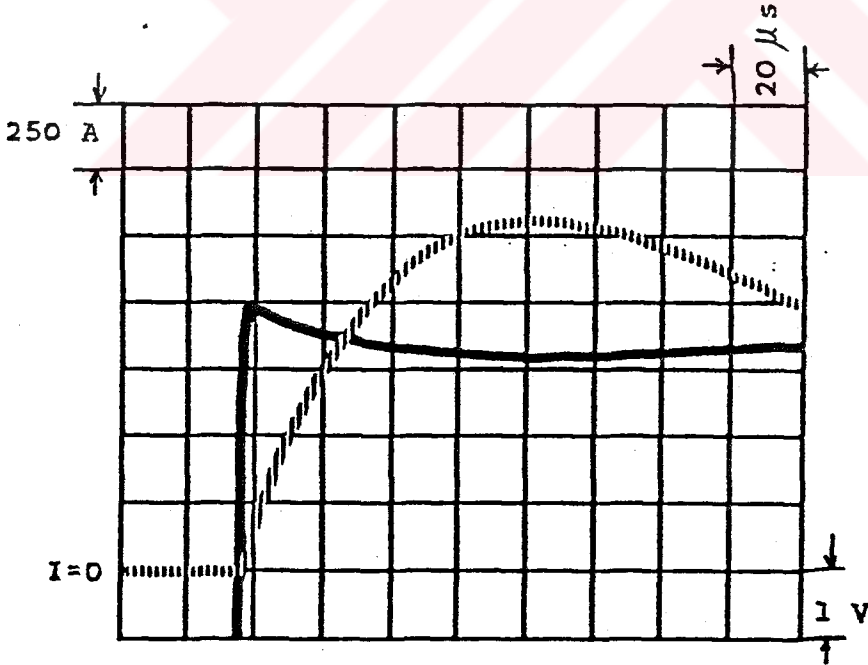
Şekil 4.8 , IC tarafından sürülen MCT'nin kapı gerilimi dalga şeklini gösterir. Pozitif veya negatif genlik ,güç kaynağı gerilimi ve R1 ile R2 dirençleri vasıtasıyla, kapı geriliminin istenen değerini sağlamak için düzeltilir.

BÖLÜM 5

MCT 'NİN UYGULAMALARI

5.1. MCT'nin kullanımı

MOS kontrollü tristör, yüksek akımda ,az gerilim düşümüne sahip,kararlı halde tek yönlü bir güç yarı iletkenidir. Şekil 5.1 'de gösterildiği gibi MCT, anahtarlama düşük güce gereksinim duyar, yüksek ani akıma sahiptir, yüksek di/dt ve dv/dt 'ye dayanma özelliği vardır ve jonksiyon sıcaklığı $150^{\circ}C$ 'yi geçtiğinde anahtarlama özelliği vardır.MCT ,yüksek akım kabiliyeti ile düşük iletim kayıplarının öncelikle gerekli olduğu güç anahtarlama devreleri için düşünülebilir.



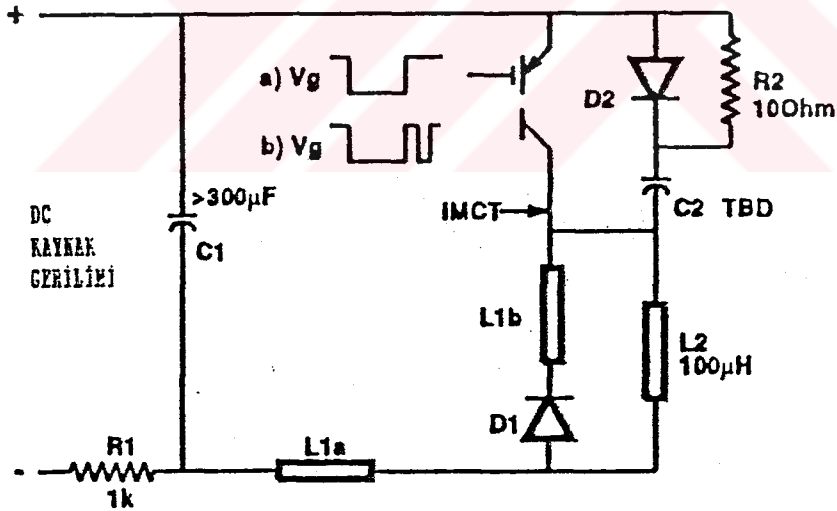
Şekil 5.1 1300 A'lik Tepe Akımında MCT 'nin Gerilimi

Burada MCT'nin, inverterler, konverterler, motor sürme devreleri ve darbe devreleri gibi güç anahtarlama devrelerinde nasıl kullanılabileceği anlatılacaktır. Bu anlatım, beş bölüme ayrılmıştır. Hızlı anahtarlama, yavaş anahtarlama, SCR devreleri ve tamamlayıcı devreler.

5.2. Hızlı Anahtarlama

5.2.1. Kapama Durumu

Hızlı anahtarlama devrelerinde, anahtarlama esnasında MCT eş zamanlı olarak gerilim ve akıma tabi tutulur. Birçok güç



Şekil 5.2 Hızlı Anahtarlama Gerilimleri Üreten Devre

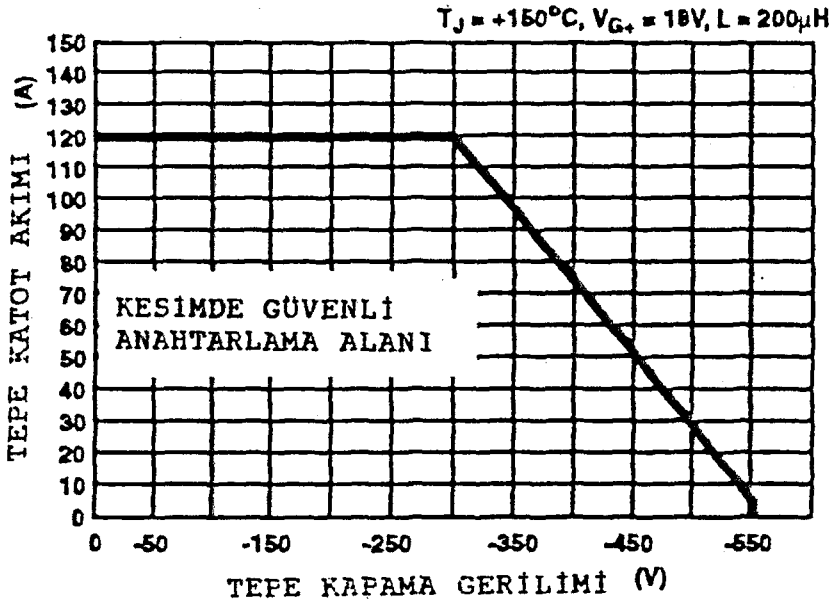
dönüştürme devreleri, hızlı anahtarlama modunda çalışır. Şekil 5.2 , MCT 'deki hızlı anahtarlama gerilimleri üreten devreyi göstermektedir. Hızlı anahtarlama işlemi anlatılırken de bu devre kullanılacaktır. Devre, MCT 'nin düşük güç kaynağından elde edilen gerilim ve akıma izin veren, çok düşük çalışma faktöründe işleme sokulmaktadır.

Şekil 5.2 de MCT , düşük empedanslı güç kaynağından elde edilen endüktif akım darbeleri ile anahtarlama. C1, DC kaynak kapasitesidir ve % 5'den az gerilim düşümü ile, akım darbelerini besleyebilecek büyüklükte olmalıdır. Pratikte, düşük empedanslı çok tabakalı seramik kapasiteye paralel bağlanmış, elektrolitik kapasiteyle bu şartlar sağlanabilir. L1a ve L1b endüktansları, C1, D1 ve MCT devre çevrimine bağlı kaçak endüktanslardır. L2 endüktansı, darbe geldiğinde, akımı sınırlandıran ana yük endüktansıdır. D1 diodu, MCT gerilimini kaynak gerilimine yükseltir ve MCT kesimde iken , L2 'den akan akıma bir yol sağlar. R2 , D2 ve C2 elemanları , bazı çalışma şartları altında , MCT 'nin aşırı gerilimini kontrol etmek veya izin verilen SOA içinde, V-I anahtarlama yolunu korumak amacıyla gerek duyulan kutuplanmış snubber oluştururlar. Ioffr testinde (a) dalga şekli, MCT'nin kapısına uygulanır. MCT, ilettime geçirildiğinde akım, L2 üzerinden istenilen değere yükselir. İletim zamanı ve yük endüktansı, istenilen akım değerine 50 mikro saniyede ulaşılabilir kadar seçilir. MCT kesime girdiğinde,

gerilim, D1 diyodu ilettime girinceye kadar yükselirken, MCT ' den geçen akım sabit kalır, katod gerilimi negatif kaynak gerilimine kadar yükselir. Bu geçiş aralığında MCT, yüksek güç kaybına maruz kalır. Katod gerilimindeki artış ($1000 \text{ V}/\mu\text{s}$) yük akımı MCT'nin eşdeğer kapasitesini (30 nF) şarj ederken, hızlı bir şekilde ortaya çıkar.

Kapama esnasında MCT 'nin gerilim ve akımının ani değerleri, Şekil 5.3 de gösterildiği gibi, güvenli anahtarlama alanı ve veya SOA içerisinde yer almalıdır. Bu eğrinin yüksek akım limiti, MCT' nin kapatabileceği maksimum akımdır ve iç kapama FET'lerinin direnciyle sınırlandırılmıştır. Negatif eğim sınırı MCT için SOA limitidir. Hızlı gerilim geçişi esnasında, kama durumundayken, L1 endüktansı MCT gerilimini geçici olarak besleme gerilimini aşmasına izin verir. L1 'in küçük değerlerinde fazla gerilim, MCT'nin kapasitansı tarafından sınırlandırılabilir. L1'in büyük değerlerinde ise, fazla gerilimi sınırlamak için, bir snubber devresi (R2, D2, C2) kullanmak gerekli olacaktır.

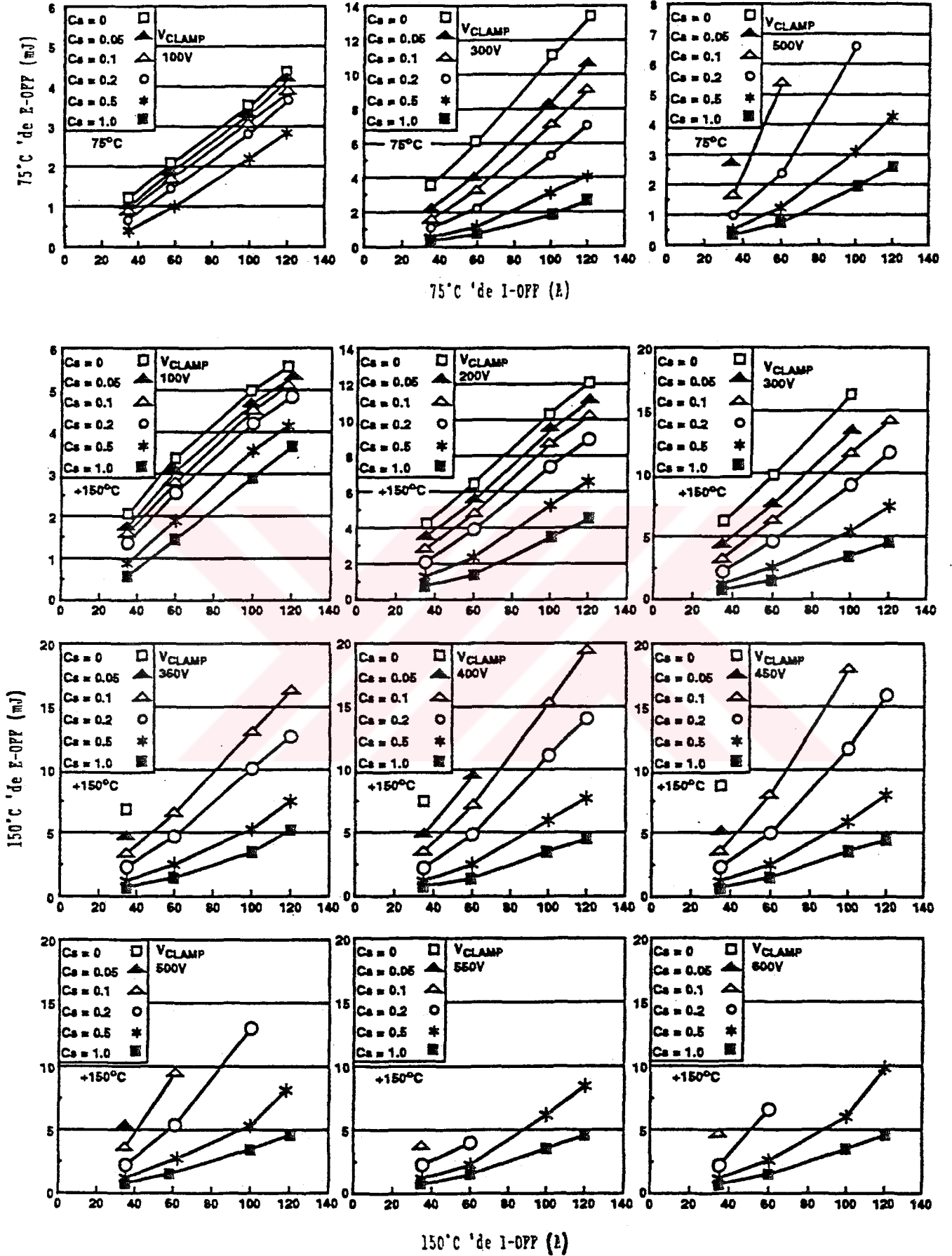
MCT kesime girerken, güç kaybı eleman akımı, tepe gerilimi ve jonksiyon sıcaklığının bir fonksiyonudur. Güç devresi uygulamalarında, MCT'nin I-V anahtarlama yolunu, güvenli anahtarlama alanında tutmak için, bir snubber kapasitesi eklemek gerekli olabilir. Aynı zamanda bu kapasite, fazla gerilimi azaltma görevini de üstlenir.



Şekil 5.3 Kapama Yeteneği ile Anot-Katot Geriliminin Değişimi

5.2.2. 600 V'luk 75P60 P-MCT 'nin Anahtarlama Kayıpları

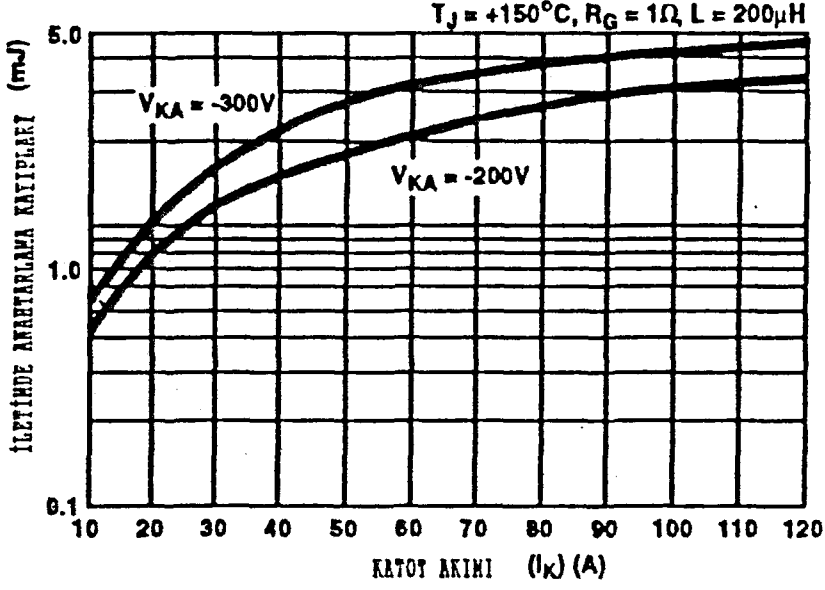
Şekil 5.4 75P60 P-MCT 'nin, $+75^\circ\text{C}$ ve $+150^\circ\text{C}$ 'deki anahtarlama kayıplarını gösterir. Bu eğriler, tepe gerilimi, snubber kapasitesi değeri ve akım değerlerini içerir. Eğrilerin dokuz tanesi $+150^\circ\text{C}$ jonksiyon sıcaklığı içindir ve MCT 'deki maksimum kayıpları ifade eder. Bitiş noktaları 120 A 'den az olan eğriler, MCT 'nin SOA sınırında veya bunun civarındadır. Eğrilerin üç tanesi de $+75^\circ\text{C}$ de ki kapama enerjisinin hesaplanmasına izin verir. Bu eğrilerin bazıları, güvenli anahtarlama alanı sınırının dışına taşar. Fakat, bütün elemanlar için SOA bölgesi güvenli bir şekilde aşılamaz.



5.2.3. İletim Durumu

Hızlı anahtarlama durumunda, MCT, akımdaki yükselmeyi sınırlamak için, minimum endüktans ile ilettime geçer. Bu durum Şekil 5.2 deki devrede kapı dalga şekli (b) kullanıldığı zaman ortaya çıkar. Başlangıçtaki iletim aralığında, daha önce de anlatıldığı gibi test akımı endüktansta oluşturulur. MCT 'nin tamamen blokajına izin veren, 5 mikro saniyelik kısa bir kapama periodundan sonra, MCT, 5 mikro saniye için tekrar ilettime geçirilir. Bu ikinci ilettime geçme esnasında, iletim diyodu blokaj gerilimine sahipken, MCT yüksek di/dt 'yi deneyebilir. 5 mikro saniyelik ilettime geçme süresi, son kapama geçişi ortaya çıkmadan önce, MCT'nin tamamen ilettime geçmesini sağlar. Bu anahtarlama şartları, inverter / konverter devrelerinin birçoğunda bulunabilir.

L1 endüktansının var olması , akım transferi sırasında MCT geriliminin düşmesine izin verir ve diyodun tepe akımının miktarını azaltır. Fakat bu, fazla gerilimi ve anahtarlama kayıplarını sınırlamak için, endüktansı azaltma talebiyle çatışır. Pratikte bulunmuştur ki, aşma geriliminin değeri sınırlama faktöründen daha fazladır. Hızlı diyotlarda, MCT' nin iletimdeki anahtarlama kayıpları oldukça küçüktür. Şekil 5.5 enerji kaybını, 200 V ve 300 V için katod akımının fonksiyonu olarak gösteriyor. MCT, özelliklerini yeniden kazanıncaya kadar akım , bir kaç yüz amper olabilir ve tipik olarak MCT 'nin maksimum kapasitesi içindedir. Eleman hataları iletimde 6000 A/ μ s'lik di/dt değerinde gözlenmiştir.



Şekil 5.5 Katot Akımına Bağlı Olarak İletimdeki Enerji Kayıplarının Değişimi

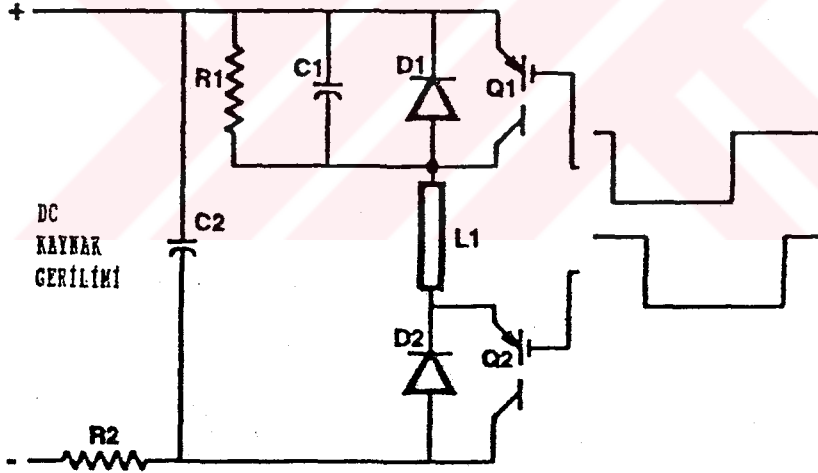
5.3. Yavaş Anahtarlama

Yavaş anahtarlama ve rezonans güç devreleri, güç anahtarları üzerindeki kayıpları ve gerilimleri azaltmak, daha yüksek işletme frekansına müsaade etmek için çalıştırılırlar. Anahtarlama esnasında güç anahtarı, sıfır akım veya sıfır gerilimdeyse yumuşak anahtarlama ortaya çıkar. Güç anahtarları üzerinde, anahtarlama gerilimini sınırlandıran farklı devre topolojileri vardır. Bu topolojilerde, güç anahtarı LC devresinin

bir bölümü gibi bağlanmıştır ve bir yada iki değişik modda işleme sokulur. İlk olarak, endüktansla seri bağlı güç anahtarı ile çalışabilir veya ikincisi, kapasite ile paralel bağlı güç anahtarı ile çalışabilir. Şekil 5.6 deki devre, MCT'ler üzerinde yavaş anahtarlama gerilimleri meydana getirir.

5.3.1. Devrenin Çalışması

Şekil 5.6 daki devrenin çalışması şu şekildedir. İlk olarak C1 kapasitesi, büyük değerli R1 direnci ile deşarj olur.

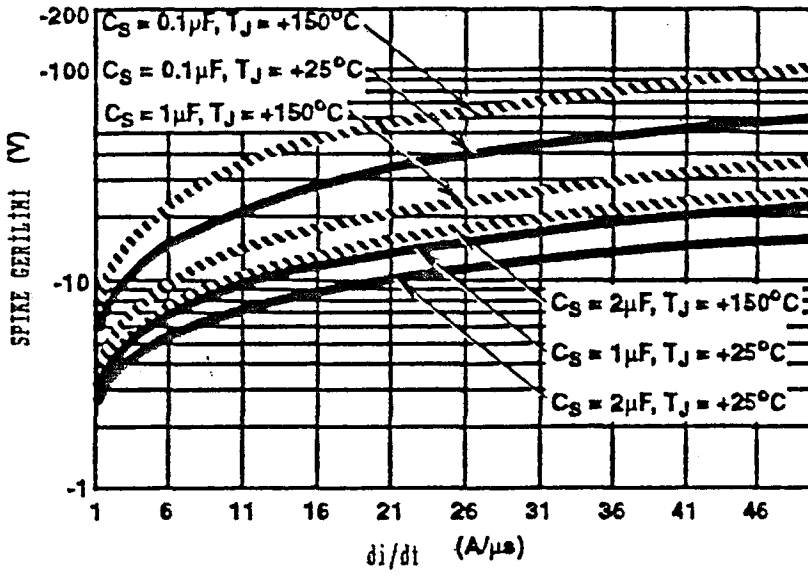


Şekil 5.6 MCT 'de Yavaş Anahtarlama Gerilimleri Üreten Devre

Anahtarlama işlemi, MCT Q1 iletime geçirilerek başlatılır ve MCT Q2 iletime geçirilerek devam eder. Endüktans üzerinden geçen akım lineer olarak artar. MCT Q1 kesime girdiğinde gerilim artar. MCT Q1' in tepe değeri, L1 C1' in rezonans direnci ile ve MCT Q1' in kesimde olduğu anda, L1 endüktansından geçen akımın değeri ile belirlenir. Osilasyon zayıfladığında, C1 kaynak gerilimine kadar şarj edilecek ve MCT Q2' den geçen akım azalacaktır. Bundan sonra MCT Q2 kesime girer ve C1, R1' in üzerinden olur.

5.3.2. Seri Endüktans Durumu

Şekil 5.6 deki devrede, MCT Q2, L1 endüktansı ile seri bağlıdır. Eğer anahtarlama anında, seri endüktansdaki akım esas olarak sıfırsa yavaş anahtarlama durumu ortaya çıkar. Endüktans, birkaç mikro Henry' den daha büyükse, düşük iletim kaybı ile sonuçlanan, gerilim çökmesi esnasındaki akım artışı birkaç amper olacaktır. Devrenin çalışması sırasında, L1 endüktansı ve C1 kapasitesi akımın D2 diyodundan akmasına neden olurlar. Osilasyon sırasında, D2 diyodu iletimdeyken yavaş anahtarlama işlemi tamamlandığında MCT Q2 iletimden çıkar. MCT Q2 ve D2 , akımın ters yönde akmasını engeller. Eğer D2 diyodunun iletim süresi, MCT' nin yeniden birleşme zamanından ($< 2 \mu s$) daha büyük olursa, sadece yer değiştirme akımı akarken, MCT' nin gerilimi artar. Bu da düşük anahtarlama kaybına neden olur.



Şekil 5.7 SPIKE Geriliminin di/dt 'ye Bağlı Değişimi

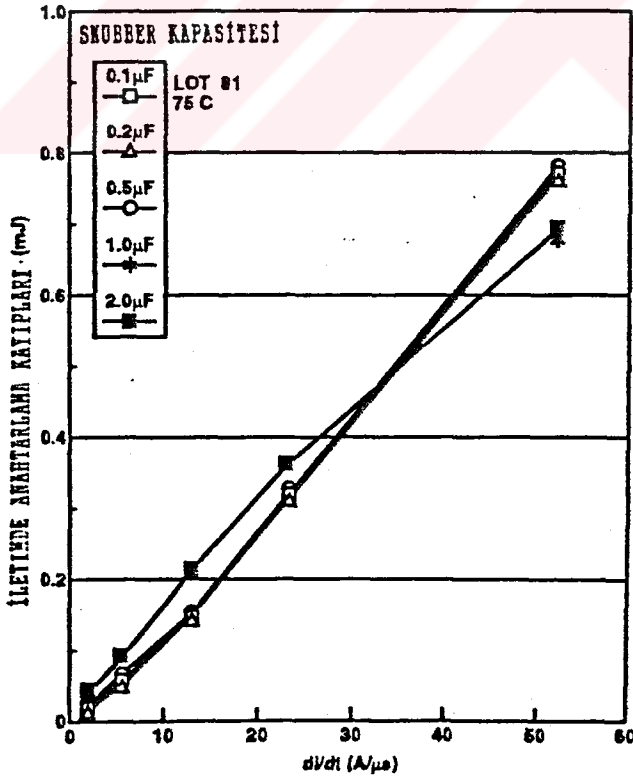
D2 diyodunun iletim süresi $2\mu s$ ' den küçük olursa, üzerinde ileri gerilim varken, tamamen kesime girmez. Oldukça küçük bir anahtarlama kaybına neden olan kuyruk akımı akmaya devam eder. Buna ilave olarak, MCT tam olarak kesime girmediğinden, iletimdeki tepe gerilimi azaltılacaktır.

5.3.3. Paralel Kapasite Durumu

Şekil 5.6 daki C_1 kapasitesi, MCT Q1 ile paralel bağlıdır. Anahtarlama anında kapasite gerilimi yaklaşık sıfırsa, MCT Q1' de yavaş anahtarlama durumu ortaya çıkar. Yumuşak anahtarlama iletim durumunda anahtar açılmadan önce MCT' ye doğru küçük bir şarj akışı gereklidir. Sonuçta, MCT' nin üzerinde, ilettime geçmeden önce uygun bir tepe gerilimi olacaktır. Şekil 5.7 deki eğri, iletimdeki tepe gerilimini hesaplamaya yarar. Bu eğri, iletimdeki tepe gerilimini, paralel kapasite ve MCT' den akan akım di/dt ' nin bir fonksiyonu olarak gösterir. MCT ilettime geçirildiğinde, kapasitenin deşarj olmasını sağlar.

Bu da güç kaybına neden olur. Şekil 5.8 deki eğri, MCT ve paralel kapasiteden akan di/dt akımının bir fonksiyonu olarak MCT' nin anahtarlama kaybının değerini gösterir. MCT 'nin kayıpları, kapasite gerilimine, deşarjı da ilave edilerek ulaşılan tepe değerinden önce, MCT' den akan akımdan bulunur.

Paralel kapasite, MCT' nin iletimden çıkması esnasında snubber vazifesi görür. Bu, devre akımının MCT' den kapasiteye doğru, paralel bağlanmış MCT ve kapasitenin gerilim artışını yavaşlatarak, transfer olmasına izin verir. Sonuç olarak, MCT deki anahtarlama kayıpları azaltılmış olur. MCT ' nin kesimdeki anahtarlama kayıplarının daha üst sınırı, Şekil 5.4 deki eğriler kullanılarak aynı boyutta bir kapasite için hesaplanabilir.

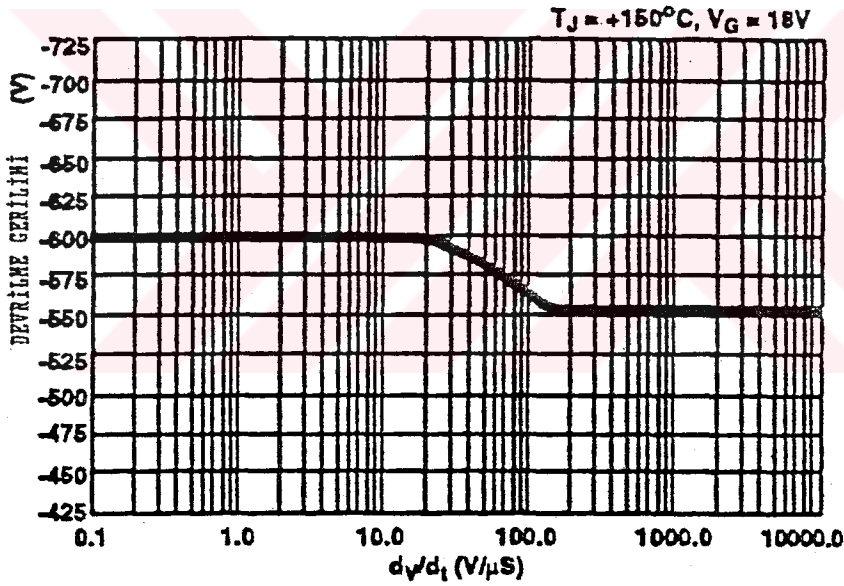


Şekil 5.8 R-C Elemanı Bağlı Değilken MCT'deki Enerji Kayıplarının di/dt 'ye göre Değişimi

5.3.4. MCT Dinamik Devrilme Gerilimi

Kapama durumunda, P-MCT' nin DC kapama gerilimi, elemanın içindeki taşıyıcıların varlığıyla azaltılır. MCT , kapama gerilimindeyken, taşıyıcılar şunlara bağlı olarak var olabilir.

- a) Kapama yeniden-birleştirme sönümünde, tekrar birleştirilememiş taşıyıcıların bulunması ,
- b) dv/dt ' den oluşan yerdeğiştirme akımı ,
- c) Sıcaklıkla artan akım



Şekil 5.9 Devrilme Geriliminin dv/dt 'ye Bağlı Değişimi

Şekil 5.9 , 150 °C ' de sıfır gerilimden lineer olarak artan dv/dt değişiminin, DC kapama gerilimini azaltmaktaki etkisini gösterir. Eğer kapama gerilimi değişimi, sinüs dalga veya üstel ise, kapama geriliminin düzeltilmesi uygun olur.

Bazı devrelerde MCT, birlikte salınan kapasite ile paralel bağlıdır. Kesime girdiğinde, gerilim MCT'ye gelir. Tepe geriliminde dv/dt sıfıra gittiğinde, MCT' nin geriliminin tepe değerinin, DC kapama gerilimine güvenli bir şekilde yaklaşıcağı beklenebilir. Fakat iç taşıyıcıların bir kullanım süresi olduğundan, gerilimin blokaaj yeteneği, kesilen akımın ve sinüs dalgası darbe genişliğinin , bir fonksiyonu haline gelir. Şekil 5.10 kapama geriliminin, rezonans frekansını azaltmak için, nasıl yüksek dv/dt limitinin üzerine çıktığını gösterir. Kapama kuyruk akımından kalabilecek akım nedeniyle, kapama akımları için verileri ve gösterilen eğrilerde, sıfırdan 120 A'e kadar 75P60 600 V P-MCT'nin tepe kapama yeteneği gösterilir.

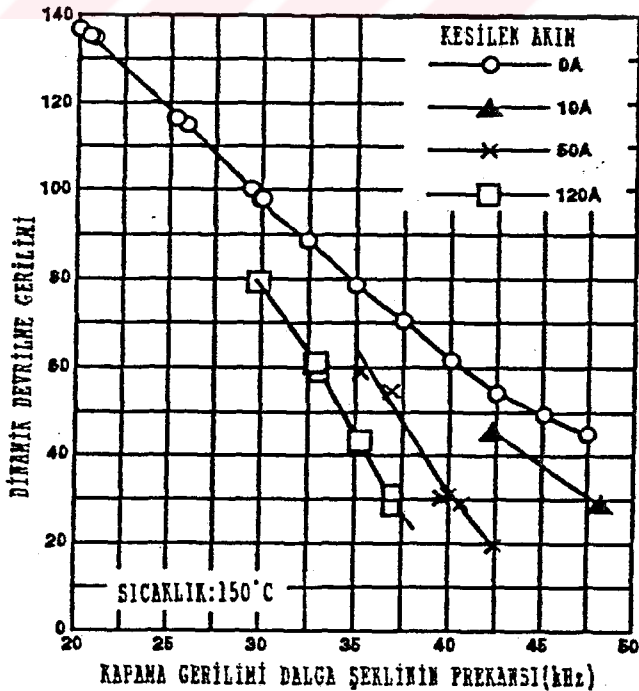
Şekil 5.10 da MCT' nin 150 °C de akımsız olarak kapama durumunda sahip olduğu dinamik devrilme gerilimi görülür. Devrilme gerilimi çok yüksek frekanslarda 550 V, 45 KHz 'de 600 V, 20 KHz'de 685 V 'tur. Aynı MCT, çok yüksek frekanslarda 120 A'i kestikten sonra 550 V devrilme gerilimine sahip olur. 34 KHz de 600 V, 20 KHz'de 670 V'luk devrilme gerilimi vardır.

5.4. SCR Devreleri

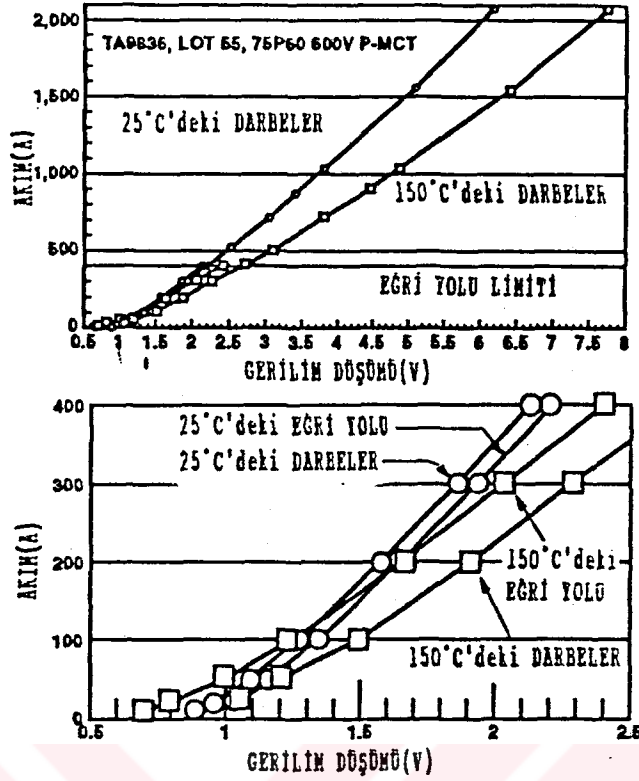
MCT, SCR' nin yüksek ani akım yeteneğini sahiptir ve

bu yüzden birçok tristör uygulaması için ideal güç anahtarıdır. Buna ek olarak, MCT diğer tristör uygulamalarına göre üstün karakteristiklere sahiptir. MCT, LSI geometrisi kullanılarak, binlerce iletim hücresiyle üretilmiştir. Elemanın iletime geçmesi, 100 ns 'den daha kısa bir sürede olur. Tepe akımının birkaç bin amper olması ve akımın yükselme hızının birkaç bin A / μ s 'ye kadar çıkması ile eleman daha avantajlı olur. İç kapama hücrelerinin yüksek yoğunluğu, MCT' nin kesime girmesi ni ve kapama gerilimini anında, sağlar. Buna ilaveten, kapama-FET'leri 150 °C' deki çalışmada 10000 V/ μ s'den daha büyük hatalı dv/dt tetiklenmelerini engeller.

Bazı devrelerde, MCT'nin aşırı akımı, efektif olarak kullanılabilir. Örneğin MCT' ler, yüksek güç darbeleri meydana getirmek için, anahtarlama, büyük değerli kapasite gruplarını kullanmaktadırlar. Diğer devrelerde bazı inverterler ,yük akımını köprü bacağına ana güç anahtarları arasında, rezonanslı



Şekil 5.10 MCT'nin Devrilme Geriliminin Frekansa Bağlı Olarak Değişimi



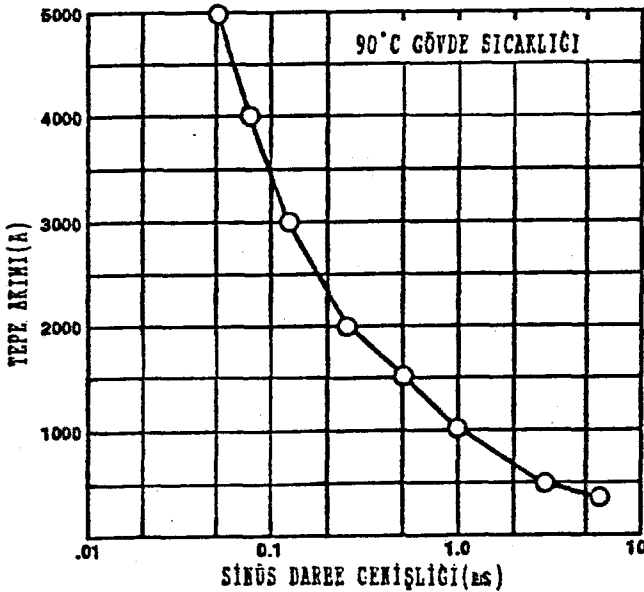
Şekil 5.11 2000 A 'e Kadar Olan Akım Değerlerinde MCT'nin Gerilim Düşümünün Değişimi

olarak transfer etmek için yardımcı MCT kullanırlar. Burada yardımcı MCT, rezonans darbesi esnasında bir mikrosaniye için, yük akımının 1,5 katını taşımaktadır. Tek bir MCT, çok daha yüksek akım değerinde güç anahtarlama düzenleyebilir.

Şekil 5.11 de ki eğri, 2000 A' e kadar olan akım karşısında, MCT 'nin gerilim düşümünü gösterir. Bu veriler, MCT' yi akımın yarım sinüs dalgaları ile darbe vererek ve endüktif hatadan kaçınmak için, akımın tepe değerinde gerilim ölçümü yapmak suretiyle elde edilmiştir. Darbe testinin yüksek akım limiti, akım düzeninin sahası ile kontrol edilir. Aşağıdaki eğrilerde, verilere ilişkin değerlendirme, 400 A darbe eğrisinin izlenmesi ile yapılmıştır. Bu veriler, Şekil 5.12 de gösterilen aşırı akımı hesap etmekte kullanılır.

Şekil 5.12 deki eğri, izin verilebilecek aşırı akım darbelerini hesaplamada yol gösterir. Bu eğri, +60°C'lik sabit jonksiyon sıcaklığını temel alır. Tristör teknolojisinden ortaya çıkarılmıştır ki, tekrarlanan aşırı darbeler, elemanda küçük boyutlu çatlaklar üretebilir ve bu, tekrarlanan darbelerle yayılabilir. En sonunda, elemanın bozulmasına neden olur. Şekil 5.12, bu bozulmaya neden olabilecek gibi olan aşırı darbelerin sayısını hesaplamada yardımcı olur. İleri gerilim düşümü test devresi, daha yüksek tepe akımlarını ve çok yüksek di/dt 'leri gözlemlemekte de kullanılır. Bozulma, aşağıda gösterildiği gibi, dört tane 75P60 P-MCT için, birkaç darbe sonra görülmüştür.

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| a) $I_{pk} = 4795 \text{ A}$ | $di/dt = 6557 \text{ A}/\mu\text{s}$ |
| b) $I_{pk} = 5328 \text{ A}$ | $di/dt = 6875 \text{ A}/\mu\text{s}$ |
| c) $I_{pk} = 5650 \text{ A}$ | $di/dt = 7377 \text{ A}/\mu\text{s}$ |
| d) $I_{pk} = 5902 \text{ A}$ | $di/dt = 8338 \text{ A}/\mu\text{s}$ |



Şekil 5.12 600 V'lık P-MCT'nin Aşırı Akım Yeteneği

İzin verilebilir di/dt 'nin 2000 A ve 2000 A/ μ s üzerine çıkarılabileceği de iddia edilebilir. Fakat bu hiçbir zaman bütün elemanların, di/dt ve aşırı akımın üzerinde çalışmalarını sürdürebilecekleri anlamına gelmez.

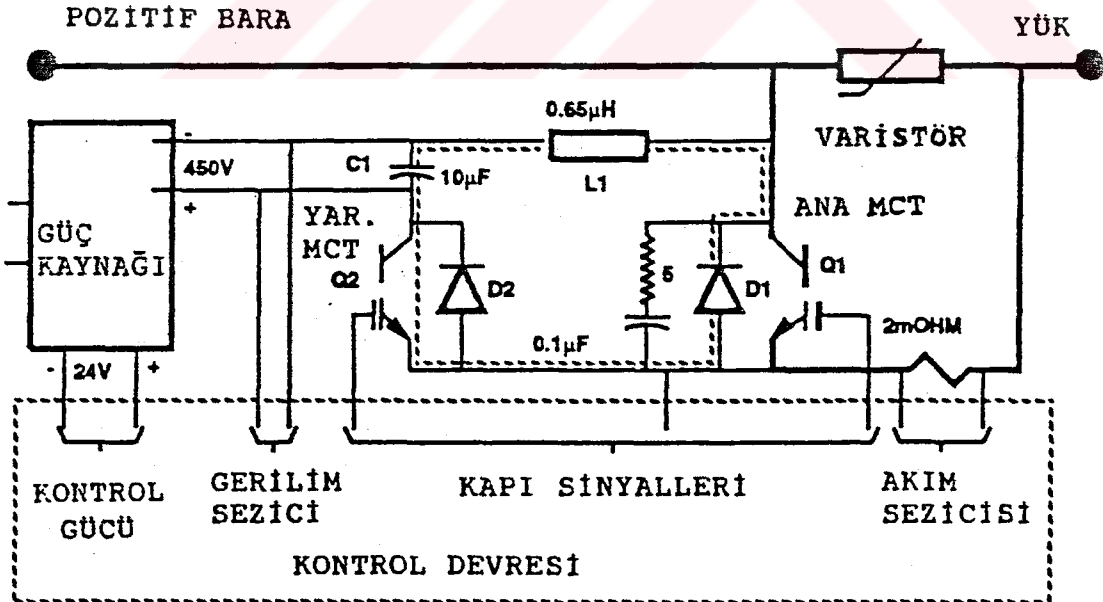
5.4.1. DC Devre Kesicisi

Sabit durumda DC devre kesicisi, MCT ' nin hızlı bir şekilde özelliklerini kazanmasını sağlayan ve aşırı akım kapasitesini kullanabilen diğer bir uygulamadır. Bu uygulama, Harris Power R & D merkezinde yapılan, geliştirilmiş N-tipi MCT' ler de kullanılır. N-tipi MCT' ler sadece, I_{off} yeteneğini 10 A'de gösteriyor. Uygulama P-tipi MCT ile de gerçekleştirilebilir. P-tipi elemanın N-tipi elemana göre daha düşük SOA yeteneğine sahip olması bu uygulamayı olumsuz olarak etkilemez, ancak P-tipi elemanın ters polaritelerini kabul etmesi için, devreyi değiştirmek gereklidir.

Devre kesicileri, örneğin motor ve lamba yüklerinden gelen ani deşarj akımını tutabilmek için, nominal akımın 10 , 20 katını anlık olarak taşıyabilmelidirler. Bu kesici uygulaması için kullanılan N-tipi MCT , LC darbe devresinde birinci MCT' deki akımı düzeltmek için kullanılır. Ayarlama ile kesici, nominal akımının 10 katının üzerindeki ,hata akımını kesme yeteneğine sahip bir hale getirilir. Tabii ki, komütasyon devresi, akımın düşük değerlerini kesmek için tetiklenebilir. Birçok kesici, anlık deşarj akımlarının kesiciyi tetiklemeden

akması için, ters akım /zaman karakteristiklerine sahiptir.Bu özellik, anlık kesiciye de ilave edilebilir.

Şekil 5.13 , DC ani kesici için güç devresini gösterir. MCT Q1, yük akımını taşır. MCT Q2, C1 kapasitesi ve L1 endüktansı komütasyon devresini oluşturur. Komütasyon kapasitesi C1, izole edilmiş güç kaynağı ile şarj edilmiş bir şekilde, muhafaza edilir. Fazlalık akım paralel bağlı yükte belirlediği anda,yardımcı MCT Q2 ilettime geçer. Komütasyon akımı C1' den L1, D1, Q1' e doğru akar. Bu zamanda D1 diyodu ilettime geçerek ve MCT Q1' i ters polariteye getirerek kesime sokar.Komütasyon akımı azaldıkça gerilim, reaktif yük enerjisi ayarlı dirence transfer edilinceye kadar, yükselir.Bu devre mekanizmasıyla MCT, kararlı hal akımını termik değeri olan 75 A ' e

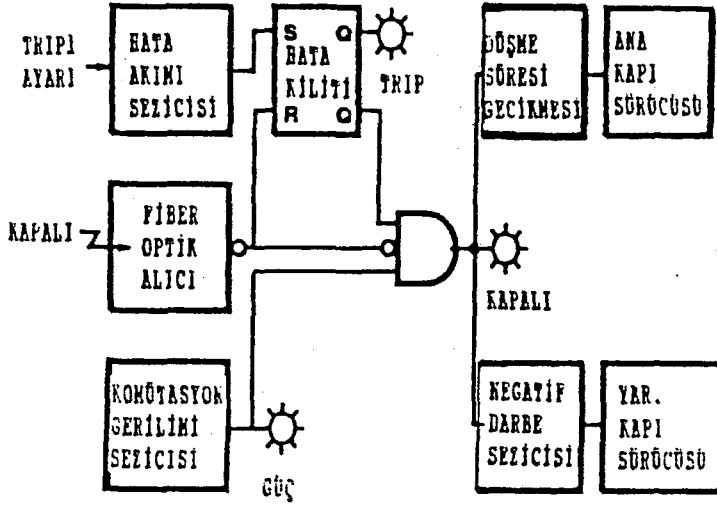


Şekil 5.13 DC Devre Kesicisinin Güç Devresi

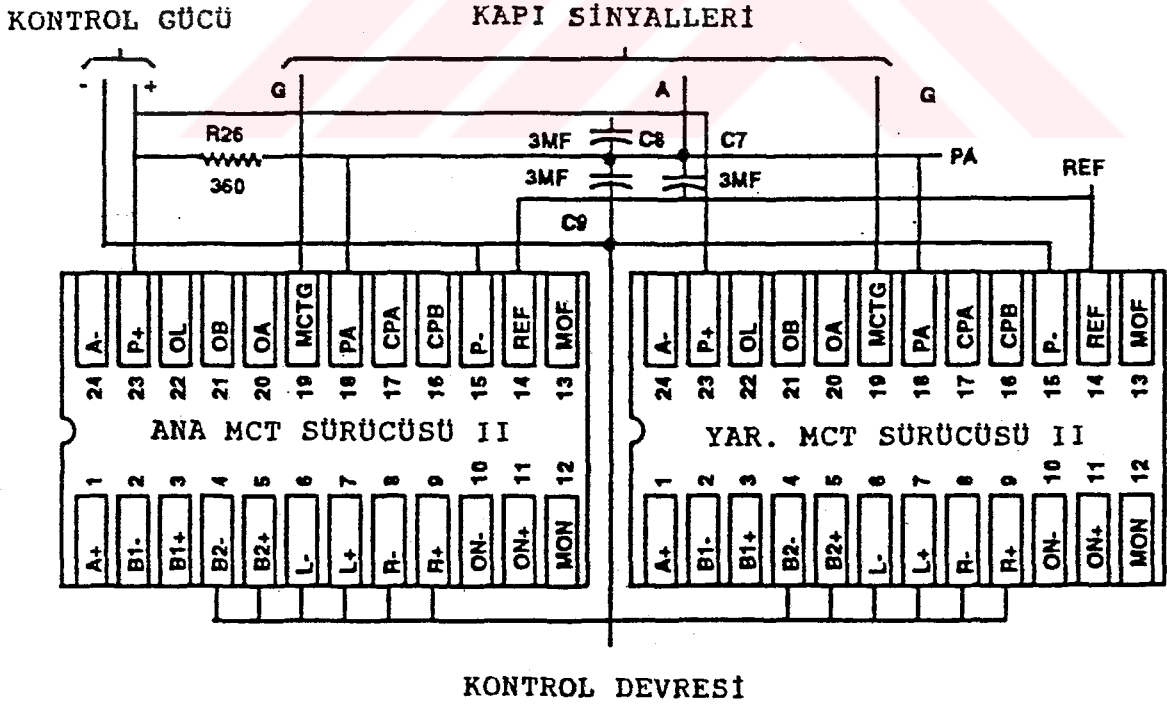
kadar taşıyabilir ve 1000 A' e kadar olan hata akımını kesebilir. Çünkü, MCT birkaç mikrosaniye de kendi özelliklerini kazanır. Komütasyon akımı darbesi, komütasyon kapasitesinin değerini minimize edecek şekilde, küçük olabilir. Yardımcı MCT Q2, 1700 A tepe komütasyon akımı darbesini anahtarlayabilir. MCT ' ler çok düşük akım taşıyorlarsa veya hiç akım akmayacak şekilde kutuplanmışsa, her zaman kapama durumunda olurlar.

Şekil 5.14 , kontrol devresinin blok diyagramını gösterir. Ana ve yardımcı MCT 'lerin kapısına üç tane sinyal verilir. Üç adet LED ise durum bildirimini sağlar.

MCT' ler, IC sürme devrelerinin Şekil 5.15 'de gösterildiği gibi elektriksel olarak bağlanmasına izin veren, ortak anod bağlantısını paylaşmak için düzenlenmiştir. Ani aşma kesicisi için gerekli olan aktif devrelerin hepsi, Bölüm 4.3 de anlatılan IC sürücülerinin fonksiyonlarını kullanarak tamamlanır. Bu kontrol devresinin ayrıntıları , Şekil 5.16 da gösterilmiştir. Dış kontrol devreleri -4,7 V referans gerilimi ile işleme sokulurlar. Komütasyon gerilimi devresi, kesicinin kapanmasına izin vermeden önce , komütasyon kapasitesinin > 500 V ' a kadar şarj edilmesini garanti altına alır. Hatalı akım devresinde uygun yük akımı için, 0,001 ohm ' luk paralel direnç kullanılır. RLC filtresi, düşük akım sinyalinin meydana gelmesine imkan veren, genel mod gürültüsünü azaltır. Açık/Kapalı kumanda sinyali, kesiciye fiber optikten bağlanır. Fiber



Şekil 5.14 DC Kesicisinin Kontrolünün Blok Diyagramı

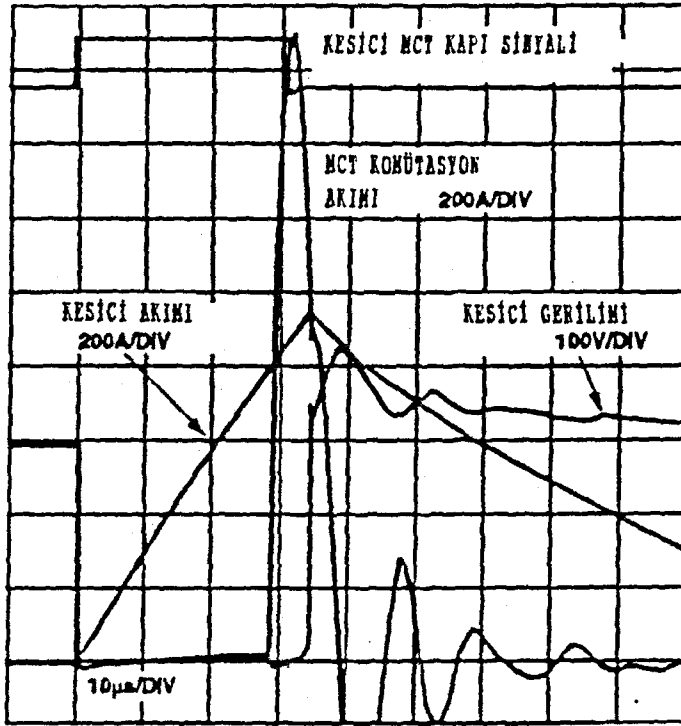


Şekil 5.15 Ani Devre Kesicisi için MCT Sürücüsü IC'lerin Bağlantısı

opto alıcısına , besleme kaynağından direkt olarak $-4,7V_{ge}$ rilim verilir. İki komparatörlü, devreler kilit fonksiyonunu ve üç girişli kapı fonksiyonunu sağlar.LED' ler kesicinin durumunu göstermek için, komparatör çıkışları ile sürülür. İki iletim -kanalı da, MCT' lerin her ikisi için kapı sinyalleri üretir. Bu kesiciler akım üzerinde ani aşma sağlarken, ilave devreler, ters akım - zaman aşma cevabını sağlamak için eklenbilir.

Şekil 5.17 deki dalga şekilleri , kesicinin endüktif yüklerle çalışmasında elde edilmiştir.Kesici kapatıldığında, gerilimi yaklaşık olarak $1,5 V$ ' a düşer ve akım lineer bir şekilde artar. Yük akımı $800 A$ ' e ulaştığında , komütasyon akımı darbesini üretmek için, anahtarlanır. Komütasyon akımının yük akımını aşmasını garanti altına alan $2,5$ mikro saniyelik gecikme ile ana MCT, kesime girer. Bu sebeple, ana MCT ters polaritededir.Komütasyon akımı, yük akımından küçük olduğunda ana MCT , gerilimi engeller ve yük akımı,endüktif enerji kenetleyicisi varistöre transfer edilirken, artar.

IC sürücüsünün kullanışlılığı, omik olarak MCT' ye bağlı kapı sinyaliyle birleştirilebilen,kontrol devrelerinin basitleştirilmesinde yatar.MCT' lerin kapama yeteneği, ideal tristörlere yakındır ve tristör devrelerinde, büyük avantajlarla kullanılırlar.

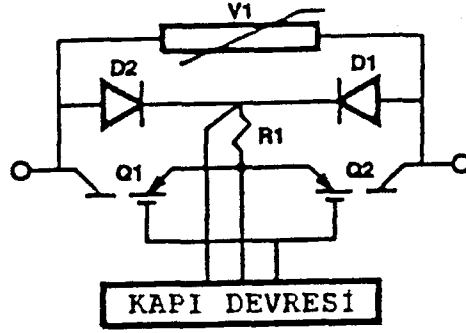


Şekil 5.17 300 V'luk Devrede 920 A'i Kesen DC Kesicisi

5.5. AC Anahtarlama Devreleri

MCT' nin ters kapama gerilimi, 5 V' tur. Bu yüzden, kapama gerilimini sağlamak için, seri bağlı diyotlar kullanmak gereklidir. Şekil 5.18 deki devre, iki MCT' nin ve iki diyodun bir AC anahtarlama fonksiyonu oluşturmak için, nasıl düzenlendiğini gösterir. Bu gösterimde, her iki MCT' nin kapısı için tek sürme devresi kullanılır. Eğer akımın anahtara doğru akması istenirse, R1 direnci anahtarın kontrolünü (ve/veya) belirtmesi için kullanılabilen doğrultulmuş akım sinyalini sağlar.

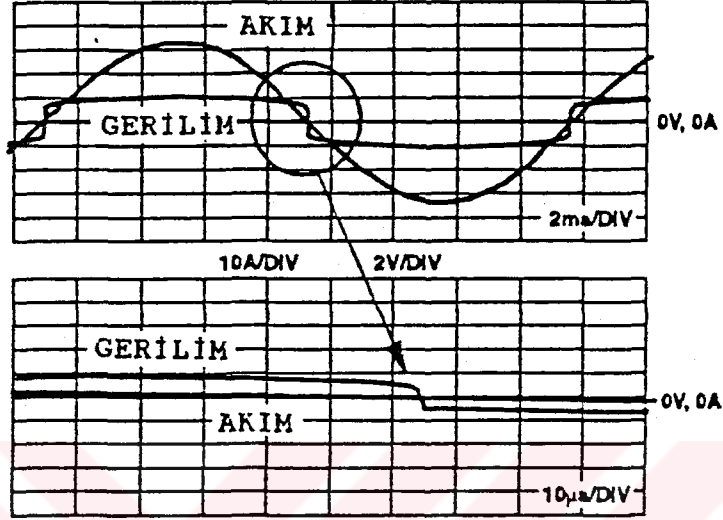
Birçok devrede, anahtarlanan yük endüktif olacaktır. MCT' ler kapama durumuna getirildiğinde, aşma geriliminin kontrolü için geliştirilen bazı snubber çeşitleri gerekli olabilir. Eğer MCT' ler yalnızca sıfır akımda söndürülüyorsa, snubber'a gereksinim duyulmayabilir.



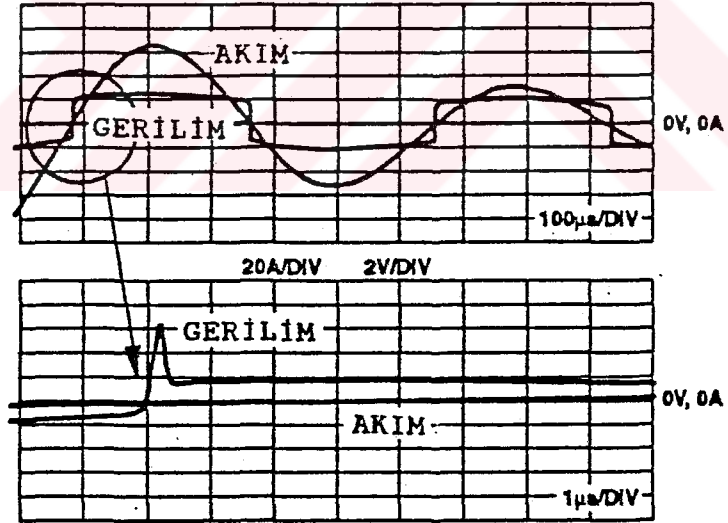
Şekil 5.18 Kapı Devresi Ortak İki MCT Kullanılan
AC Anahtarlama Devresi

Anahtar açıldığında ve akım sıfıra doğru gittiğinde, iletim geçiş gerilimi anahtardan gelir. Şekil 5.19'daki dalga şekilleri, sıfır akım geçidindeki di/dt 'nin iki değişik değeri için, bu iletim geçişini gösterir. Anahtar düşük akım frekansında kullanıldığında, (örneğin 60 Hz) geçiş gerilimi küçüktür ve muhtemelen ihmal edilir.

Anahtar, güç faktörü 1 olmayan yüklerle kullanıldığında, akım dalgalanmaları ortaya çıkabilir. Şekil 5.20'deki dalga şekilleri, reaktif güç faktörüne sahip ($20\mu F / 5\text{ ohm}$) olan yükün anahtarlama gösterir. Sıfır akım geçişinde kapatıldığında, geçici durum ortaya çıkmaz. Yarım periyotta kapatıldığında, büyük bir ani deşarj akımı ortaya çıkar. Böylece az hassasiyetle reaktif güç faktörü akımını ortadan kaldırmak

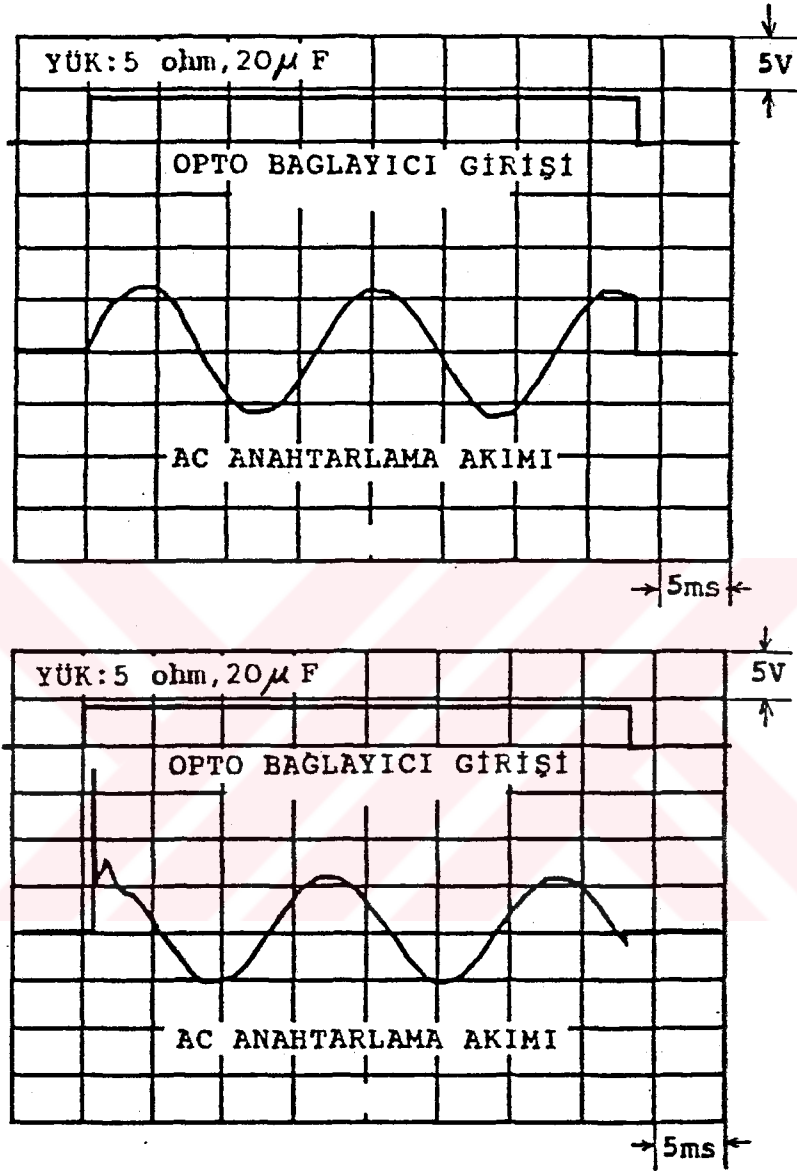


a) Düşük di/dt ve Sıfır Akımda Anahtarlama Akım ve Gerilimi



b) di/dt 'nin 27 Katında Gerilimin Değeri

Şekil 5.19 di/dt 'nin İletim Gerilimi Üzerindeki Etkileri



Şekil 5.20 MCT AC Anahtarı ve Kesicisi

için, sıfır gerilimde anahtarı kapatmak ve endüktif güç faktörü geçici durumlarını ortadan kaldırmak için de, sıfır akımında anahtarı açmak mümkündür.

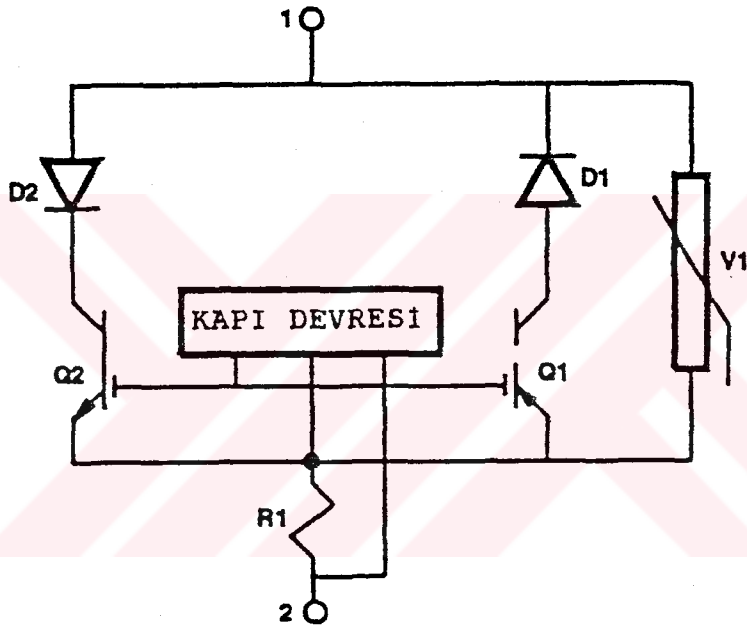
Anahtar, statik devre kesicisinin bir bölümü olduğunda, sıfır gerilim geçişinde kapatılabilir. Kontrol devresi, titreşim olmadan normal yük, ani deşarj akımının akmasına müsaade eder. Hata akımı ortaya çıkarıldığında, bu akımı azaltan anahtar hızlı bir şekilde açılabilir, fakat devrenin I-off yeteneği ve endüktif enerjiyi süzme kabiliyeti olmasını gerektirir. Eğer beklenen hata akımı statik anahtarın maksimum değerini aşarsa, o zaman kesme işlemi sıfır akım geçişine, I-off yeteneği ve endüktif enerjiyi süzme kabiliyeti gereksinimini en aza indirgeyerek, ertelenir.

5.6. Tamamlayıcı Devreler

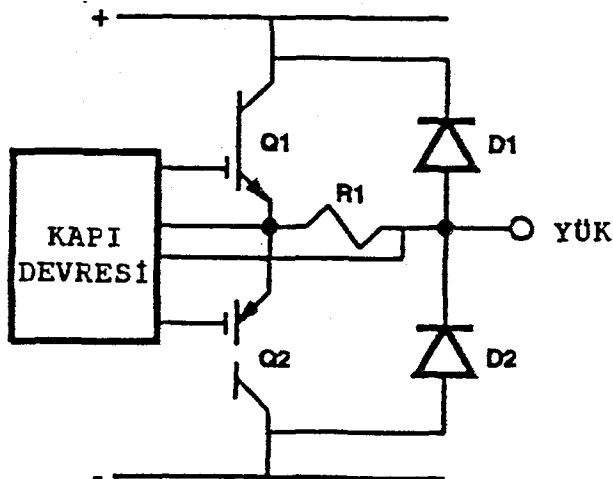
75P60 MCT, bir P-tipi elemandır. N tipi elemanın tersi kutuplara sahiptir. Böylece P-MCT' yi, N-IGBT veya N-FET' ler gibi N-tipi güç elemanlarını birlikte kullanma imkanı vardır. P-MCT, P-IGBT' lerle kıyaslandığında üstün bir akım değeri, hız ve SOA sağlar. N ve P tipi elemanlar değişik karakteristiklere sahip olmasına karşın, bunların birlikte kullanımları belli avantajlar sağlar.

Şekil 5.21 P-MCT ve N-IGBT kullanan bir A.C anahtarlama devresini gösterir. R₁ direnci ,anahtarlama devresine tek bir akım sinyali sağlar. Bu açma-kapama işlemini başlatmak veya engellemek için gereklidir. V₁ varistörü, açılan anahtardaki geçici durum geriliminin sınırlanmasını sağlar.

Şekil 5.22 P-MCT ve N-IGBT kullanan bir DC köprü bacağını gösterir. Bu bağlantı ,her köprü bacağı için tek anahtar devresi ve güç kaynağı kullanımına izin verir. Kapı devresi, iki güç elemanına doğru akan kısa devre akımından kaçınmak için, uygun anahtarlama gecikmeleri sağlamalıdır. R1 direnci kapı devresine bir tek akım sinyali temin etmelidir. Bu anahtarlama işlemi için gereklidir.



Şekil 5.21 P-MCT ve N-IGBT Kullanılan AC Anahtarlama Devresi



Şekil 5.22 P-MCT ve N-IGBT Kullanılan DC Köprü Bacağı

BÖLÜM 6

MCT İLE IGBT' NİN KARŞILAŞTIRILMASI

IGBT ile MCT 150 ° C jonksiyon sıcaklığına dayanabilen, izole kapılı ve alan kontrollu elemanlardır. Bunların ikiside birleştirilmiş çift kutuplu, MOS yapılarıdır. 600 V veya daha yüksek anahtarlama değerlerine ihtiyaç duyulan güç anahtarlama devrelerine uygulanabilir. Her ikiside genelde güç darlingtonları ile pratik olandan daha yüksek, anahtarlama frekansında kullanışlıdır.

6.1. İletimdeki Gerilim Düşümü Açısından Karşılaştırma

MCT'nin en bilinen özelliği , IGBT'nin $1/3$ 'ü ile $1/2$ 'si arasında olan alçak gerilim düşümüdür. Bu , Şekil 1.2 ile Şekil 1.3'de gösterilmiştir. Daha da ötesi , MCT'nin gerilim düşümü diyoda benzer. Yalnızca çok yüksek tepe akımlarında bir miktar artar .Devrelerde yüksek tepe akımlar ile kullanım , ortalama gerilim düşümünü olumsuz bir şekilde etkilemeyecektir. Çünkü MCT , N ve P emiterlerinin birarada bulunduğu bir çifte enjeksiyon elemanıdır .Gerilim düşümü , IGBT de olduğu gibi engelleme gerilimi değeri ile hızlı bir şekilde artmaz.

Güç MOS transistörlerinin iletim kaybı , engelleme geriliminin değerinin üstel bir fonksiyonudur. 600 V seviyesinde bir birim silikon alanına düşen iletim kaybı, MCT'ninkinden

on kat daha yüksektir. Güç MOS transistörleri yalnızca düşük güç uygulamalarında kullanılabilir. Güç MOS transistörleri, daha düşük gerilimli sistemlerde kullanılırsa iletim kaybı düşük olur. Maliyetin az olması isteniyorsa, güç MOS transistörlerini, MCT ' nin jonksiyon gerilim düşümünden daha az, çok düşük akım yoğunluğunda çalıştırmak mümkündür.

6.2. İletim Durumu

MCT deki iletim, kapı sinyaliyle başlatılır, SCR de olduğu gibi tamamlanır. MCT'nin iletime geçişi hızlıdır ve düşük iletim kaybı, yüksek di/dt , yüksek tepe akımına sahiptir. Eleman kapısından sürülürken, bütün hücrelerin iletimdeki güç kaybını düzgün bir şekilde paylaşmalarını garanti altına alır.

IGBT lerdeki iletim, endüktif anahtarlama devrelerindeki gibi serbest geçiş diyodunun kapama durumuna gelmesini kontrol etmek için yavaşlatılır. IGBT, iletim hızı ve kaybının feda edilmesi pahasına yüksek tepe akımını sınırlamak için, kullanılabilir. MCT lerle, iletimdeki gerilim düşümü, sürme devreleriyle düzeltilemez. Doğrultulmuş tepe akımı gerekiyorsa, devrede küçük doymalı endüktanslar kullanılabilir.

MOS transistöründeki iletim, karşılaştırılabilir uygulamalarda hem IGBT, hem de MCT' den çok daha hızlıdır. MOS transistörü anahtarlama kayıpları, iletim kaybıyla kıyaslandığında ihmal edilebilir olacaktır.

6.3. Kapama Durumu

Günümüzde en iyi IGBT'ler daha hızlı anahtarlama sağlar

ve her anahtarlama periyodunda P-MCT' den daha az kayıpları vardır. Güç MOS transistörünün kapama kayıpları bu elemanlar arasında en düşük olanıdır.

6.4. Kesimde Güvenli Çalışma Gerilimi (SOA)

Endüktif yükte kapama durumundayken, anahtar devresi gerilimi, yükü sürme geriliminden daha yüksek olmalıdır. Kesimde güvenli çalışma alanı, gerilimin maksimum izin verilebilir sınırlarında ve anahtarın karışık işlemine neden olmayacak şekilde, kapama esnasında anahtardan geçen akıma bağlıdır. P-MCT için tam anahtarlama akımı, devrilme geriliminin değerinin %50 'sinden %60 'ına kadar desteklenebilir olmalıdır. %50 devrilme geriliminin üzerindeki anahtarlama gerilimlerinde, MCT 'nin gerilim ve akımın kombinasyonunu şekillendirmek için kapasitif snubberlar kullanılır. Ayrıca IGBT , P-MCT'den daha iyi kapama SOA 'sı sağlar.

6.5. Uygulamalar

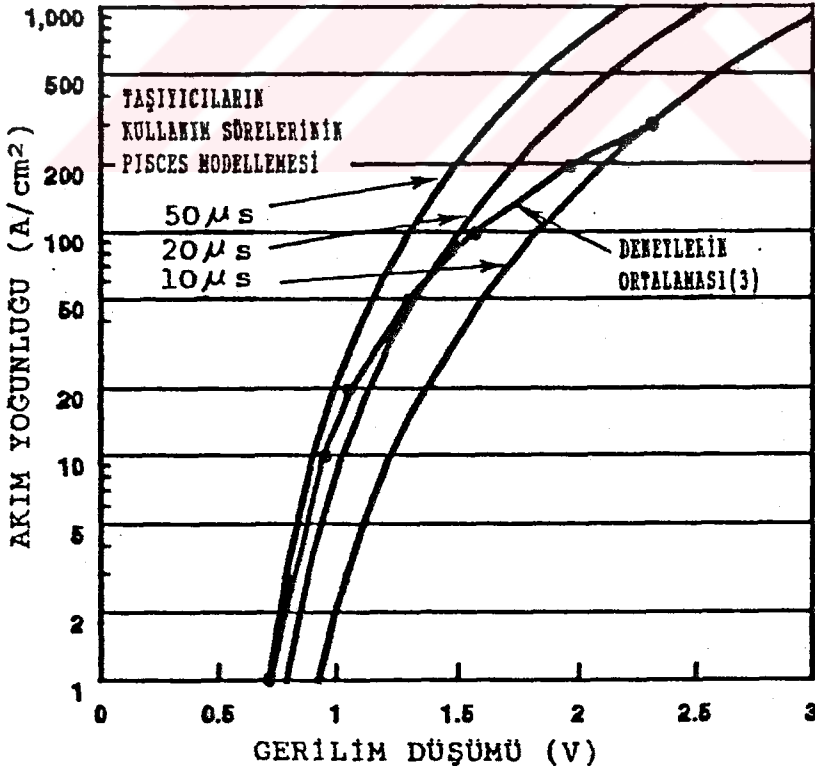
Rezonans, yavaş anahtarlama veya sıfır akım anahtarlama devresi şekilleri en düşük sistem kayıplarını verir. Fakat genellikle daha yüksek tepe anahtar akımlarını içerir. Bu gibi devrelerde MCT, her frekansta tercih edilen elemanlardandır.

BÖLÜM 7

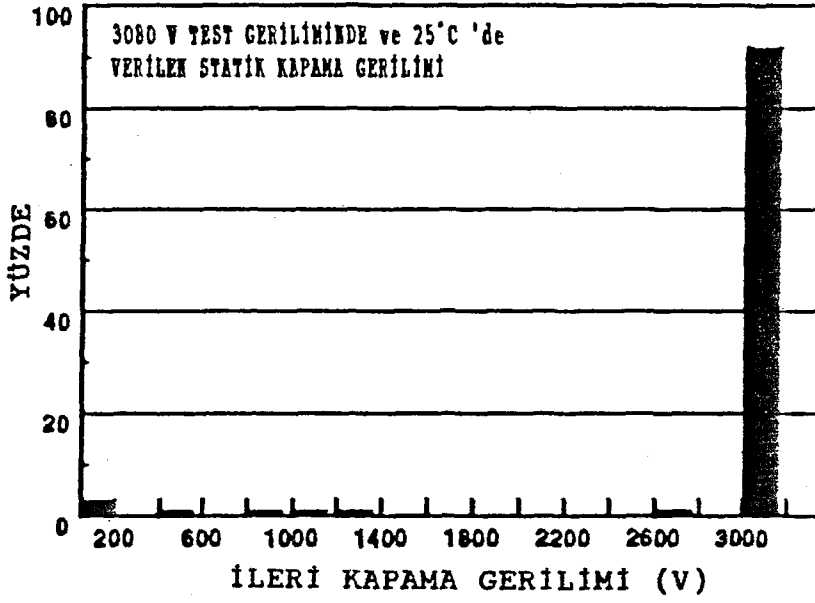
MCT' LERİN GELECEKTEKİ DURUMU

Harris' in ilk MCT ürünleri 600 V' luk P-MCT' lerdir ve kısaca TO-218 veya TO-247 5-pin plastik paket olarak 1000 V luk kalıp halinde şekillendirilmiştir. Bu kalıp ölçüsü yaklaşık 75 A RMS değeri ve yaklaşık 150 ° C deki kapama akımı yeteneği sonucunu verir. MCT 'nin yarı boyutuna hatta daha küçük boyuta yani, TO-220 paketine indirgenmesi düşünülmektedir.

Gelişme çabaları gerilim değerini daha da genişletmek amacıyla sürmüştür. İlk başta en az 200 V ve en fazla 1600 V olarak üretilen MCT 'ler, şimdi tristör ve GTO devreleri için daha yüksek gerilimli olarak üretilmektedir. Şekil 7.1 ve 7.2



Şekil 7.1 Ölçülmüş ve Modellenmiş Gerilim Düşümü



Şekil 7.2 Yeni HV MCT için İleri Kapama Gerilimi Dağılımı

2500 V' luk elemanın başlangıç değerlerini göstermektedir.

7.2. İkinci Üretim MCT' ler

İkinci üretim MCT'ler Harris Power R&D merkezinde yapılmaktadır. Bunlar şimdiki P-MCT'lerin devrilme gerilimi, iletimdeki gerilim düşümü ve anahtarlama hızı sınırlarını zorlar. İkinci üretim P-MCT'lerin SOA' sında, 100 V fazlası ve 2-3 kat daha düşük kapama kayıpları beklenebilir. Şekil 7.3 son zamanlarda yapılan kapama enerjisi ölçümlerini (2. üretim P-MCT) göstermektedir. Şekil 7.4, 75° C ve 150° C deki ,0 μ F' dan 1 μ F' a kadar olan snubberlar için anahtarlama kaybını ve 120 A' e kadar olan tipik 1. üretim 600 V P-MCT' lerin, ilk 2. üretim 600 V P-MCT' lerle aynı devrilme gerilimi ve benzer kalıp boyutunda karşılaştıran bir gösterimdir.

7.2. N-MCT' nin Gelişmesi

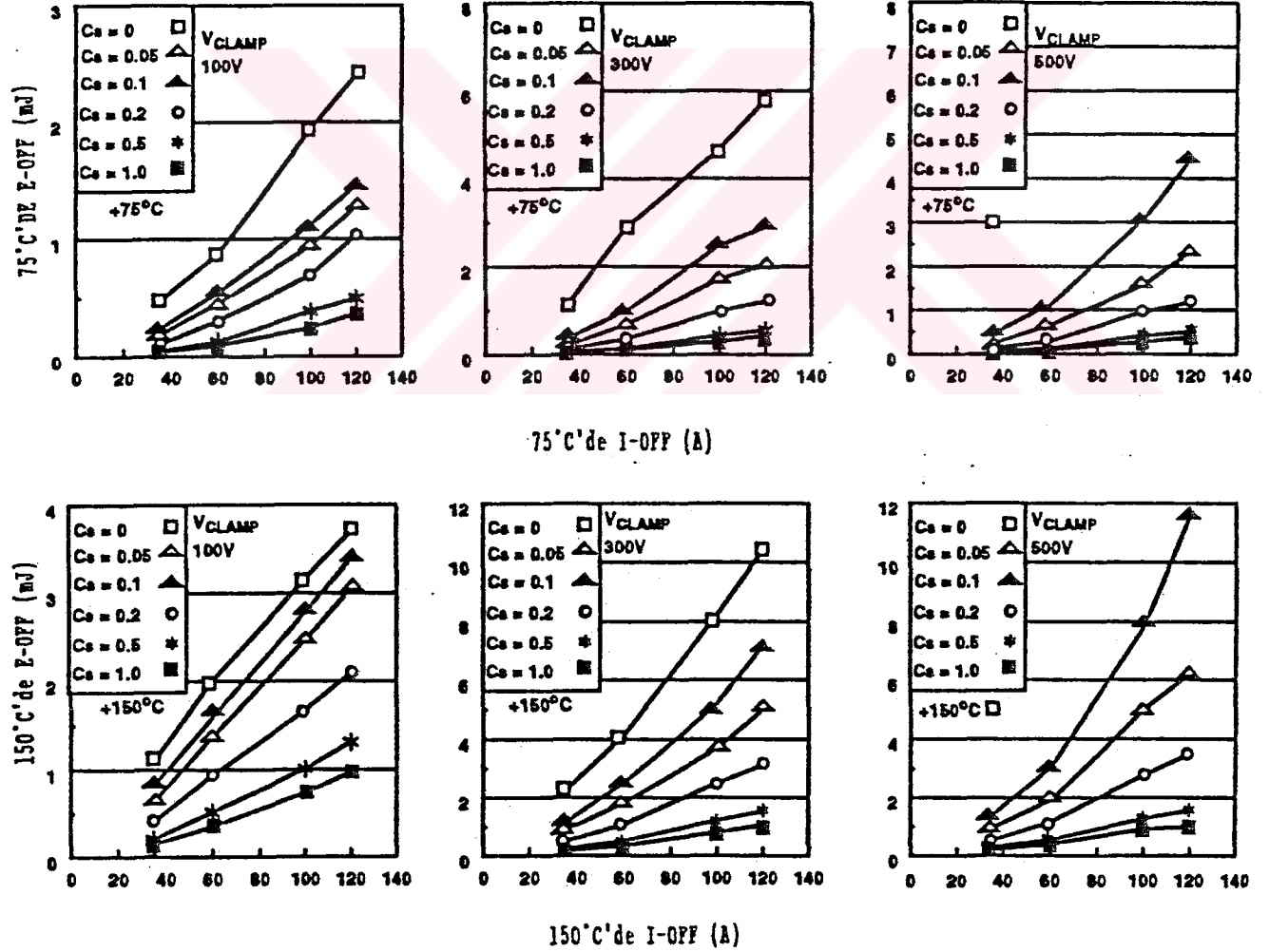
Harris Power R & D da üretilen P-MCT 'lerin aşağı yukarı hepsinin N-MCT versiyonları ticari üretim için, incelenmiştir. N-MCT' ler kapama yeteneğine ihtiyaç duyulmayan veya az ihtiyaç duyulan değişik uygulamalar için üretilmekte ve geliştirilmektedir. Bu , 1000 A ve 1400 V ' luk eleman, 1000 V kapasite deşarj devresi ve 800 A tepe akımı ile sıfır akımda yavaş anahtarlama devreleri için 600 V ' luk elemanlar içerir.

P-MCT ' ler cm^2 'ye düşen akımı , (100 - 200) A / cm^2 den 400 A / cm^2 'ye yükseltirken, N-MCT' ler 150 °C de tepe kapama akımı yoğunluğunda , bu değeri 150 A / cm^2 de tutarlar. MCT 'lerin düşük ileri gerilim düşümü, elemanın RMS akım değerinden daha düşüktür. Bu, tepe kapama yeteneğinin eksikliği N-MCT lerin olumsuz bir özelliğidir. Hücre boyutu ve geometriler daha iyi hale gelirken, kapama yeteneği de bununla uyumlu olarak gelişecektir. N-MCT' ler iki kat daha düşük anahtarlama kayıpları, % 30 daha yüksek SOA ile P-MCT' lerin yerini alabilecektir.

7.3. MCT Sürücüsü IC

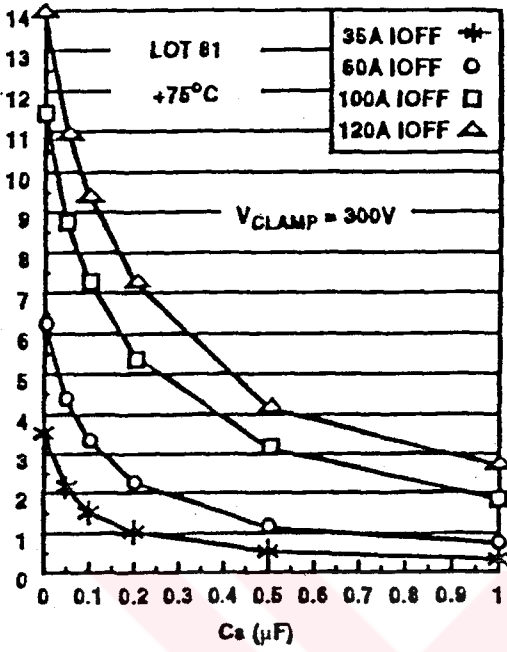
IC, son derece önemli bir devredir. Daha önce de bahsedildiği gibi IC, "A" terminaline bağlı olarak -12 V'dan +35 V 'a kadar olan gerilim besleme kademesine sahiptir ve 2 ohm civarında çıkış empedansı vardır. Girişler hep geniş dinamik

kademeli komparatörlerdir. IC, her çeşit Opto-coupler' ı destekler ki , bunlar hem alıcı hem de vericidirler. IC ,kilitlenmiş ve kilitlenmemiş kanallar kullanmasının yanısıra, min. açma zamanı ve min. kapama zamanını ayarlayabilen dış kapasiteleri de içerir.Tam fonksiyon için 24 pine gereksinim vardır. Sadece sürücü olarak 6 veya 7 pin yeterlidir.Bazı MCT sürücüsü IC 'ler 7 pin TO-218 paketlerine konulmuştur.

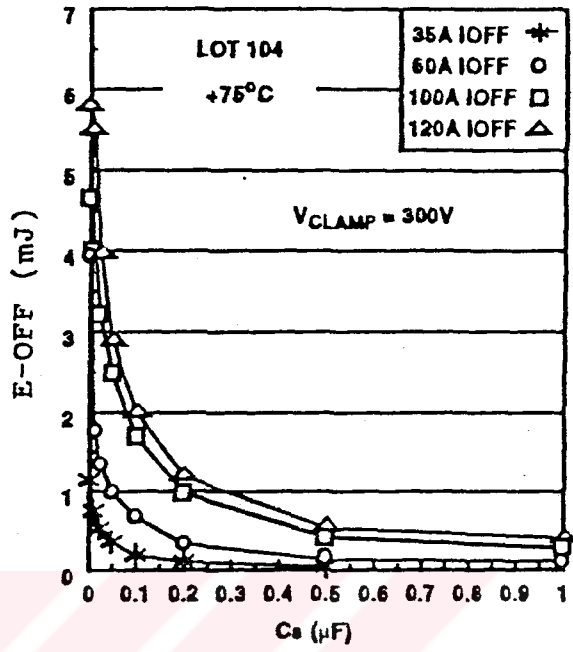


Şekil 7.3 Snubber Kapasitesi ve Akımın Fonksiyonu Olarak
2.Üretim 600 V'luk P-MCT'nin Kapama Enerjisi

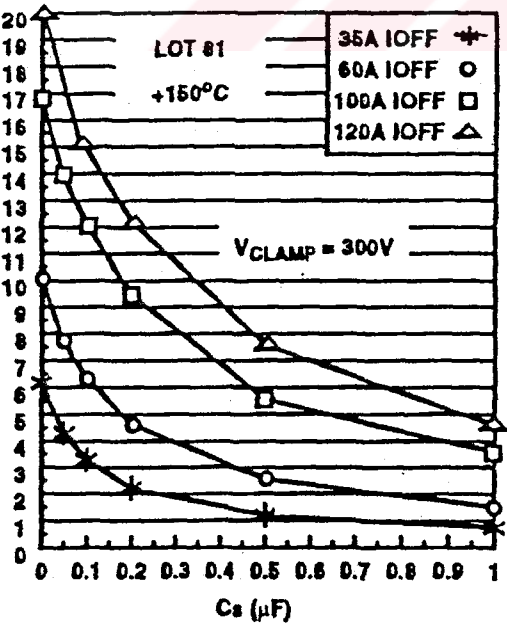
1. ÜRETİM 600 V'luk P-MCT



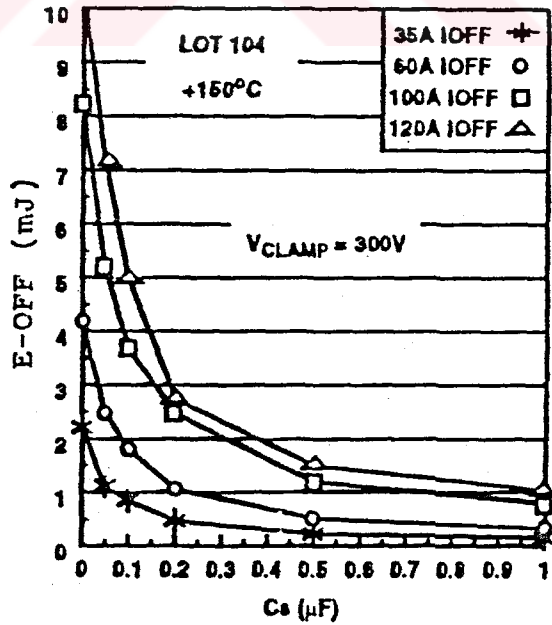
2. ÜRETİM 600 V'luk P-MCT



1. ÜRETİM 600 V'luk P-MCT



2. ÜRETİM 600 V'luk P-MCT



Şekil 7.4 2. Üretim 600 V'luk P-MCT'nin Kapama Durumunun Geliştirilmesi

E K L E R

MCTV75P60E1 MCTA75P60E1

75A, 600V

P-Type MOS Controlled Thyristor (MCT)

September 1992

Features

- 75A, -600V
- $V_{TM} = -1.3V$ (Maximum) at $I = 75A$ and $+150^{\circ}C$
- 2000A Surge Current Capability
- 2000A/ μs dI/dt Capability
- MOS Insulated Gate Control
- 120A Gate Turn-Off Capability at $+150^{\circ}C$

Description

The MCT is an MOS Controlled Thyristor designed for switching currents on and off by negative and positive pulsed control of an insulated MOS gate. It is designed for use in motor controls, inverters, line switches and other power switching applications.

The MCT is especially suited for resonant (zero voltage or zero current switching) applications. The SCR like forward drop greatly reduces conduction power loss.

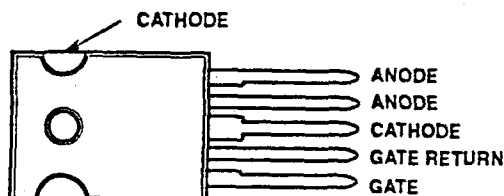
MCTs allow the control of high power circuits with very small amounts of input energy. They feature the high peak current capability common to SCR type thyristors, and operate at junction temperatures up to $+150^{\circ}C$ with active switching.

The MCTV75P60 is supplied in a 5-lead variation of the JEDEC TO-247 plastic package, and the MCTA75P60 in the JEDEC MO-93 plastic package which is a 5-lead variation of the TO-218.

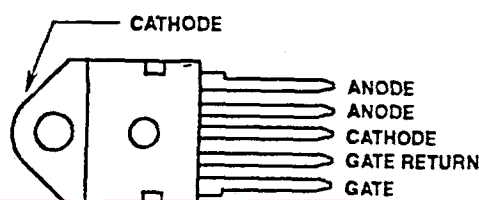
* Formerly TA9836

Package

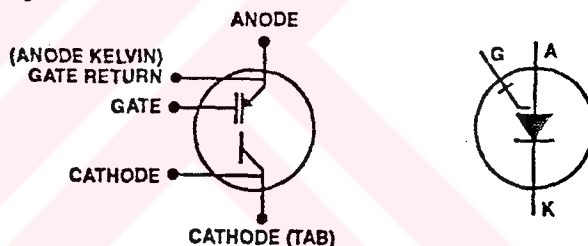
TO-247 5-LEAD
TOP VIEW



MO-93 (5-LEAD TO-218)
TOP VIEW



Symbol



Absolute Maximum Ratings ($T_C = +25^{\circ}C$) Unless Otherwise Specified

	MCTV75P60E1 MCTA75P60E1	UNITS
Peak Off-State Voltage (See Figure 11).....	V_{DRM} -600	V
Peak Reverse Voltage.....	V_{RRM} +5	V
Continuous Cathode Current (See Figure 2)		
$T_C = +25^{\circ}C$ (Package Limited).....	I_{C25} 85	A
$T_C = +90^{\circ}C$	I_{C90} 75	A
Non-repetitive Peak Cathode Current (Note 1).....	I_{TSM} 2000	A
Peak Controllable Current (See Figure 10).....	I_{TC} 120	A
Gate-Anode Voltage (Continuous).....	V_{GA} ± 20	V
Gate-Anode Voltage (Peak).....	V_{GA} ± 25	V
Rate of Change of Voltage.....	See Figure 11	
Rate of Change of Current.....	dI/dt 2000	A/ μs
Maximum Power Dissipation.....	P_T 208	W
Linear Derating Factor.....	1.67	W/ $^{\circ}C$
Operating and Storage Temperature.....	T_J, T_{STG} -55 to +150	$^{\circ}C$
Maximum Lead Temperature for Soldering (0.063" (1.6mm) from case for 10s)	T_L 260	$^{\circ}C$

NOTE:

1. Maximum Pulse Width of 250 μs (Half Sine) Assume T_J (Initial) = $+90^{\circ}C$ and T_J (Final) = T_J (Max) = $+150^{\circ}C$

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper I.C. Handling Procedures.

Copyright © Harris Corporation 1992

File Number 3374

Specifications MCTV75P60E1, MCTA75P60E1

Electrical Characteristics At Case Temperature (T_C) = +25°C Unless Otherwise Specified

CHARACTERISTICS	SYMBOL	TEST CONDITIONS		LIMITS			UNITS
				MIN	TYP	MAX	
Peak Off-State Blocking Current	I_{DRM}	$V_{KA} = -600V$, $V_{GA} = +18V$	$T_C = +150^{\circ}C$	-	-	3	mA
			$T_C = +25^{\circ}C$	-	-	100	μA
Peak Reverse Blocking Current	I_{RRM}	$V_{KA} = +5V$ $V_{GA} = +18V$	$T_C = +150^{\circ}C$	-	-	4	mA
			$T_C = +25^{\circ}C$	-	-	100	μA
On-State Voltage	V_{TM}	$I_C = I_{C90}$, $V_{GA} = -10V$	$T_C = +150^{\circ}C$	-	-	1.3	V
			$T_C = +25^{\circ}C$	-	-	1.4	V
Gate-Anode Leakage Current	I_{GAS}	$V_{GA} = \pm 20V$		-	-	200	nA
Input capacitance	C_{iss}	$V_{KA} = -20V$, $T_J = +25^{\circ}C$ $V_{GA} = +18V$		-	10	-	nF
Current Turn-on Delay Time	$t_{d(on)i}$	$L = 200\mu H$, $I_C = I_{C90}$ $R_g = 1\Omega$, $V_{GA} = +18V$, $-7V$ $T_J = +125^{\circ}C$ $V_{KA} = -300V$		-	300	-	ns
Current Rise Time	t_{ri}			-	200	-	ns
Current Turn-off Delay Time	$t_{d(off)i}$			-	700	-	ns
Current Fall Time	t_{fi}			-	1.15	1.4	μs
Turn-off Energy	E_{off}			-	10	-	mJ
Thermal Resistance	$R_{\theta JC}$			-	.5	.6	$^{\circ}C/W$

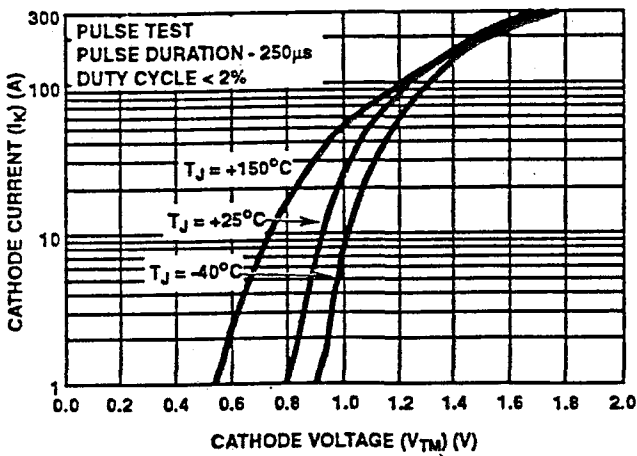


FIGURE 1. CATHODE CURRENT vs SATURATION VOLTAGE (TYPICAL)

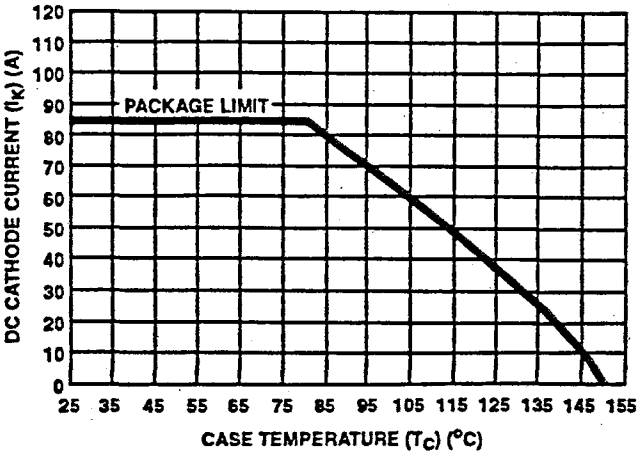


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS CATHODE CURRENT

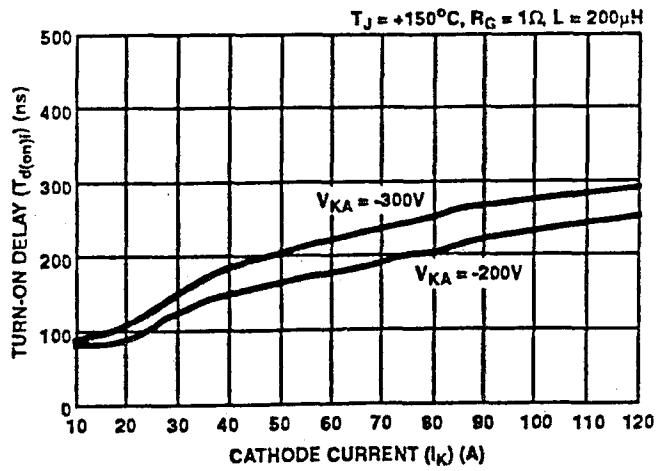


FIGURE 3. TURN-ON DELAY vs CATHODE CURRENT (TYPICAL)

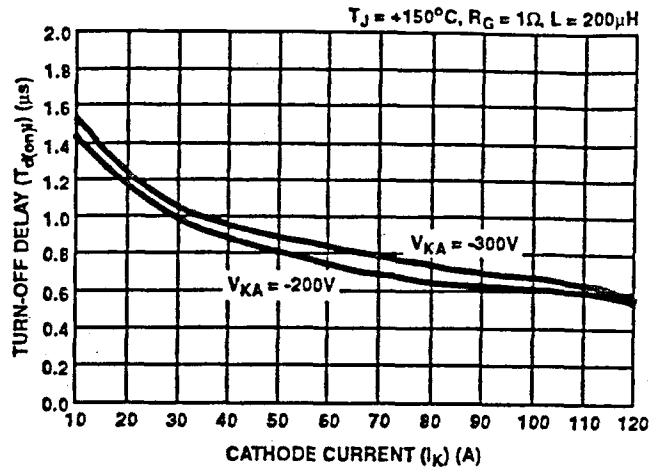


FIGURE 4. TURN-OFF DELAY vs CATHODE CURRENT (TYPICAL)

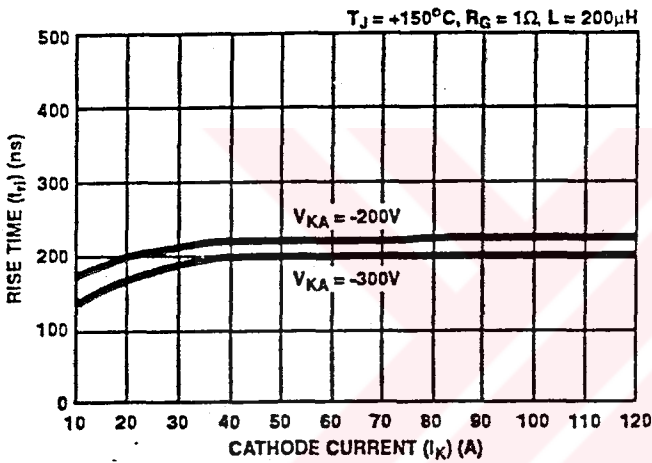


FIGURE 5. TURN-ON RISE TIME vs CATHODE CURRENT (TYPICAL)

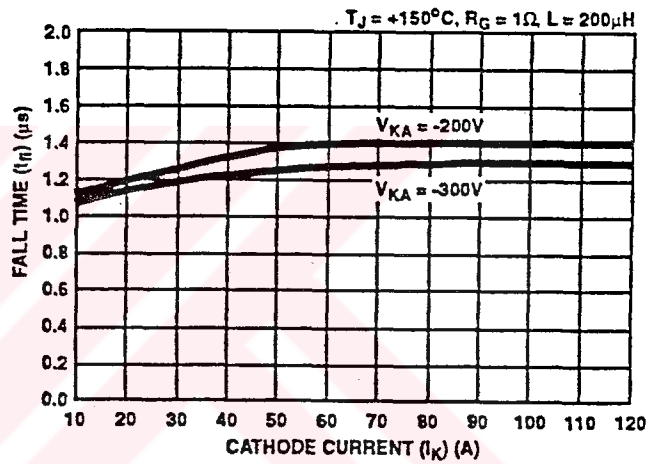


FIGURE 6. TURN-OFF FALL TIME vs CATHODE CURRENT (TYPICAL)

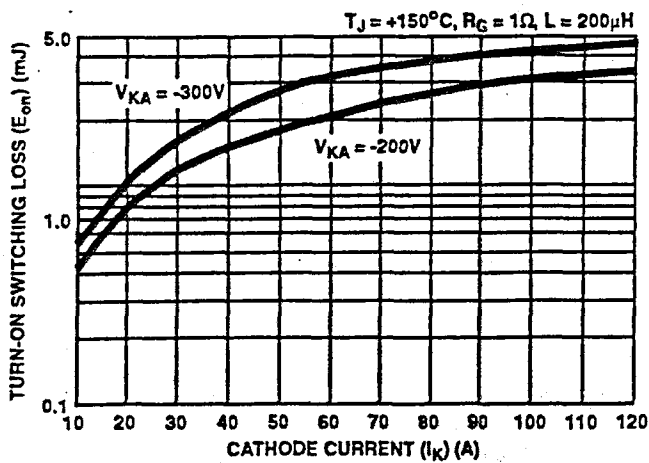


FIGURE 7. TURN-ON ENERGY LOSS vs CATHODE CURRENT (TYPICAL)

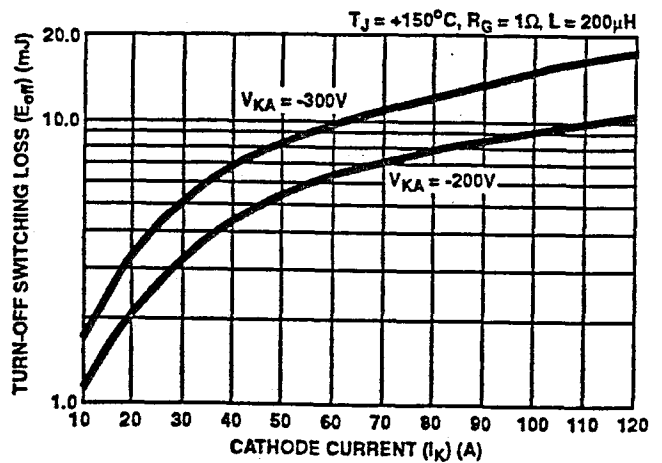


FIGURE 8. TURN-OFF ENERGY LOSS vs CATHODE CURRENT (TYPICAL)

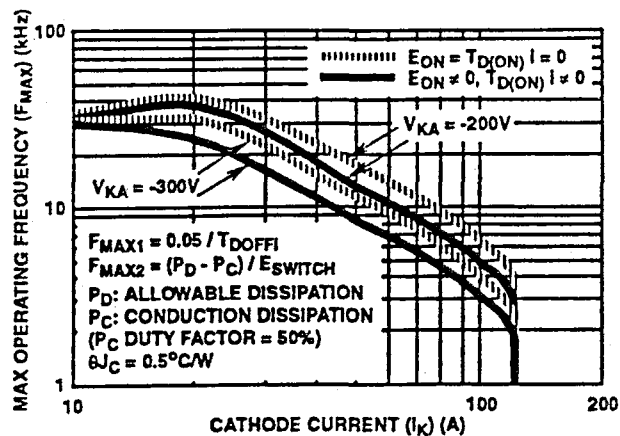


FIGURE 9. OPERATING FREQUENCY vs CATHODE CURRENT (TYPICAL)

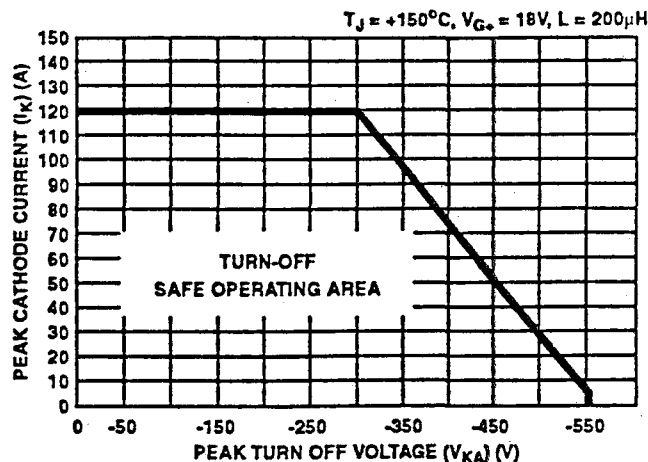


FIGURE 10. TURN-OFF CAPABILITY vs ANODE-CATHODE VOLTAGE

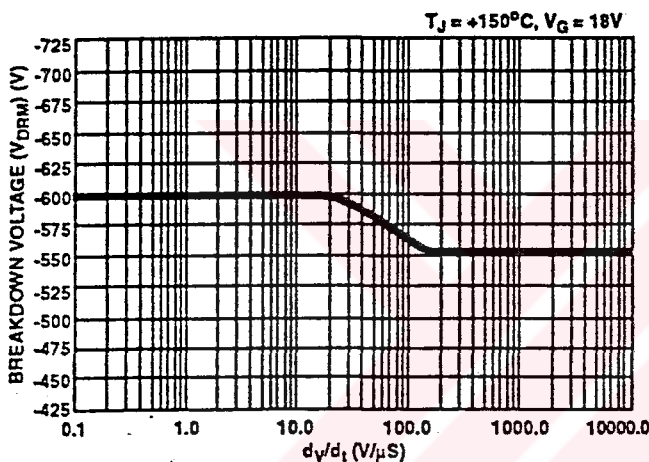


FIGURE 11. BLOCKING VOLTAGE vs dV/dt

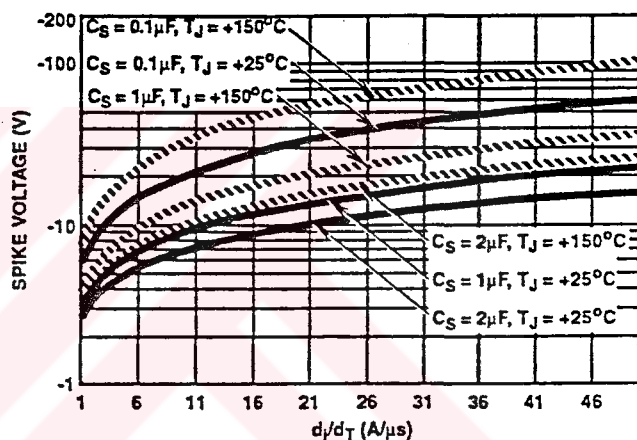


FIGURE 12. SPIKE VOLTAGE vs dI/dt (TYPICAL)

Operating Frequency Information

Operating frequency information for a typical device (Figure 9) is presented as a guide for estimating device performance for a specific application. Other typical frequency vs cathode current (I_{AK}) plots are possible using the information shown for a typical unit in Figures 3 to 8. The operating frequency plot (Figure 9) of a typical device shows f_{max1} or f_{max2} whichever is smaller at each point. The information is based on measurements of a typical device and is bounded by the maximum rated junction temperature.

f_{max1} is defined by $f_{max1} = 0.05 / (t_{d(on)i} + t_{d(off)i})$. $t_{d(on)i}$ (the denominator) has been arbitrarily held to 10% of the on-state time for a 50% duty factor. Other definitions are possible. $t_{d(on)i}$ is defined as the 10% point of the leading edge of the input pulse and the point where the cathode current rises to 10% of its maximum value. $t_{d(off)i}$ is defined as the 90% point of the trailing edge of the input pulse and the point where the cathode current falls to 90% of its maximum value. Device delay can establish an additional frequency limiting condition for an applica-

tion other than T_{JMAX} . $t_{d(off)i}$ is important when controlling output ripple under a lightly loaded condition.

f_{max2} is defined by $f_{max2} = (P_D - P_C) / (E_{on} + E_{off})$. The allowable dissipation (P_D) is defined by $P_D = (T_{JMAX} - T_C) / R_{θJC}$. The sum of device switching and conduction losses must not exceed P_D . A 50% duty factor was used (Figure 10) and the conduction losses (P_C) are approximated by $P_C = (V_{AK} \cdot I_{AK}) / (\text{duty factor}/100)$. E_{on} is defined as the sum of the instantaneous power loss starting at the leading edge of the input pulse and ending at the point where the anode-cathode voltage equals saturation voltage ($V_{AK} = V_{TM}$). E_{off} is defined as the sum of the instantaneous power loss starting at the trailing edge of the input pulse and ending at the point where the cathode current equals zero ($I_{CE} = 0A$).

The switching power loss (Figure 10) is defined as $f_{max2} \cdot (E_{on} + E_{off})$. Because Turn-on switching losses can be greatly influenced by external circuit conditions and components, f_{max} curves are plotted both including and neglecting turn-on losses.

Test Circuits

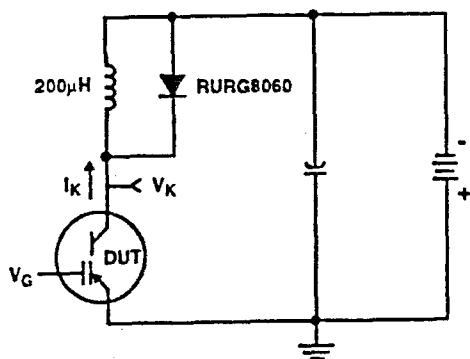


FIGURE 13. SWITCHING TEST CIRCUIT

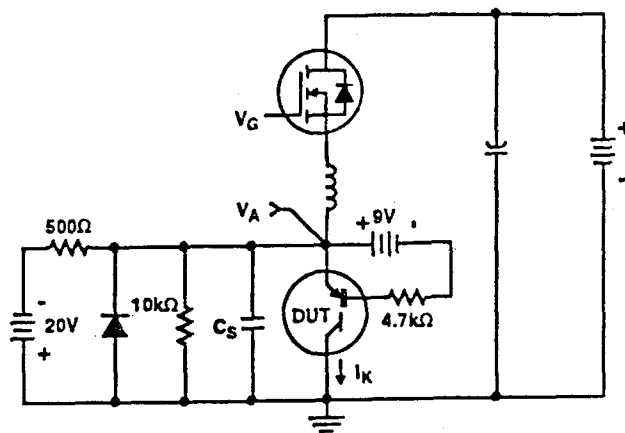
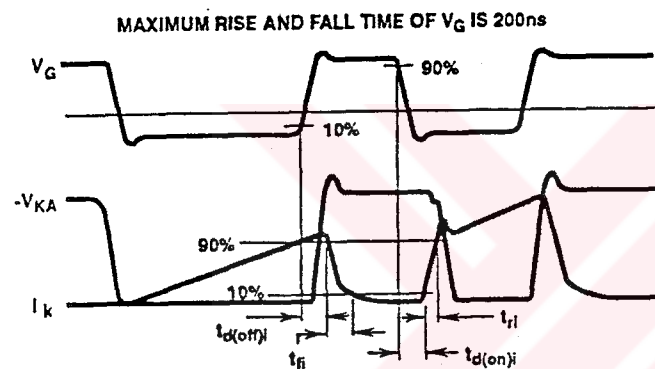
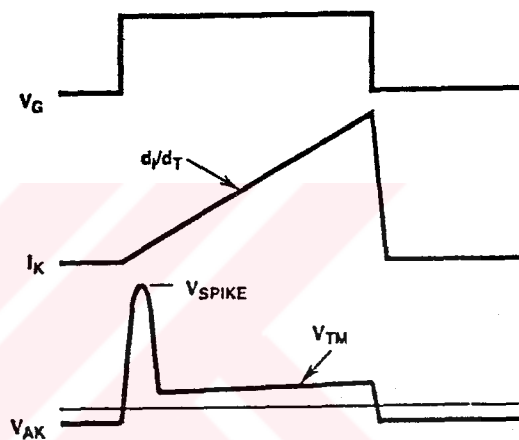
FIGURE 14. V_{SPIKE} TEST CIRCUIT

FIGURE 15. SWITCHING TEST WAVEFORMS

FIGURE 16. V_{SPIKE} TEST WAVEFORMS

Handling Precautions for MCT's

Mos Controlled Thyristors are susceptible to gate-insulation damage by the electrostatic discharge of energy through the devices. When handling these devices, care should be exercised to assure that the static charge built in the handler's body capacitance is not discharged through the device. MCT's can be handled safely if the following basic precautions are taken:

1. Prior to assembly into a circuit, all leads should be kept shorted together either by the use of metal shorting springs or by the insertion into conductive material such as "ECCOSORB LD26" or equivalent.
2. When devices are removed by hand from their carriers, the hand being used should be grounded by any suitable means - for example, with a metallic wristband.
3. Tips of soldering irons should be grounded.

4. Devices should never be inserted into or removed from circuits with power on.

5. Gate Voltage Rating - Never exceed the gate-voltage rating of V_{GA} . Exceeding the rated V_{GA} can result in permanent damage to the oxide layer in the gate region.

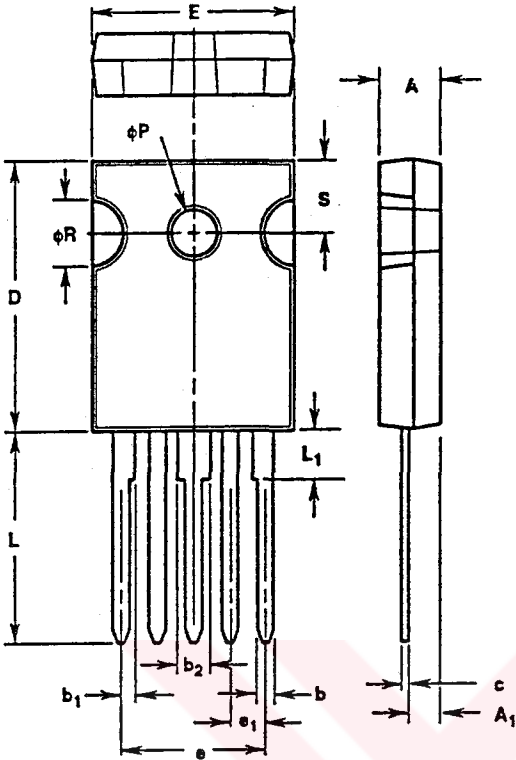
6. Gate Termination - The gates of these devices are essentially capacitors. Circuits that leave the gate open-circuited or floating should be avoided. These conditions can result in turn-on of the device due to voltage buildup on the input capacitor due to leakage currents or pickup.

7. Gate Protection - These devices do not have an internal monolithic zener diode from gate to emitter. If gate protection is required an external zener is recommended.

* Trademark Emerson and Cumming, Inc.

Packaging

JEDEC TO-247 5 LEAD PLASTIC PACKAGE

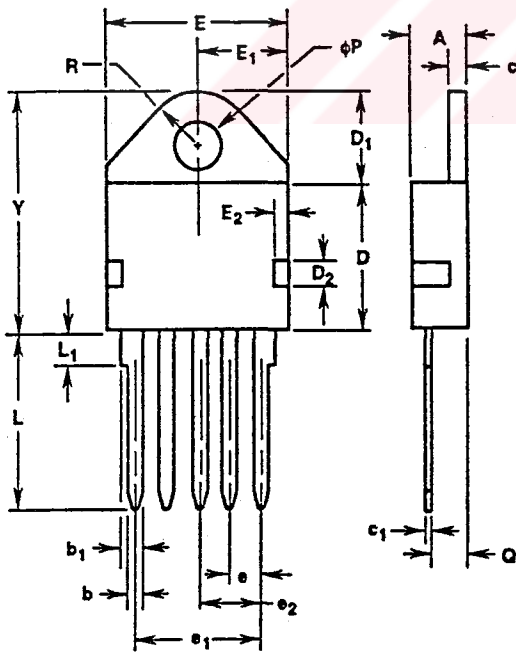


JEDEC TO-247
5 LEAD PLASTIC PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	0.180	0.090	4.57	4.83	-
A ₁	0.090	0.115	2.30	2.92	-
b	0.046	0.055	1.17	1.42	1, 2
b ₁	0.060	0.083	1.52	2.11	-
b ₂	0.095	0.105	2.41	2.67	-
c	0.020	0.026	0.51	0.66	1, 2
D	0.800	0.820	20.32	20.83	-
E	0.610	0.625	15.50	15.88	-
e	0.438 BSC		11.12 BSC		-
e ₁	0.105	0.113	2.67	2.87	-
L	0.620	0.635	15.756	16.13	-
L ₁	0.145	0.150	3.68	3.81	3
ϕP	0.138	0.146	3.45	3.71	-
ϕR	0.195	0.205	4.95	5.21	-
S	0.210	0.220	5.33	5.59	-

- NOTES:
1. Lead dimension (without solder).
 2. Add typically 0.006 inch for solder coating.
 3. Lead and finish uncontrolled in L.

JEDEC MO-93 PLASTIC PACKAGE



JEDEC MO-93
5 LEAD PLASTIC PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	-	0.190	-	4.826	-
b	0.049	0.053	1.243	1.346	-
b ₁	-	0.075	-	1.905	-
c	0.059	0.061	1.499	1.549	-
c ₁	0.019	0.021	1.483	0.533	-
D	0.045	0.495	12.065	12.973	-
D ₁	-	0.325	-	8.255	-
D ₂	-	0.080	-	2.032	-
D ₃	-	0.600	-	15.240	-
E	0.615	0.625	15.621	15.875	1
E ₁	-	0.310	-	7.874	-
E ₂	-	0.050	-	1.270	-
e	0.105	0.113	2.667	2.870	4
e ₁	0.430	0.446	10.922	11.328	4
e ₂	0.215	0.223	5.461	5.664	4
L	0.575	0.595	14.603	15.113	-
L ₁	-	0.110	-	2.794	2
ϕP	0.159	0.163	4.039	4.140	-
Q	-	1.120	-	3.048	-
R	-	0.181	-	4.597	1
Y	0.800	0.820	20.320	20.828	-
Y ₁	-	1.395	-	35.433	-

- NOTES:
1. Tab outline optional within boundaries of dimensions E and R.
 2. Lead dimensions uncontrolled in L₁.
 3. Maximum radius of 0.060 on all body edges and corners.
 4. Position of lead measured 0.185-0.190 from bottom of dim D.
 5. Controlling dimension: inch.

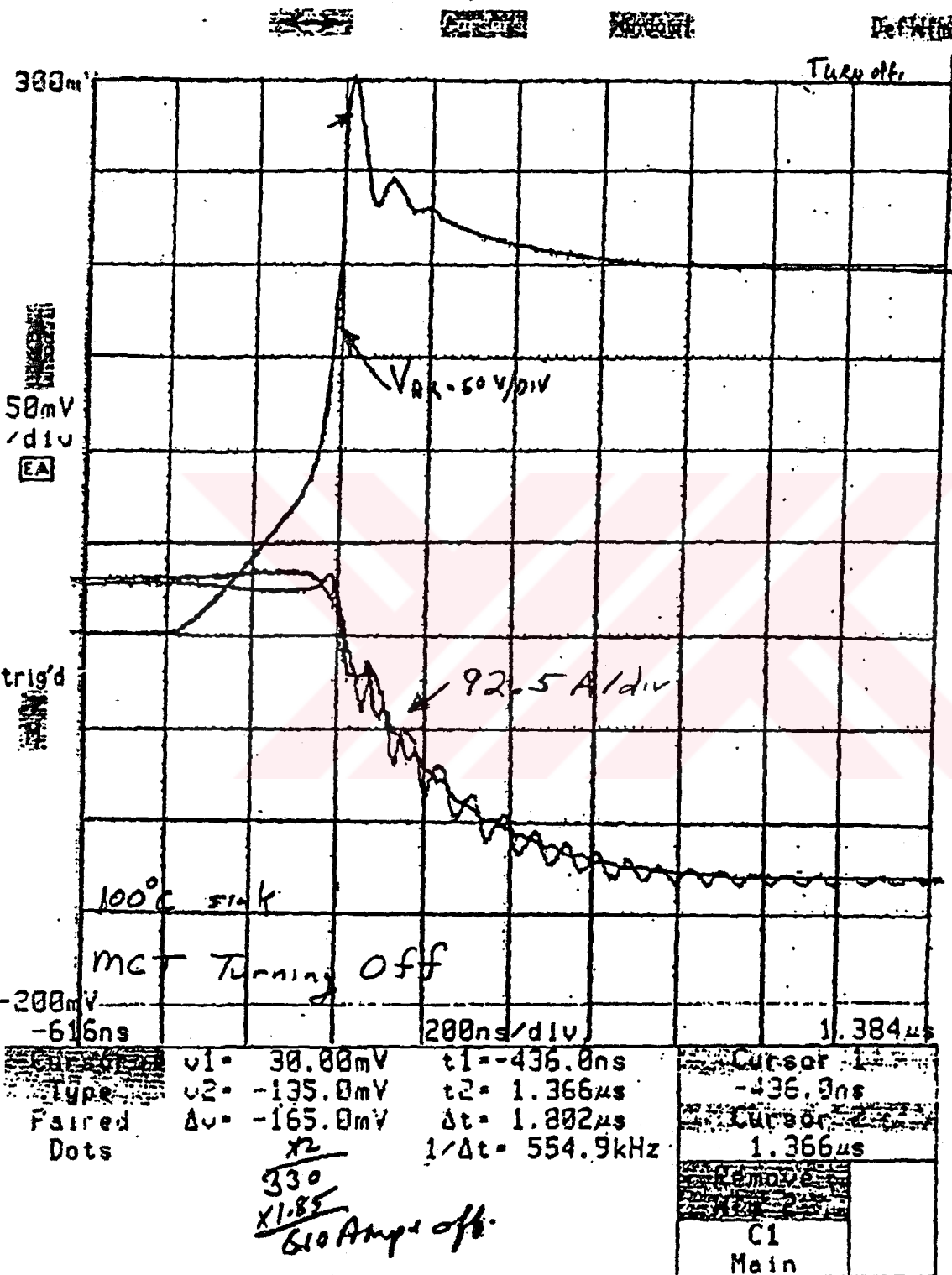


Figure 5 EIS/G End Turn Configuration

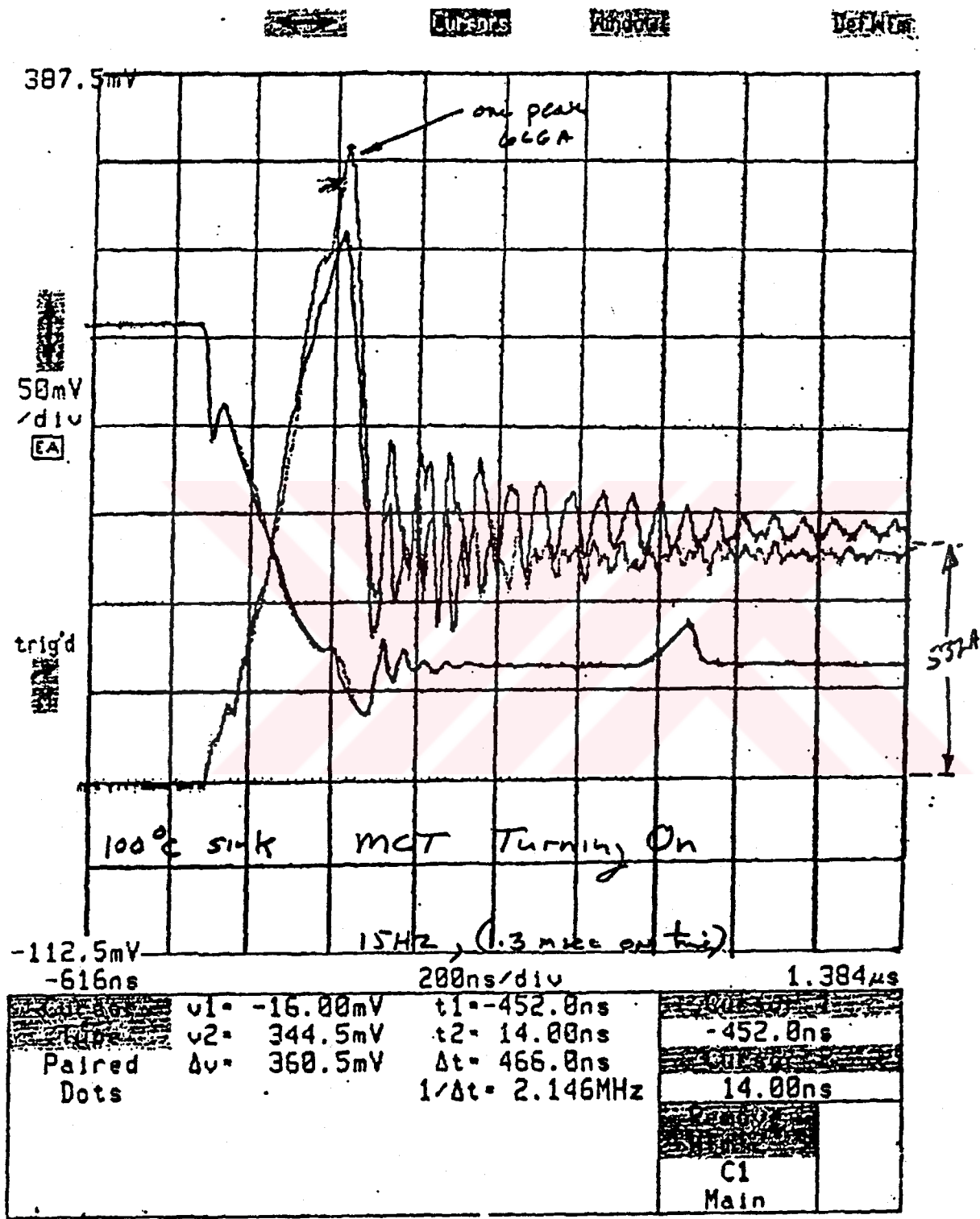


Figure 6 EIS/G End Turn Configuration

Tek

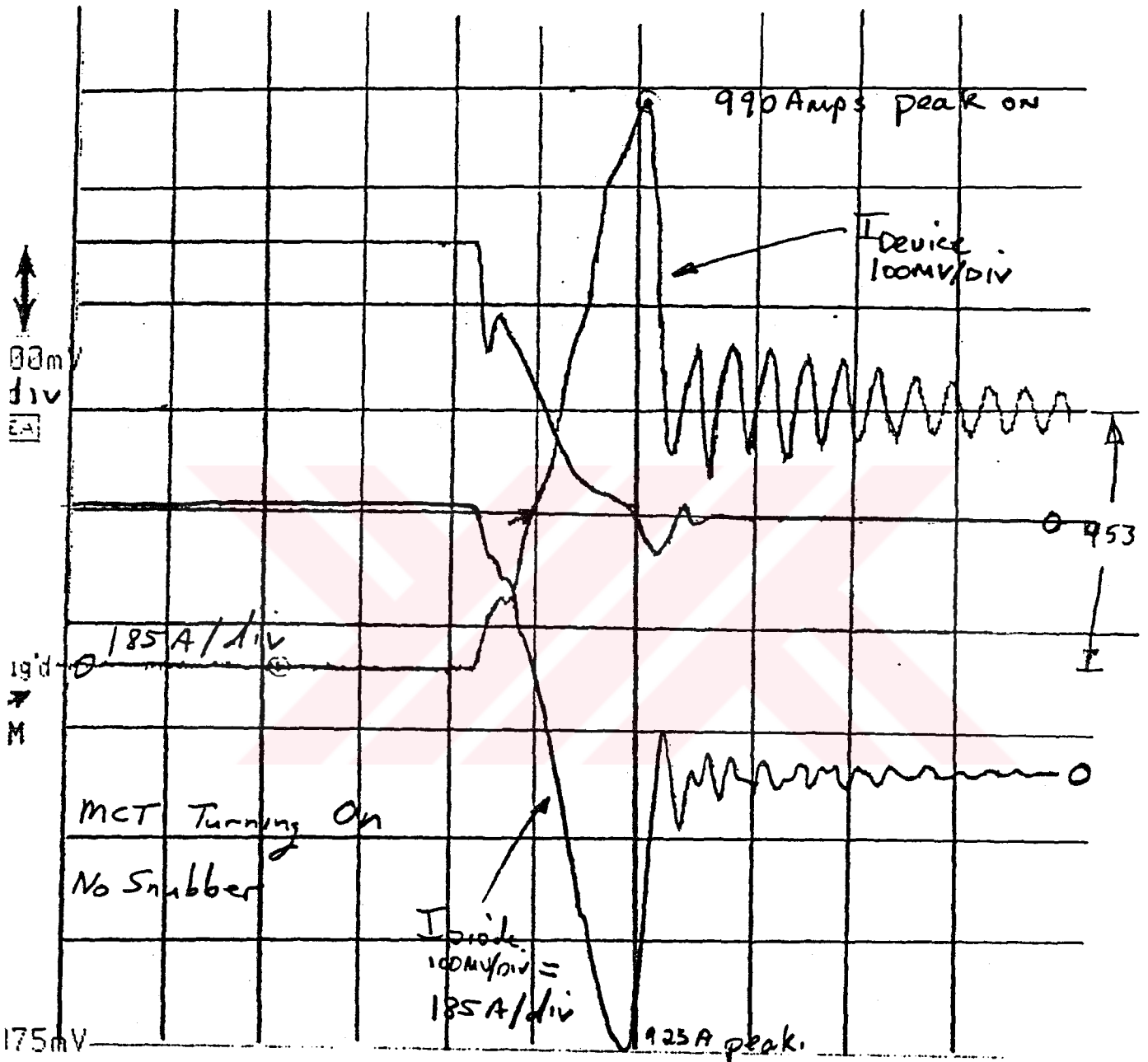


777

Window1

Def Wfm

25mV



-956ns		200ns/div		1.044..s	
Cursor	01= -18.00mV	t1= -520.0ns	Cursor 1		
Type	02= 515.0mV	t2= 210.0ns	-520.0ns		
Failed	00= 535.0mV	Δt= 730.0ns	Cursor 2		
Dots	X1.95	1 Δt= 1.370MHz	210.0ns		
<u>990A peak</u>			Remove		
			Wfm 2		
			C1		
			Main		

Integral Starter/Generator

Switch Gate Drive

MCT Requirement

- o Drive .284uF 23V (6.35uCoul) in less than 200nS (32A peak, 38mA average)
- o Lead Length An Issue
- o Gate Drive Is Located In The Module

IGBT Requirement

- o Drive 2.6uCoul in less than 500ns (5.2A peak, 15.6mA average)
- o Gate Drive Is Located External To The Module

Harris Supplied Gate Drive

- o Will Not Use Driver Chip (Was Proposed)
- o Will Be Located In The MCT Module
- o Not Isolate - Isolation Must Be Provided

IGBT Gate Drive

- o Similar To MCT Gate Drive

External Integral Starter/Generator

Inverter Parts List

Harris - MCT Module (2 in parallel/switch)
6 TO-218's per module

Toshiba - IGBT Module MG400J1US11 (2 in
parallel/switch)

International Rectifier -
Stud Diode 85HFL80S02 (10 in parallel
per switch, 1 per MCT snubber)

AVX - Ceramic Capacitor SM029C306KAN650
(54 per inverter)

AVX - Ceramic Capacitor SM034A374KAN
(1 per MCT snubber)

Caddock Electronics -
Film Power Resistor MP850
(4 per MCT snubber)

External Integral Starter/Generator

Inverter Parts List

Harris - MCT Module (2 in parallel/switch)
6 TO-218's per module

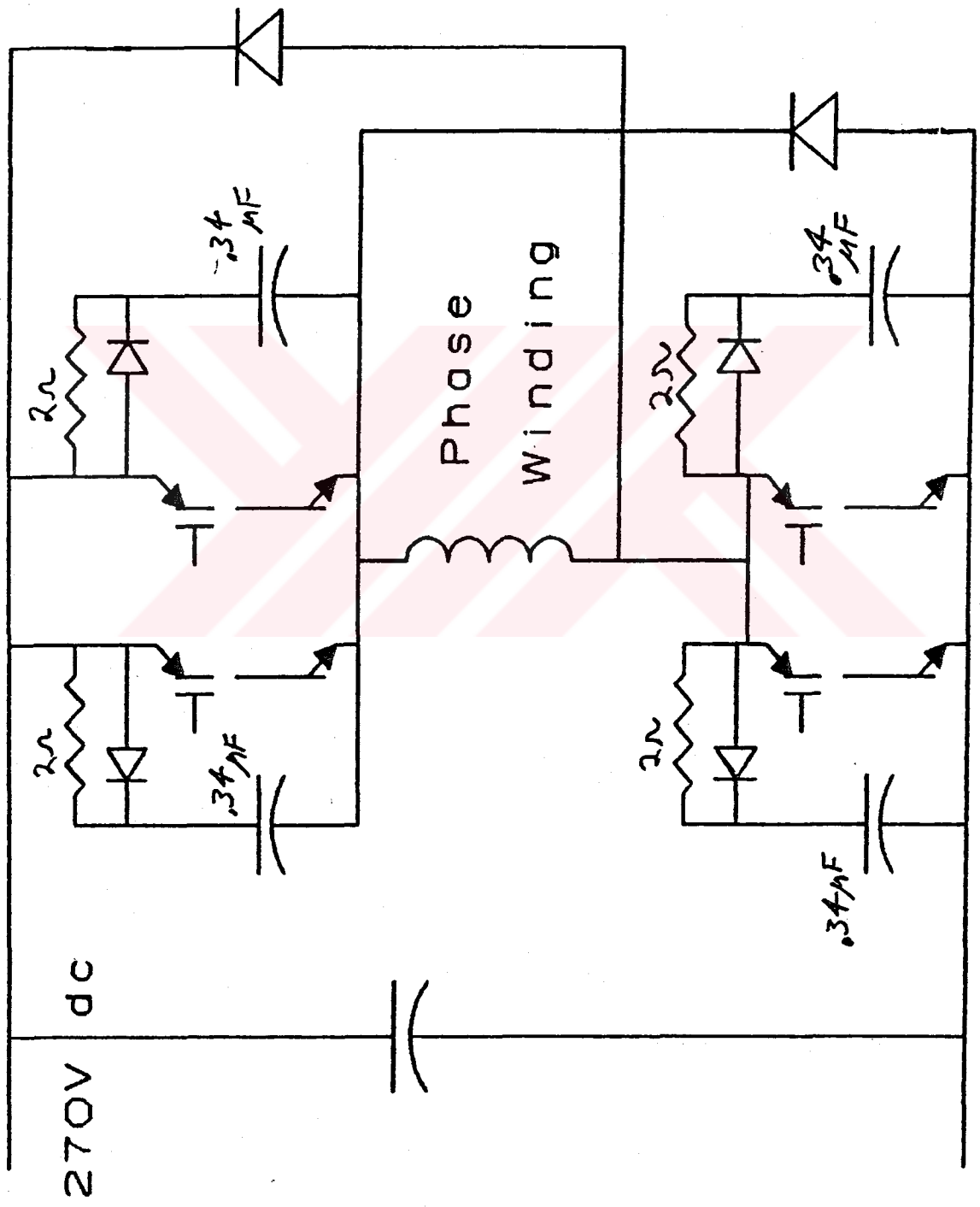
Toshiba - IGBT Module MG400J1US11 (2 in
parallel/switch)

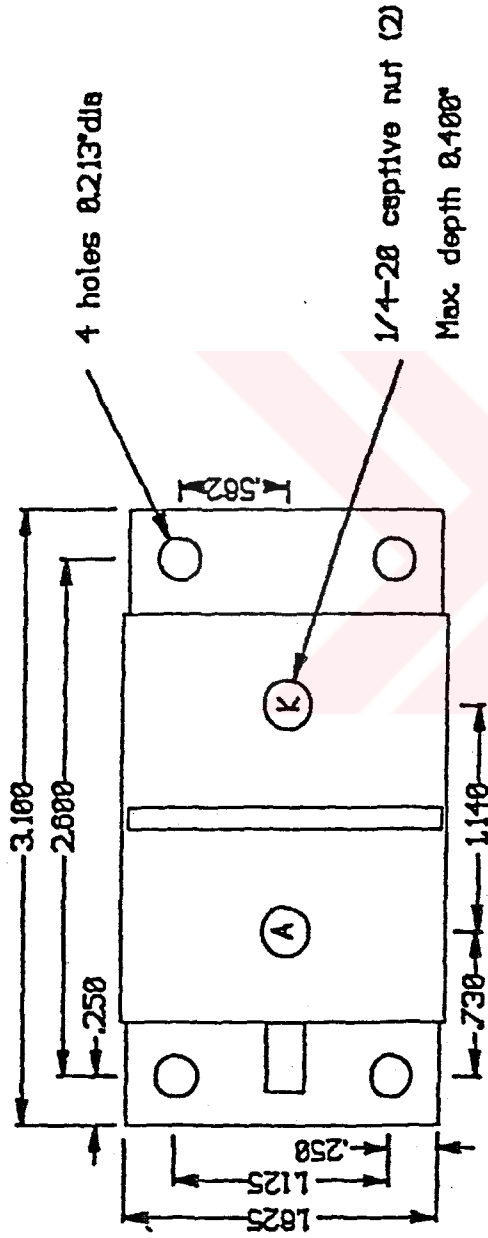
International Rectifier -
Stud Diode 85HFL80S02 (10 in parallel
per switch, 1 per MCT snubber)

AVX - Ceramic Capacitor SM029C306KAN650
(54 per inverter)

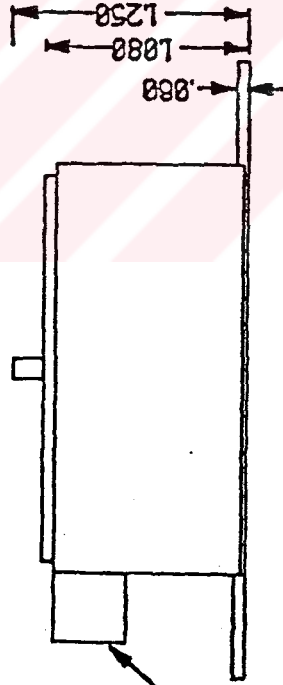
AVX - Ceramic Capacitor SM034A374KAN
(1 per MCT snubber)

Caddock Electronics -
Film Power Resistor MP850
(4 per MCT snubber)





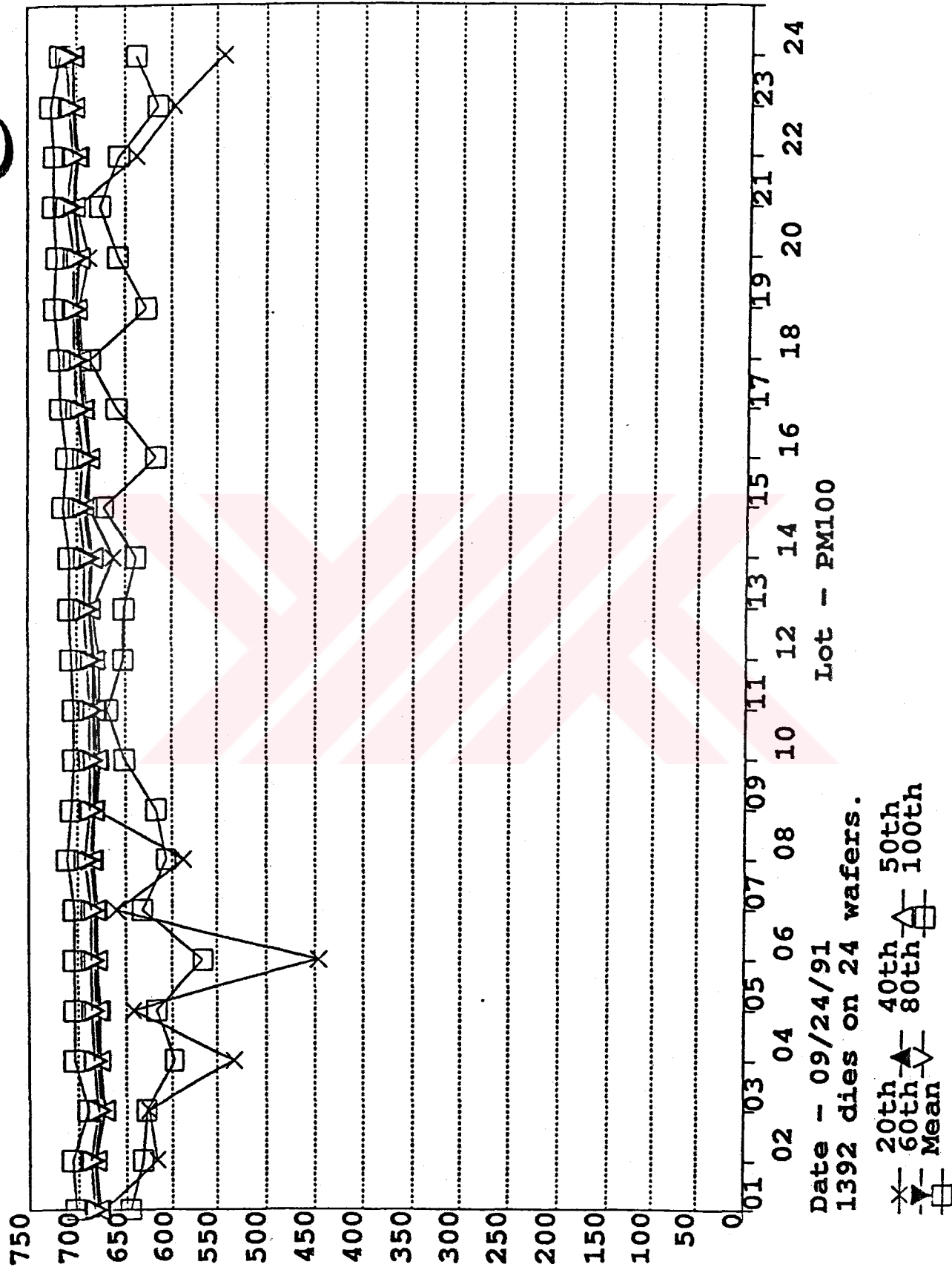
Six Die (70-218's)
Per Module



CONNECTOR AMP HOUSING 102241-2
AMP CONTACT 87077-2
Pin 1 Neg
Pin 2 Input pulse, 5V Max
Pin 3 Pos 24V
Pin 4 Gate Monitor

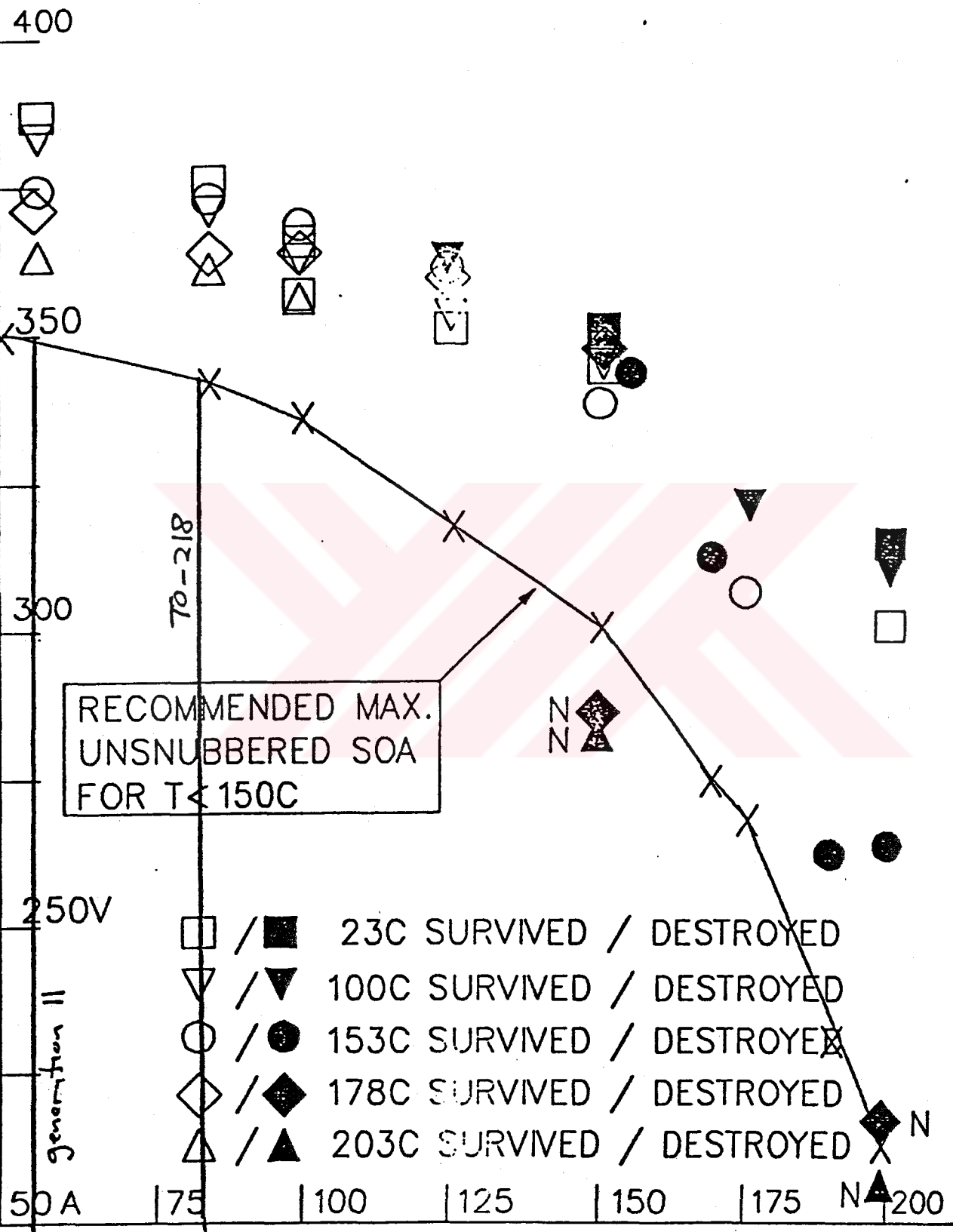
HARRIS POWER R & D	
DDO TITLE	MODULE OUTLINE
PROJ NAME	STARTER GENERATOR
DA #	AABA
ISSUE DATE	3/27/92
DESIGNER	DL WATROUS
FILE NAME	OUTLINE.ECD
APPROVED	REV #
DATE	
REF DESG	STRTGEUFCD

DICTIONARY WILL VILLAGE



M100 UNSNUBBED SOA EXPERIMENTAL RESULTS

"N" DATA SPREAD MAY BE DUE TO DIFFERENT PEAK I_{off}



KAYNAKLAR

- 1/ V.Temple," Power Device Evolution and the MOS-Controlled Thyristor," Power Conversion & Intelligent Motion, pp.23-29, November (1987)
- 2/ S.Sul, F.Profumo, G.Cho, T.Lipo,"MCT s and IGBT s :a Comparison of performance in Power Electronic Circuits,"1989 IEEE Power Electronics Specialists Annual Conference, pp. 163-169 (1989)
- 3/ T.Jahns , R.De Doncker , J.Wilson , V.Temple , D.Watrous "Circuit Utilization Characteristics of MOS-Controlled Thyristors," IEEE Transactions on Industry Applications , Vol 27, No. 3, pp.589-597, May/June (1991)
- 4/ B.Bose "Evaluation of Modern Power Semiconductor Devices and Future Trends of Converters," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 28, No .2, pp.403-413 ,March / April (1992)
- 5/ R. De Doncker, T.Jahns , A.Radun , D.Watrous , V.Temple, "Characteristics of MOS-Controlled Thyristors under Zero Voltage Soft-Switching Conditions," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 28, No. 2, pp.387-394, March/ April (1992)
- 6/ S.Arthur , V.Temple , D.Watrous , " Forward Blocking Comparison of P and N MCTs," accepted for publication in Conference Record of 1992 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Oct. (1992)

Ö Z G E Ç M i Ő

18.12.1967 'de İstanbul 'da doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi ,Elektrik Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1989'da mezun oldu. 1990 yılında Yıldız Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1991 'de Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

Halen Yıldız Teknik Üniversitesi' nde görevine devam etmekte olup, evlidir.