

PNPN YAPILARI

ve

DENETLENEBİLİR SİLİSYUM DOĞRULTMAÇLAR

ARDA KISAKOREK - KURTÇA DOĞAN

VDKs 621.382.233

OZBT

SUMMARY

Bu yazıda, denetimli silisyum doğrultmacın eşdeğer devresi, giriş ve çıkış karakteristikleri, belli özelliklerin çalışma üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Simgeler verilmiş ve tanımlar bazı DSD (SCR) karakteristikleri için önerilmiştir.

in this paper, the equivalent circuit, input and output characteristics, influence of various properties on the operation of silicon controlled rectifiers are discussed. The symbols are given and definitions are proposed for some SCR characteristics.

1. GİRİŞ

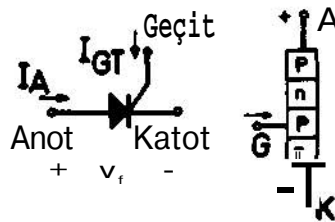
Tiriltor adı PNPN yapısı içindeki pozitif geribesleme için «ekline bağlı olarak anahtar gibi çalışan herhangi bir yarı iletken malzeme için kullanılır. Tiriatörleri iki, üç, dört uçlu olanları; tek yönlü, çift yönlü olanları vardır. Yaptıkları işlevlere göre tiristorlara verilen adlardan bazıları şunlardır: Denetlenebilir silisyum doğrultmaç (SCR), Tek yönlü silisyum anahtar (Silicon unilateral switch- SUS), Işık uyarmalı silisyum doğrultmaç (Light activated silicon controlled rectifier-LASCR), Geçitiyle kesime geçirilebilen anahtar (Gate turn-off switch-GTO), Diyak, triyak, Shockley diyotu vb.

2. OSD ÇALIŞMA İLKELERİ

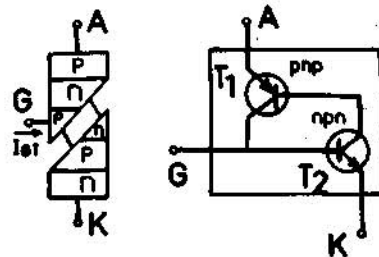
Tiristorlar içinde bugün için en fazla kullanım alanı bulunan denetlenebilir silisyum doğrultmaçtır (DSD). Adı ilk kez elektronik dünyasına 1956'da Bell telefon laboratuvarı tarafından tanıtılmıştır.

DSD'nin üç ucu vardır: Anot, Katot ve Geçit (gate). Bir DSD'yi ilettime geçirmek için anotu katoda göre pozitif yapmak yetmez, geçitine gerekli düzeyde im de yollanmalıdır. İletim halinde 0,01-0,1 ohm' luk dinffesik direnç gösteren DSD, tıkama halinde 100 Kohm'luk direnç gösterir. DSD'nin grafik simgesi Şekil 1'de gösterilmiştir. DSD'yi ilettime geçirmek için, anotu katoda göre pozitif yapılır, ama Şekil 1'de I_{G} ile gösterilen geçit imi gelmedikçe iletim başlamaz.

DSD'nin çalışmasını daha iyi anlayabilmek için Şekil 1'deki yapının Şekil 2'deki gibi iki tranzistörden oluştuğunu kabul edelim. Şekil 2'deki tranzistörlerden T^1 pnp ve T^2 npn yapısındadır. T^1 tabanı (base) T^2 'nin toplayıcısına (collector) ve T^2 'nin toplayıcısı da T^1 'nin tabanına bağlanmıştır. Dışarıya,, anot olarak T^1 'in yayıcısı (emitter); katot olarak T^2 'nin yayıcısı ve geçit olarak da T^1 'in toplayıcısı ile T^2 'nin tabanının birleştiği nokta çıkarılmıştır.



Şekil 1. DSD'nin simgesel gösterilişi ve yapısı



Şekil 2. DSD'nin tranzistorlu eşdeğer devresi ve bu eşdeğerin elde edilmesi için PNPN yapısının nasıl parçalandığı

Arda Kısakörek - Kurtça Doğan, Nasaş, Gebze

Şekil 3'de pnp ve npn transistörlerinin birleşimi şeklindeki DSD yapısına V_g imi uygulanmıştır.

$0 < t_1 < t_2$ iken $V_{g1} = V_{g2} = 0$ dir.

Bunun sonucu olarak T_1 'in taban akımı olan $I_{B1} \neq 0$ olur. Taban akımı sıfır olduğuna göre T_2 transistörü kesimdedir ve T_1 'nin toplayıcı akımı sızdırım akımına eşit olur:

$$I_{C2} = I_{C1}$$

T_1 'nin toplayıcı akımı T_1 'in taban akımıdır. Öyleyse

$$I_{B1} = I_{C2} = I_{C1}$$

olduğundan T_1 de kesime gider ya da kesimde kalır. Bu durumda her iki transistör de kesimde yani akım geçirmez durumdadır. Kesim halini, yüksek empedans hali olarak düşünüp, Şekil 4'deki gibi gösterebiliriz.

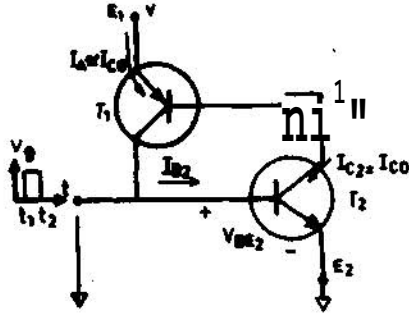
$t = t_1$ iken $I_{G1} = I_{B2}$ olur. T_1 ilettime geçer. I_{C2} büyür. $I_{C2} \cdot t_{B1}$ den T_1 ilettime geçer. I_{C1} büyür. $I_{C1} = I_{C2}$ den dolayı sistem pozitif geribesleme T_1 'e kendini besler ve T_1 ile T_2 sürekli iletimde kalır.

Bu durumda DSD'den akan akım

$I_{C1} = I_{C2} = I_{A} + I_{G}$ dir. DSD sürekli iletimde kalır, yani kısa devre olur.

$t < t_2$ de geçit imi kesilmiş olmasına rağmen iletim durmaz. İletimin durması için ileride anlatacağımız gibi anot-katot geriliminin belli bir değerin altına düşmesi gerekir.

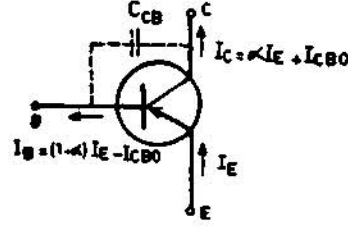
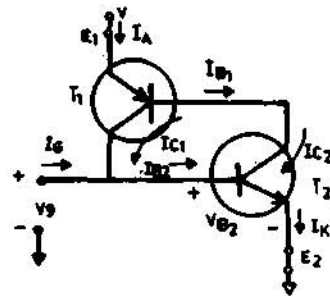
Şekil 3. Ateşleme imi yokkenkf. eşdeğer devre



Şekil 4. Yüksek empedans durumu



Şekil 5. Geçit imi varkenki eşdeğer devre



Şekil 6. Basit bir transistörün sızdırım toplayıcı-taban sığağının görünümü

Şekil 5'ten biliyoruz ki pnp transistörü için yani r , için $I_{C1} = I_{B2}$ dir.

Yine T_1 'in taban kurgu akımı kazancını a_{T1} ile, elektron ve deliklerin meydana getireceği çıkış katsayısını M_{T1} ile tanımlarsak, T_1 için taban kurgu akımı kazancını ve elektron, delik çıkış çarpan katsayısını sırası ile $(\alpha$ ve H_{FE} ile tanımlarız.

Şekil 6'da basit bir transistör ile toplayıcı-taban sızdırım sığağı çizilmiş ve taban kurgu akımı kazancı ile çıkış çarpan katsayısı parametreleri kullanılarak giren çıkan akımlar arasındaki bağıntılar gösterilmiştir.

T_1 npn transistörü için

$$I_{B2} = I_{C1} + I_{G1} \quad (D)$$

dir. Şekil 6'dan

$$I_{B2} = (1 - \alpha_{nT1}) I_{C1} - I_{CBO1} \quad (2)$$

olur. Burada I_{CBO1} , T_1 'nin sızdırım toplayıcı-taban akımıdır.

T_1 'in toplayıcı akımı ise

$$I_{C1} = \alpha_{nT1} I_{A1} + I_{CBO1} \quad (3)$$

olur. Ote yandan

$$I_{B2} = I_{C1} + I_{G1} \quad (4)$$

ve

$$I_{A1} + I_{G1} = I_{B2} \quad (5)$$

olduğundan

$$I_{A1} + I_{G1} = (I_{B2} + I_{CBO1}) / (1 - \alpha_{nT1}) \quad (6)$$

olur. I_{B2} yerine (4)deki değeri ve I_{C1} için (3) kullanılırsa,

$$I_{A1} + I_{G1} = (\alpha_{nT1} I_{A1} + I_{CBO1} + I_{G1} + I_{CBO1}) / (1 - \alpha_{nT1}) \quad (7)$$

Buradan

$$(1 - \alpha_{nT1} - \alpha_{pT1}) I_{A1} = \alpha_{nT1} I_{G1} + I_{CBO1} + I_{CBO2} \quad (8)$$

ve

$$I_{A1} = (I_{G1} + I_{CBO1} + I_{CBO2}) / (1 - \alpha_{nT1} - \alpha_{pT1}) \quad (9)$$

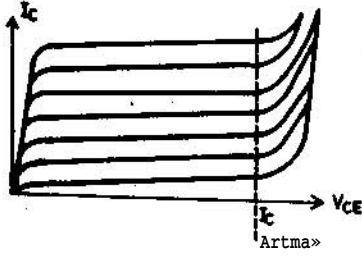
bulunur.

2.1 DSD normal kutuplanır, yani anodu katoda göre pozitif yapılırsa ve herhangi bir geçit imi var değilse M_{T1} ve M_{T2} aşağı yukarı 1'e yaklaşır. Bu durumda transistörlerin alfa'ları küçülür. (9) denkleminin paydası 1'e yaklaşır ve DSD'nin anot akımı I_{A1} , transistörlerin sızdırım akımları toplamından biraz büyük olur.

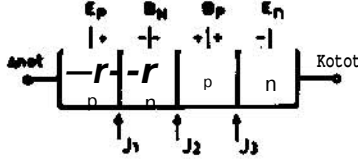
$$I_{A1} \approx I_{CBO1} + I_{CBO2}$$

Şekil 7.

Tranzistorun çıkış özelliğinde yüksek V_{CE} değerlerinde I_C'nin sonsuz artışı



Şekil 8. PKPH yapısında eklemeler ve taban bölgeleri



Bu, pnp yapının kesimde olduğu yani akıma kapalı olduğu ya da yüksek empedans gösterdiği durumudur.

2.2 DSD'yi ilettime sokmak, yani I_C akımını sonsuz artırmak, çevrim kazancı G'yi 1'e yaklaştırmakla olur. Çevrim kazancı G'yi 1'e yaklaştırmak iki türlü yapılabilir.

- Gerilimle Mp ve Hn'i artırarak,
- Gerilim veya akıma bağlı olarak tranzistorlerden herhangi birinin a'sını artırarak.

Birçok silisyum transistorlarda, düşük yayıcı akımında küçük olan alfa, silisyum içindeki ösel katkı maddeleri sayesinde, yayıcı akımı artıktıkça çok çabuk yükselir. Böylece, herhangi bir transistorda yayıcı akım artması DSD'yi ilettime sokmaya yeterli olur. Yayıcı akımının başlıca artma nedenleri şunlardır:

2.2.1 Gerilim

Bir transistorde toplayıcı-yayıcı gerilimi arttıkça sızdırım akımı da artmış olur. Artık eklem (junction) bölgesine varan taşıyıcıların enerjisi: yeni taşıyıcılar oluşturacak düzeydedir. Bu, eklem bölgesindeki dengeyi bozarak toplayıcı akımında ani bir artmaya sebep olur. Herhangi bir transistor için bu durum Şekil 7'de gösterilmiştir.

Böylece pnpn yapıda anot-katot geriliminin büyük değerleri yapıyı ilettime sokar. Bu yöntem, 4'ü yapıdaki diyotların iletimi için kullanılır. DSD'de istenmeyen olay olan gerilim etkisi aşağıdaki önlemlerle giderilir.

a. Eğri Yüzeyler :

Eğri yüzeyler sayesinde yüzeyi etkileyen elektrik alanının etkisi azaltılarak yüksek gerilimlerde çalışma sağlanır.

b. BQ taban kalınlığını artırmak :

BQ taban kalınlığı veya tabanın direnci artırılarak anot-katot geriliminin yalnız başına DSD'yi ilettime sokmasına engel olunur (Şekil 8). Bu işlem aynı zamanda iletimdeki DSD üzerine düşen gerilimi artıracığından, akmasına izin ver-

ilen en yüksek akım değerini azaltır. Yine izin verilen di/dt düşer, kesime dönüş süresi (turn-off time), söz konusu tabanda biriken yükler artacağından, artar ve sonuç olarak yüksek frekanslarda çalışma yapılamaz,

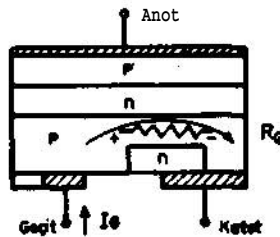
c. Bn içindeki azınlık taşıyıcıların yaşama sürelerini artırmak :

Bu yöntem diğerleri içinde en fazla hüner gerektirenidir. Azınlık taşıyıcıların yaşam süresi uzatılarak ısıl olarak oluşan IcBO sızdırım akımı düzeyi azaltılır. IcBO, azalacağından pozitif geribeslemenin oluşması zorlaşır ve yüksek değerlerde anot-katot gerilimleri DSD üzerinde etkisiz kalır. Azınlık taşıyıcılarının yaşama zamanlarını artırmamanın bir başka yararı da iletim halinde DSD üzerinde düşen gerilimin küçülmesi ve yüksek di/dt (akım eğimlerine) müsaade edilmesidir. Bu yöntemin bütün faydalarına rağmen, kesime dönüş süresi (turn-off time) arttığından yüksek frekans çalışmaları yapılamaz.

2.2.2 Gerilimin Değişim Değeri : dv/dt

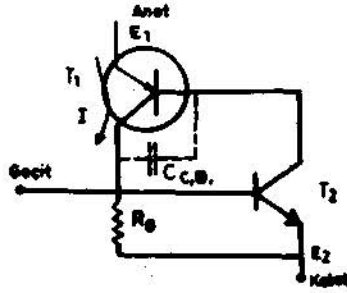
Her pn eklemının bir sığası vardır. Eklem bölgesi genişledikçe, sığa değeri de artar. Şekil 6'da herhangi bir pnp transistor için toplayıcı taban eklemının oluşturduğu sığa C_{QJ} ile gösterilmiştir. Şekil 6'daki tranzistorun toplayıcısı ile yayıcısı arasına ani bir basamak (step) gerilim uygulanırsa yayıcı-toplayıcı doğrultusunda akacak olan yüklem (şarj) akımı Cç% sığacını yükler. Şimdi Şekil 5'e dönersek, ani olarak anot-katot arasına uygulanan bir basamak gerilim, T1 pnp tranzistorundan Cç'g. sığacını yüklemek için belli bir akım akıtacaktır. Bu akım T2 transistoru için taban akımı I_{J2} yerine geçer, yani T2, dolayısı ile DSD ilettime geçer. Başka bir deyişle I_{J2}'nin artması "G" yi 1'e götürür.

DSD'lerin kullanılışlarında genel olarak büyük gerilim değişmelerine dayanmaları, yani yüksek dv/dt ye sahip olmaları istenir. Bunun için özel olarak imal edilmiş "yayıcısı kısa devre" DSD'ler kullanılır. Şekil 9'dan görüleceği gibi belli bir I_g geçit imi katoda pn eklemi yerine p maddesi içinden geçerek gitmeyi tercih eder. Burada I_g akımı karşısına çıkan tek engel, p'nin yapısından gelen RG direncidir. iç akımının veya "G geçit katot geriliminin p kanalının daralmasına, yani n'den p'ye çoğunluk taşıyıcıları olan elektronların geçmesine neden olabilmesi için, yeterli büyüklükte olması gerekir. "Yayıcısı kısa devre" DSD'nin tranzistorlu modeli Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'dan açıkça anlaşılacağı gibi anot-katot arasına uygulanan bir basamak gerilim T₁ den Cç'g. in yüklem akımı olan I_J'yi akıtır ama "Yayıcısı kısa devre" yapı-



Şekil 9. Yayıcısı kısa devre DSD'nin yapısı

Şekil 10.
Yayıncısı
kısa devre
DSD'nin
tranzistorlu
eşdeğer
devresi



da RQ direnci Cc.fii i şöntlemektedir. Sonuç olarak RG sayesinde düşük anot-katot gerilim değişimleri pozitif geribeslemenin başlamasında etkisiz kalır. R^'nin bir başka yararı da ısı etkisi ile oluşan kaçak akımlarını sınırlayarak yüksek ısı özelliğini DSD'ye kazandırmalıdır.

2.2.3 Isıt

Ters kutuplaşmış yani kesimdeki bir DSD'de sızdırım akımı, eklem ısısının her 8°C'lik artışı için yaklaşık olarak iki katı artar. Sızdırım akımının belirli bir düzeye ulaşması ise çevrim kazancı G'yi 1'e yaklaştıracığından DSD'nin iletme girmesine neden olur.

DSD'ler kullanılırken özel soğutma sistemleri yapılarak ısı etkisi azaltılır. DSD'lerde ısı ve dağılımı Bzel bir öneme sahip olduğundan ayrı bir yazı dizisi olarak ele alınacaktır.

2.2.4 Normal Yol ya da Transistor Olayı :

"G" yi 1'e yaklaştıracak normal yol daha önce de anlatılan geçit imini yollama yoludur. DSD'lerde bilindiği gibi p tabanı geçit olarak seçilir, ama başka türden tiristorlarda. işlevlerin gereksinmelerine göre, n tabanı veya her ikisi de geçit; olarak seçilebilir. Örneğin tümleyici DSD'lerde geçit olarak n tabanı seçilir.

3. İSTENEN ÖZELLİKLER

Bugün DSD'li devreler -Üzerinde çalışan mühendisler aşağıdaki özelliklerden bir veya bir kaçını yapacakları devrenin nitelik ve niceliklerine bağlı olarak yapımı firmadan istemektedirler. Unutmamak gerekir ki, bugün için, istenen özelliklerden bir veya bir kaçını elde etmek diğerlerinden vazgeçmekle mümkün olabilmektedir. İstene özelliklerden belli başlıları şunlardır:

- Büyük tıkama gerilimleri
- Büyük dv/dt ler
- Büyük akım taşıma özellikleri
- Büyük di/dt ler
- Kısa kesime dönüş süresi (turn-off time)
- Ufak imlerle çalışma
- Yüksek frekanslarda çalışma

Bunların ilk ikisinden daha önce söz etmiştik. * Şimdi öbürlerinden bahsedelim.

3.1 Büyük Akım Taşıma Özellikleri :

Bu en fazla istenen özelliklerden biridir. Ama unutmamak gerekir ki iletim durumunda bir DSD üzerinde düşen gerilim, gelecek akımı sınırlar. Bu nedenle büyük akım taşıma özelliği istenen

DSD'lerde geniş taban, dar B_n taban kalınlığı, uzun taşıyıcı ömrü ve düşük silisyum direnci elde edilmesine çalışılır.

3.2 Büyük di/dt'ler :

DSD'ler iletme geçerken daha başlangıçta bütün yarıiletken yüzeyi iletme katılamaz. Ufak bir yüzeyden geçen büyük akım değerleri eklem ısısının akım geçen bölge için «aniden artmasına ve eklem yanarak tahrip olmasına yol açar. Demek ki büyük di/dt'lere dayanmak için başlangıçta mümkün olan en büyük yüzeyin iletme katılmasını sağlamak gerekir.

3.3 Kısa Kesime Dönüş Süresi :

DSD'yi iletme sokabilmek için DSD'ye uygulanan iletim yönünde gerilimin belli bir değeri geçmesi gerekir. Başka bir deyişle, geçit imi uygulanan bir DSD'de anot-katot gerilimi belli bir değer altında ise iletim olmaz.. Bu gerilimi V_n ile gösterelim. Geçit imi varken iletimin başlayabilmesi için anot-katot geriliminin Vg'yi biraz geçmesi yeterlidir. Tersine olarak iletimde bulunan bir DSD'de anot-katot gerilimi Vg değerine düşerse iletim durur. Yalnız iletimin durması için belli bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Bunun nedeni iletim sürecinde B_n tabanı içinde depolanmış azınlık taşıyıcılarıdır. Kısa kesime dönüş süresi demek azınlık taşıyıcıların birleşmelerle sıfıra düşmesi demektir. Birleşme olayının ifadesi

$$-\frac{dP_n}{dt} = \frac{P_n}{T_p} \text{ dir.}$$

Burada P_n azınlık taşıyıcılarıdır (DSD için delikler); T_p ise B_n tabanı içindeki deliklerin yaşama süresidir. Yukardaki eşitliği yeniden ifade edersek, B_n tabanı içindeki azınlık taşıyıcıların yeniden-birleşme hızı, azınlık taşıyıcı sayısının yaşama süresine bölümüdür. Yeniden birleşme hızını artırmak ancak T_p yaşama süresini küçültmekle yapılabilir. Bunun için yapının saflığı bozulur, içine özel olarak altın katkıları (doping).

Genellikle yüksek frekans çalışmaları kısa kesime dönüş süresi ister. Ama unutulmamalıdır ki, daha önce anlatıldığı gibi, kesime dönüş süresini azaltmak akım ve gerilim değerlerinin düşmesine yol açar.

3.4 Ufak İmlerde Çalışma :

DSD'lerin mümkün olan en ufak genlikli geçit imleri ile sürülmeleri istenir. Bu, çok yüksek güçlerin çok düşük güçlerle denetlenmesi anlamına gelir.

3.5 Yüksek Frekanslarda Çalışma :

Özellikle eviricilerde (inverter) önem taşıyan bir konudur. Çalışma frekansının artması DSD'lere daha geniş kullanım alanları kazandırır.

4. DSD'LERLE İLGİLİ TANIMLAR VE ÖZEGRİLER

Şimdiye kadar DSD'nin çalışmasını ve ondan istenen en önemli özellikleri anlatmaya çalıştık.

Bundan sonra DSD'nin ölçülebilinen bazı değerlerini tanımlamak, bu tanımlara ilişkin sembelleri vermek ve DSD özeğrisinden (karakteristik eğri) söz etmek istiyoruz.

4.1 Tanımlat :

1. üst dönüm noktası (Breakover point) : üst dönüm noktası, gerilim-akım özeğrisi üzerinde gerilimin en büyük değeri aldığı noktadır. Bu noktada direncin türev ifadesi sıfır olur.
2. İletim-durumu (On-state) : Gerilim-akım özeğrisinin sağ üst (anahtar gibi çalışabilme) bölgesindeki "düşük direnç-düşük gerilim" alt bölgesini sağlayan DSD'ye ilişkin koşuldur, İletim-durumundaki bir DSD'de iç direnç çok küçük tür ve dolayısıyla DSD'nin uçları arasında görülen gerilimin değeri de küçük olur.
3. Kesim-durumu (Off-state) : Gerilim-akım özeğrisinin sağ üst (anahtar gibi çalışabilme) bölgesinde başlangıçla üst dönüm noktası arasındaki "yüksek direnç-düşük akım" alt bölgesini sağlayan DSD'ye ilişkin koşuldur. Kesim durumundaki bir DSD'de anot katoda göre pozitif olacak şekilde bir gerilim uygulanır ama kapısına im yollanmazsa DSD'den çok ufak akım akar (sızırdım akımı), bu durumda DSD'nin iç direnci çok büyüktür.
4. Negatif direnç bölgesi (Negative differential resistance region) : Gerilim-akım özeğrisinin sağ üst (anahtar gibi çalışabilme) bölgesinde, direncin türev ifadesinin negatif olduğu veya başka bir deyişle eğimin negatif olduğu bölgedir.
5. Kesim-durumu gerilimi (Off-state voltage) : DSD'nin kesim-durumundaki gerilimidir.
6. Kesim-durumu gerilimine dayanma tepe değeri (Working peak off-state voltage) : Bütün tekrar eden-etmeyen geçici rejim olayları dışında, kesim durumunda DSD üzerinde düşen gerilimin en büyük ani değeridir.
7. Kesim-durum geriliminin tekrarlı tepe değeri (Repetitive peak off-state voltage) : Bütün tekrar eden geçici rejim olaylarını içeren, tekrar etmeyen geçici rejim olaylarını dışında tutan, kesim-durumunda DSD üzerinde düşen gerilimin en büyük ani değeridir.
8. Kesim-durum geriliminin tekrar etmeyen herhangi bir tepe değeri (Non-repetitive peak off-state voltage) : DSD üzerinde düşen kesim-durumu geriliminin herhangi bir tekrar etmeyen geçici olayının en büyük ani değeridir.
9. Kesim-durumu gerilim değişimi dönüşül hızı (Critical rate of rise of off-state voltage) : DSD'nin uçları arasındaki gerilimin değişmesi halinde, öyle bir eğim değeri vardır ki bu değere varıldığında DSD ilettime geçer, tşte DSD'yi ilettime sokabilecek böyle bir en düşük değişim hızına "kesim-durumu gerilim değişimi dönüşül hızı" denir.
10. üst dönüm gerilimi (Breakover voltage) : üst dönüm noktasındaki gerilimin değeridir.
11. İletim-durumu gerilimi (On-state voltage) : İletim durumunda DSD'nin uçlarındaki gerilimin değeridir.
12. En küçük iletim-durum gerilimi (Minimum on-state voltage) : Geçit açık devre iken türevsel direncin sıfır olduğu en küçük pozitif gerilimdir.

13. İletim-durumu akımı (On-state current) : İletim durumunda DSD'den akan akımdır.
14. İletim yönlü akım (Forward current) : Pozitif anot-katot gerilimi için akan akımdır.
15. İletim-durumu akımı tekrarlı tepe değeri (Peak repetitive on-state voltage) : Geçici rejimlere ait tekrar eden bütün akımları içeren iletim akımının tepe değeridir.
16. İletim durumu çıkış akımı (Surge on-state current) : Özel dalga biçimli ve kısa süreli bir iletim akımıdır.
17. İletim-durumu akımı değişiminin dönüşül hızı (Critical rate of rise of on-state current) : DSD'ye zararı dokunmayan iletim akım değişiminin en büyük değeridir.
18. Kesim-durum akımı (Off-state current) : Kesim durumunda DSD'den akan akımdır.
19. Üst dönüm akımı (Breakover current) : Üst dönüm noktasında DSD'den akan akımdır.
20. Tutma akımı (Holding current) : DSD'yi iletimde tutmak için gerekli en küçük akım değeridir. DSD, bir kere ilettime geçtikten sonra ancak akan akım, tutma akımı değerinin altına düşürülerek iletimden çıkarılabilir.
21. Kilitleme akımı (Latching current) : Ateşleme imi kalktıktan ve kesimden ilettime geçtikten hemen sonra DSD'yi iletim-durumunda tutmak için gereken akımın en küçük değeridir. Geçit imi kalktıktan sonra DSD'den yeterli bir akım akıyorsa DSD tekrar kesime döner. Bu nedenle DSD'yi iletimde tutmak için gerekli en küçük bir akım değeri vardır, bu akım kilitleme akımı adını alır.
22. Ters gerilim (Reverse voltage) : Negatif anot-katot gerilimidir.
23. Ters gerilime dayanma tepe değeri (Working peak reverse voltage) : Bütün tekrar eden-etmeyen geçici rejim olayları dışında, DSD'ye uygulanan ters gerilimin en büyük ani değeridir.
24. Ters gerilimin tekrarlı tepe değeri (Repetitive peak reverse voltage) : Bütün tekrar eden geçici rejim olaylarını içeren, tekrar etmeyen geçici rejim olaylarını dışında tutan, DSD'ye uygulanan ters gerilimin en büyük ani değeridir.
25. Ters gerilimin tekrar etmeyen herhangi bir tepe değeri (Non-repetitive peak reverse voltage) : DSD'ye uygulanan ters gerilimin herhangi bir tekrar etmeyen geçici olayının en büyük ani değeridir.
26. Ters akım (reverse current) : Negatif anot-katot gerilimi için akan akımdır.
27. Ters kılınım akımı (reverse breakdown current) : Ters kılınım geriliminde akan akımdır.
28. Geçit gerilimi (gate voltage) : DSD'de geçit ile katot arasında uygulanan gerilimdir. Bu gerilimde dayanak olarak katot seçilir.
29. Geçit akımı (gate current) : Geçit gerilimi uygulandığında akan akımdır. Bu akımın pozitif olması genel tanıma uygun olarak geçitten içeri girdiğini, negatif olması geçitten dışarı çıktığını gösterir.
30. Ateşleme gerilimi (gate trigger voltage) : Ateşleme akımını oluşturacak genlikteki geçit gerilimidir.
31. Ateşleme yapmayan geçit gerilimi (gate non-trigger voltage) : DSD'yi kesim-durumundan ilet-

tim-durumuna geçiremeyen en büyük geçit gerilimidir.

32. Ateşleme akımı (gate trigger current) : DSD'yi kesim-durumundan iletim-durumuna geçirebilen en küçük geçit akımıdır.

33. Ateşleme yapmayan geçit akımı (gate non-trigger current) : DSD'yi kesim-durumundan iletim-durumuna geçiremeyen en büyük geçit akımıdır.

34. Isıl direnç (thermal resistance) : Isıl denge koşulunda, belirli iki nokta arasındaki ısı farkının kaybolan güce oranıdır.

35. Geçici ısı empedansı (Transient thermal impedance) : Belli bir zaman aralığında DSD'de basamak şeklinde bir güç harcadığını düşünelim. Bu güç kaybına neden olan etmen, aynı süre içinde belirli iki nokta arasındaki ısı değişimi yapar. Geçici ısı empedansı diye, belirli bir süre sonunda, belirli iki nokta arasındaki ısı farkı değişiminin, sürenin başlangıcındaki güç harcaması basamak işlevine bölünmesine denir.

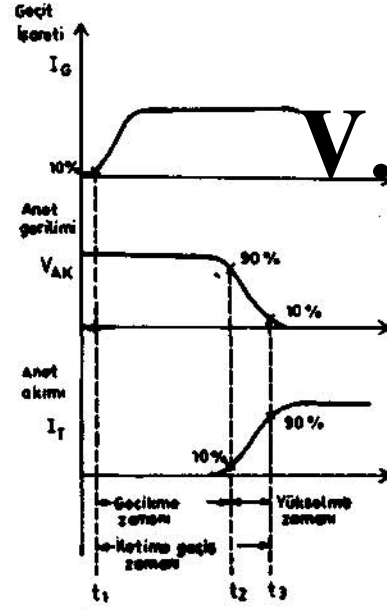
36. Geçit denetimli iletime geçiş süresi (Gate controlled turn-on time) : Buna kısaca iletime geçiş süresi de diyebiliriz*. Geçit imi DSD'nin geçiti ile katodu arasına uygulandıktan bir süre sonra anot-katot akımı alabileceği en büyük değeri alır. Şekil 11'de geçit imi, anot-katot gerilimi ve anot-katot akımı çizilmiştir. Geçit imi uygulandıktan sonra, geçit iminin, en büyük değerinin Z 10'unu alması için gerekli t_1 zamanı ile, anot-katot akımının alabileceği en büyük değer Z 90'ını alması için geçen t_3 zamanı arasındaki farka iletime geçiş süresi denir.

İletime geçiş süresi = $t_j - t_j$

37. Geçit denetimli gecikme süresi (Gate controlled delay time) : Geçit imi DSD'ye uygulanır uygulanmaz DSD hemen iletime geçmez, bir süre sonra anot-katot akımı, sızdırım akımı değerinden yükselmeye başlar. Şekil 11'de t_j anında DSD'ye uygulanan geçit iminin Z 10 ile t_2 anında yükselmeye başlayan anot-katot akımının Z 10'u gösterilmiştir. Geçit imi uygulandıktan sonra, «n büyük değerinin Z 10'unu alması için gerekli t_j zamanı ile, anot akımının hemen akmaya başladığı ve sürekli rejim değerinin Z 10'una vardığı t_2 zamanı arasındaki zaman farkına "gecikme süresi" denir.

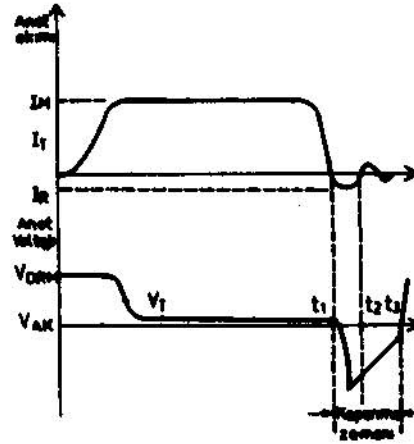
38. Geçit denetimli yükselme zamanı (Gate controlled rise time) : Kısaca "yükselme süresi" denir. Bir DSD kesim-durumundan iletim-durumuna geçit imi uygulanarak geçirilirken, DSD'den iletim yönünde akan akım kesim-durumunda akan sızdırım akımına çok yakın bir değerden alabileceği en büyük değere çıkar. Şekil 11'de iletim akımı akmaya başladıktan sonra, sürekli rejim değerinin Z 10'una varması için gerekli zaman t_2 ile ve sürekli rejim değerinin Z 90'ı t_3 ile gösterilmiştir. t_2 ile t_3 arasındaki zaman farkına "yükselme süresi" denir. Bu süre, eğer yük yalnız direnç (omik) ise iletim-durum akımının yükselme süresine eşit olur.

39. Değişimde kesime geçiş süresi (Circuit-commutated turn-off time) : Kısaca "kesime dönüş süresi" denir. DSD iletimde iken, anodu ile katodu arasına uygulanan gerilimin yönü değişince iletimden çıkar. Şekil 12'de t_i anında anot-katot gerilimi yön değiştirmiş ve anot-katot akımı sı-



Şekil 11. Geçit imi, anot akımı, anot gerilimi alt alta gecikme süresi, iletime geçiş süresi ve yükselme süresini göstermek açısından çizilmiştir.

Gecikme süresi $t^* - t_2$
İletime geçiş süresi $t_1 - t_2$
Yükselme süresi $t_3 - t_2$



Şekil 12. t_i -tkapanma -süresini göstermek için anot akımı ve anot gerilimi alt alta çizilmiştir, t_i anında iletimden sonra anot akımı ilk defa sıfır olur, t_i anında akımın geçici rejiminde birinci yarım dalga tamamlanmıştır, t_k anında akımdaki geçici olayın bittiği veya anot geriliminin sıfır olduğu zamandır.

fır olmuştur. Anot-katot akımı bir kere sıfır olduktan sonra yeniden DSD üzerindeki gerilimin yönü değişene kadar yani t_j , anına kadar geçen süreye "kesime geçiş süresi" denir.

Kesime geçiş süresi = $t_3 - t_1$

40. I kare t (I^2t) : I^2t çok kısa süreli, darbe şeklinde, iletim yönü aşırı akımlara DSD'nin dayanabilme özelliğidir. Sigorta seçimi için gereken ölçü olan I^2t de birimler I için RMS (Effektif) amper, t için saniye olarak alınır.

41. Kurgu (montaj) kuvveti : Dar tip (Press pak) DSD'ler için mekanik bir zarara neden olmaksızın en ufak ısıl ve elektriksel empedans oluşturacak basınçtaki, soğutucu ile DSD'nin birleştirilmesi için gerekli kuvvete kurgu kuvveti denir. Burada dikkat edilecek nokta, aynı dış mekanik ölçüleri olan yapıların aynı kurgu kuvveti ile soğutucuya yerleştirildikleridir. Bu kuvvet genellikle bir bölge olarak verilir, örneğin Westinghouse yapısı T 62 DSD'ler için kurgu kuvveti 1100 ile 1300 Lb arasındadır.

42. Vidalama momenti (Stud torque) : Vidalı DSD'ler için verilen mekanik bir zarara neden olmaksızın en ufak ısıl ve elektriksel empedans oluşturacak basınçtaki, soğutucu ile DSD'nin birleştirilmesi için gerekli momente vidalama momenti denir.

DSD'lere ait en önemli tanımları verdik. Şimdi bu tanımlara ilişkin simgeleri tanıtmaya çalışalım. Verilecek olan tanımlardaki DA (doğru akım) değeri alternatif bileşeni içeren değerdir.

İletim-durum akına RMS (etkin) değeri	$I_T(RMS)$
İletim durumu akımı DA değeri	$I_T(AV)$
İletim durumu akımı tepe değeri	I_{TM}
İletim durumu akımı tekrarlı tepe değeri	I_{TRM}
İletim durumu çığ akımı	I_{TSM}
Ost dönüm akımı ani değeri	$I_{(B0)}$
Kesim durumu akımı RMS değeri	$*D(RMS)$
Kesim durumu akımı DA değeri	$I_D(AV)$
Kesim durumu akımı tepe değeri	I_{DM}
Kesim durumu akımı tekrarlı tepe değeri	I_{DRM}
Ters akım RMS değeri	$I_R(RMS)$
Ters akım DA değeri	$*R(AV)$
Ters akım tepe değeri	I_{RM}
Ters akım tekrarlı tepe değeri	I_{RRM}
Ters kınılım akımı ani değeri	$I_{(BR)R}$
İletim durumu gerilimi RMS değeri	$V_T(RMS)$
İletim durumu gerilimi DA değeri	$V_T(AV)$
İletim durumu gerilimi tepe değeri	V_{TM}
Kesim durumu gerilimi RMS değeri	$V_D(RMS)$
Kesim durumu gerilimi DA değeri	$V_D(AV)$
Kesim durumu gerilimi tepe değeri	V_{DR}
En küçük iletim durumu gerilimi	$V_T(MIN)$
(İçinde alternatif bileşen yok)	

Kesim durumu dayanma tepe gerilimi	V_{DWM}
Kesim durumu gerilimi tekrarlı tepe değeri	V_{DRM}
Kesim durumu gerilimi tekrar etmeyen herhangi bir tepe değeri	V_{DSM}
Ters gerilim RMS değeri	$V_R(RMS)$
Ters gerilim DA değeri	$V_R(AV)$
Ters gerilim tepe değeri	V_{RM}
Ters gerilim dayanma tepe değeri	V_{RWM}
Ters gerilim tekrarlı tepe değeri	V_{RRM}
Ters gerilimin tekrar etmeyen herhangi bir tepe değeri	V_{RSM}
Tutma akımı ani değeri	I_H
Kilitleme akımı ani değeri	I_L
Geçit akımı DA değeri	$I_G(AV)$
Geçit akımı tepe değeri	I_G
Ateşleme akımı DA değeri	I_{GT} (içinde alternatif bileşen yok)
Ateşleme akımı tepe değeri	I_{GIM} ya da I_{GFM}
Ateşleme yapamayan geçit akımı	$*GDM$
Geçit gerilimi DA değeri	$V_G(AV)$
Geçit gerilimi tepe değeri	V_G
Geçit gerilimi ters tepe değeri	V_{GRM}
Ateşleme gerilimi DA değeri	V_{GT} (içinde alternatif bileşen yok)
Ateşleme gerilimi tepe değeri	V_{GTM} ya da V_{GFM}
Geçit güç harcaması DA değeri	$P_{G(AV)}$ ya da $P_{GFM(AV)}$
Geçit güç harcaması tepe değeri	P_G ya da P_{GFM}
Ortam ısısı	T_A
Koruyucu ısısı (Case temperature)	T_C
Eklem ısısı	T_J
Isıl direnç	R_{θ}
Gecikme süresi	t_d
Yükselme süresi	t_r
Değişimde kesime geçiş süresi	t_q

Yukarda anlattığımız DSD'ye ilişkin önemli tanım ve simgelerin yapımcı firma kataloglarından verilecek örneklerle gözlerde şekillendirmeye çalışalım. Daha sonra DSD ırasallıklarından (karakteristik) söz ederken tanım ve simgeler iyice belirlenecek ve canlılık kazanacaktır.

Bu verilen üç örnekte bazı simgelerin ve tanımların ilk verdiğimiz simge ve tanımlardan az farklı olduğu görülecektir. Bunun nedeni yapımcı firmaların kendi aralarında bir söz birliğine varamamış olmalarıdır. Biz bu örnekleri verirken Türkçelerinde ilk tanımlarımıza bağlı kalmaya dikkat ettik, ama İngilizcelerinde yapımcı firmaların kataloglarındaki deyimlerin aynılarını

kullandık. Burada dikkati çekecek en önemli nokta bası firmaların "on-state" anlamında "forvard" sözcüğünü yeğlemeleridir. Dolayısıyla "forvard" kelimesi kullanılınca simgelerde de küçük değişiklikler olmaktadır, örneğin

Repetitive peak on-state current I_{TRM}
 Repetitive peak forvard current I_{FRM} gibi.

Genellikle "forvard" kullanan firmalar simgelerinde F, "on-state" kullananlar ise T harfini yeğ tutmaktadırlar.

4.2 DSD Özdeşleri :

giadi de DSD'nin Szeğrilerini inceleyelim. Bu Bceğrilerin en önemli akım-geçilim özdeşrisidir ve DSD'yi daha iyi anlamamıza yardım edecektir.

Şekil 13'de DSD'nin çıkış özdeşrisi yani anot akımı ile anot-katot gerilimi arasında çizilen

ÖRNEK 1. Motorola yapımı MCR 158 ve MCR 159 denetlenebilir silisyum doşrultucular

En büyük değerler (maximum ratings)			
Bilgi/Ülküler	Şilge	Değer	Birisi
Kesim-dunm gerilimi tekrarlı tepe değeri (Repetitive peak off-state voltage) ($T_c = +125^\circ\text{C}$)	V_{BO}	500 600 700	Volt
	V_{RRM}	35	
		1000 1100 1200	
Ters gerilim (MCR 158, MCR 159)	V_{RR}	600 720 840 960 1080 1200 1300 1400	Volt
Ters gerilim tekrar etmeyen herhangi bir tepe değeri (Non-repetitive peak reverse block voltage) (t = 5,0 ms)	V_{RR}	100 110 120	
İletim-dunm akımı DA değeri (Average forward current) ($T_c = 65^\circ\text{C}$, 180° iletim açılı)	$I_T(AV)$	70	Am?
İletim-durun çıkış akımı tepe değeri (Peak surge current) (60 Hz için)	I_{SM}	1600	Amp.
I kare t (t ₁ = -40 dan +120 ye kadar) t = 0,3 ms	IH	5200 10500	Avs
Ged t güç harcaması tepe değeri (Peak gate power)	$P_{G(t)}$	15	Watt
Geçit güç harcaması ortalama değeri (Average gate power)	$P_{G(AV)}$	3	Watt
İletim yönlü geçit akımı tepe değeri (Peak forward gate current)	I_{GM}	4	~AmpT
Geçit gerilimi ters tepe değeri	V_{GSM}	5	Volt
Ekleme ısı çalışma bölgesi (Operating junction temperature range)	T_J	-40... +125	~°C
Depolama ısı değişimi (Storage temperature range)	T_{ST}	-40... +150	°C
Vidalama moment		150 175	1n.lb Kg-en
İletim-dunm akımı dönüşü değişim hızı (Critical rate of rise of on-state current during turn-on interval)	dI/dt	800	Am?/ys
• 10 KHz sinüs dalga çalışması • 5 KHz kare dalga çalışması • Kesim-dunm gerilimi dönüşü değişim hızı	dv/dt	200	V/ys

özegri görülüyor. Bu eğri başlıca iki bölgeye ayrılır: "Kesim bölgesi" ve "İletim bölgesi".

İletim bölgesini incelersek, geçit imi yokken yani $I_c=0$ iken anot-katot gerilimi artırılırsa, anot akımında bir artma görülmez. Anot-katot gerilimi daha da artırılırsa üst dönüm noktasına varılır, üst dönüm noktasında $I_c=f(V_c)$ eğrisinin eğimi işaret değiştirir. Başka bir deyişle üst dönüm noktasından sonra akım arttıkça anot-katot gerilimi düşer. Herhangi bir şekilde, geçit imi uygulanmadan anot-katot gerilimi artırılabilirse, üst dönüm noktasından sonra iletimin başladığı görülür. Ama aslında iletimden söz edebilmek için akımın kilitleme akımının I_g değerini geçmesi gerekir. Kilitleme akımı özegrinde I_{fj} ile gösterilen tutma akımından biraz daha büyük değerdedir. Tutma akımı değerine vardığında, anot-katot gerilimi de üst dönüm noktası geriliminden V_{J1} değerine düşer. Tutma akım değeri çok önemlidir, çünkü iletimde olan bir DSD ancak

ÖRNEK 2. General Electric yapımı C180 denetlenebilir silisyum doşrultucu

V_{DRM}	500-1300
$I_T(RMS)$	235
$T(AV)$	150 (88°C)
I_{SM}	3500
I_T^2	50000
*1/dt	50-100
T_c	-40 dan +125°C ye kadar
dv/dt	200

ÖRNEK 3. VJestinghouse yapımı 71TX denetlenebilir silisyum doşrultucu

71TX	1	2	3	4	5	7	8	9	10	
V_{RRM} Ters gerilim tekrar etmeyen herhangi bir tepe değeri (Non-repetitive peak reverse voltage)	80	160	250	330	400	500	600	650	750	800
V_{RR} Ters gerilim tekrar etmeyen herhangi bir tepe değeri (Non-repetitive peak reverse voltage)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
V_{FSM} İletim yönlü gerilimin en büyük tepe değeri (Maximum mean forward current)	1500 V									
I_{FRM} İletim yönlü akımın en büyük DA değeri (Maximum mean forward current)	250 A									
I_{FRM} İletim-dunm akımının tekrarlı tepe değeri (Maximum repetitive peak forward current)	2500 A									
I_{FSM} İletim-dunm çıkış akımı, 50 Hz'de bir periyot için (Maximum surge forward current for 1 cycle at 50 Hz)	4600 A									
I_{TSM} 3 11a 10 ms arasında	106000 A's									
V_{GSM} Geçit gerilimi en büyük tepe değeri (Maximum peak forward gate voltage)	10 V									
I_{GSM} Geçit akım en büyük tepe değeri (Maximum peak forward gate current)	4 A									
V_{GRM} Geçit gerilimi ters tepe değeri (Maximum reverse gate voltage)	-5 V									
P_{GH} Ged t güç harcaması tepe değeri (Maximum peak gate power)	14 W									
$P_{G(AV)}$ Geçit güç harcaması DA değeri (Average mean gate power)	1 W									
T_{SD} Çalışma sıcaklığı (Operating base temperature)	-10 dan +125°C									

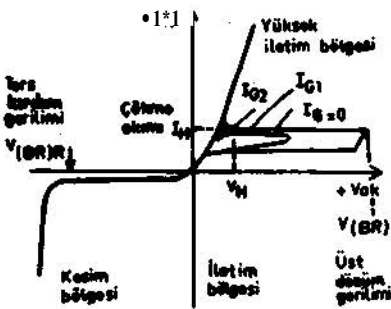
akan akım tutma akım değerine düşmüşse iletimden çıkar. Veya DSD'yi iletime sokmak için iletim akımını kesinlikle kilitleme akımı üzerine çıkarmak gerekir. Tutma akımından sonra yüksek iletim bölgesi başlar. Bu bölgede akım değerleri çok büyük olabilir. Ayrıca anot akımı arttıkça, anot-katot gerilimi de hafifçe artar.

Ozeğrinin (Şakil 13) incelenmesi şu gerçeği de açığa çıkarır: Geçit imi arttıkça üst dönüm noktası gerilimi ve tutma akımı değerce azalır. Yani geçit imi varsa çok daha düşük bir anot-katot gerilimi ile üst dönüm noktası atlanır. İletimde olan bir DSD'de geçit imi varsa, iletimden çıkması için en düşük iletim yönlü akım olan tutma akımı, geçit imi olmayan bir DSD'den daha küçüktür. Başka bir deyişle geçit imi olan bir DSD iletimden daha zor çıkar. Şakil 13'de I_{G2} geçit imi için DSD ozeğrisinin diyot ozeğrisine çok yaklaştığı görülmektedir. Gerçekten yeter genlikte bir geçit imi için DSD'yi diyot gibi düşünebiliriz. Şakil 13'deki ozeğrinin kesim bölgesi incelenirse şu noktalar dikkati çeker:

- Kesim bölgesinde ozeğri geçit imine bağlı değildir.
- Ters kınılım gerilimi geçilirse, DSD'den sınırlanamayan bir anot-katot ters akımı akar. Bu akım DSD'yi tahrip eder.

Sonuç olarak denilebilir ki DSD'lerde ters kınılım gerilimi seçimi çok önemlidir. Uygun seçilmeyen bir kınılım gerilimi DSD'yi tahrip eder. Genel olarak DSD'lerde ters kınılım gerilimi ve üst dönüm gerilimi mutlak değer olarak birbirine eşittirler.

Bir DSD'nin geçitinden ateşleme imini DA olarak verir ve bu imi yavaş yavaş artırır, başta verdiğimiz DSD'nin tranzistorlu modeline uygun olarak anot akımı geçit imi ile orantılı olarak artar. Şakil 13'de belirttiği gibi, pozitif

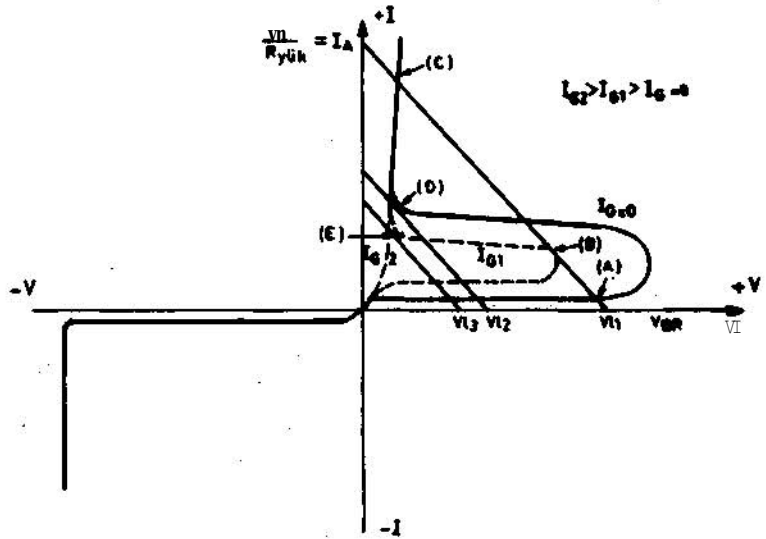


Şakil 13.
DSD'nin çıkış ozeğrisi veya anot-katot ozeğrisi. Bu ozeğri, çeşitli geçit imleri için çizilmiştir. Görüldüğü gibi, geçit imi arttıkça ozeğri, diyot ozeğrisine yaklaşmaktadır.

anot gerilimi varken, anot akımı $\frac{dv}{di}$ çarpan kat-sayısı akımı artmak zorunda bıraktığı noktaya kadar gerilimden bağımsızdır. Bu noktada DSD'nin küçük imlere gösterdiği empedans (dv/di) çabuk ama düzgün olarak pozitifden sifıra, sifırdan da negatife kayar, dv/di negatif olduktan sonra her akım artışı gerilim düşümünü beraberinde getirir, dv/di nin negatif olduğu negatif direnç bölgesi akımın doyduğu noktaya kadar sürer. Burdan sonra sifıra ve ordan da pozitive dönüşür.

Bir DSD'yi ateşleme, geçit imine bağlı olduğu kadar dış devrenin empedansına ve besleme gerilimine de bağlıdır. Ateşleme tekniğini gözde canlandırmak için Şakil 14'de yük eğrisi gösterilmiştir.

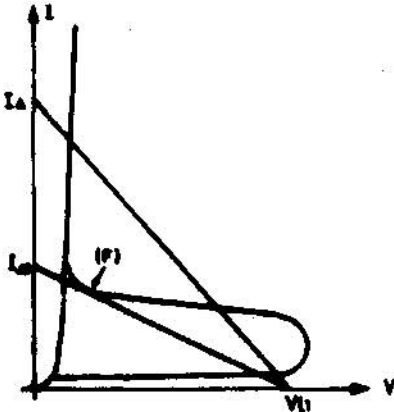
Şakil 14'de açık devre besleme gerilimi V^{\wedge} ile ve kısa devre yük akımı I^{\wedge} ile gösterilmiştir, tik olarak besleme geriliminin V_{1} olduğunu varsayalım. DSD kısa devre iken üzerinden dış devrenin belirlediği bir $I_{A^{\wedge}LI/YOK}^{akim}$ geçer. I^{\wedge} ile V_{1} noktaları birleştirilerek yük doğrusu elde edilir. Geçit imi yokken, ozeğri yük doğrusunu (A) noktasında keser. (A) noktası dengeli bir noktadır, akım akmaz. Geçit imi I_{G1} değerinde ise, ozeğri yük doğrusuna (B) noktasında teğet olur. (B) noktasında, negatif direncin değeri dış yük direncinin değerine eşittir. Böylece dengeli olmayan bir noktadan DSD denge noktası olan (C) noktasına geçer. DSD (C) noktasında iken geçit imi kaldırılırsa DSD (C) noktasında çalışmaya devam eder. Eğer V_u besleme gerilimi azaltılıp V_{T2} ye yaklaştırılırsa yük eğrisi kendine paralel olarak başlangıç noktasına yaklaşır, (C) noktası da merkeze doğru hareket etmeye başlar. Geçit imi olmadığına göre yük eğrisinin ozeğriye teğet olduğu (D) noktasında dengesiz bir koşulla karşılaşılır. Bu dengesiz noktadan DSD yüksek empedans hali olan kesim-durumuna geçer.



Şakil 14.
DSD'nin çıkış ozeğrisi ve yük doğrusu ile birlikte çizilmiştir

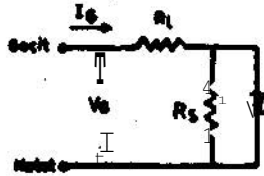
Ş*kl1 15.

rükün
değişimi
Um
DSD'nin
iletimden
çıkması



Ş*kl1 26.

«not
açık devre iken
fıçıt katot
mklmminin
mmOmğmr devresi



(D) noktasındaki akım, tutma akımıdır. Görüldüğü gibi tutma akımı yük doğrusunun eğimine bağlı olarak değişik noktalar olabilir.

Tuکاری incelememizde geçit imi sıfırdı. Şimdi, geçit imi I_0 değerini koruduğunu ama besleme geriliminin V_{J1} den sıfıra doğru yaklaştığını kabul edelim. V_{J1} sıfıra yaklaştıkça (C) noktası da Bseğri üzerinde başlangıç noktasına doğru hareket eder. V_{L1} \wedge 3 olduğunda (C) noktası da (E) olur. (E) noktasında I_0 's eğrisi ile yutç doğrusu teğettir. Bu durumdaki tutma akımı ilk ydeg«Tinden daha düşüktür. (E) dengesiz noktadan 'DSD kesim durumuna geçer. Besleme gerilimi başlangıçta $V^$ olsa idi I_{G1} geçit imi DSD'yi

iletine geçirmeye yetmezdi, v_{L1} besleme gerilimi için I_{G1} den daha büyük I_0 2 geçit akımı DSD'yi iletme geçirmek için gerektir. Özetlersek besleme gerilimi azaldıkça DSD'yi iletme sokmak için gereken ateşleme akına da artar. Buna karşın besleme gerilimi değişmez tutulur ve yükün defteri artırılırsa (Bak.Şekil 15) tutma akımı yine de düşer. Şekil 15'de V_{L1} besleme gerilimi değişmez tutulmuş ama yük direnci artırılarak kısa devre akımı I_A değerinden $I^$ 1 değerine düşürülmüştür, yük doğrusunun, eğimi değiştirilerek, yük doğrusunun geçit. akımı sıfırkenki öreğri için (F) noktasında Bzeğriye teğet olması sağlanmıştır.

(F) noktası dengesiz bir noktadır ve bu noktadaki tutma akımı (D) noktasındakinden daha düşüktür.

Şekil 14 ve 15'den görüldüğü gibi DSD'yi iletme sokmak için, belli bir besleme gerilimi ve belli bir yük koşulunda, belli bir geçit imi gereklidir. DSD'yi iletimden çıkarmak için ise ya besleme gerilimi düşürülerek yük doğrusu kendine koşut olarak Bzeğriye teğet olana kadar kaydırılır,

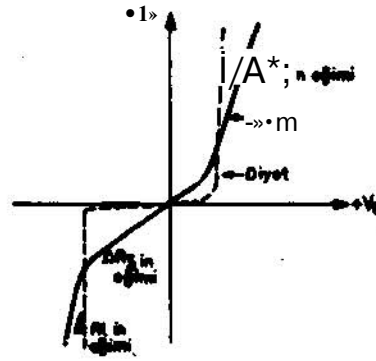
ya da yük direnci artırılıp iletim-durum akımı azaltılarak yük doğrusunun eğimi değiştirilerek yine tutma akım değerinde özeğriye teğet olması sağlanır.

DSD'nin iletim-durumuna geçişini daha iyi inceleyebilmek için geçit-katod ekleminden söz edelim. Şekil 16Ma alçak İrekansiar için, anot akımı akmaz ikenki (anot açık devre), eecit-katod eklemine basitleştirilmiş eşaeğer devresi verilmiştir.

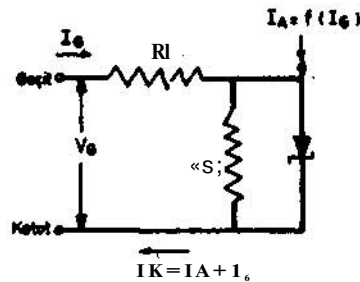
Şekil 16'daki R_L 'seri direnci geçit ucunun bağlandığı P maddesinin yanlara doğru olan direncini gösterir. R_L ve R_g değeri DSD'den DSD'ye değişir. Eşdeğer devredeki diyot bir zener ile gösterilmiştir. Çünkü DSD geçit katod eklemi 5 ila 20 voltluk ters bir zener gerilimi gösterir.

Şekil 17'de DSD'nin geçit katod özeğrisi ile normal bir diyot özeğrisi çizilmiştir. Burada görüldüğü gibi pozitif I_0 , pozitif V_0 bölgesinde eğim R_L tarafından belirlenir. Eşdeğer devreden görüldüğü gibi pozitif V_0 için diyot kısa devredir. Akım $R^$ tarafından sınırlanır. V_0 negatif iken belli bir gerilime kadar zener akım akıtmaz, bu durumda akım R_s şönt direnci tarafından belirlenir. Zener akım akıtmaya başladıktan sonra R_s direncini kısa devre olmuş kabul edebiliriz ve akımın değeri R_L seri direnci tarafından belirlenir. Daha önce de belirttiğimiz gibi eşdeğer devre ve özeğri, anot akımının sıfır değeri için geçerlidir.

Anot akımı akarken geçit katod eşdeğer devresi Şekil 18'deki gibi olur. Anot akımı ateşleme iminin işlevidir ve secit ekleminden akan akım-



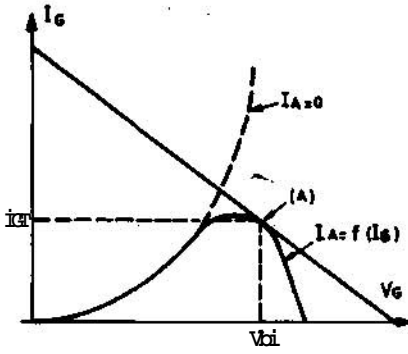
Şekil 17.
DSD'nin
VİOt
açık
levre
ikmki
giriş
Steğtisi



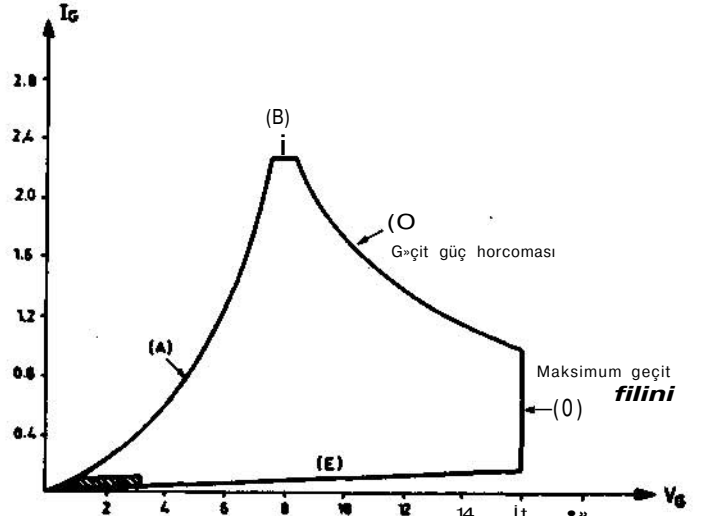
Şekil 18.
iUIOt
akımı
varken
geçit
katod
eklemine
eşdeğer
devresi

Şekil 19.

DSD'nin anot akımı varJtenJti giriş özeğrisi VB geçit besleme kaynağı yük doğrusu. (A) noktasında ateşleme olmuştur.



la, eklem üzerindeki gerilim, geçit imi yalnızkenkinden çok daha çabuk artar. Anot akımı varkenki Bzeğriyi Şekil 19'da çizelim. Anot akımı geçit akımının işlevidir, bu nedenle geçit geriliminin düşük değerleri için geçit özeğrisi anot akımı yokkenki özeğriyi izler. Anot akımı arttıkça, geçit katot arasında küçük imlere gösterilen empedans pozitiften sıfıra oradan da negative geçer. Başlangıçta geçit gerilimi anot akımı akıtamaz, düşük değerde geçit gerilimleri için belli bir geçit akımı akar. Ama anot akımı akmaya başladıktan sonra geçit katot eklemının kendisi kaynak rolü oynamaya başlar. Böylece toplam geçit akımı, yani dış kaynak nedeniyle akan negatif yönlü geçit akımları toplamı git-tikçe azalır. Bu şekil 19'daki özeğride I_e nin I_a=0 dan ayrılması şeklinde gösterilmiştir. Ateşleme olduktan sonra anot akımı pozitif geri beslemeyi yapabilecek büyüklüktedir. Artık geçit katot eklemi gerilimi anot-katot gerilimine çok yakın olan ve iç direnci R^a direncine eşit olan kaynak rolü oynar. Ateşlemeden sonra negatif geçit akına tamamen anot akımına yani anot katot devresindeki yükün durumuna bağlıdır. Bu nedenle Şekil 19'daki özeğride negatif direnç bölgesine ve giderek akımın sıfır olduğu noktaya (varırız. Bir daha tekrar edelim ki, bir dış kaynaktan verilen öyle bir geçit gerilimi değeri vardır ki, ateşlemeden sonra geçitten giren ve çıkan akımların cebirsel toplamı sıfır olur. Ateşleme olduktan ve akımların cebirsel toplamı sıfır bulduktan sonra özeğri Şekil 19'dakinden çok farklı bir durum alır. Bu yeni durumdan ilerde söz edilecektir. Şekil 19'da geçit gerilimini veren dış kaynağın yük doğrusu da çizilmiştir. Yük doğrusu olağan yöntemle, yani açık devre gerilimi ve kısa devre akımı imlenerek çizilir. Kaynağın yük doğrusu, özeğriyi belli bir noktada keser. Eğer bu kesim noktası özeğrinin anot akımı sıfırkenki kısmına rastlarsa, bellidir ki geçit gerilimi kesilince veya bu değerdeki bir geçit gerilimi için ateşleme de olmaz. Ateşlemenin olabilmesi için anot akımının başlamış olması gerekir, bu da ancak özeğrinin negatif direnç bölgesinde meydana gelebilir. Negatif empedans bölgesinde, yük doğrusunun özeğriye rastlaması ona ancak teğet olması ile mümkündür. Bu nedenle Şekil 19'da yük doğrusu özeğriye (A) noktasında teğet çizilmiştir. (A) noktasında, ateşleme geçit gerilimi ve akımı vardır. Sonuç olarak denilebilir ki, ateşleme olayı geçit akımına, geçit imini veren kaynağın empedansına, anot-katot devresindeki yüke bağlıdır.

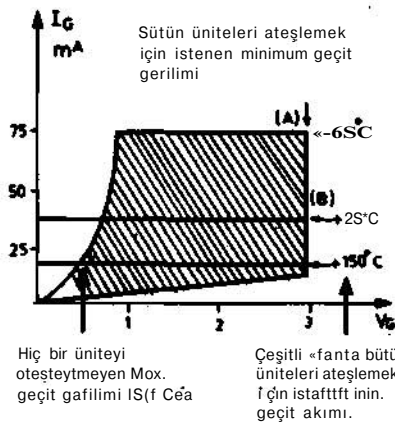


Şekil 20. Bu uygun ateşleme bölgesi. Ateşleme noktası bu bölge içindeki bir nokta olarak seçilir.

Şimdi de doğru akımla ateşleme elde edilmesi halini inceliyelim. DSD'nin DA geçit ateşlemesi Şekil 20'deki gibi verilir. Şekil 21 Şekil 20'deki karalı bölgenin büyük ölçekle çizilmiş halidir.

Şekil 20 ve 21'de geçit akımı geçit geriliminin işlevi olarak verilmiştir. Halbuki referans, kaynak kitaplarda ve yapımcı firma kataloglarında, geçit gerilimi geçit akımının işlevi olarak verilir. Bizim bu alışılmış yoldan ayrılma nedenimiz genel alışkanlıklara uymak yani lamba, transistor ve FET'lerdeki göz alışkanlığını sürdürmek içindir.

Şekil 20'de geçit akım ve gerilim özeğrisinin DA ateşleme koşulunda kullanılacak sınırları çizilmiştir. (A) eğrisi anot açık devre ikenki akım gerilim özeğrisidir. (B) eğrisi geçit katot eklemi tahrip olmadan geçirilebilecek en büyük kapı akım değeridir. (C) eğrisi en büyük geçit güç harcaması için verilmiş en büyük geçit eğrisidir.



Şekil 21. Şekil 20'deki taranmış bölgenin genişletilmiş durumu* Bu bölge içindeki noktalar çeşitli ateşleme olasılıklarını kapsarlar.

(D) eğrisi geçit katot eklemine dayanabileceği en büyük gerilimle olan sınırlamayı gösterir. Karalı bölge daha öncede dediğimiz gibi Şekil 21'de büyütülmüştür, bu bölge çeşitli çalışma koşullarında, örneğin çeşitli sıcaklıklarda, bütün ateşleme olasılıklarını kapsar. Şekil 21'de -65°C , $+250^{\circ}\text{C}$, $+1500^{\circ}\text{C}$ için bütün birimleri ateşleyebilecek en küçük geçit akımları verilmiştir. Bu örnek için $+150^{\circ}\text{C}$ 'da yaklaşık 20 BA geçit akımı istenmektedir. $+25^{\circ}\text{C}$ 'da istenen eecit akımı 35 mA ve -65°C 'da 75 mA'dır. Burada çeşitli sıcaklıklarda bütün birimleri ateşlemek için istenen en küçük geçit gerilimleri de verilmiştir. Yazdıklarımızı toparlamak için bir örnek verirek -65°C 'da sadece 75 mA akım akıtan ve 3V'luk geçit gerilimine sahip (A) noktası DSD'yi bütün birimleriyle ateşleyebilir. Ayrıca Şekil 21'de $+150^{\circ}\text{C}$ 'da hiç bir birimi ateşleyemeyen en büyük geçit gerilimi de verilmiştir. Yani bu gerilimden daha düşük herhangi bir geçit geriliminde ateşleme yapılamaz. Şekil 21'deki karalı bölge içinde kalan noktalar hangi ısı koşulunda ne kadar birimin (ünitenin) yani geçit katot eklemine ait yüklerin ne kadarının ateşlemeye katılacağını belirler, örnek verirek -65°C 'da (A) noktasında nasıl bütün birimler ateşlemeye katılıyorsa, (B) noktasında çok daha az birim ateşlemeye katılır.

Yukarda bütün yazdıklarımızın sonucu olarak diyebiliriz ki, bir DSD'yi emniyetle ateşlemek istiyorsak, Şekil 20'de (A), (B), (C), (D) ve (E) eğrileri ile sınırlanmış bölge içinde ama karalı bölge dışında kalmalıyız. Bu bölgeye "en uygun geçit ateşleme bölgesi" denir.

Şekil 19'da anlattığımız yük eğrisi ile DSD geçit eğrisi birbirlerine en uygun geçit ateşleme bölgesi içinde rastlamalıdır. Şekil 19'da (A) noktası ile belirlenen rastlama noktası Şekil 20'deki (C) en büyük güç harcaması eğrisine ne kadar yakın seçilirse en büyük çalışma noktasına o kadar yaklaşılmış olunur.

Ateşleme DA ile değil de belli bir darbe süresi bulunan darbelerle yapılıyorsa yük eğrisi merkezden başlayıp kendine koşut değişen bir hareket gösterir. Belli darbe süresinin üzerindeki darbeler için DA ateşleme kabul edilebilir. Kısa süreli darbeler için en büyük güç harcaması, en büyük geçit gerilimi, en büyük geçit akımı değerleri, yani Şekil 20'deki eğrinin sınırları değişir.

5. SONUÇ

DSD'yi genel olarak tanıtmak için hazırlanmış bu yazıya son vermeden önce, yazıdan çıkan sonuçları özet şeklinde vermek istiyoruz.

- 1- DSD akım iletebilmesi için anot, katota göre pozitif olmalıdır.
- 2- DSD'yi iletme geçirmenin normal yolu geçitinden pozitif bir ateşleme imi uygulamaktır.
- 3- Ateşleme akım ve gerilimi en uygun geçit ateşleme bölgesi içinde seçilmelidir.
- 4- tletimde olan bir DSD'yi kesim durumuna sokmak için anot-katot akımı, tutma akım değeri altına düşürülmelidir.

- 5- Anot katot arasına dalgalı bir gerilim uygulanmışsa iletimden çıkmak, negatif alternanslar için kendiliğinden olur.
- 6- Dış devre koşulları ile DSD'nin uygunluğu doğru seçilememişse dv/dt ve di/dt den dolayı da DSD iletme geçebilir.
- 7- DSD'nin geçici rejimlere ve aşırı akımlara karşı koruması özel akım-tuzağı (amp-trap) sigortalarla yapılmalıdır.
- 8- İletimdeki bir DSD'den akan akımın değerini yük belirler.
- 9- DSD'nin soğutulmasının ve eklem ısısının belli sınırlar arasında tutulmasının özel bir önemi vardır.
- 10- Bir DSD'de kesime dönüş zamanını kısaltmak için şunları yapabiliriz:
 - a) Eklem ısısı azaltılır.
 - b) Akan akımın şiddeti düşürülür.
 - c) di/dt azaltılır (akım azalırkenki di/dt)
 - d) Ters akım yüksek değerde tutulur.
 - e) Ters gerilimin değeri yüksek tutulur.
 - f) Ters olarak uygulanan dv/dt nin değeri küçük tutulur.
 - g) İletim yönlü gerilimin değeri düşük tutulur.
 - h) Küçük geçit empedansı seçilir,
 - i) Negatif geçit gerilimi uygulanır,
 - j) Özel DSD'ler seçilir (Kısa devre yayıcılı katılanmış ufak eklem çaplı)
- 11- Bir DSD'de kesime dönüş zamanını uzatmak için 10'ncu maddede yazılanların tam tersi yapılır, yani:
 - a) Eklem ısısı artırılır.
 - b) Akan akımın şiddeti artırılır.
 - c) di/dt artırılır.
 - d) Ters akım düşük değerde tutulur.
 - e) Ters gerilimin değeri düşük tutulur.
 - f) Ters olarak uygulanan dv/dt nin değeri yüksek tutulur.
 - g) İletim yönlü gerilimin değeri büyük tutulur.
 - h) Büyük geçit empedansı seçilir.
 - i) Pozitif geçit gerilimi uygulanır.
 - j) Uygun DSD seçilir (Alışılmış geçit-katot eklemi olan, p ve n yapısında bir ek özelik bulunmayan, geniş eklem çaplı).

KAYNAKLAR

- 1) SCR Manual, 5. Baskı, General Electric Semiconductor Products Department» 1972
- 2) Moll ve baş. "PNPN transistor switches", Proc. IRE, Cilt 44, Eylül 1956, s.1174-1182
- 3) F.E.Gentry ve baş. "Semiconductor Controlled Rectifier", Prentice Hall, 1964, Bölüm 5
- 4) Robert Boylestad ve Louis Nashelsky, "Electronic Devices and Circuit Theory", Prentice Hall 1972, Bölüm 9
- 5) Westinghouse, Application data 54-580, Mayıs 1969
- 6) Westinghouse, Application data 54-581, Mayıs 1969
- 7) "Semiconductor Power Circuits Handbook", Motorola Semiconductor Products Inc, 1968, Bölüm 6
- 8) "Guide to Thyristors, unijunctions and triggers" Motorola Semiconductors, 1973, Bölüm 3