



ZENER DİYOTLAR



Hedefler

Bu üniteyi çalıştıktan sonra;

-  Zener diyotları tanıyacak ve çalışma prensiplerini kavrayacaksınız.
-  Örnek devreler üzerinde Zener diyotlu regülasyon devrelerini öğreneceksiniz.

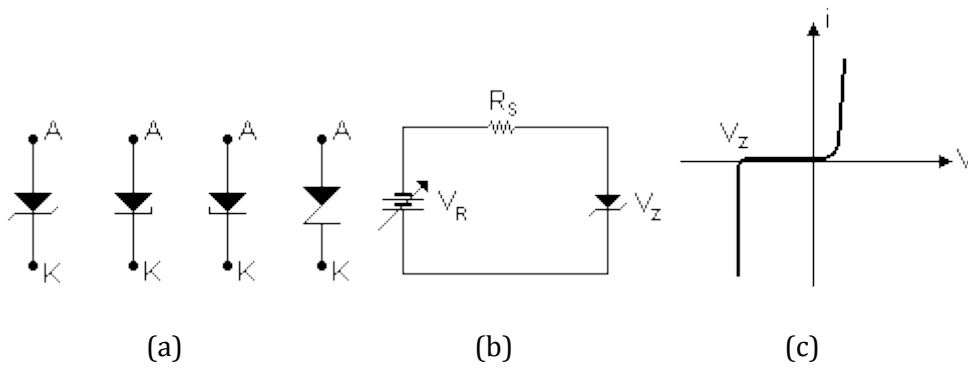
İçindekiler

ZENER DİYOTLAR

- Zener Diyotlar
- Zener Diyot Uygulamaları
- Örnek 3.1
- Örnek 3.2
- Örnek 3.3

ZENER DİYOTLAR

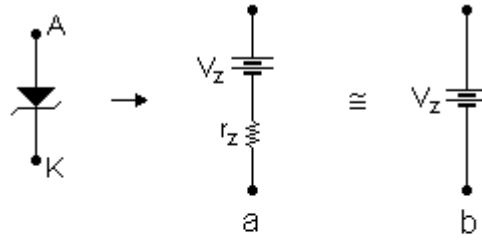
Tanım: Zener diyot, ters polarma altında çalışan ve gerilim regülasyonunda kullanılan bir diyot çeşididir. PN birleşiminin ters polarma altındaki kırılma noktasından yararlanılarak geliştirilmiş özel diyotlardır. Zener diyotlar doğru polarma altında normal bir kristal diyot gibi (Germanyum 0,3V, Silisyum 0,7V) iletme geçer. Zener diyotun farklı gösterim şekilleri, ters polarma altında çalışmasını gösteren örnek uygulama devresi ve karakteristik eğrisi Şekil 3.1 'de görülmektedir.



Şekil 3.1: Zener diyodun

- (a) Sembolleri
- (b) Ters polarması
- (c) Karakteristiği

Zener bölgesinin konumu (ters gerilim altındaki kırılma gerilimi), katkılama düzeyleri değiştirilerek ayarlanabilir ve eklenen katkı maddelerinin sayısı artırılarak zener potansiyeli değiştirilebilir. Zener diyotların yapımında genelde, yüksek sıcaklık ve akım kapasitesi nedeniyle silisyum tercih edilir. Zener diyodun tam eşdeğer devresi Şekil 3.2(a)'da gösterildiği gibi küçük bir dinamik dirençten (iç direnç) ve zener potansiyeline eşit bir DC kaynaktan oluşur. Ancak, zener eşdeğer direnci, kullanılan harici dirençlerden çok küçük olduğu için ihmal edilerek, uygulamalarda Şekil 3.2(b)'deki yaklaşık zener eşdeğer devresi kullanılacaktır.



Şekil 3.2 :

- (a) Zener tam eşdeğer devresi
(b) Zener yaklaşık eşdeğer devresi

Zener Diyot Uygulamaları

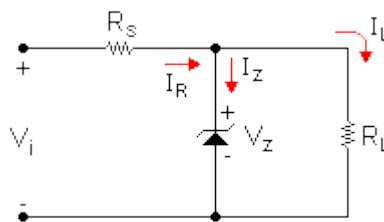
Zener diyodun en sık görülen kullanımı, öngerilimleme ve karşılaştırmaya yönelik sabit bir referans gerilimi sağlamaktır. Örneğin, V_i veya R_L 'deki değişimlere karşı yük üzerinde sabit bir V_Z gerilimi sağlamak için tasarlanmış olan Şekil 3.3'deki devreyi ele alabiliriz. Burada göz önünde bulundurulması gereken iki durum söz konusudur:

1. Giriş geriliminin sabit olup, R_L 'nin değişeceği durum.
2. R_L 'nin sabit olup V_i 'nin değişeceği durum.

Şimdi bu iki durumu ayrı ayrı inceleyelim:

1) Sabit V_i , Değişken R_L

Eğer Şekil 3.3 incelenirse, Kirchoff akım kanunundan $I_R = I_Z + I_L$ olması gerektiği bulunabilir. V_Z ve V_i sabit olması gerektiğine göre, I_R akımı da sabit olacaktır. Diğer taraftan R_L direnci değiştikçe üzerinden geçen akım olan I_L 'de değişecek, buna bağlı olarak ta $I_R = I_Z + I_L$ denklemi gereği I_Z akımı da değişecektir. Peki, R_L direncinin değeri hangi aralıkta değişebilir, bunun için devreyi tekrar incelemekte fayda var. Öncelikle R_L çok düşük değerde olursa, V_Z 'den daha düşük V_L gerilimine yol açacağı için zener diyot "yalıtım" durumunda olacak, bu durumda da gerilim regülasyonu (çıkış geriliminin sabit kalması) olmayacaktır.



Şekil 3.3

Denklem 3.1 kullanılarak minimum RL değeri hesaplanabilir. Ancak maksimum IL değerini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$I_{L(\max)} = \frac{V_L}{R_{L(\min)}} = \frac{V_Z}{R_{L(\min)}} \quad (3.2)$$

Diyot iletim durumuna geçtikten sonra RS üzerindeki gerilim;

$$V_{RS} = V_i - V_Z \quad (3.3)$$

ile sabit kalır ve IRS,

$$I_{RS} = \frac{V_{RS}}{R_S} \quad (3.4)$$

olarak elde edilir. Zener akımı ise eşitlik (3.5) kullanılarak hesaplanabilir.

$$I_Z = I_{RS} - I_L \quad (3.5)$$

Burada IRS sabit olduğu için, IL maksimumken minimum bir IZ akımına ve IL minimumken maksimum bir IZ akımına yol açar.

Peki zener diyot üzerinden geçebilecek akım miktarı sınırsız mıdır? Cevap tabii ki hayır olacaktır, her fiziki cisim veya olay gibi zener diyotunda üzerinden geçirebileceği maksimum bir akım değeri vardır. Bu akım IZM ile sembolize edilir ve üretici firmalar ürün kataloglarında bu değeri belirtirler. Buradan, eğer zener akımının bir sınırı varsa o zaman yük direncinin de bir üst sınırının olması gerektiği anlaşılabilir. Çünkü eşitlik 3.5'den görüldüğü gibi IZ değerinin maksimum olması, IRS sabit olduğuna göre IL akımının minimum olmasını gerektirir. IL akımı minimum ise RL değeri maksimum olacaktır. Bu söylenenleri matematiksel olarak ifade etmek için, IZ yerine IZM konulursa, minimum IL,

$$I_{L(\min)} = I_{RS} - I_{ZM} \quad (3.6)$$

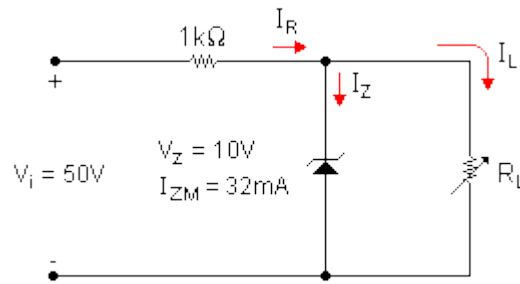
olarak elde edilir ve maksimum yük direnci de,

$$R_{I(\max)} = \frac{V_Z}{I_{I(\min)}} \quad (3.7)$$

şeklinde bulunur.

Örnek 3.1

- Şekil 3.6'daki devre için VRL'yi 10 Voltta tutacak RL ve IL 'nin maksimum ve minimum değer aralığını bulunuz.
- Diyodun zarar görmeden, bir regülatör olarak çalışabilmesi için gerekli olan maksimum diyot gücünü hesaplayınız.



Şekil 3.6

Çözüm:

(a) Zener diyodu çalışır duruma getirecek RL değerini hesaplamak için Denklem (3.1) kullanılabilir.

$$R_{I(\min)} = \frac{R_S \cdot V_Z}{V_i - V_Z} = \frac{(1k\Omega)(10)}{50 - 10} = \frac{10 \cdot 10^3}{40} = 250\Omega$$

Daha sonra RS direnci üzerindeki gerilim Denklem (3.3) ile ve IRS ise Denklem (3.4) ile bulunabilir.

$$V_{RS} = V_i - V_Z = 50 - 10 = 40V$$

$$I_{RS} = \frac{V_{RS}}{R_S} = \frac{40}{1k\Omega} = 40 \text{ mA}$$

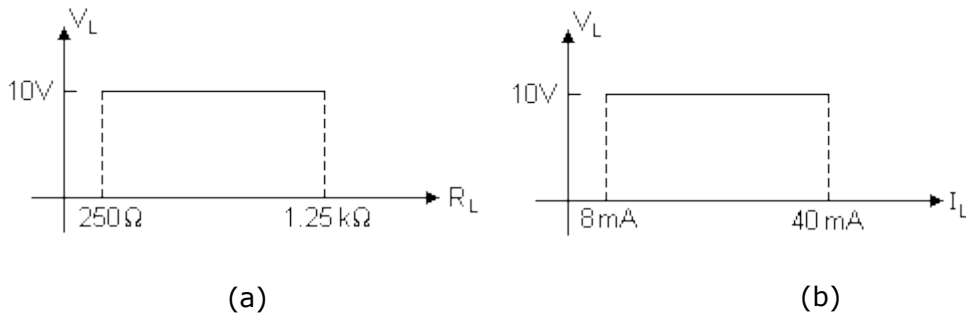
Ardından minimum I_L değeri Denklem (3.6) ile hesaplanabilir.

$$I_{L(\min)} = I_{RS} - I_{ZM} = 40 - 32 = 8 \text{ mA}$$

Denklem (3.7) ise maksimum R_L değerinin bulunmasında kullanılabilir.

$$R_{L(\max)} = \frac{V_Z}{I_{L(\min)}} = \frac{10}{8 \text{ mA}} = 1.25 \text{ k}\Omega$$

V_L 'ye karşılık R_L 'nin grafiği Şekil 3.7a'da ve I_L 'ye karşılık R_L 'nin grafiği Şekil 3.7b'de görülmektedir.

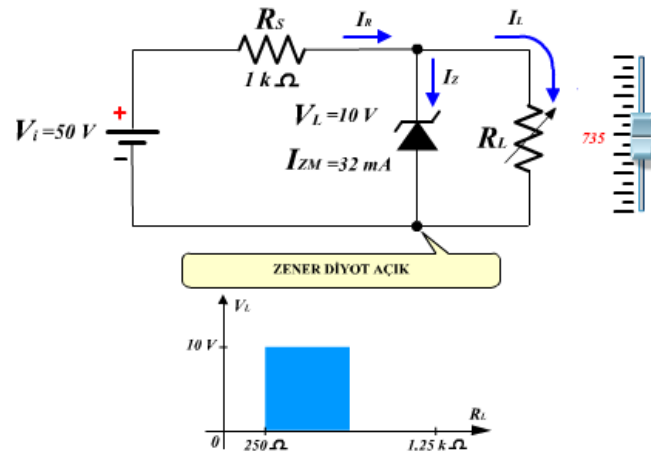


Şekil 3.7

(b) Zener diyotun gücü, zener gerilimi ve üzerinden geçecek maksimum akımın çarpımı olduğuna göre;

$$\begin{aligned} P_{\max} &= V_Z \cdot I_{ZM} \\ &= (10) (32 \text{ mA}) = 320 \text{ mW} \end{aligned} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Şimdi bu örneği animasyon olarak inceleyelim. Aşağıda animasyonu görülen devrede V_i giriş gerilimi sabit, R_L yük direnci ise değişken haldedir. R_L değerini değiştirmek için fare ile kaydırma çubuğu üzerine gelerek, sol tuşa basılı tutarak aşağı yukarı kaydırınız. Çubuk hareket ettikçe değişen direnç değerini kutucuk içerisinde görebilirsiniz. Bu arada çıkış voltajının değişen yük direncine bağlı değişimini grafik üzerinden inceleyiniz.



2) Sabit RL, Değişken Vi

Şekil 3.3'deki devrede R_L 'nin sabit değerleri için, V_i gerilimi zener diyodu çalıştıracak büyüklükte olmalıdır. Eğer devredeki zener diyotun iletimde olduğunu farz edersek ve üzerinden geçen akım minimum ise (ki bu değer yaklaşık 0 mA olarak alınabilir), bu durumda R_s direnci üzerinden geçen akımın tamamı yük direnci (R_L) üzerinden geçiyor kabul edilebilir. Bu durumda çıkış voltajı yani yük üzerindeki voltaj değeri, zener diyot voltajına eşit olur ve ifadesi;

$$V_L = V_Z = \frac{R_L V_i}{R_L + R_s}$$

şeklinde çıkar. Bu denklemde kullanılan V_i değeri, zener diyotu iletime geçiren minimum giriş voltaj değeridir. Bu değerden daha küçük giriş voltajlarında zener diyot yalıtıma gider ve çıkış voltajı zener voltajına eşit olmaz yani sabit olmaz. Buna göre yukarıdaki denklemde V_i değerini çekersek;

$$V_{i(\min)} = \frac{(R_L + R_s) \cdot V_Z}{R_L} \quad (3.8)$$

ifadesi bulunur.

Maksimum V_i değeri, maksimum zener akımı I_{ZM} ile sınırlıdır. $I_{ZM} = I_R - I_L$ olduğu için $I_{R(max)}$ aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$I_{R(max)} = I_{ZM} + I_L \quad (3.9)$$

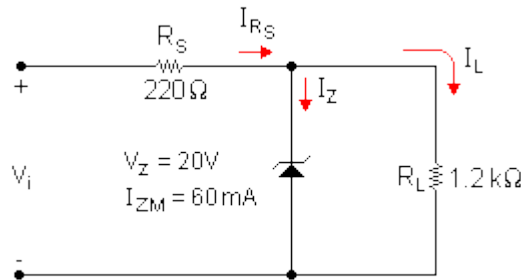
I_L , V_Z / R_L 'de sabit ve I_{ZM} maksimum I_Z değeri olduğu için maksimum V_i ;

$$V_{i(max)} = I_{R(max)} \cdot R_S + V_Z \quad (3.10)$$

ile tanımlanır. Dolayısı ile zener diyotlu bir regülatör devresinin normal işlevini yerine getirebilmesi için, sabit yük direnci altında eşitlik 3.8 ve 3.10'da verilen giriş gerilimleri arasında bir V_i gerilimine sahip olması gerekir. Aksi takdirde ya zener iletme geçmeyerek gerilim sabitlemesi(regülasyon) yapmayacaktır($V_i < V_i(min)$ şartında), yada zener üzerinden I_{ZM} akımından fazla bir akım geçeceğinden($V_i > V_i(max)$ şartında) zener zarar görecektir.

Örnek 3.2

Şekil 3.8'deki zener diyodu çalışır durumda tutacak V_i değer aralığını bulunuz.



Şekil 3.8

Çözüm :

$$V_{i(min)} = \frac{(R_L + R_S) \cdot V_Z}{R_L} = \frac{(1200 + 220) \cdot (20)}{1200} = 23.67 \text{ V}$$

$$I_Z = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{20}{1.2 \text{ k}\Omega} = 16.67 \text{ mA}$$

$$I_{R(\max)} = I_{ZM} + I_Z = (60 + 16.67) \text{ mA}$$

$$= 76.67 \text{ mA}$$

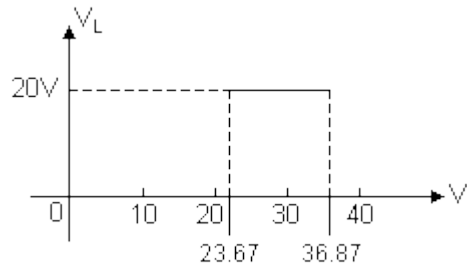
$$V_{i(\max)} = I_{R(\max)} \cdot R_S + V_Z$$

$$= (76.67 \text{ mA})(0.22 \text{ k}\Omega) + 20$$

$$= 16.87 + 20$$

$$= 36.87 \text{ V}$$

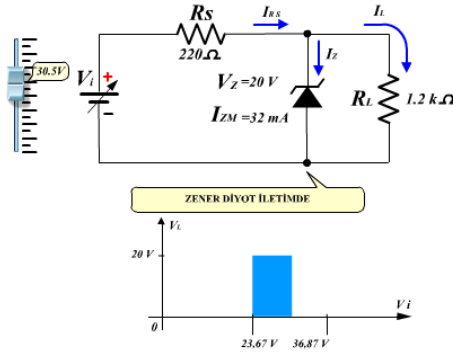
olarak bulunur. V_i 'nin fonksiyonu olarak V_L 'nin grafiği Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9

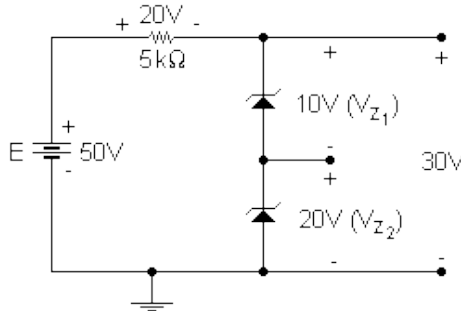
Örnek 3.2'de elde edilen sonuçlar Şekil 3.8'deki sabit R_L 'ye sahip devrede 23,67V - 36,87V arasında değişen giriş gerilimi için çıkış geriliminin 20V'da sabit kalacağını gösterir.

Şimdi bu örneği animasyon olarak inceleyelim. Aşağıda animasyonu görülen devrede R_L yük direnci sabit, V_i giriş gerilimi ise değişken haldedir. V_i değerini değiştirmek için fare ile kaydırma çubuğu üzerine gelerek, sol tuşa basılı tutarak aşağı yukarı kaydırınız. Çubuk hareket ettikçe değişen voltaj değerini kutucuk içerisinde görebilirsiniz. Bu arada çıkış voltajının, giriş gerilimine bağlı değişimini grafik üzerinden inceleyiniz.



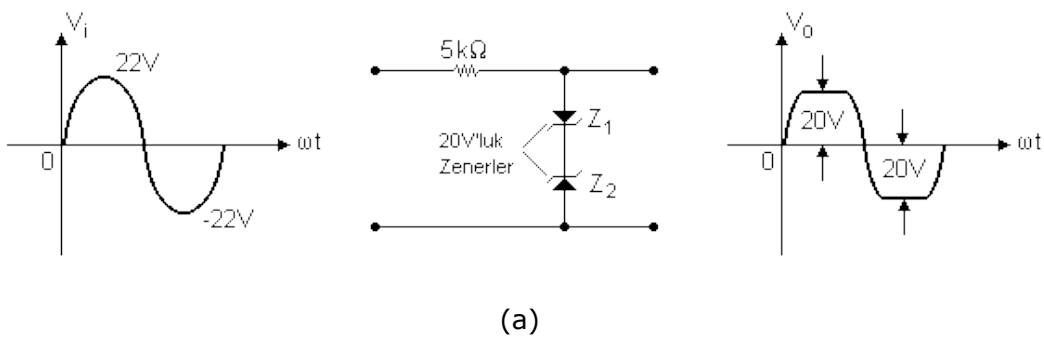
Örnek 3.3

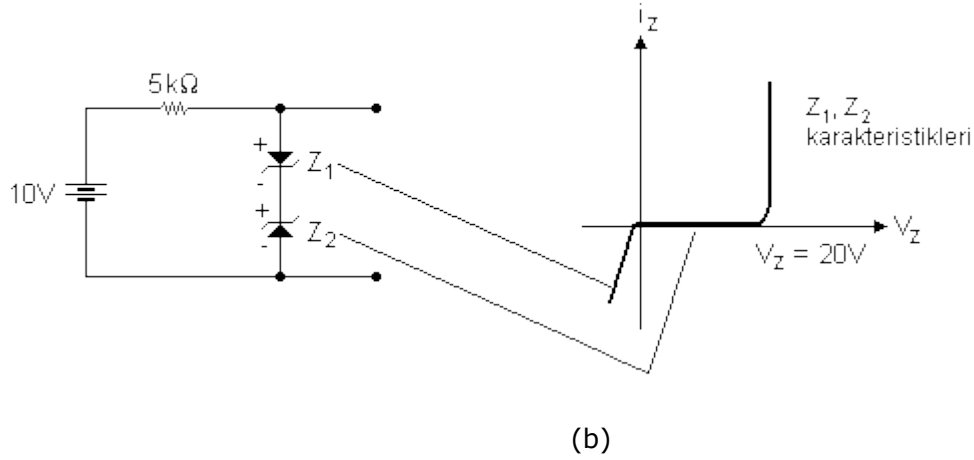
Zener diyotlar Şekil 3.10'da gösterildiği gibi seri bağlanarak iki veya daha fazla referans düzeyi oluşturulabilir. E gerilimi, V_{z1} ve V_{z2} 'nin toplamından daha büyük olduğu sürece her iki diyot iletim durumunda kalacak ve üç referans gerilimi elde edilecektir.



Şekil 3.10

Şekil 3.11'de gösterildiği gibi, sırt sırta bağlı iki zener de bir AC regülatörü olarak kullanılabilir. Sinüsoidal V_i giriş sinyali için devre, $V_i = 10V$ anında Şekil 3.11b'deki gibi davranacaktır.

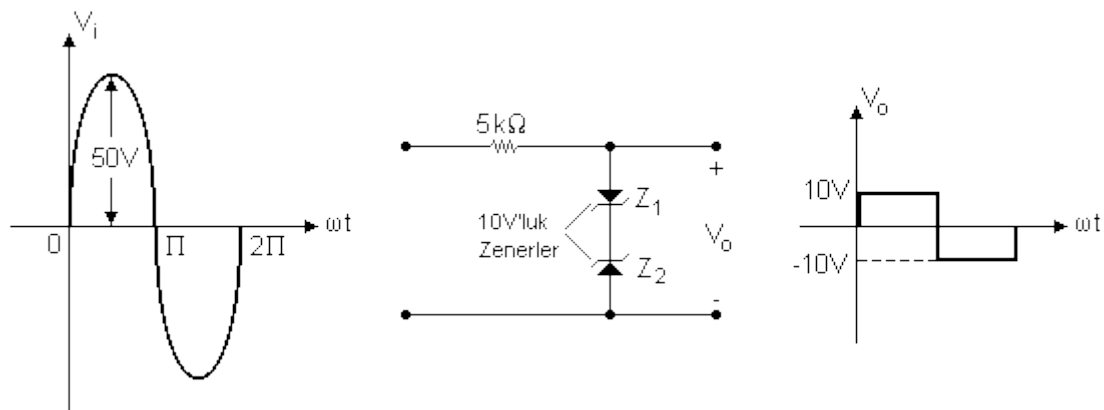




Şekil 3.11

Z_1 ile ilgili empedansın çok küçük, hatta bir kısa devre olduğuna dikkat edilmelidir. Çünkü 5 KOhm'luk dirençle seri bağlıdır. Buna karşılık açık devre sembolüne karşılık gelen Z_2 empedansı çok büyüktür. Z_2 açık devre olduğundan, $V_o = V_i = 10V$ 'dur. Bu durum, V_i 20V'dan biraz daha büyük oluncaya kadar devam edecektir. Bundan sonra Z_2 düşük direnç bölgesine (zener bölgesine) girecek, Z_1 pratik açıdan kısa devre olacak ve $V_z = 20V$ Z_2 'nin yerini alacaktır. Oluşan çıkış dalga biçimi de Şekil 3.11a'da gösterilmiştir

V_i sinyali 10V'luk zenerlerle 50V'luk bir tepe değerine yükseltirse, Şekil 3.11a'daki devre basit kare dalga üreticisine dönüştürülebilir (kırpma özelliğinden dolayı). Elde edilen dalga biçimi Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12