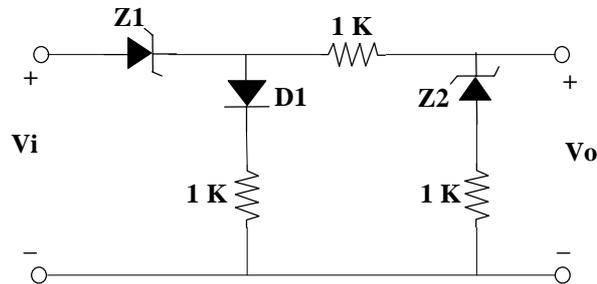


## JUNIO 1999 – EJERCICIO 2

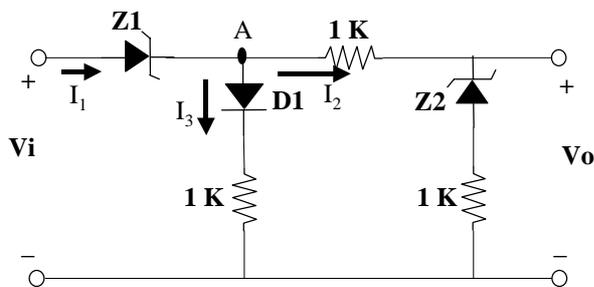
Dado el circuito de la figura donde el zener Z1 tiene una tensión zener de  $V_{z1} = 3\text{ V}$ ., y el zener Z2 tiene una tensión zener de  $V_{z2} = 6\text{ V}$ ., calcular:



a) Característica de transferencia del circuito analíticamente y dibujar la gráfica (suponer D1, Z1 y Z2 diodos ideales).

La característica de transferencia del circuito es la expresión de la tensión de salida ( $V_o$ ) en función de la tensión de entrada ( $V_i$ ). Por lo tanto habrá que calcular  $V_o = f(V_i)$  para todo el rango de tensiones de entrada ( $-\infty < V_i < \infty$ ).

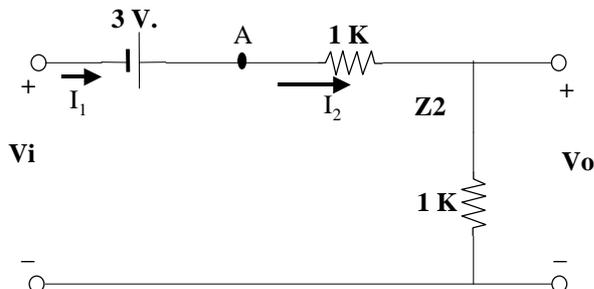
Vamos a analizar en primer lugar las posibles situaciones en las que se pueden encontrar los diodos del circuito y las corrientes que se producirían:



Diodo Z1: Conduce  $\Rightarrow I_1$  positiva; Corte  $\Rightarrow I_1 = 0$ ; Regula  $\Rightarrow I_1$  negativa  
 Diodo Z2: Conduce  $\Rightarrow I_2$  negativa; Corte  $\Rightarrow I_2 = 0$ ; Regula  $\Rightarrow I_2$  positiva  
 Diodo D1: Conduce  $\Rightarrow I_3$  positiva; Corte  $\Rightarrow I_3 = 0$ ;

Vamos a analizar las distintas situaciones que se van dando en el circuito para todos los rangos de valor de  $V_i$ , empezando por las tensiones más negativas, es decir, desde  $V_i = -\infty$ .

Para tensiones muy negativas Z1 estará en situación de regulación (zener) ya que la tensión que se aplica a su ánodo es muy negativa y lógicamente entonces su módulo será mayor que su tensión zener (3V.). La tensión en el punto A será también negativa y por lo tanto D1 estará polarizado en inversa y estará entonces en corte. Al ser la tensión en el punto A negativa (punto A conectado al cátodo de Z2), Z2 estaría polarizado en directa y conduciría. Al ser todos los diodos ideales Z1 se sustituye por una fuente de tensión igual a  $V_{z1}$  (polo positivo hacia el cátodo y negativo hacia el ánodo), D1 sería un circuito abierto y Z2 un cortocircuito. Por lo tanto para tensiones  $V_i$  muy negativas ( $-\infty < V_i \leq V_x$ ) el circuito equivalente sería:



$$\text{Calculamos } V_o: I_1 = I_2; \quad V_i = -3V. + I_1 \cdot (1K + 1K) \Rightarrow I_1 = \frac{V_i + 3V.}{2K}; \quad V_o = I_1 \cdot 1K = \frac{V_i + 3V.}{2K} \cdot 1K = \frac{V_i + 3V.}{2}$$

Esta situación se mantendrá hasta una cierta tensión  $V_x$  que no será suficiente para polarizar a Z1 en inversa y con una

tensión entre cátodo y ánodo mayor o igual que su tensión zener (3 V.). En este punto el zener quedaría polarizado en inversa en su zona de corte (no regularía) y la corriente  $I_1$  sería nula. De las fórmulas anteriores vemos que al ser  $V_i$  muy negativa, la corriente  $I_1$  es negativa, y a medida que  $V_i$  va aumentando (disminuyendo en módulo) entonces  $I_1$  aumenta también (al ser negativa disminuye en módulo), llegando un punto donde  $I_1=0$  y el zener Z1 entraría en corte.

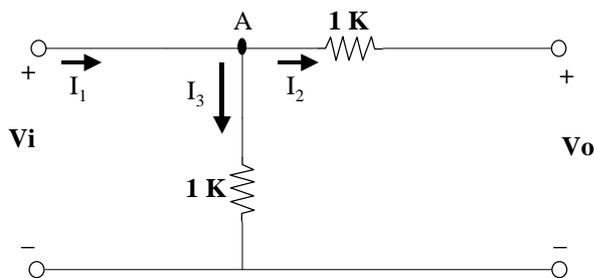
Este punto sería:  $I_1 = \frac{V_i + 3V}{2K} = 0 \Rightarrow V_i = -3V$ .

Por lo tanto la situación anterior se mantendría en el rango  $-\infty < V_i \leq -3V$ .

Para tensiones mayores a  $-3V$ . ( $-3V \leq V_i \leq V_x$ ) Z1 estaría en corte y sería equivalente a un circuito abierto, no se inyectaría ninguna corriente al circuito (la tensión de alimentación no pasaría al resto del circuito) y por lo tanto por D1 y Z2 tampoco circularía corriente (estarían también en corte). En esta situación  $V_o=0V$ . como es lógico deducir.

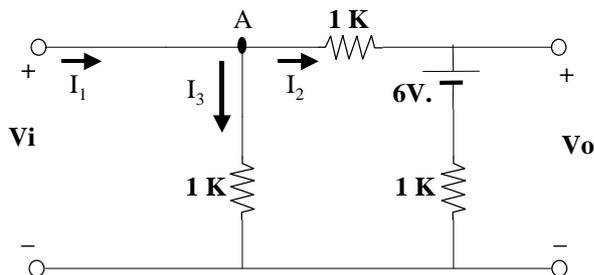
Esta situación se mantendría hasta que el zener Z1 se polariza en directa y empieza a conducir corriente desde su ánodo a su cátodo ( $I_1$  positiva). Al no estar circulando ninguna corriente por el circuito (situación actual), la tensión aplicada a Z1 es directamente  $V_i$ , y la condición para polarizar en directo a Z1 es que su tensión entre ánodo y cátodo sea mayor que  $0V$ . (diodo ideal), es decir,  $V_i > 0V$ . Por lo tanto Z1 estará en corte para  $-3V \leq V_i \leq 0V$ .

Para  $0V \leq V_i \leq V_x$  se estaría en una nueva situación donde Z1 conduce. Z1 es equivalente a un cortocircuito (diodo ideal) por lo que la tensión en el punto A ( $V_A$ ) es igual a la tensión aplicada a la entrada  $V_i$ . Hasta este momento D1 está en corte siendo  $I_3=0$  y por lo tanto la tensión aplicada a D1 es directamente  $V_A=V_i$ . Como  $V_i$  es positiva esto quiere decir que D1 se polariza en directa y empieza a conducir corriente (equivalente a un cortocircuito). Por otro lado la tensión aplicada al diodo Z2 es  $-V_A$ , siendo esta una tensión negativa que polariza a Z2 en inversa en una situación de corte (equivalente a un circuito abierto) ya que en un principio  $|V_A| < V_{z2}$ . El circuito equivalente de esta nueva situación sería:



Como  $I_2=0$  (no hay caída de tensión en la resistencia de 1K de la parte superior del circuito) entonces en esta situación  $V_o=V_A=V_i$ .

Esta situación se mantiene hasta que Z2 empiece a regular que será cuando  $V_A \geq V_{z2}$ , ya que al ser  $I_2=0$  entonces la tensión aplicada a Z2 es directamente  $-V_A$ . Como  $V_A=V_i$  entonces Z2 empieza a regular para  $V_i = 6V$ ., siendo el circuito equivalente de esta nueva situación el siguiente (Z2 se sustituye por una fuente de tensión igual a  $V_{z2}$  con el polo positivo hacia el cátodo y negativo hacia el ánodo):



Analizando este circuito hallaremos la tensión de salida para esta nueva situación:

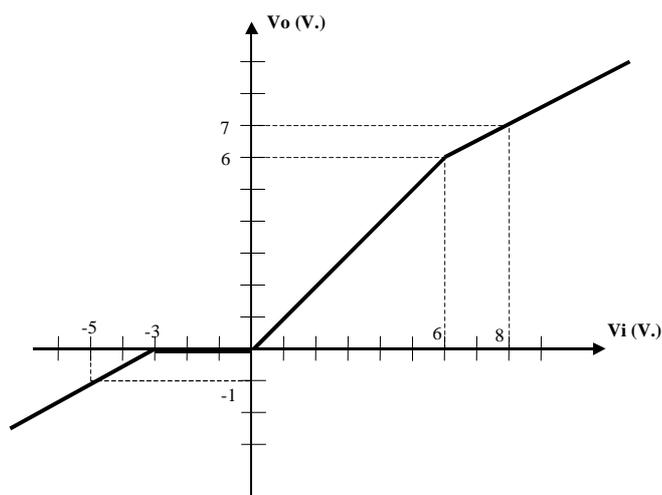
$$V_o = 6V + I_2 \cdot 1K; \quad I_2 = \frac{V_i - 6V}{2K} \Rightarrow V_o = 6V + \frac{V_i - 6V}{2K} \cdot 1K \Rightarrow V_o = \frac{V_i}{2} + 3V$$

Esta situación se mantiene para  $6V \leq V_i \leq \infty$ , no produciéndose ningún otro cambio en la polarización de los diodos.

Por lo tanto la característica de transferencia del circuito de este ejercicio será:

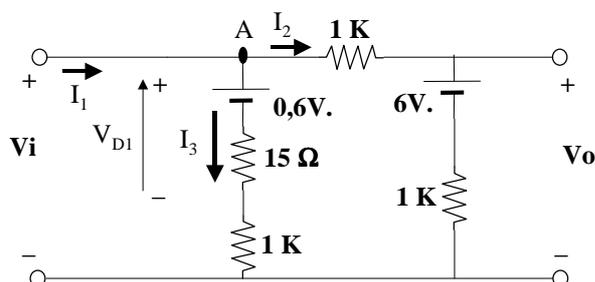
$$V_o = f(V_i) = \begin{cases} \frac{V_i + 3V}{2} & -\infty < V_i \leq -3V. \\ 0V & -3V \leq V_i \leq 0V. \\ V_i & 0V \leq V_i \leq 6V. \\ \frac{V_i}{2} + 3V & 6V \leq V_i < \infty \end{cases}$$

También se pide dibujar la gráfica de esta función. Para representar gráficamente esta función sólo se tendrá que trasladar a los ejes de abscisas y ordenadas las rectas que representan cada uno de los cuatro tramos de la característica de transferencia, obteniendo el siguiente resultado:



b) Potencia disipada por el diodo D1 cuando en la entrada del circuito se aplica una tensión  $V_i = 10\text{ V}$ . (suponer Z1 y Z2 ideales, y para D1 los valores siguientes:  $V_\gamma = 0,6\text{ V}$ ,  $R_f = 15\ \Omega$ ,  $R_r = 100\text{ M}\Omega$ )

Para  $V_i = 10\text{ V}$  la situación de los tres diodos es la siguiente: Z1 en directa, Z2 regula (zona zener) y D1 en directa (ver apartado a). Como el diodo Z1 es ideal se sustituye por un cortocircuito, el diodo Z2 también es ideal y se sustituye por una fuente de tensión  $V_{z2}$  (6 V.) con el polo positivo hacia el cátodo y el negativo hacia el ánodo. Pero el diodo D1 no es ideal, y al estar polarizado en directa su circuito equivalente entre ánodo y cátodo es el de una fuente de tensión igual a su tensión umbral ( $V_\gamma = 0,6\text{ V}$ ) en serie con su resistencia en directa ( $R_f = 15\ \Omega$ ). El circuito equivalente para  $V_i = 10\text{ V}$  sería:



La potencia disipada en el diodo D1 será igual a la corriente que lo atraviesa multiplicada por la caída de tensión entre ánodo y cátodo:  $P_{D1} = I_{D1} \cdot V_{D1}$ .

$$I_{D1} = I_3 = \frac{V_i - 0,6V}{1K + 0,015K} = \frac{10V - 0,6V}{1,015K} = \frac{9,4V}{1,015K} = 9,26mA$$

$$V_{D1} = 0,6V + I_{D1} \cdot 0,015K = 0,6V + 9,26mA \cdot 0,015K = 0,6V + 0,13V = 0,73V$$

Sustituimos los valores en la fórmula de la potencia y se obtiene:

$$P_{D1} = I_{D1} \cdot V_{D1} = 9,26mA \cdot 0,73V = 6,75mW$$

$$P_{D1} = 6,75 \text{ mW}$$

OJO: En un diodo no es cierto que la potencia disipada sea  $P_{D1} = I_{D1} \cdot V_{D1} = I_{D1}^2 \cdot R_{D1} = \frac{V_{D1}^2}{R_{D1}}$ . Esto es cierto en los resistores porque en estos componentes se cumple que  $V = I \cdot R$ , ecuación que no se cumple en los diodos.

c) Potencia disipada por el diodo zener Z2 cuando en la entrada del circuito se aplica una tensión  $V_i = 10 \text{ V}$ . (suponer D1, Z1 y Z2 ideales). Calcular también dicha potencia si se aplica una tensión  $V_i = 1 \text{ V}$ .

Para  $V_i = 10 \text{ V}$  estamos en la misma situación que en el apartado b. Como el diodo Z2 es ideal entonces la caída de tensión entre cátodo y ánodo es  $V_{Z2} = 6 \text{ V}$  (Z2 regula) y circula por él una corriente  $I_2$  en sentido inverso.

La potencia disipada en el diodo Z2 será igual a la corriente que lo atraviesa multiplicada por la caída de tensión entre sus terminales:  $P_{Z2} = I_{Z2} \cdot V_{Z2}$ .

$$I_{Z2} = I_2 = \frac{V_i - 6V}{1K + 1K} = \frac{10V - 6V}{2K} = \frac{4V}{2K} = 2 \text{ mA}; \quad V_{Z2} = 6V$$

Sustituimos los valores en la fórmula de la potencia y se obtiene:

$$P_{Z2} = I_{Z2} \cdot V_{Z2} = 2 \text{ mA} \cdot 6V = 12 \text{ mW}$$

$$V_i = 10V \Rightarrow P_{Z2} = 12 \text{ mW}$$

En el caso de  $V_i = 1 \text{ V}$  se estaría en la situación de que Z1 y D1 están polarizados en directa y Z2 estaría polarizado en inversa en la zona de corte (ver apartado a). Por lo tanto al estar Z2 en corte esto implica que no circula corriente por dicho diodo ( $I_{Z2} = 0$ ) y entonces no disipada potencia.

$$V_i = 1V \Rightarrow P_{Z2} = 0 \text{ W}$$