

# Fuentes de Referencia

Manuel Toledo - INEL 5207

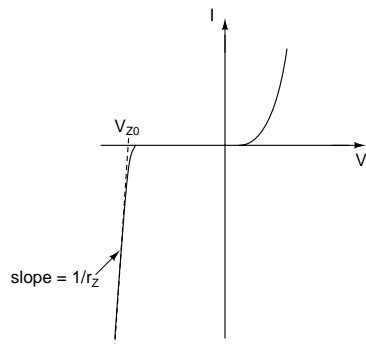
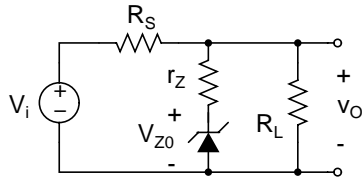
Abril 20, 2009

## Referencias de Voltaje

### Definiciones

- regulación de Linea =  $\frac{\Delta v_O}{\Delta V_I}$  (mV/V)
- regulación de Carga =  $\frac{\Delta v_O}{\Delta I_O}$  (mV/A)
- Coeficiente térmico =  $\frac{\Delta v_O}{\Delta T}$  (mV/°C)

### Regulador con Zener



Para el Regulador básico que se muestra arriba, aplicando KVL produce

$$\frac{v_i - v_O}{R_S} = i_O + i_Z$$

donde

$$i_Z = \frac{v_O - V_{Z0}}{r_z}$$

Para calcular la regulación de carga, podemos expresar  $v_O$  como función de  $i_O$ ,

$$\frac{v_i - v_O}{R_S} = i_O + \frac{v_O - V_{Z0}}{r_z}$$

$$v_O \left( \frac{1}{r_z} + \frac{1}{R_S} \right) = -i_O + \frac{v_i}{R_S} + \frac{V_{Z0}}{r_z}$$

y

$$\frac{\partial v_O}{\partial i_O} = -(R_S \parallel r_z)$$

La regulación de línea puede obtenerse expresando  $i_O = v_O/R_L$  de tal modo que

$$\frac{v_i - v_O}{R_S} = \frac{v_O}{R_L} + \frac{v_O - V_{Z0}}{r_z}$$

de donde obtenemos que

$$v_O \left( \frac{1}{r_z} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_S} \right) = \frac{v_i}{R_S} + \frac{V_{Z0}}{r_z}$$

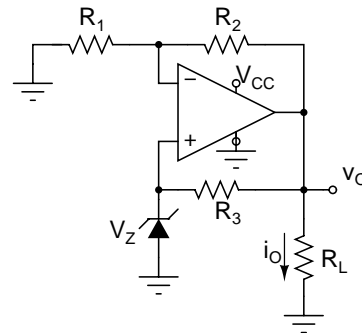
y

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_O}{\partial v_I} &= \frac{1}{R_S \left( \frac{1}{r_z} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_S} \right)} \\ &= \frac{1}{1 + R_S / (r_z \parallel R_L)} \\ &= \frac{r_z \parallel R_L}{R_S + r_z \parallel R_L} \end{aligned}$$

Selección de  $R_S$ : La  $R_S$  se calcula usando la carga máxima  $I_{O,max}$ , el voltaje de entrada mínimo y la corriente mínima permitida en el Zener;

$$R_S \leq \frac{V_{I,min} - V_{Z0} - r_z i_{Z,min}}{I_{O,max} + i_{Z,min}}$$

### Referencia Auto-regulada



$$v_O = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_Z$$

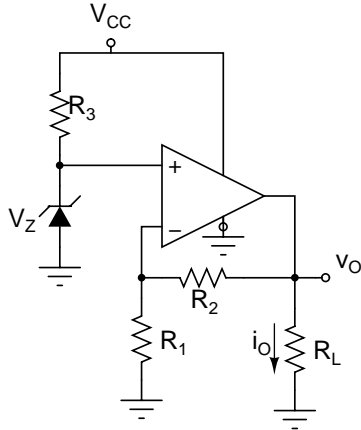
$$i_Z = \frac{v_O + V_{ZO}}{R_3 + r_Z}$$

Regulación de Línea:

$$\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{1}{PSRR} + \frac{1}{2} \frac{1}{CMRR}\right)$$

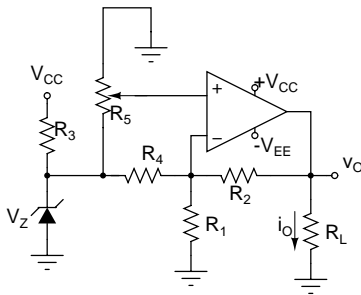
Regulación de Carga:  $-\frac{r_o}{1+\beta a}$

## Otro Circuito



$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_Z$$

Modificado para lograr referencia ajustable y con polaridad positiva y negativa:



Cuando el terminal + esta conectado a tierra, no hay corriente a través de  $R_1$ . El amplificador funciona como uno con inversión y

$$v_O = -\frac{R_2}{R_4} V_Z$$

Cuando esta en el otro extremo del potenciómetro, el terminal + esta conectado a  $V_Z$ , no hay corriente a través de  $R_4$ , y

$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_Z$$

## Alternativas al Zener

Existen productos que compensan internamente el voltaje del Zener para reducir la dependencia del voltaje de referencia con temperatura, o que utilizan diseños alternos para conseguir voltajes de referencia menores a los que comúnmente puede proveer un diodo Zener. Esto resulta en el uso de un circuito integrado en lugar del Zener. Lo que sigue es una breve descripción de algunas técnicas que a menudo se usan en la construcción de fuentes de referencia monolíticas.

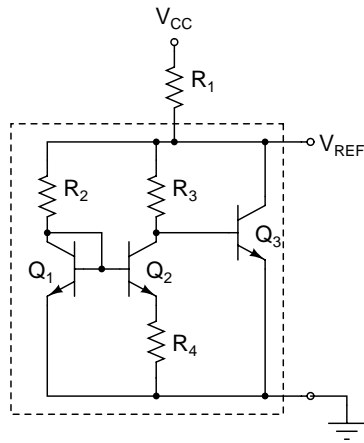
### Compensación térmica

Las referencias con diodo Zener compensado térmicamente utilizan el hecho de que la caída de voltaje a través de un diodo se reduce a medida que la temperatura aumenta. Esto se expresa en términos de un coeficiente de temperatura negativo de alrededor de  $-2mV/^\circ C$ . El diodo Zener muestra una dependencia más compleja y un TC que cambia de signo dependiendo de la corriente, pero que se vuelve positivo después de cierto punto. Las referencias compensadas térmicamente tienen un diodo normal (o la junta de base-emisor de un transistor) conectado en serie con un Zener, de tal modo que los coeficientes se cancelan parcialmente. Externamente, algunos de estos aparatos se usan como un Zener normal con un voltaje igual a  $0.7V + V_Z$  especificado por el fabricante. Ejemplos de estos aparatos son: 1N821-9 (Motorola), REF101 (Burr-Brown) y LM329 (National Semiconductor).

El TC puede reducirse aun más combinando este método con el control activo de la temperatura del circuito integrado. Esto se conoce como *substrate thermostating*. Estos aparatos, ejemplos de los cuales son el LM399 de National Semiconductor y el LTZ1000 Super Zener de Linear Technology, tienen la desventaja de consumir más potencia.

### Referencias basadas en $v_{BE}$

Para construir fuentes de referencia con un voltaje inferior a  $5V$ , en lugar de usar diodos Zener se pueden usar circuitos cuyo funcionamiento se basa en sumar la caída de voltaje a través de juntas de base a emisor de varios transistores. La siguiente figura muestra un circuito que ilustra el concepto.



El circuito funciona de tal modo que la corriente  $I_1$  a través de  $Q_1$  es aproximadamente  $10 \times I_2$ , donde  $I_2$  es la corriente en  $Q_2$ . Como consecuencia,  $v_{BE,1} > v_{BE,2}$  y la corriente en el colector de  $Q_2$  es aproximadamente

$$i_{E2} = \frac{v_{BE,1} - v_{BE,2}}{R_4}$$

Como consecuencia,

$$V_{REF} = v_{BE,3} + (v_{BE,1} - v_{BE,2}) \frac{R_3}{R_4}$$

Debido a que la expresión tiene un signo negativo, escogiendo cuidadosamente las resistencias y las corrientes es posible lograr un coeficiente de temperatura muy bajo.

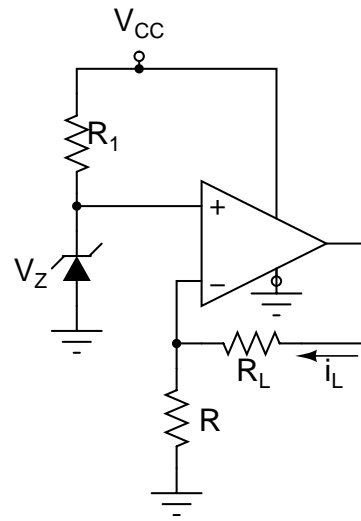
Ejemplos de aparatos que usan esta técnica son: TL431 (TI) y LM385 (NS).

## Fuentes de Corriente

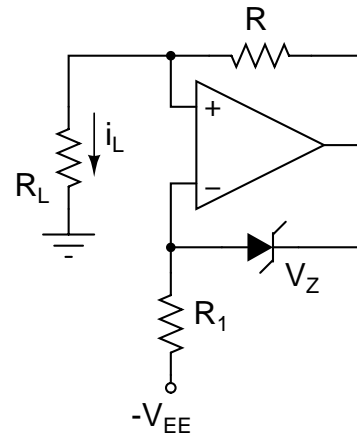
El siguiente circuito provee una corriente en la carga flotante  $R_L$  carga igual a

$$i_L = V_Z/R$$

mientras la salida no alcance saturación.



Si la carga debe ser conectada a tierra, una alternativa es la siguiente



para suplir corriente en la dirección indicada. Observe que debido a la conexión virtual entre las entradas del AO, el voltaje a través de  $R$  es  $V_Z$ . Por tanto la corriente en la carga es

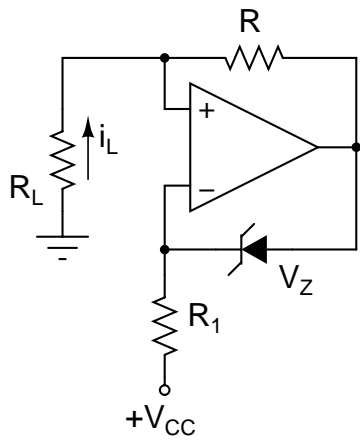
$$i_L = V_Z/R$$

El voltaje en la salida del AO es

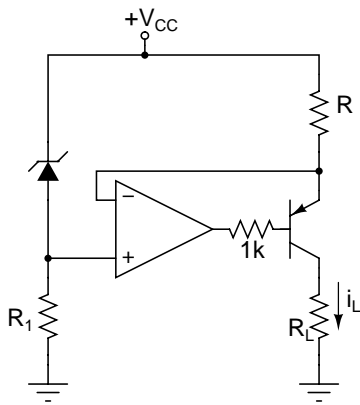
$$v_O = \left(1 + \frac{R_L}{R}\right) V_Z$$

y debe mantenerse dentro de los límites de saturación para que el circuito funcione correctamente.

Para absorber corriente en la dirección opuesta a la que muestra el diagrama anterior, puede usar el siguiente circuito



Para proveer un corriente mayor a la  $I_{SC}$  del AO,



donde

$$i_L \simeq V_Z/R$$

pero el AO solo debe proveer  $i_L$  sobre la  $\beta$  del transistor.