

6. Amplificadores Operacionales

F. Hugo Ramírez Leyva

Cubículo 3

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

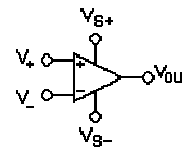
hugo@mixteco.utm.mx

Octubre 2012

1

Amplificadores Operacionales

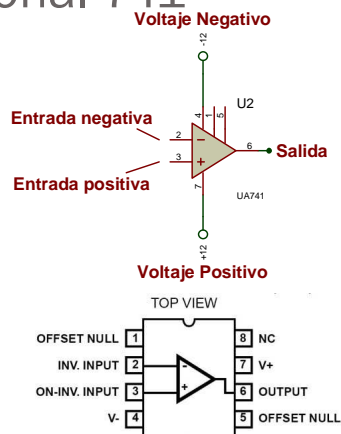
- El A.O. ideal tiene:
 - **Ganancia** infinita
 - Impedancia de entrada Infinita
 - Como la impedancia de entrada es infinita también se dice que las **corrientes** de entrada son cero.
 - **Ancho de banda** también infinito
 - Impedancia de salida nula
 - Tiempo de respuesta nulo
 - Ningún **ruido**.



2

Amplificador Operacional 741

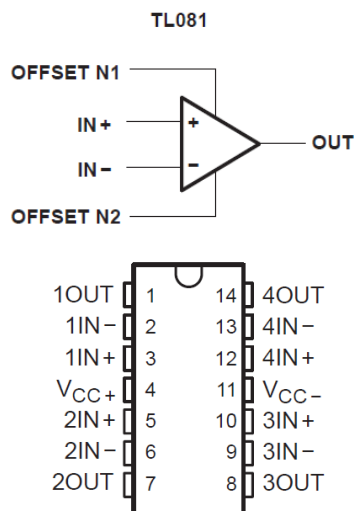
- Es el más popular.
- Es barato
- Se consigue fácilmente
- Utiliza 2 fuentes de voltaje para alimentarse
- Tiene 8 terminales
- El Offset se ajusta con un potenciómetro entre las terminales 1 y 5.
- Producto ganancia ancho de banda de 0.9MHz



3

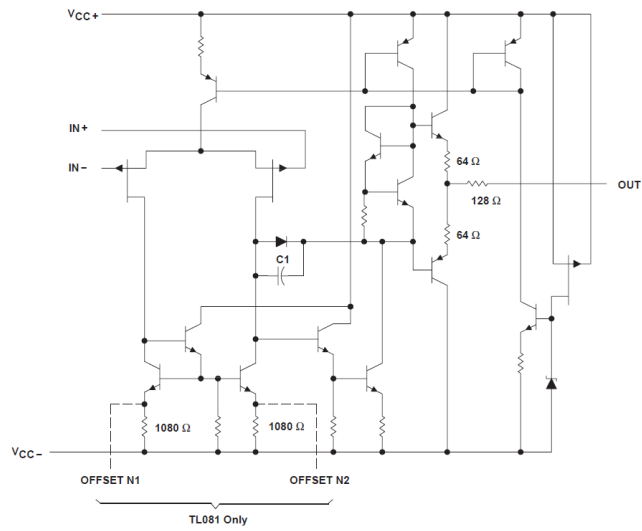
Amplificador Operacional TL084

- Bajo consumo de energía
- Protección contra cortos circuitos
- Alta impedancia de entrada (entradas JFET)
- Alto slew Rate o ancho de banda (13V/us)
- Rangos de voltaje de $\pm 18V$
- Tiene 4 OPAM en un solo CI.



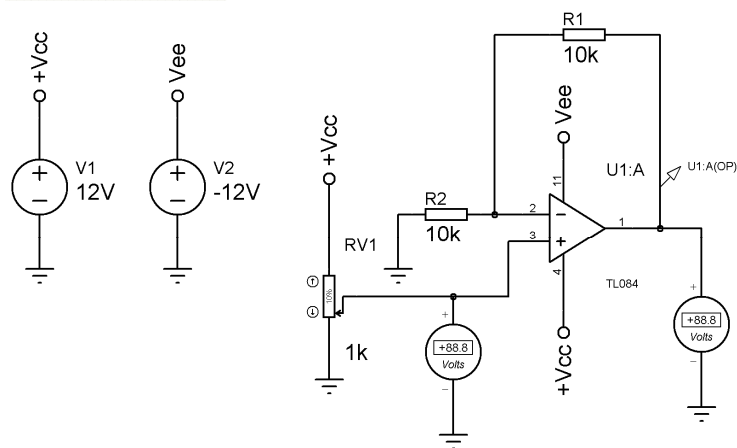
4

TL084



5

Conexión en Proteus del TL084



6

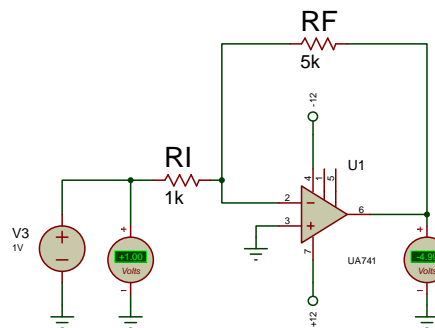
Configuraciones con operacionales

- Amplificador
 - No inversor
 - Inversor
 - Seguidor
 - Restador
 - Instrumentación
- Sumador
- Filtros
 - Pasa altas
 - Pasa bajas
 - Pasa banda
 - Rechaza banda
- Comparadores
 - Simples
 - Con Histéresis
- Temporizadores
 - Monoestable
 - Astable
- Rectificadores
 - De ½ onda y onda completa
- Integrador y Diferenciador

7

Amplificador Inversor

- El voltaje E_d entre + y - es cero cuando V_o no está saturado.
- La corriente requerida por las terminales + y - es despreciable.
- La ganancia de voltaje es negativa
- La impedancia de entrada es baja (igual a R_1)



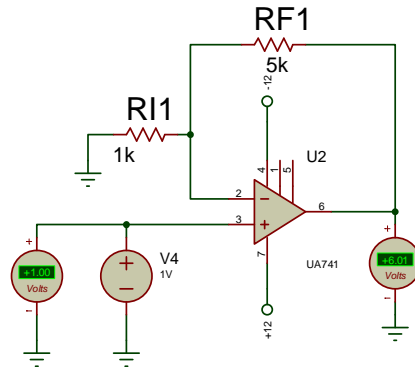
$$I_i = I_F + I_A$$

$$V_o = - \frac{R_F}{R_i} E_i$$

29/11 8

Amplificador no inversor

- La ganancia es positiva
- La impedancia de entrada es alta.
- Con 2 resistencias se controla la ganancia.
- Haciendo el mismo análisis para este amplificador la ganancia esta dada por:

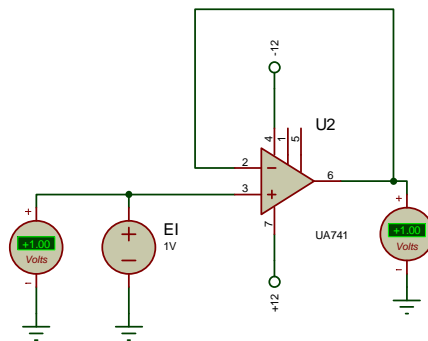


$$A_{LC} = \frac{V_o}{E_i} = \frac{R_F}{R_i} + 1$$

9

Seguidor de Voltaje

- Impedancia de entrada alta ($>1M\Omega$)
- Ganancia de voltaje $A_v=1$.
- Es usado para cambiar la impedancia de salida a un voltaje de referencia.

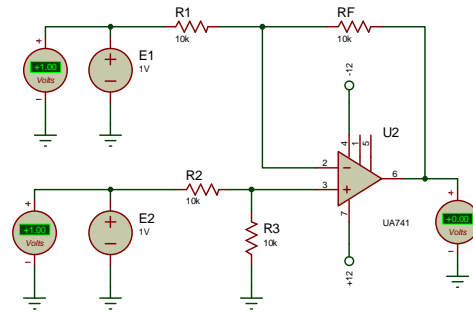


$$V_o = E_i$$

10

Amplificador diferencial

- Sirve para restar 2 señales.
- Tiene baja impedancia e entrada.
- Si todas las resistencias son iguales R, el voltaje a la salida es:

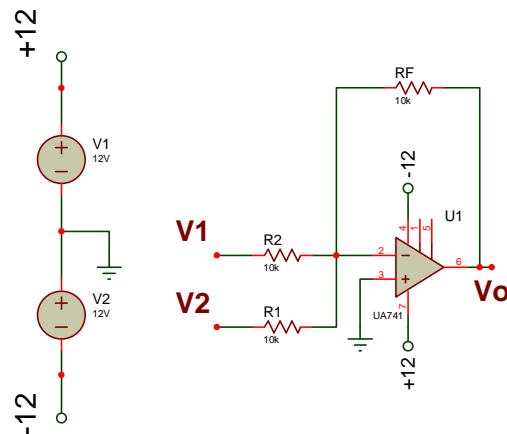


$$V_o = E_2 - E_1$$

11

Sumador

- Sirva para sumar 2 señales.
- El voltaje de salida es negativos
- Puede tener o no ganancia
- La impedancia de entrada es baja (igual a R1 y R2)

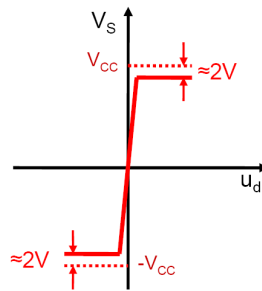
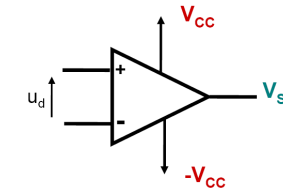
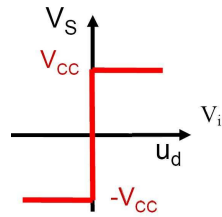


$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_1 - \frac{R_f}{R_2} V_2$$

12

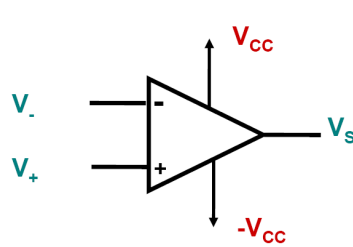
Comparadores con OPAMS

- En los comparadores “normales” la salida no cambia con mucha velocidad.
- El voltaje de salida no es mayor al V_{CC} y el negativo no es menor a $-V_{CC}$

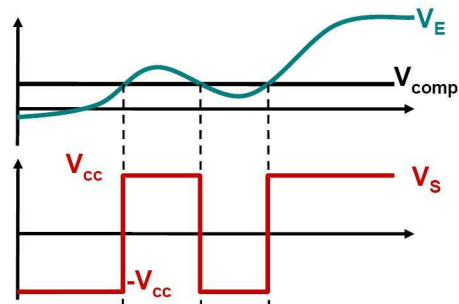
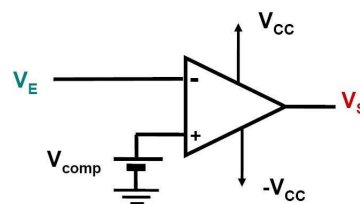


13

Comparadores con OPAMS



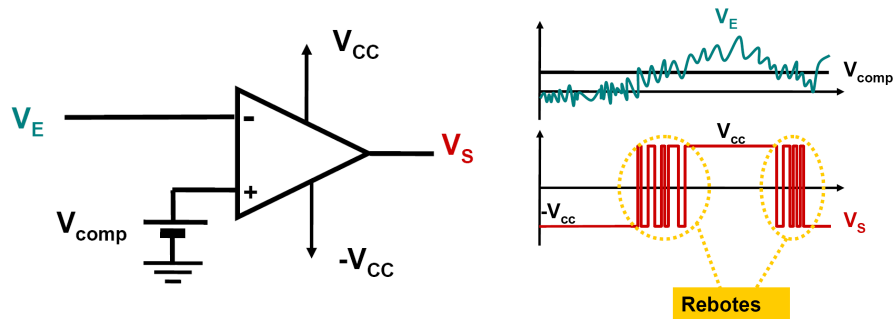
$$V_S = \begin{cases} V_{CC} & V_+ > V_- \\ -V_{CC} & V_+ < V_- \end{cases}$$



14

Comparadores con OPAMS

- Si hay ruido en la señal de entrada genera disparos en falso

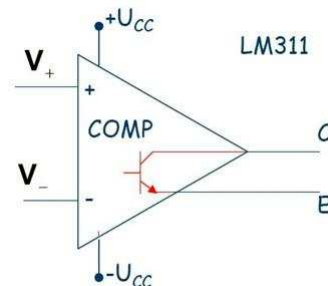


15

LM311

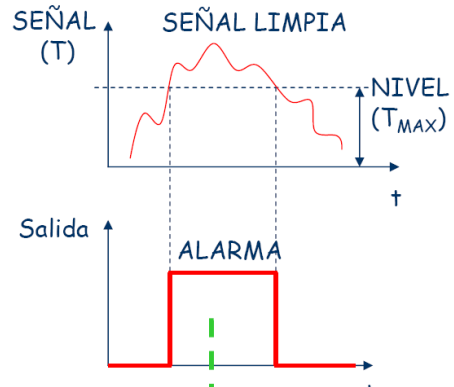
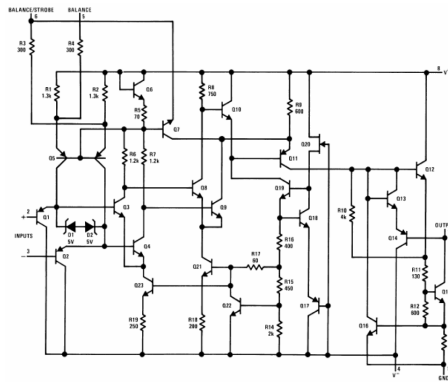
- El LM311 es un circuito comparador.
 - Su salida es a transistor.
 - Puede tener varios voltajes de salida (diferentes a la alimentación)
 - Esta diseñado para este fin

$$V_s = \begin{cases} V_{cc} & V_+ > V_- \\ 0 & V_+ < V_- \end{cases}$$



16

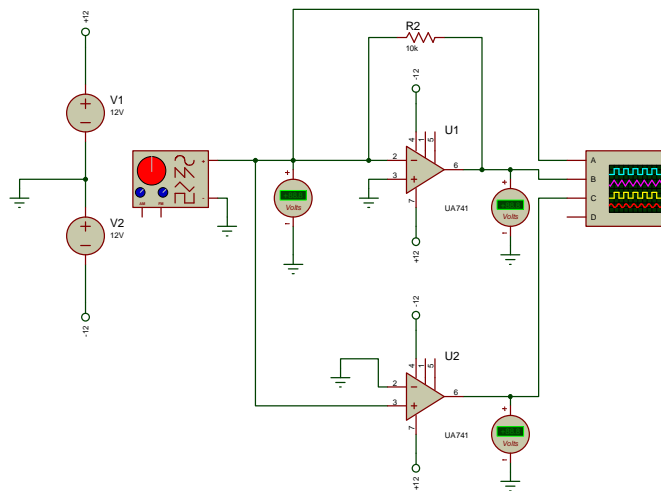
LM311



17

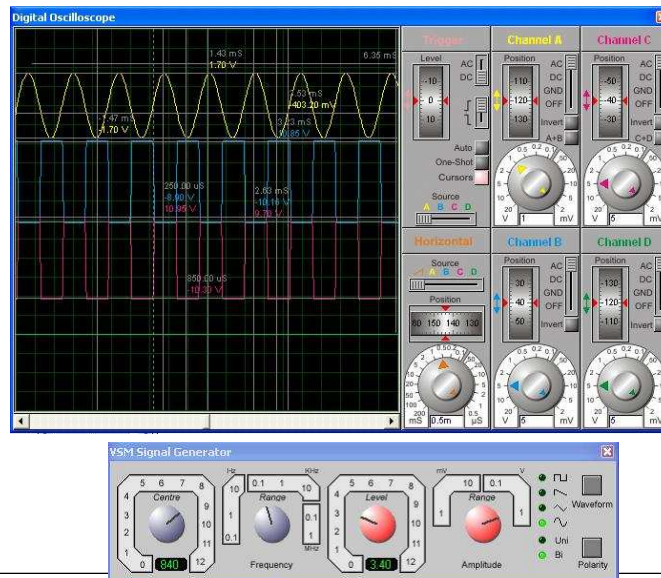
Detector de cruce por cero

- Es utilizado para cuando una señal senoidal pasa del ciclo positivo al negativo.



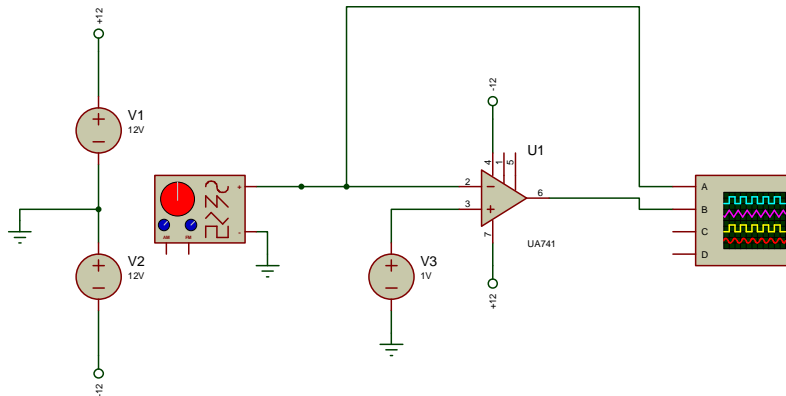
18

Detector de cruce por cero



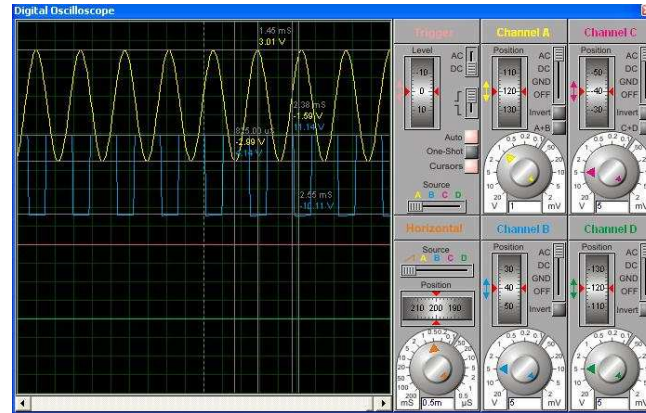
19

Comparador con una referencia de voltaje (V_{ref})



20

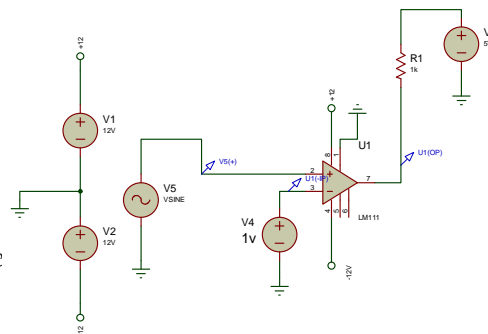
Comparador con una referencia de voltaje (Vref)



21

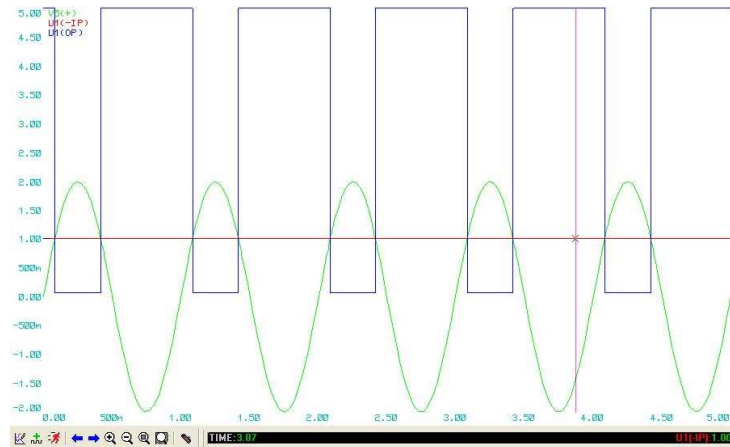
Comparador con salida a transistor LM11

- La salida es controlada por un transistor.
- Tien la ventaja de que puede conmutar cargas más grandes
- Permite manejar diferentes niveles de voltaje a la salida
- El LM111 se puede alimentar con una o 2 fuentes de voltaje
- Cuando el voltaje en + es mayor que en - el transistor se satura (conduce).



22

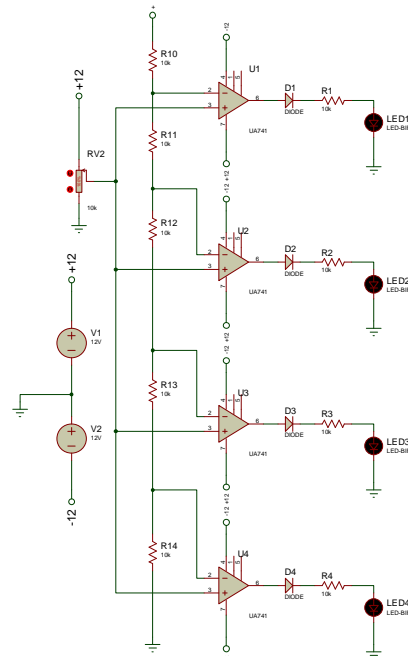
Comparador con salida a transistor LM11



23

Voltímetro de columna luminosa

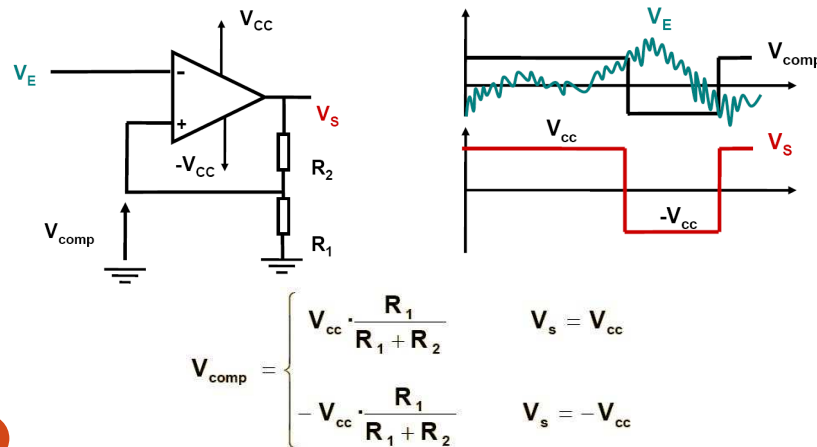
- Con comparadores se puede realizar un multímetro con LED's.
- También este diseño es usado para el desplegado gráfico de los ecualizadores.



24

Comparador con Histéresis

- Usando retroalimentación positiva se genera Histéresis y con ella esto se evitan disparos en falsos



25

Retroalimentación positiva

Análisis:

Voltaje de salida $V_O = V_{sat}$

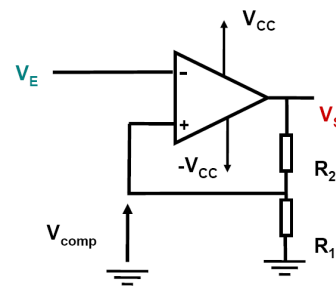
Voltaje en el divisor resistivo $V_{UT} = \frac{R_2 V_O}{R_1 + R_2}$

Voltaje diferencial $E_D = V_{UT} - V_{in}$

Voltaje de salida $V_O = \begin{cases} +V_{sat} & E_D > 0 \Rightarrow V_{in} < V_{UT} \\ -V_{sat} & E_D < 0 \Rightarrow V_{in} > V_{UT} \end{cases}$

Voltaje de umbral inferior $V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-V_{sat})$

Voltaje de umbral superior $V_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_{sat})$



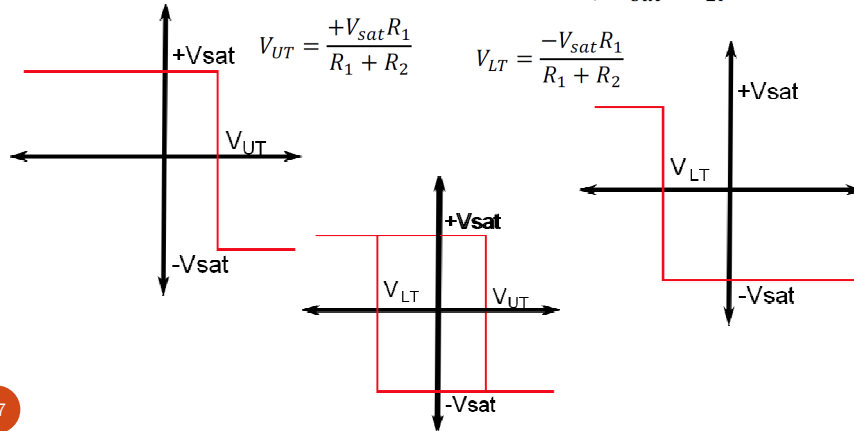
26

Análisis

- Cuando la salida $V_o = +V_{sat}$
- Cuando la salida $V_o = -V_{sat}$

$$V_o = \begin{cases} +V_{sat} & V_{UT} > V_{in} \\ -V_{sat} & V_{UT} < V_{in} \end{cases}$$

$$V_o = \begin{cases} +V_{sat} & V_{LT} > V_{in} \\ -V_{sat} & V_{LT} < V_{in} \end{cases}$$



27

Ejemplo

- Sea un comparador con $R_1 = 2k\Omega$ y $R_2 = 200k\Omega$. El voltaje de saturación es de $+12V$ y $-12V$.
- Al aplicar las ecuaciones se obtiene que:

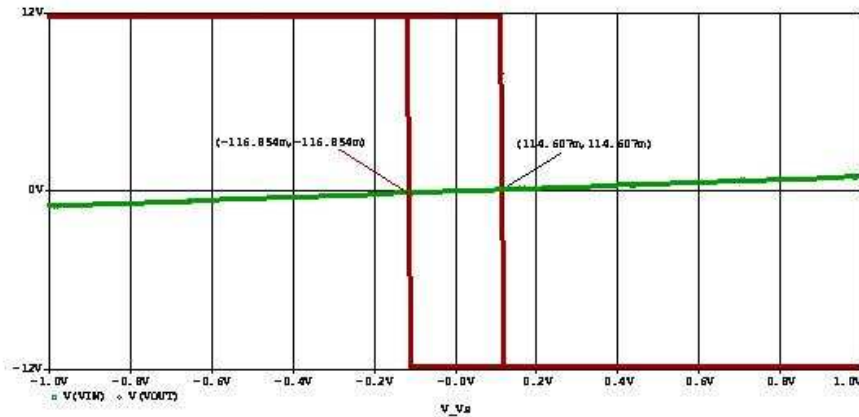
$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-V_{sat}) = -0.118V$$

$$V_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_{sat}) = 0.118V$$

- Se simuló el circuito en Orcad y se obtuvo que $V_{LT} = -0.116V$ y $V_{UT} = 0.114V$

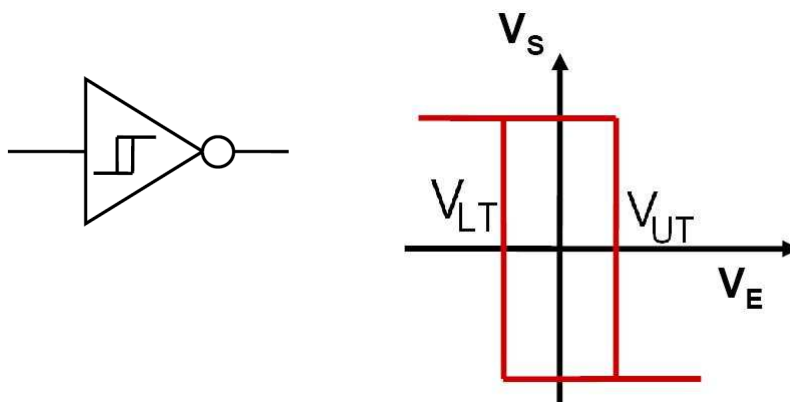
28

Ejemplo



29

Comparador con Histéresis



30

Detector no inversor de Nivel de voltaje con histéresis

- Voltaje de umbral superior

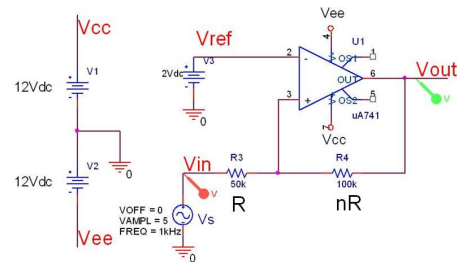
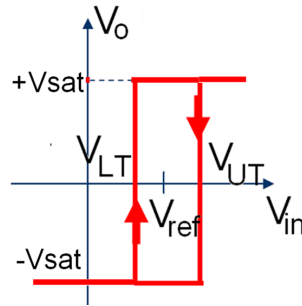
$$V_{UT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{-V_{sat}}{n}$$

- Voltaje de umbral inferior

$$V_{LT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{+V_{sat}}{n}$$

- Voltaje central

$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right)$$

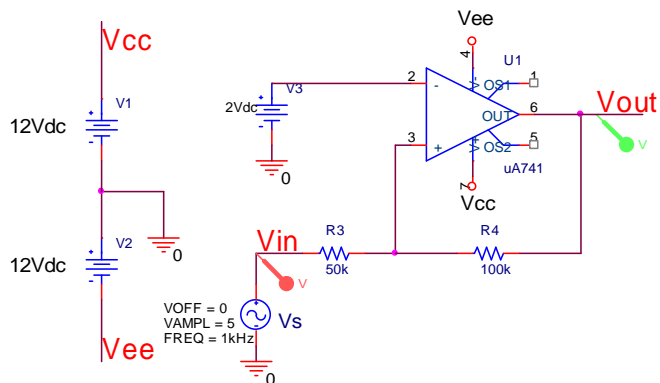


31

Ejemplo

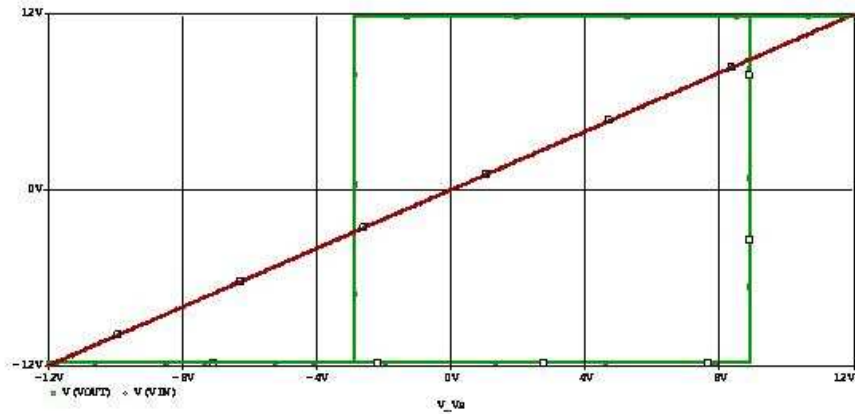
- Analizar el circuito de la figura

- $V_{LT} = 9V$
- $V_{UT} = -3V$
- $V_H = 12V$



32

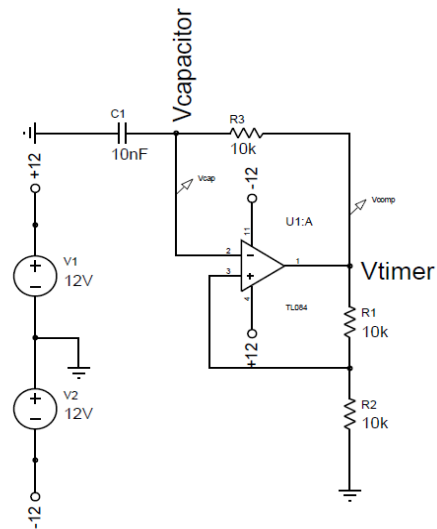
Ejemplo



33

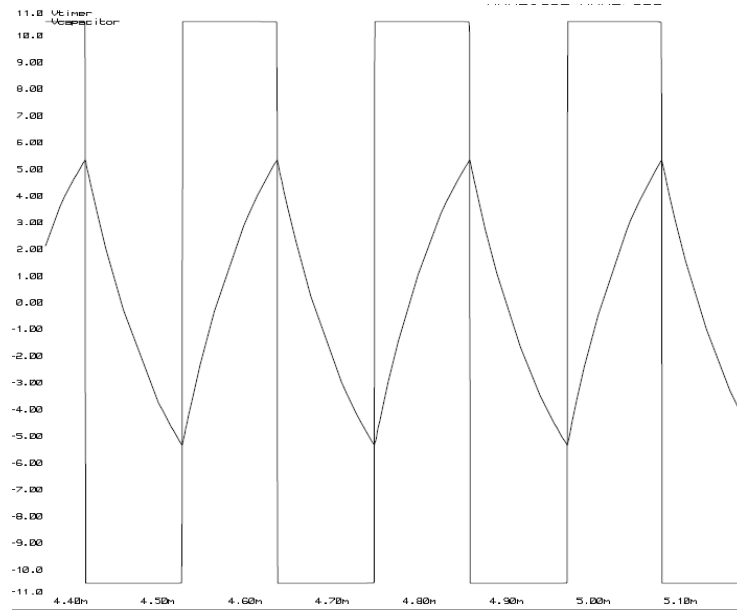
Temporizador con un OPAM

- Si se pone un circuito RC retroalimentado en la entrada negativa se consigue un temporizador
- La frecuencia de oscilación es función de la constante $\tau=RC$



34

Temporizador con un OPAM

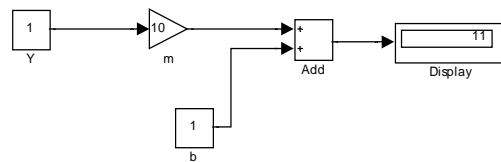


35

Circuito Acondicionador de Señales (CAS)

- Hay ocasiones en las que se necesita generar una ecuación de línea recta en función del voltaje de entrada
- La ecuación de salida es del tipo lineal $y=mx+b$
 - Donde x es el voltaje de entrada
 - y el voltaje de salida
 - b el nivel de offset
 - El circuito que genera esta ecuación es:

$$m = \frac{Y_{max} - Y_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$



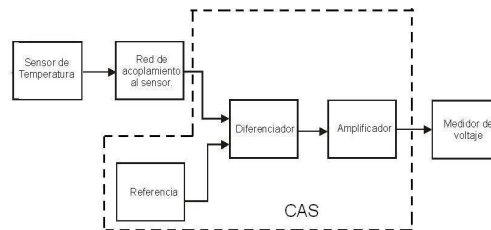
36

Circuito Acondicionador de Señales

- El circuito acondicionador de señales (CAS) se comporta como una línea recta

$$y = mx + b$$

- Se usa para acondicionar los niveles de voltaje de un sensor:



37

29/11/2012

- Ejemplo Diseñar el circuito que genera el voltaje de la figura:
 $y=5x+1$

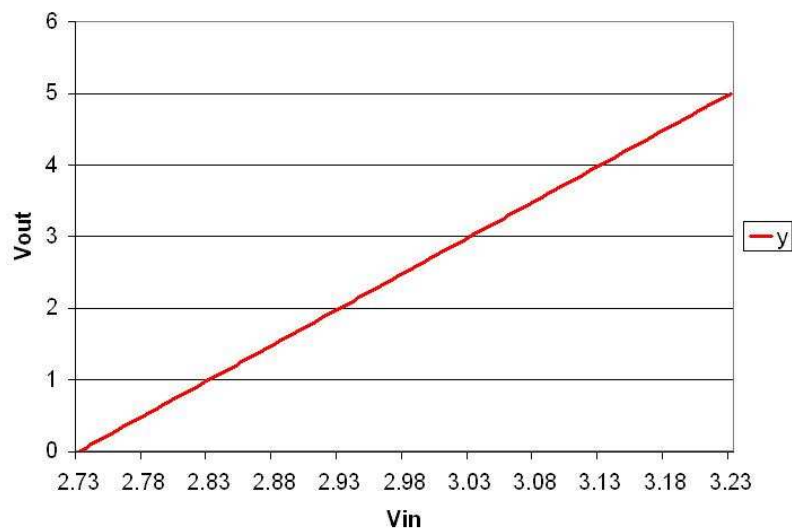
38

Diseño de un CAS

- Diseñar un circuito de acondicionamiento de señales para que mida temperaturas en el rango de 0 a 50°C. El Margen de voltajes a la salida es de 0 a 5V. Se desea que la salida del CAS sea lineal, es decir, cuando la temperatura sea 0°C la salida del CAS sea 0V; cuando el sensor tenga 50°C la salida del CAS sea de 5V.
- Solución
 - El sensor de temperatura a usar es el LM335
 - Suministra un voltaje en función de los °K
 - Su ecuación de salida es 10mV/°K
 - Trabaja en el rango de -10 a 100°C

39

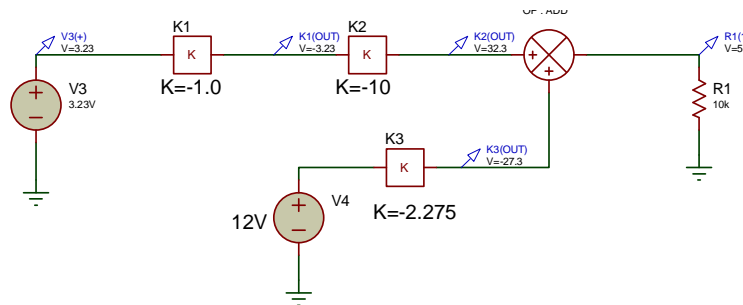
Diseño de un CAS



40

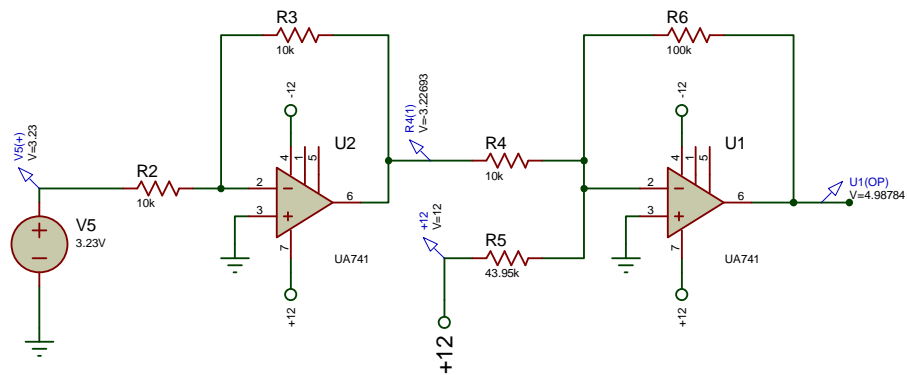
Diseño de un CAS

- Se necesita diseñar un circuito que cuando se tenga un voltaje de 2.73V a la salida se tenga 0V; cuando la entrada sea de 3.23V la salida sea de 5V.
- Con estos datos, la ecuación del CAS es:
- Modelado a bloques



41

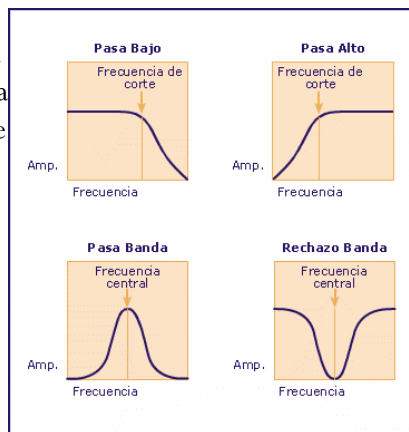
Diseño de un CAS



42

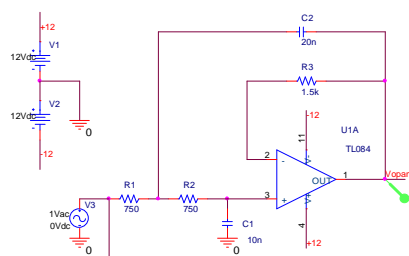
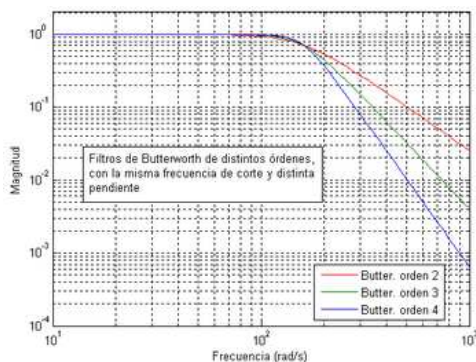
Filtros

- Los filtros son circuitos que permiten el paso de una determinada frecuencia mientras atenúan todas las señales que no están dentro de esa banda.
- Existen 5 tipos de filtros:
- Pasa bajas, Pasa altas, Pasa banda, rechaza banda y pasa todo.
- La frecuencia de corte f_c se conoce como frecuencia 0.7071 o frecuencia de -3dB, o frecuencia de ruptura



43

Filtro pasa bajas Butterworth



$$H(s) = \frac{1}{s^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + s C_1 (R_1 + R_2) + 1}$$

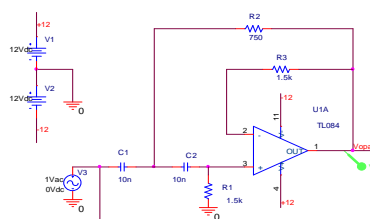
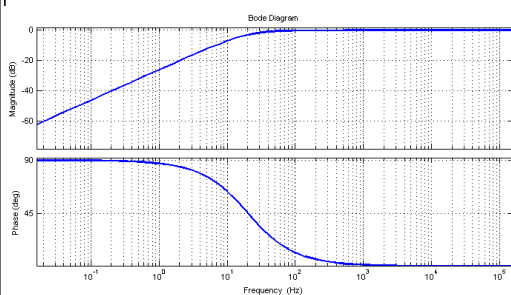
44

Procedimiento de diseño del filtro pasa bajas Butterworth

- El **filtro de Butterworth** es uno de los **filtros** electrónicos más básicos, diseñado para producir la respuesta más plana que sea posible hasta la **frecuencia de corte**.
- La salida se mantiene constante casi hasta la frecuencia de corte, luego disminuye a razón de **20n dB** por década
- Definir la frecuencia de corte
- Definir C1; elegir un valor comprendido entre 100pF y 0.1 uF
- Definir C2=2C1
- Calcular $R = \frac{0.7071}{2\pi f_c C_1}$
- Definir $R_2 = 2R$
- Definir

45

Filtro Butterworth pasa altas



$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + \frac{2}{RC}s + \frac{2}{(RC)^2}} = \frac{s^2}{\left(s + \frac{1+j}{RC}\right)\left(s + \frac{1-j}{RC}\right)}$$

46

Procedimiento de diseño del filtro pasa altas Butterworth

- Definir la frecuencia de corte ω_c o f_c
- Definir $C_1=C_2=C$ adecuado

- Calcular R_1 mediante

$$R_1 = \frac{1.414}{\omega_c C}$$

- Hacer

$$R_2 = \frac{1}{2} R_1$$

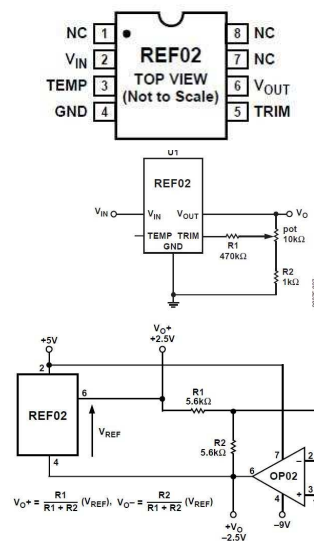
- Para reducir al mínimo el desvío, hacer:

$$R_f = R_1$$

47

Referencias de Voltaje

- Las referencias de voltaje integradas se utilizan cuando se requiere un voltaje muy preciso.
- Para definir el voltaje de referencia de un convertidor
- Mantienen el voltaje ante variaciones de temperatura
- El CI REF02 proporciona un voltaje de +5V



48