

2. Mediciones con Puentes

F. Hugo Ramírez Leyva

Cubículo 3

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

hugo@mixteco.utm.mx

Marzo 2012

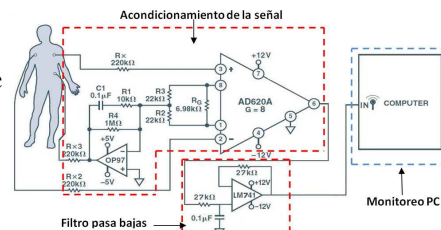
1

Sistemas de acondicionamiento

- En esta parte del curso se vera la forma en que se realiza el sistema de acondicionamiento de sensores de tipo resistivo.



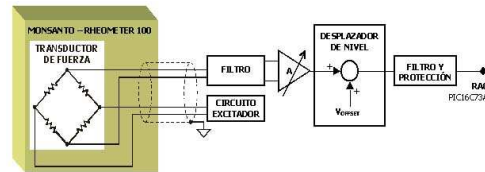
- También el amplificador de instrumentación y los operacionales usados como comparadores de voltaje



2

Mediciones con puentes de CD

- Se utilizan para hacer mediciones muy precisas de:
 - Resistencias grandes
 - Resistencias Bajas
 - Medición de inductancia y capacitancia
 - Interfaz con transductores
- Tipos de puentes
 - De DC
 - De Wheatstone
 - Kelvin
 - Wheatstone con protecciones
 - De AC
 - Maxwell
 - Hay
 - Schering
 - Wagner



3

Puente de Wheatstone

- Un puente de Wheatstone es un instrumento eléctrico de medida inventado por [Samuel Hunter Christie](#) en [1832](#), mejorado y popularizado por Sir [Charles Wheatstone](#) en [1843](#).
- Sirve para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de sus brazos, aunque es más utilizado para acondicionar sensores de tiempo resistivo.
- Consta de 4 ramas, una fuente de voltaje y un detector de cruce de cero por corriente.
- Un puente está balanceado cuando la corriente a través del galvanómetro es cero.

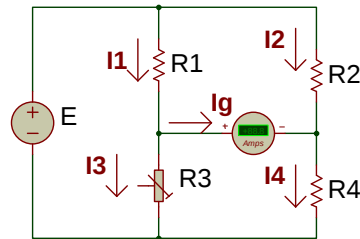


4

Puente de Wheatstone

- Cuando el puente esta en equilibrio $I_g = 0$
- R3 es una resistencia variable
- Por lo tanto $I_1 R_1 = I_2 R_2$
- $I_1 = I_3 = \frac{E}{R_1 + R_3}$ e $I_2 = I_4 = \frac{E}{R_2 + R_4}$
- Como $I_1 R_1 = I_2 R_2$ desarrollando se llega a que: $R_4 R_1 = R_3 R_2$
- Si R4 es la resistencia desconocida

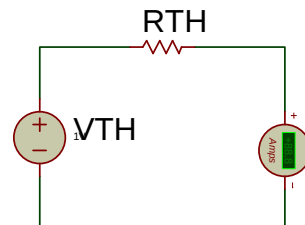
$$R_4 = R_x = R_3 \frac{R_2}{R_1}$$
- A R3 se le llama rama patrón; R1 y R2 son las ramas de relación.



5

Circuito equivalente del Puente de Wheatstone

- Hay que obtener el equivalente de Thevenin para efectos de análisis.
- Los 2 parámetros son:
 - La resistencia Thevenin se obtiene poniendo la fuente $E=0$ (Corto circuito).
 - La resistencia que se obtiene es:



$$R_{TH} = R_1 \parallel R_3 + R_2 \parallel R_4 = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}$$

- El voltaje de Thevenin es el voltaje que se mide en los puntos deseados.
- El voltaje de Thevenin es:

$$V_{TH} = \left[\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right] E$$

6

Circuito equivalente del Puente de Wheatstone

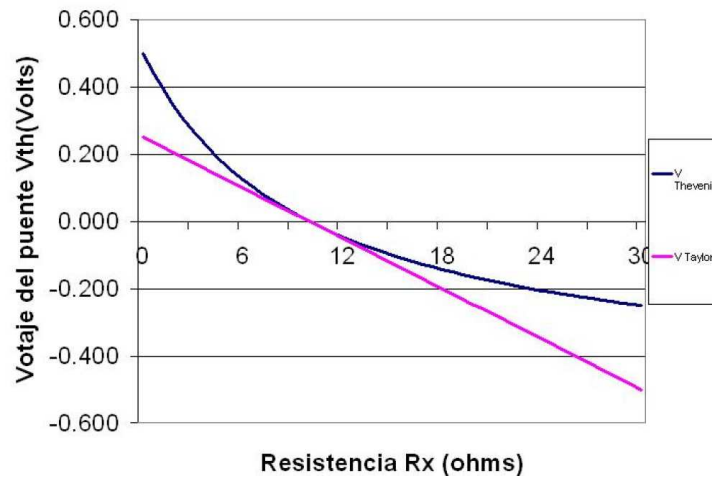
- Si todas las resistencias son iguales, excepto $R_4 = R_x$, se puede aproximar por:
$$V_{TH} = \left[\frac{1}{2} - \frac{R_x}{R + R_x} \right] E$$

- Si se considera a $R_x = R + r$, donde r es la variación sobre la resistencia nominal, tomando como variable a r y haciendo una expansión en series de Taylor, el voltaje queda como:

$$V_{TH} = \frac{-r}{4R} E$$

7

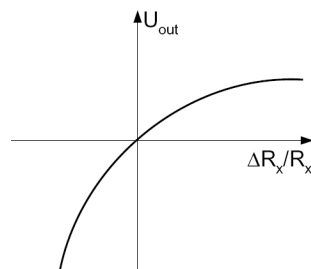
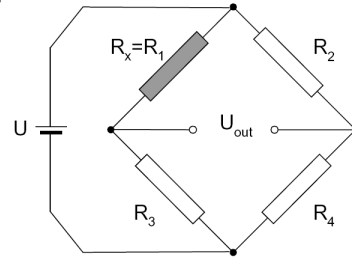
Circuito equivalente del Puente de Wheatstone



8

Errores de medición

- Sensibilidad insuficiente del detector
 - Límite superior sensibilidad del detector
 - Límite inferior la resistencia de los alambres.
- Cambios en las resistencias de ramas por calentamiento
- Resistencias de los contactos



9

Ejemplo 1:

- Sea un puente con $R_1=100$; $R_2=1000$; $R_3=200$; $R_4=2000$ y $E=5V$. Si la resistencia de la batería $R_b=0\Omega$, la sensibilidad del galvanómetro $S=100\text{mm}/\mu\text{A}$, Resistencia del galvanómetro $R_g=100\Omega$. Calcular la deflexión por una variación de 5Ω en R_4 .
- Sol:
 - El puente está en equilibrio. Cuando $R_4=2005\Omega$, se desequilibra.
 - El equivalente del puente es $R_{th}= 66.66\Omega + 667.22\Omega=733.88\Omega$
 - El voltaje de Thevenin $V_{th}= 2.77\text{mV}$.
 - La corriente del circuito es: $I_g = \frac{V_{th}}{R_{th} + R_g} = 3.32\mu\text{A}$
 - La deflexión del galvanómetro es: $d = I_g S = 3.32\mu\text{A}(100\text{mm} / \mu\text{A}) = 33.2\text{mm}$

10

Ejemplo 2

- Repetir el ejemplo anterior pero ahora considerando que la resistencia interna R_g es de 500Ω .
- Sol: $I_g = 2.24\mu A$, $S = 2.24mm$.

11

Puentes de Wheatstone Comerciales

- En el Mercado existen varios fabricantes que utilizan como entrada de acondicionamiento el Puente de Wheatstone.
- Hay configuraciones de $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ puente (es decir externamente se le suministran 2 de las ramas del puente)
- Tienen internamente amplificadores diferenciales.
- Entre las marcas existentes están:
 - National Instruments tiene los siguientes modelos
 - SCC-SG01 2 120Ω , quarter-bridge strain gages 777459-13
 - SCC-SG02 2 350Ω , quarter-bridge strain gages 777459-14
 - SCC-SG03 2 Half-bridge strain gages 777459-15
 - SCC-SG04 2 Full-bridge strain gages 777459-16
 - SCC-SG11 2 Shunt calibration 777459-17
 - SCC-SG24 2 Full-bridge strain gages, load cells, pressure sensors, torque sensors 777459

12

Aplicaciones comerciales del Puente de Wheatstone

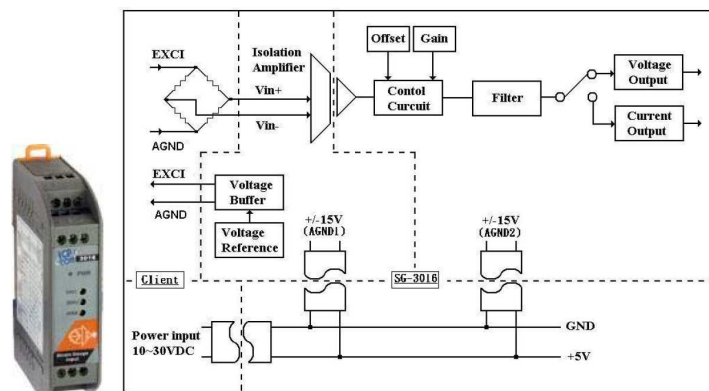
- http://www.ni.com/pdf/products/us/4daqsc253-265_194-196.pdf



13

Aplicaciones comerciales del Puente de Wheatstone

- ICP DAS signal conditioner
- <http://www.logicbus.com.mx/SG-3016.php>



14

Puente Kelvin

- Incrementa la exactitud con respecto al puente de Wheatstone.
- Se usa para medir resistencias de valor bajo (menores a 1Ω)
- R_y = Resistencia del alambre que conecta el punto m a al n.

$$R_y = R_{mp} + R_{np}$$

- Si el galvanómetro se conecta en el punto p, de tal manera que

$$\frac{R_{np}}{R_{mp}} = \frac{R_1}{R_2}$$

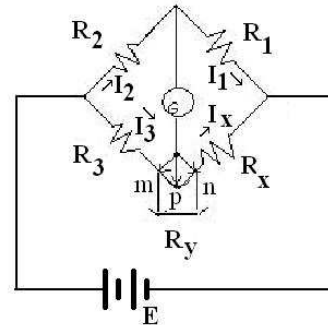
- En equilibrio $I_g = 0$

- Haciendo manipulaciones se puede mostrar que:

$$I_1 = I_2 = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

- Reorganizando se llega a:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$$



15

Puente de CA y sus aplicaciones

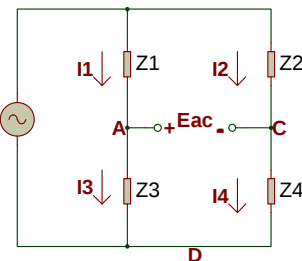
- Sirve para medir inductancias y capacitancias desconocidas (impedancias)
- Es similar al puente de Wheatstone, pero en sus ramas tiene impedancias (inductores o capacitares).
- Consta de 4 ramas y fuente de excitación senoidal

- Cuando Esta en equilibrio $E_{BA} = E_{BC}$

$$I_1 = \frac{E}{Z_1 + Z_3} \text{ e } I_2 = \frac{E}{Z_2 + Z_4}$$

- Reduciendo se comprueba que:

$$Z_2 Z_4 = Z_1 Z_3$$



16

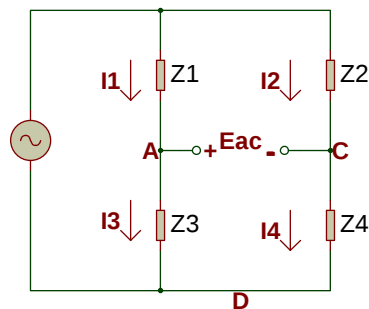
Ejemplos

$$\dot{Z}_1 = 100\Omega \angle 80^\circ, Z_2 = 250\Omega, \\ Z_3 = 400\Omega \angle 30^\circ.$$

El valor de Z_4 es: $Z_4 = 1000\Omega \angle 50^\circ$

$$Z_1 = 450\Omega, Z_2 = 300\Omega - j600\Omega \\ Z_3 = 200\Omega + j100\Omega.$$

El valor de Z_4 es: $Z_4 = j150\Omega$

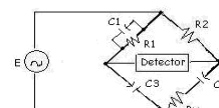
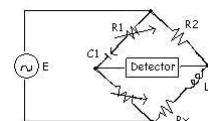
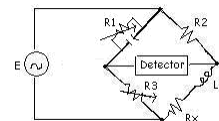


$$Z_2 Z_4 = Z_2 Z_3$$

17

Otros Puentes

- **Puente de Maxwell**
 - Mide inductancias.
 - Es función de capacitancia
 - Se usa para medir bobinas con Q medios ($1 < Q < 10$)
- **Puente de Hay**
 - Mide inductancias.
 - Es función de capacitancia
 - Se usa para medir bobinas con Q grandes ($Q > 10$)
- **Puente de Schering**
 - Mide capacitancias
 - La capacitancia desconocida se calcula en función de un capacitor y resistor conocidos.
- **Puente de Wien**
 - Se usa para medir frecuencias
 - Funciona también como filtro pasa bandas
 - La frecuencia es función de los resistores variables R_1 y R_3



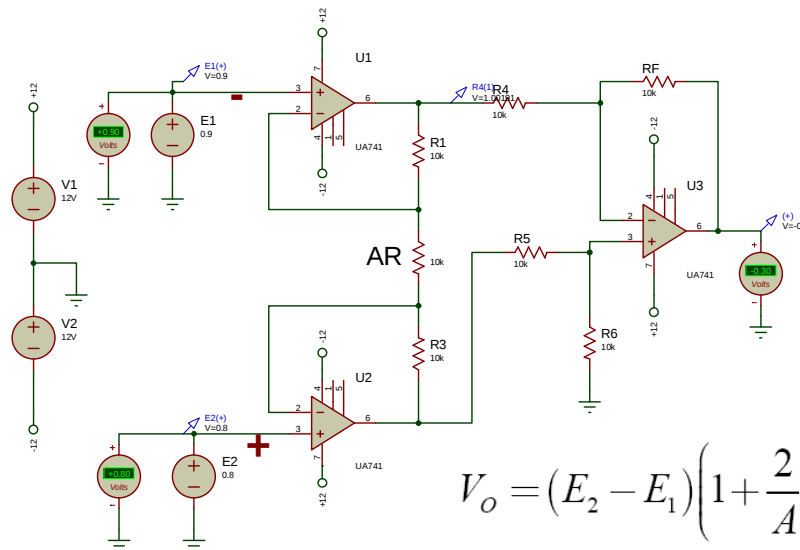
18

Amplificadores de instrumentación

- Es el amplificador más utilizado en aplicaciones de medición, instrumentación y control.
- Está formado por 3 amplificadores operacionales y varias resistencias de precisión.
- En el mercado existen varios dispositivos de este tipo, pero son relativamente caros, el de mas bajo costo es el AD620AN.
- En la siguiente figura se muestran las partes que integran al amplificador de instrumentación, si todas las resistencias son R, excepto la marcada como AR, donde A es una constante. La ecuación de salida esta dada por:

19

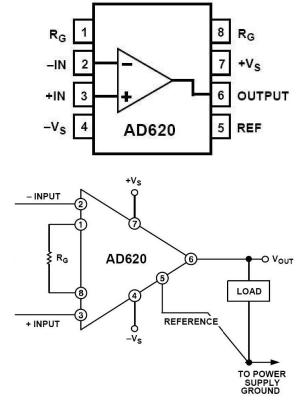
Amplificadores de instrumentación



20

Amplificador de Instrumentación AD620

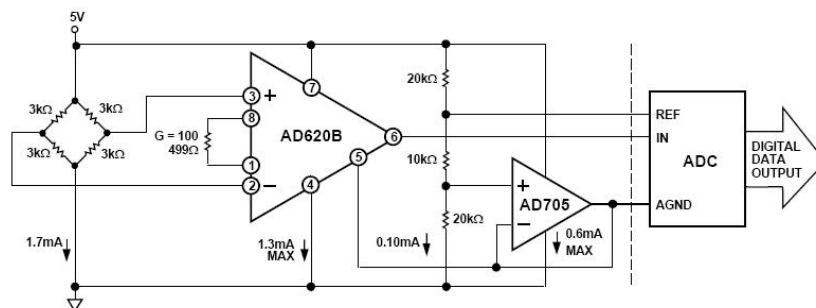
- La ganancia es puesta con un solo resistor R_G (en el rango de 1 a 10 000)
- Voltajes de operación de $\pm 2.3V$ a $\pm 18V$.
- Consumo de corriente de 1.3mA.
- 50 μV máximo de Offset
- Ancho de banda de 120kHz con $G=100$.
- Es de bajo costo
- Encapsulado DIP de 8 terminales
- Es un amplificador monolítico con resistores ajustados por láser con una precisión del 0.15%.
- Aplicaciones
 - Medidor de presión con puente de Wheatston
 - Electrocardiógrafo
 - Medidor de temperatura con termopar



$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1$$

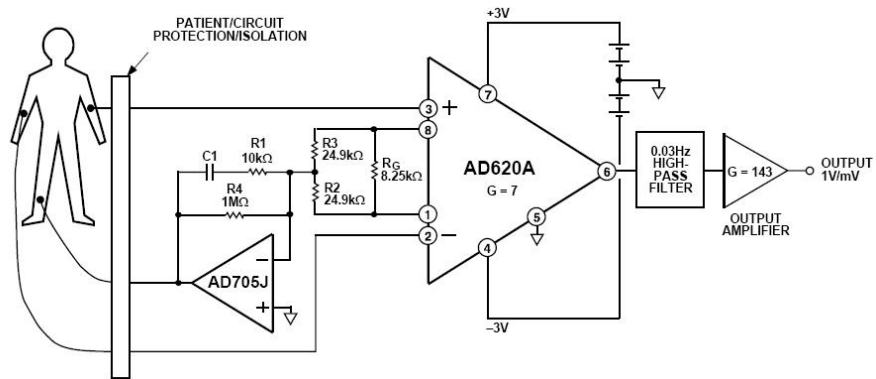
21

Amplificador de Instrumentación AD620



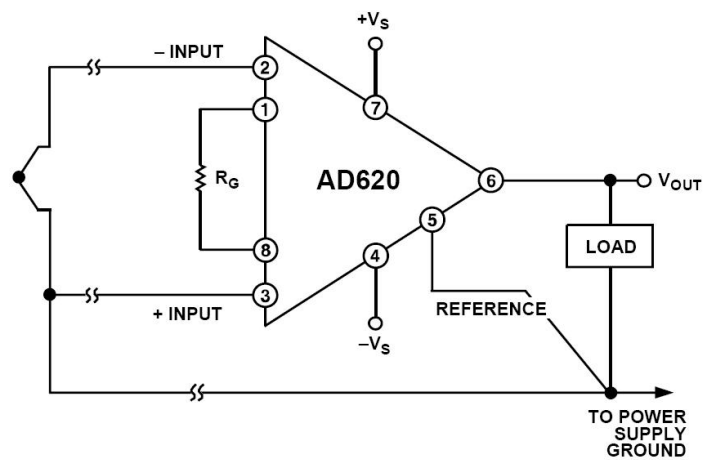
22

Amplificador de Instrumentación AD620



23

Amplificador de Instrumentación AD620

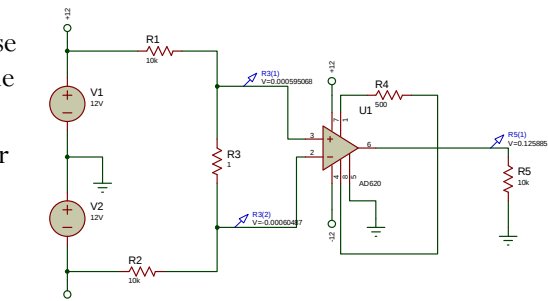


24

Simulación del AD620A

- El Proteus tiene definido el modelo de este operacional.
- En la siguiente figura se muestra el resultado de la simulación
- El voltaje en el resistor R3 es 1.2mV.
- La ganancia del amplificador es
- El voltaje de salida es
- La simulación da

$$G = \frac{49.4k\Omega}{0.5k\Omega} + 1 = 99.8$$



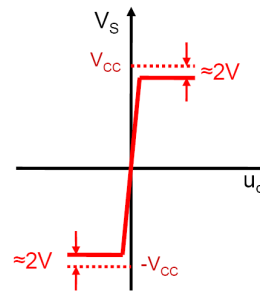
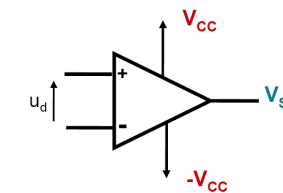
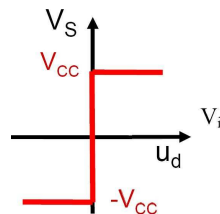
$$V_o = GV_{dif} = (99.8)1.2mV = 119.76mV$$

$$V_o = 125mV$$

25

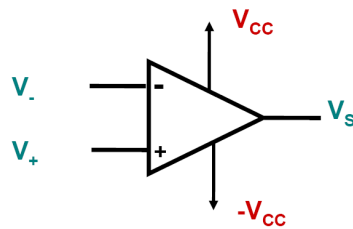
Comparadores con OPAMS

- 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 $-V_{CC}$

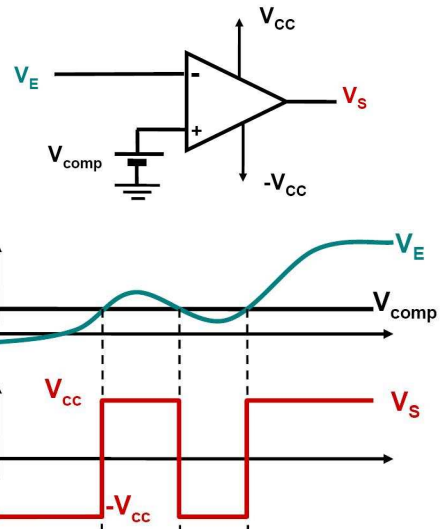


26

Comparadores con OPAMS



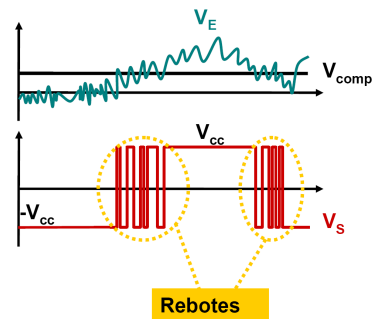
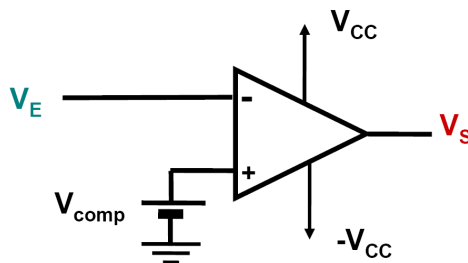
$$V_s = \begin{cases} V_{cc} & V_+ > V_- \\ -V_{cc} & V_+ < V_- \end{cases}$$



27

Comparadores con OPAMS

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

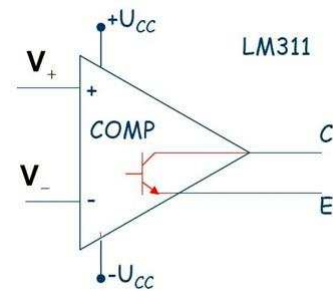


28

LM311

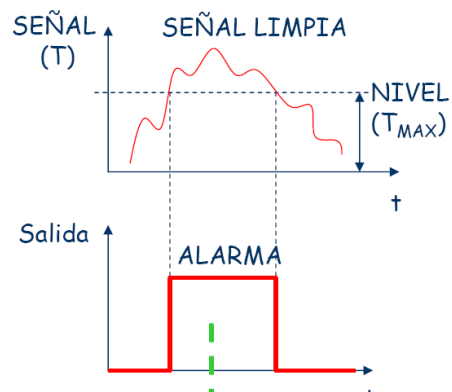
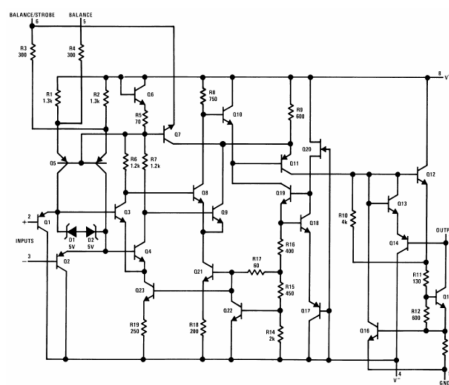
- El LM311 es un circuito comparador.
 - Su salida es a transistor.
 - Puede tener varios voltajes de salida (diferentes a la alimentación)
 - Esta diseñado para este fin

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



29

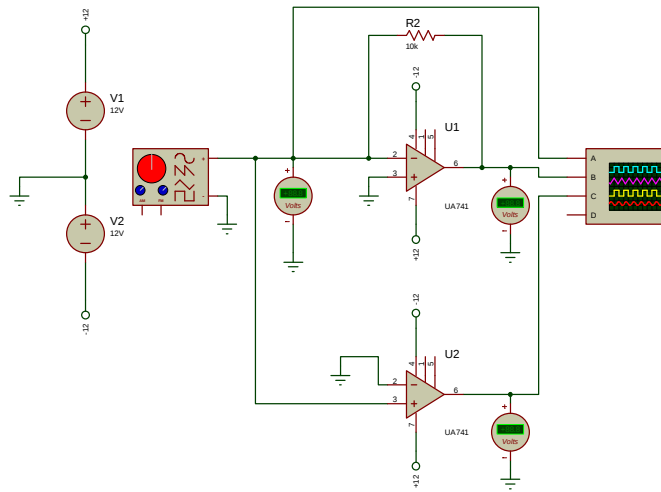
LM311



30

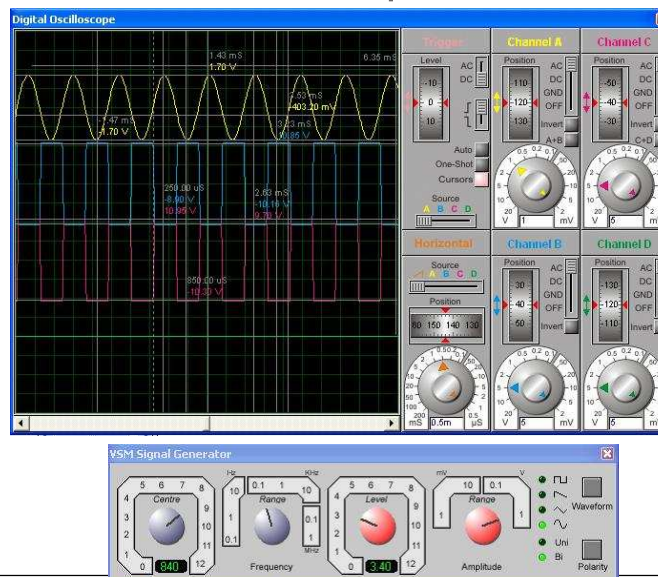
Detector de cruce por cero

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



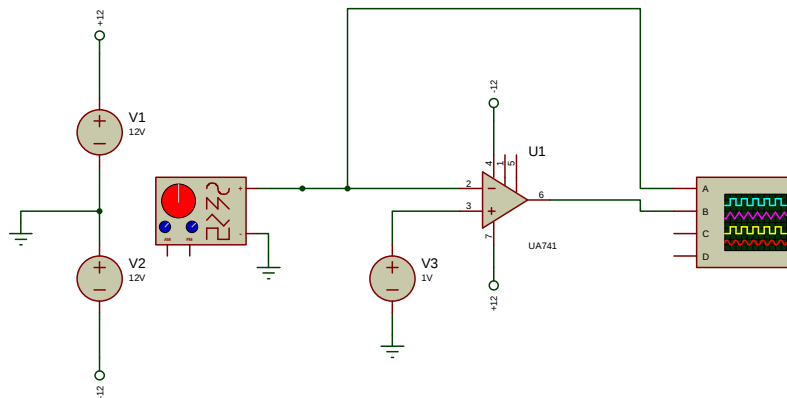
31

Detector de cruce por cero



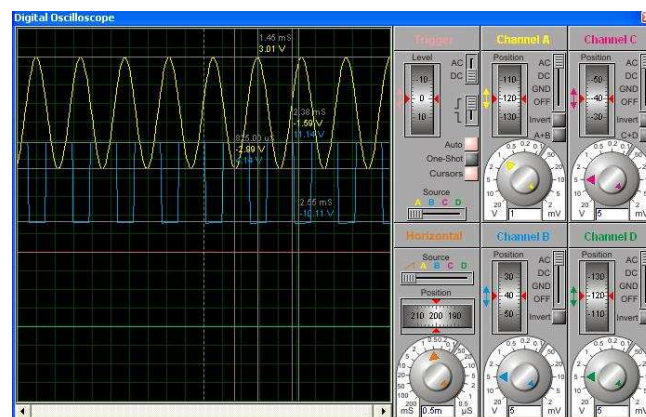
32

Comparador con una referencia de voltaje (Vref)



33

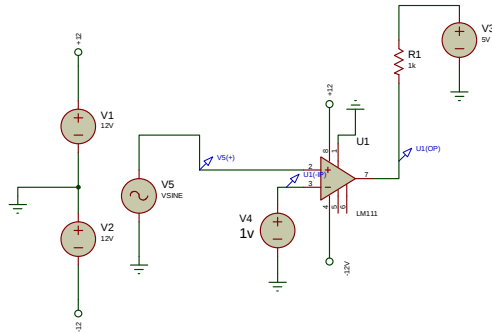
Comparador con una referencia de voltaje (Vref)



34

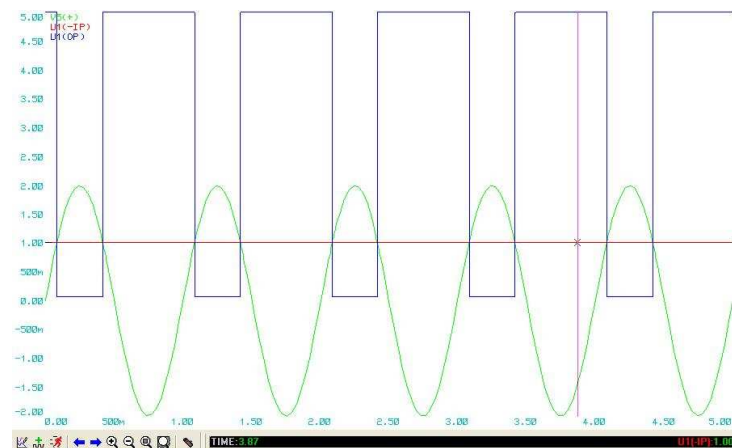
Comparador con salida a transistor LM11

- 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).



35

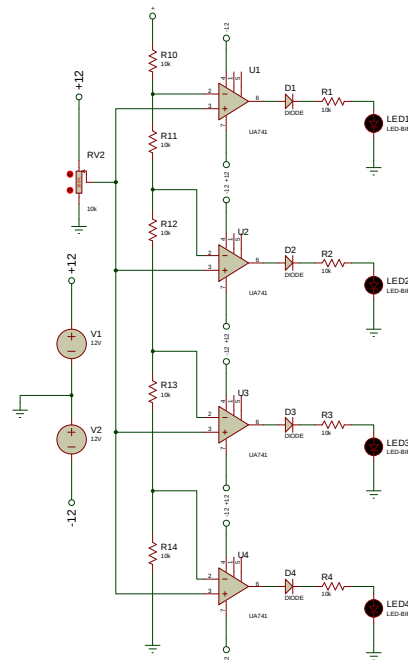
Comparador con salida a transistor LM11



36

Voltímetro de columna luminosa

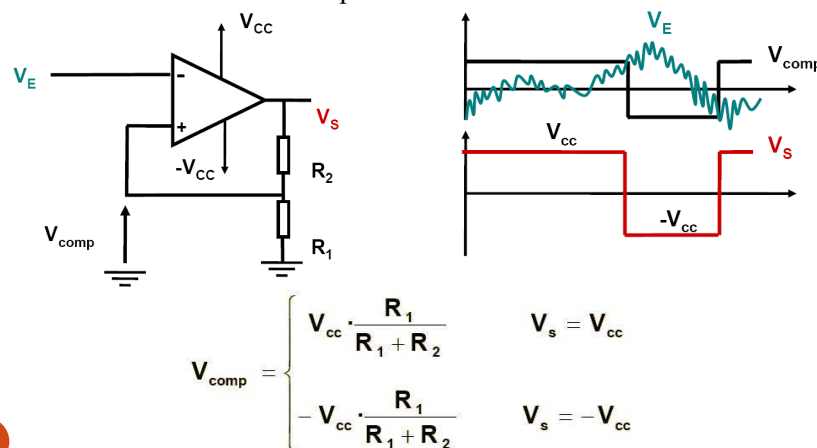
- Con comparadores se puede realizar un multímetro con LED's.
- También este diseño es usado para el despliegado gráfico de los ecualizadores.



37

Comparador con Histéresis

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



38

Retroalimentación positiva

Análisis:

Voltaje de salida $V_O = V_{sat}$

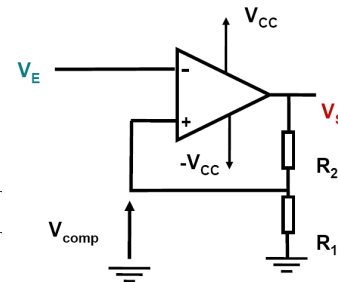
Voltaje en el divisor resistivo $V_{UT} = \frac{R_2 V_O}{R_1 + R_2}$

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

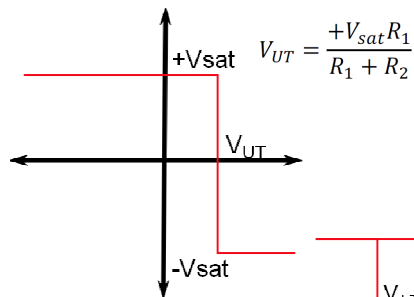


39

Análisis

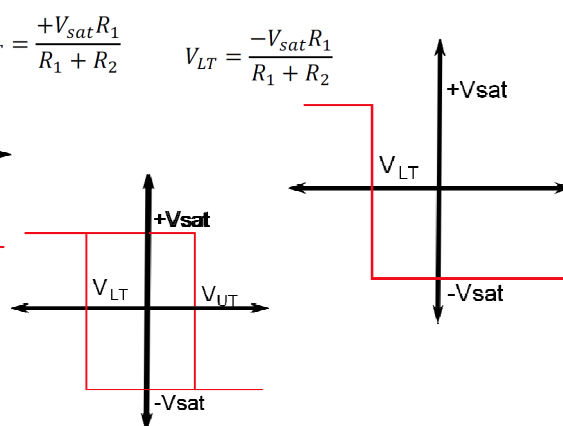
- Cuando la salida $V_O = +V_{sat}$

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



- Cuando la salida $V_O = -V_{sat}$

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



40

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:

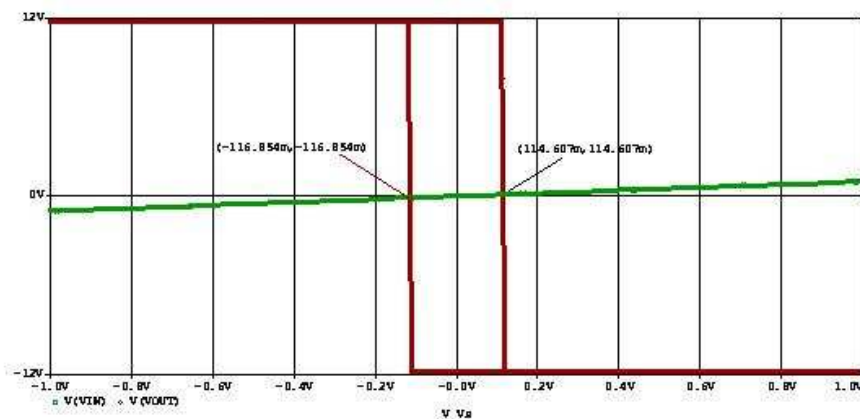
$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(-V_{sat}) = -0.118V$$

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

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

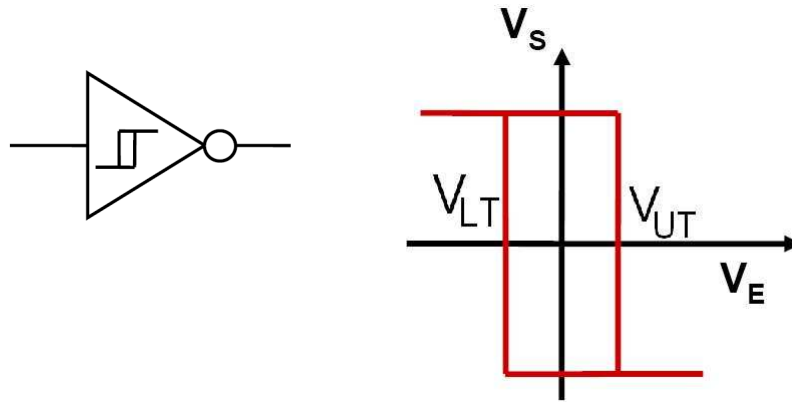
41

Ejemplo



42

Comparador con Histéresis



43

Detector no inversor de Nivel de voltaje con histéresis

- Voltaje de umbral superior

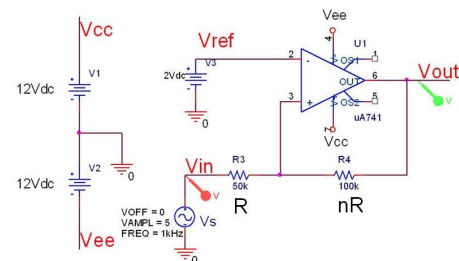
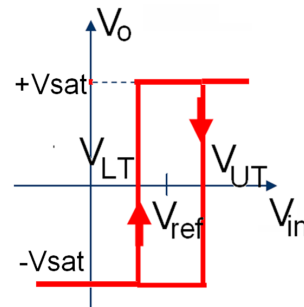
$$V_{UT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n} \right) - \frac{-V_{sat}}{n}$$

- Voltaje de umbral inferior

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

- Voltaje central

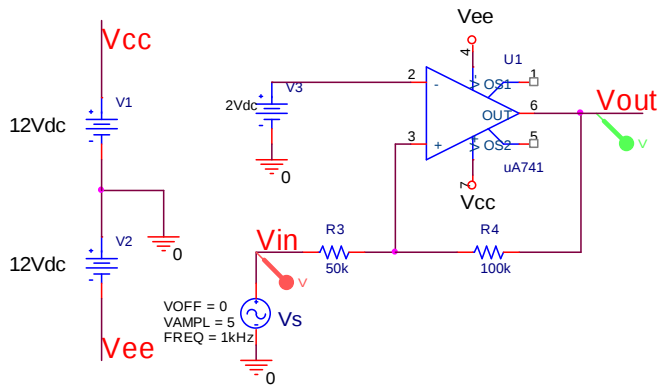
$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n} \right)$$



44

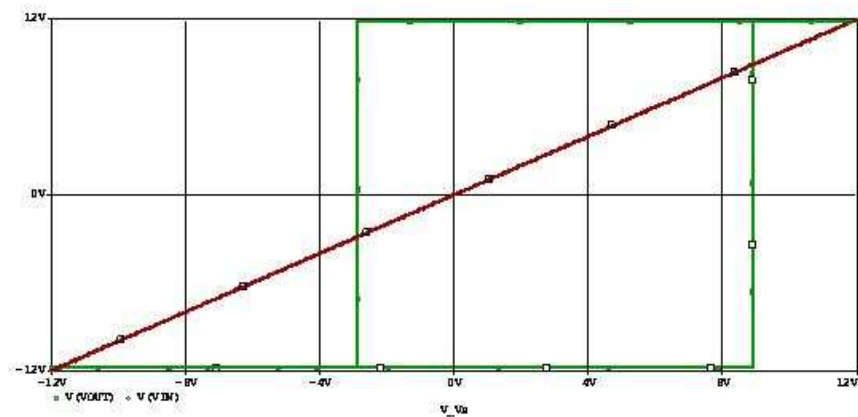
Ejemplo

- Analizar el circuito de la figura
- $V_{LT}=9V$
- $V_{UT}=-3V$
- $V_H=12V$



45

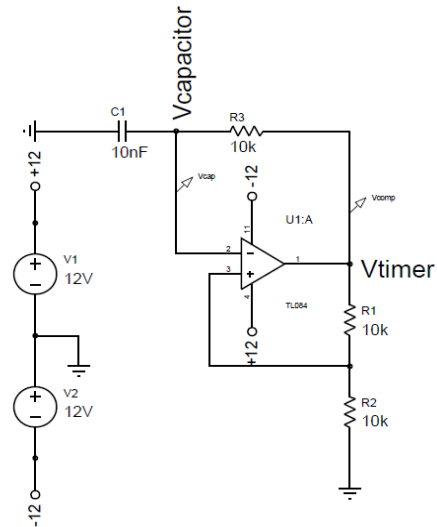
Ejemplo



46

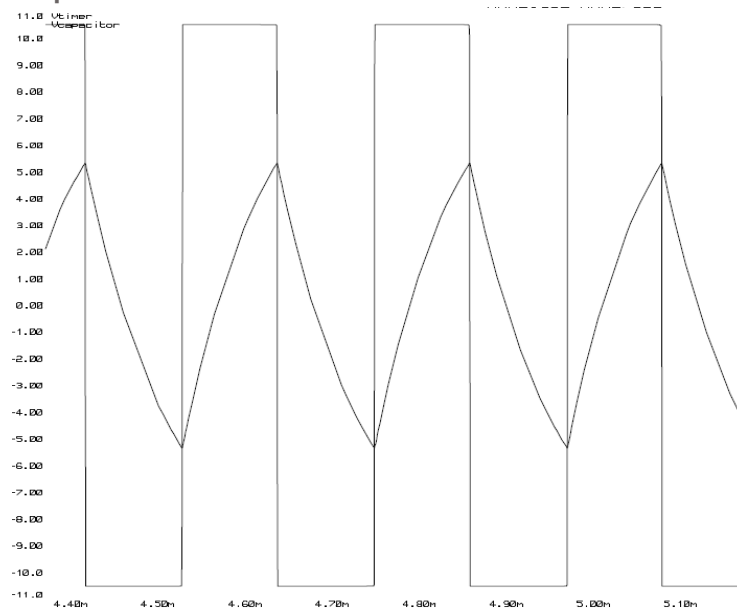
Temporizador con un OPAM

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



47

Temporizador con un OPAM

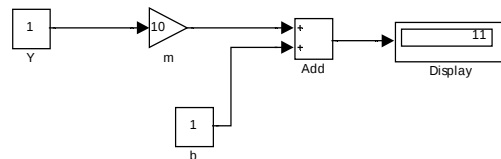


48

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:

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



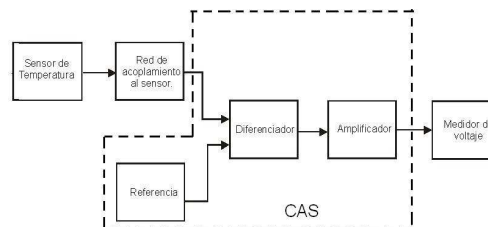
49

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:



50

11/03/2013

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

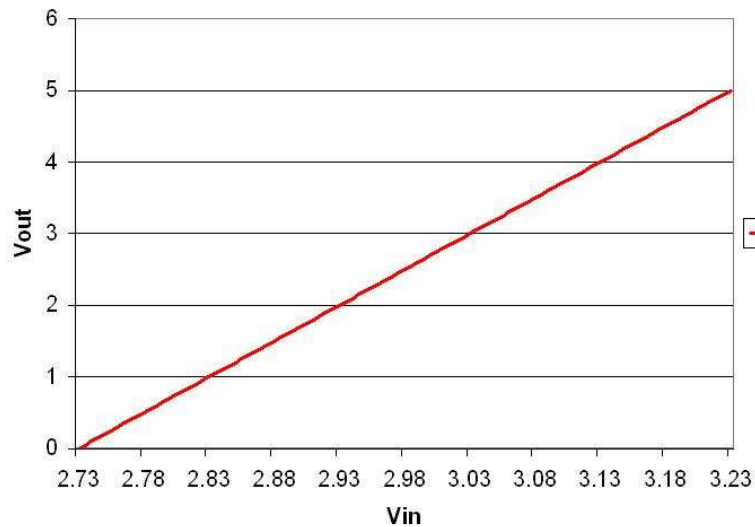
51

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

52

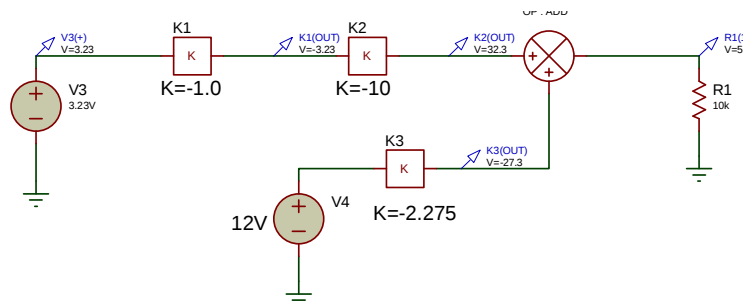
Diseño de un CAS



53

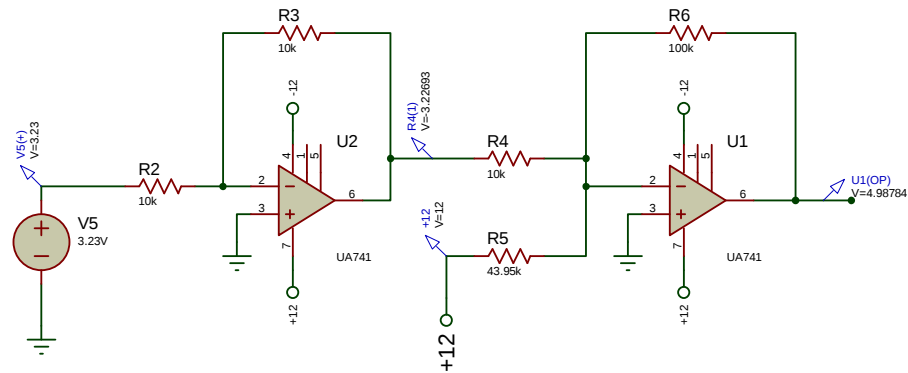
Diseño de un CAS

- 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



54

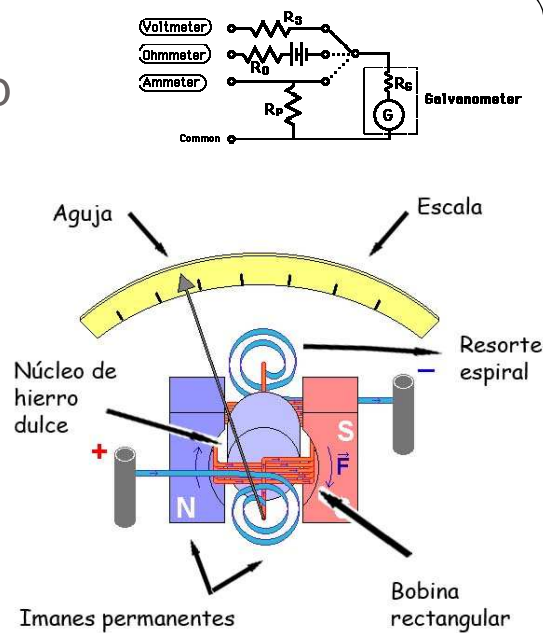
Diseño de un CAS



55

Galvanómetro

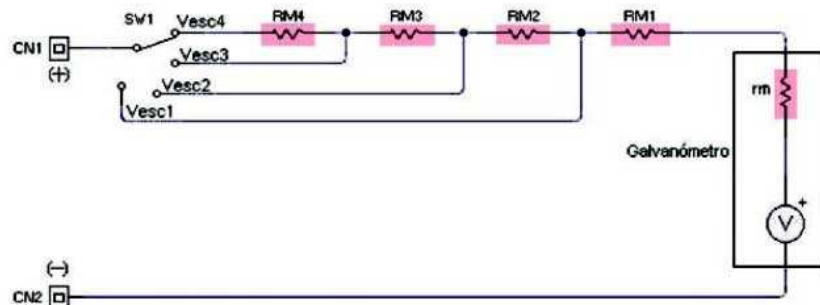
- El galvanómetro está formado por un embobinado inmerso en un imán que genera un intenso campo magnético
- El resorte hace que se mantenga en equilibrio
- Electricamente se modela como una resistencia de valor R_m y una corriente a plena escala I_m



56

Voltímetro con un Galvanómetro

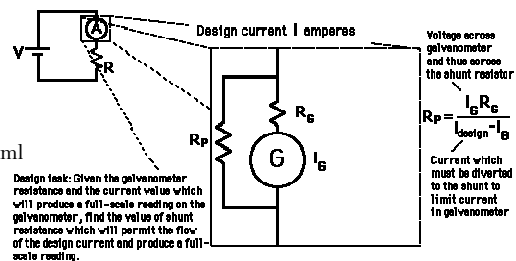
- Con un galvanómetro se hace un voltímetro poniéndole una resistencia limitadora de corriente
- El problema que tienen este tipo de instrumentos es que tiene una impedancia de entrada no muy grande (el ideal es infinito)



57

Amperímetro con un Galvanómetro

- Un amperímetro con base en un galvanómetro se hace poniendo un divisor de corriente con una resistencia en paralelo
- La impedancia de éste no es muy pequeña (idealmente 0)

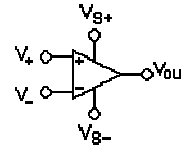


<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/ammeter.html>

58

Amplificadores Operacionales

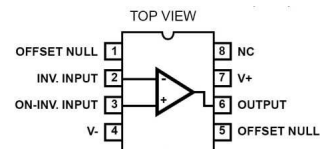
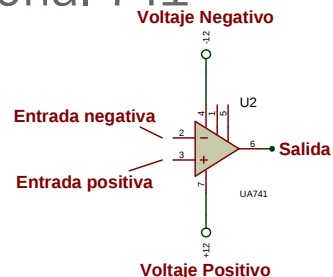
- El A.O. ideal tiene:
 - **Ganancia** infinita
 - Impedancia de entrada Infinita
 - Como la impedancia de entrada es infinita también se dice que las **corrientes** de entrada son cero.
 - **Ancho de banda** también infinito
 - Impedancia de salida nula
 - Tiempo de respuesta nulo
 - Ningún **ruido**.



59

Amplificador Operacional 741

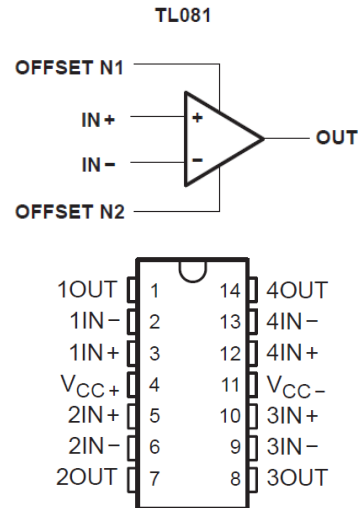
- Es el más popular.
- Es barato
- Se consigue fácilmente
- Utiliza 2 fuentes de voltaje para alimentarse
- Tiene 8 terminales
- El Offset se ajusta con un potenciómetro entre las terminales 1 y 5.
- Producto ganancia ancho de banda de 0.9MHz



60

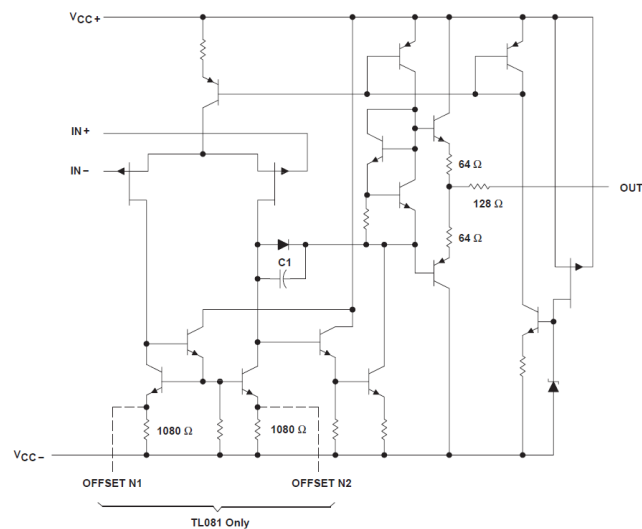
Amplificador Operacional TL084

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



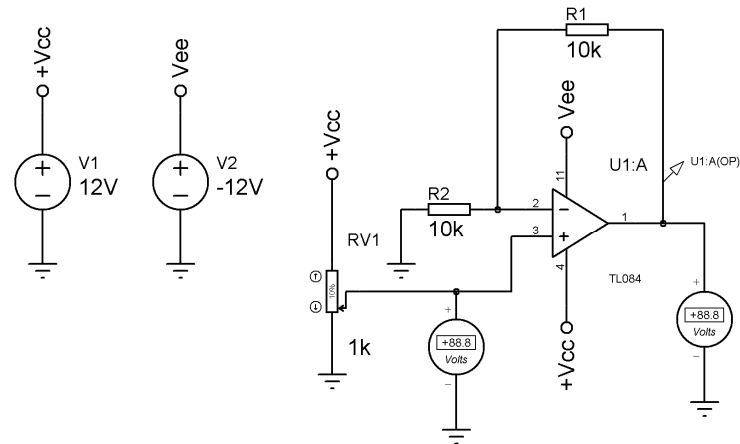
61

TL084



62

Conexión en Proteus del TL084



63

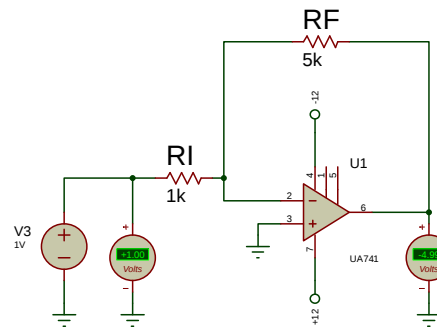
Configuraciones con operacionales

- 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

64

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)



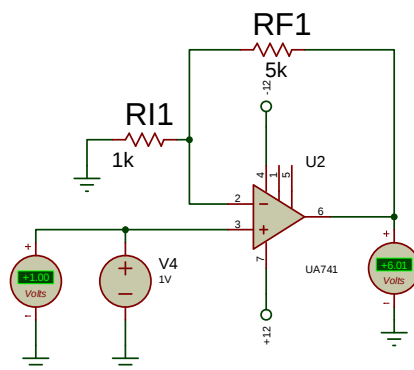
$$I_i = I_F + I_A$$

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

11/03 65

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:

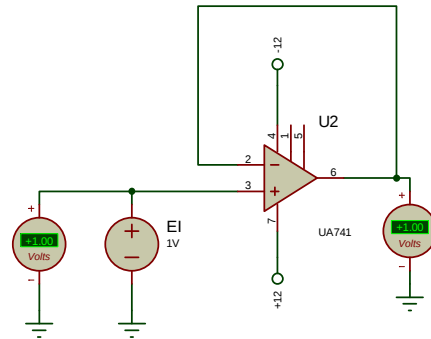


$$A_{LC} = \frac{V_o}{E_i} = \frac{R_F}{R_i} + 1$$

66

Seguidor de Voltaje

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

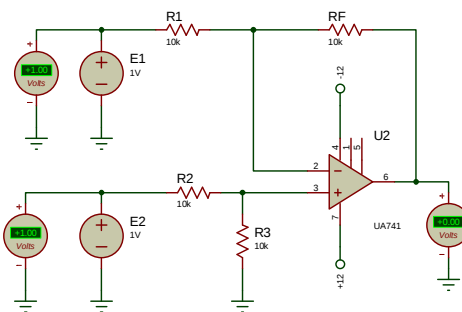


$$V_o = E_i$$

67

Amplificador diferencial

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

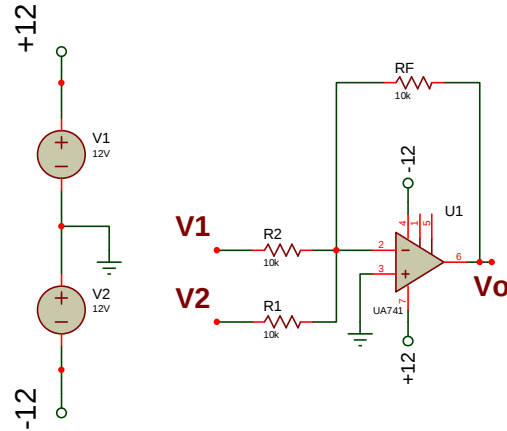


$$V_o = E_2 - E_1$$

68

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)

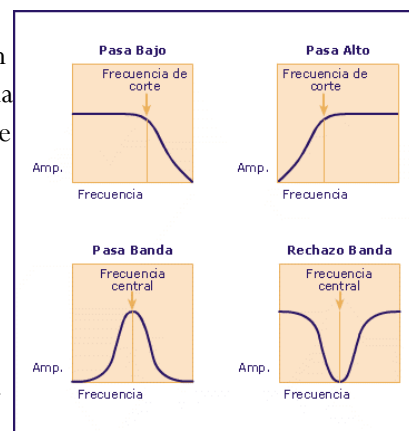


$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_1 - \frac{R_f}{R_2} V_2$$

69

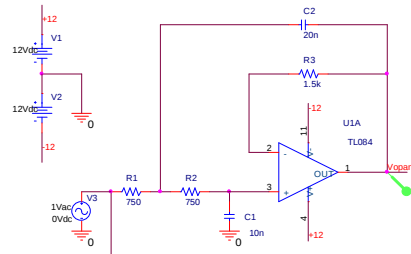
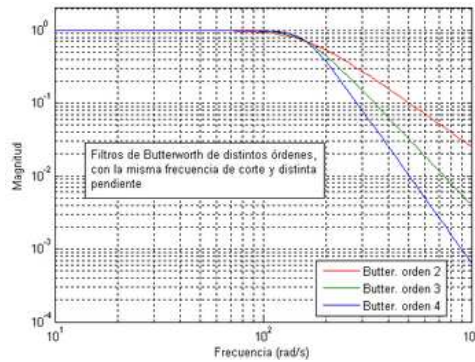
Filtros

- 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



70

Filtro pasa bajas Butterworth



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

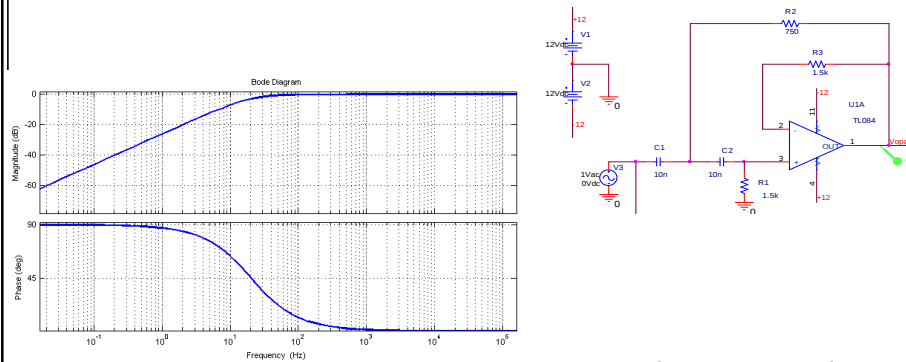
71

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 C_1 ; elegir un valor comprendido entre $100pF$ y $0.1 \mu F$
- Definir $C_2 = 2C_1$
- Calcular $R = \frac{0.7071}{2\pi f_c C_1}$
- Definir $R_2 = 2R$

72

Filtro Butterworth pasa altas



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

73

Procedimiento de diseño del filtro pasa altas Butterworth

- Definir la frecuencia de corte ω_c o f_c
- Definir $C1=C2=C$ adecuado
- Calcular $R1$ mediante
- Hacer
- Para reducir al mínimo el desvío, hacer:

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

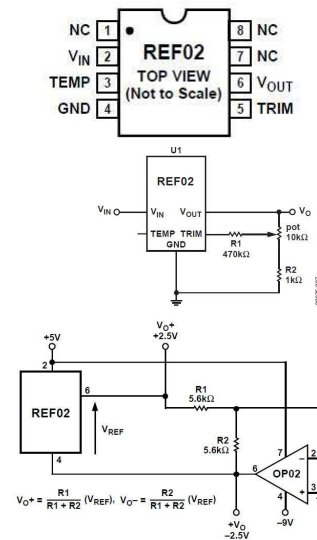
$$R_2 = \frac{1}{2} R_1$$

$$R_f = R_1$$

74

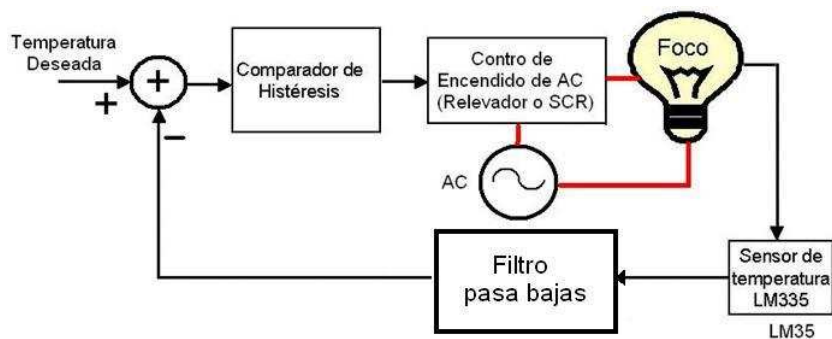
Referencias de Voltaje

- 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



75

Controlador de Temperatura



76

Etapa de potencia

