

FFT PRACTICAS

EEES ("Bologna") prometía menos temario en las asignaturas, para darlo con más profundidad, más prácticas para afianzar los conocimientos teóricos. El temario de esta asignatura tenía asignado 12 créditos, y se repartía en dos asignaturas, al final se ha quedado en una asignatura de 6 créditos, pero conservando el mismo temario. Los "hábiles" negociadores no redujeron el temario a la correspondiente pérdida de créditos. Antes, con menos alumnos, teníamos más grupos de prácticas por grupo de teoría, y además las horas de prácticas por grupo han sido reducidas a la mitad. Todo esto supone una pérdida de prácticas, en horas y en calidad. La Comisión de Titulación de Informática toma las decisiones sobre esta asignatura sin preocuparse de las consecuencias, y sin oír a los profesores que la imparten (como preceptúa "Bologna").

Atención:

- En las práctica 3 y 4 es **imprescindible** llevar un disquete **que funcione** para tomar los datos numéricos del osciloscopio.
- En las prácticas 5, 6 y 7 es muy conveniente usar disquete o una cámara de fotos que dé buen resultado (fotos bien enfocadas y con los datos numéricos perfectamente visibles).
- La práctica 7 (USB/Bluetooth) es opcional, y sólo para aquellos alumnos que hayan terminado todas las prácticas y tengan interés especial. Sólo realizable en los grupos de mañana (C o E). Esta práctica está en el pdf (no en fotocopiadora).
- Con el nuevo diseño de horarios, se nos ha hecho muy complicado dar Spice, por tanto, no se exige en este curso.

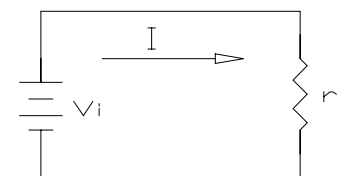
1. MANEJO DEL POLIMETRO. MEDIDAS EN CONTINUA

A) Cuestiones teóricas

Fuente de Tensión

Una fuente de tensión ideal es un elemento que proporciona una tensión fija entre sus dos terminales. En el laboratorio se disponen de fuentes de +15V, -15V y +5V. Estas fuentes tienen una limitación de corriente de 0,5 y 1A; si se superan estos valores, se pueden destruir componentes de la fuente.

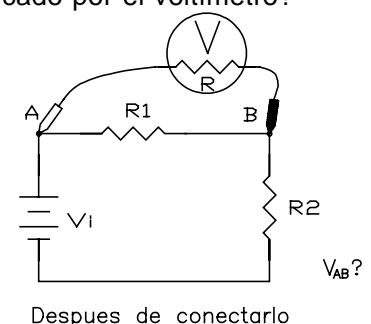
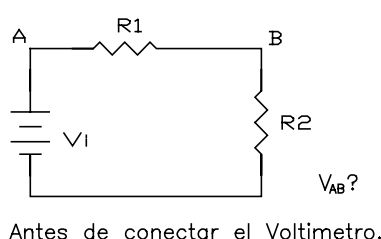
➤ Calcular la resistencia mínima que se puede colocar en los extremos de la fuente de tensión, para que la corriente I que circula por el circuito sea menor que 1A (para $V_i=5V$) o menor que 0,5A (para $V_i=15V$). ¿Por qué no se debe utilizar una resistencia menor que la calculada?



Medida de tensiones

Se utiliza un polímetro en la función de voltímetro. Para obtener la caída de tensión entre dos puntos de un circuito, basta colocar los dos terminales del voltímetro en los dos puntos del circuito. El voltímetro presenta una resistencia interna R , que al colocar en paralelo sobre los elementos del circuito, hace que el funcionamiento del circuito cambie.

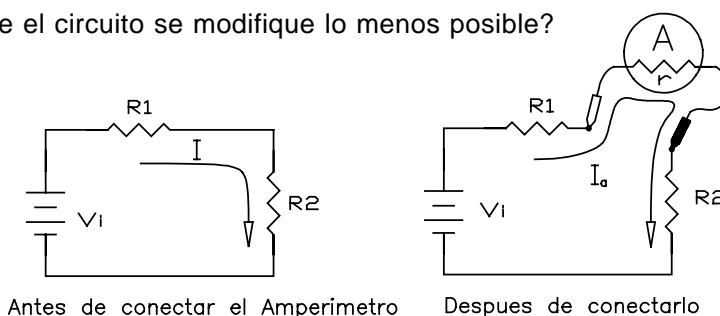
➤ ¿Cómo debe ser esta resistencia R , para que el circuito no sea modificado por el voltímetro?



Medida de intensidad

Se utiliza un polímetro en función de amperímetro. Este aparato se debe conectar SIEMPRE en serie con aquella rama del circuito en la que se quiere conocer la intensidad (en caso de duda consultar al profesor). Entre los dos terminales, el amperímetro puede representarse como una resistencia, ésta modifica el circuito al realizar la medida.

➤ ¿Cómo debe ser la resistencia r , para que el circuito se modifique lo menos posible?

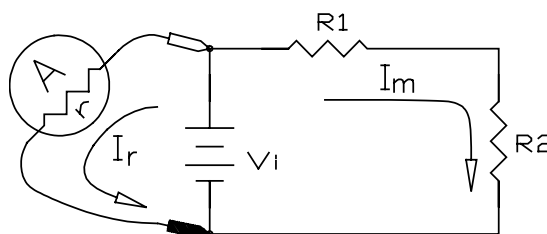


Si el fabricante advierte que el amperímetro no puede soportar corrientes mayores que 0,2A:

➤ ¿Qué ocurre si se desea medir la corriente que circula por el circuito anterior, y por error, se hace como en la siguiente figura? ¡No lo hagáis! Es una cuestión teórica.

➤ ¿Qué corriente circularía por el amperímetro?

$$R_1=R_2=1\text{k}\Omega \quad r=5\Omega \quad V_i=5\text{V}$$



Medida de resistencias

Se utiliza un polímetro en la función de óhmetro. Se colocan en paralelo los dos terminales del polímetro sobre los extremos de la resistencia o agrupación de ellas que se desee medir.

Nunca se deben medir resistencias cuando formen parte de un circuito, desconectar siempre la agrupación del resto del circuito.

➤ ¿Por qué debe hacerse así?

B) Resistencias y medidas en continua

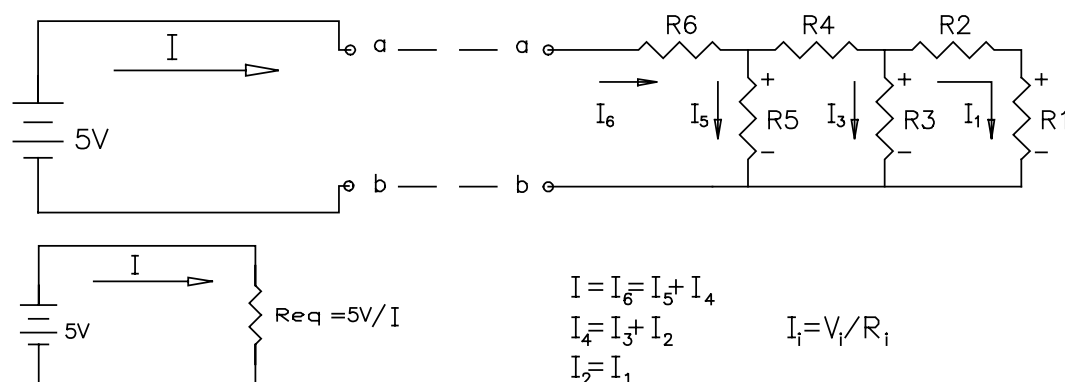
Valor nominal y valor medido.

➤ Coger 6 resistencias y crear una tabla con los valores medidos de las resistencias. Compararlos con con el valor nominal dado por el código de colores y comprobar que los valores medidos están dentro de la tolerancia especificada por el fabricante.

Agrupación de resistencias. Medidas en un circuito.

Se ha de montar la agrupación de 6 resistencias (parte derecha de la figura).

- Calcular teóricamente (con los valores medidos de las resistencias) el valor de la agrupación. Medir con el óhmetro la resistencia equivalente de la agrupación de resistencias.
- Posteriormente, a la agrupación se le conecta una fuente de tensión de continua (en la figura aparece de 5 V, pero puede ser de otro valor). Medir la intensidad que entra a la agrupación de resistencias (I en la figura). La resistencia equivalente será el cociente de 5V y la intensidad medida I ($R_{eq}=5V/I$).
- Medir la diferencia de potencial en las resistencias R_1 , R_3 y R_5 . Medir la intensidad I_1 . Comprobar teóricamente que los resultados son correctos. Si es imposible medirla con los amperímetros del laboratorio, por ser muy pequeña, se debe medir la tensión en R_1 y dividir por R_1 (o en R_2).



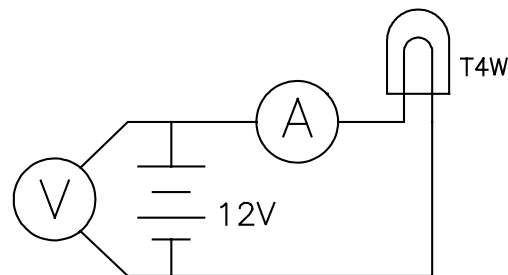
Cálculo del coeficiente de variación de resistencia con la temperatura (α).

Sabemos que el valor de una resistencia cambia con la temperatura. Una fórmula aproximada que describe dicha variación es $R(T)=R(T_0) \cdot [1+\alpha(T-T_0)]$. Esta fórmula la vamos a utilizar para calcular el coeficiente de temperatura (α) para el wolframio (el metal del filamento de las bombillas).

Primero se mide con el óhmetro la resistencia $R(T_0)$ de una bombilla T4W a temperatura ambiente (suponer $T_0=295,15$ K, que corresponde a 22°C). Luego se conecta la bombilla a 12 V, se mide la tensión V, y se mide la intensidad entrante con un amperímetro como en la figura, o mejor aún, tomar la corriente consumida de la pantalla de la propia fuente. El cociente V/I será el valor de $R(T)$. Falta calcular la temperatura T, para eso utilizaremos la Ley de Stefan (ver recuadro). Si la temperatura T es mucho mayor que la temperatura ambiente (¡comprobarlo!) la potencia electromagnética radiada (P) es aproximadamente igual a la potencia eléctrica consumida por la bombilla (es decir $P \approx I \cdot V$). Tras haber calculado T, podemos despejar el valor del coeficiente de temperatura α .

Comparar el valor obtenido de α con el proporcionado por otra fuente (libros, internet, etc.). Citar la fuente.

Calcular la longitud de onda λ_{MAX} a la cual, la bombilla emite la máxima radiación. Utilizar la Ley del desplazamiento de Wien (ver recuadro). ¿A qué "color" corresponde λ_{MAX} ?



Ley de Stefan: $P = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$

P es la potencia electromagnética radiada (en vatios), e es el coeficiente de emisividad (sin unidades), σ es la constante de Stefan-Boltzmann [$\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$], A es el área de la superficie radiante (en m^2) y T la temperatura (en K).

Para el wolframio $e \approx 0,43$, pero el filamento de las bombillas se fabrica para que sea $e \approx 1$, por tanto tomamos $e = 1$. El área superficial del filamento de una bombilla de 4W es aproximadamente $2,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$.

La temperatura debería salir inferior a la de fusión (3.410°C), pero también inferior a 2.500°C , ya que las bombillas se diseñan para no superar esa temperatura, pues por encima de 2.500°C el wolframio se sublima rápidamente.

Ley del desplazamiento de Wien: $\lambda_{\text{MAX}} \cdot T = 2.897.768,5 \text{ nm} \cdot \text{K}$

Con esta ley, y conociendo la temperatura de la superficie radiante, se puede calcular la longitud de onda en la cual se produce la máxima emisión de radiación (λ_{MAX}).

La ley de Stefan y la del desplazamiento de Wien, se conocían en 1900 de forma empírica y no podían deducirse desde la Física Clásica. Justamente estas dos fórmulas obligaron a los físicos a desarrollar la Física Cuántica.

2 ALTERNA. AMPLIFICADOR OPERACIONAL. DIAGRAMA DE BODE

Indicaciones sobre el osciloscopio digital del laboratorio

[Run/Stop] En modo Run (verde) se toman muestras continuamente y se superponen unas sobre otras en la pantalla. En "Stop" (rojo) no se toman muestras, la pantalla no cambia.

[Single] Al pulsar, se espera el evento de disparo, y es entonces cuando se toman todas las muestras que quepan en memoria (también se muestran datos anteriores al disparo).

DISPARO ("Trigger"):

Selecciona la señal y el modo de disparo. La señal de disparo es una señal auxiliar que sirve para desencadenar la toma de datos y su representación en pantalla.

[Mode/Coupling] Poner el modo de disparo en "Auto". No dejar en modo "Normal", ya que en determinadas situaciones (cuando no hay disparo) se puede confundir el usuario.

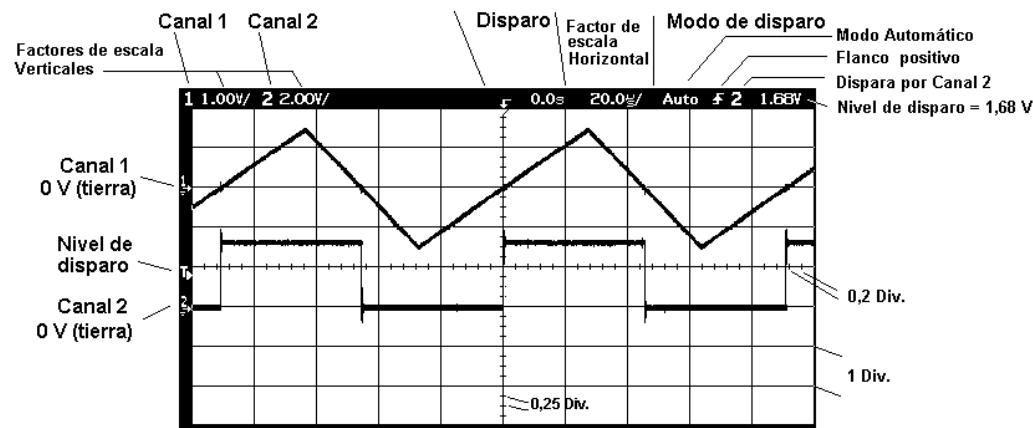
[Edge] Permite seleccionar como señal de disparo la del Canal 1, la del Canal 2, la de la red eléctrica o una señal exterior (cada señal por su conector correspondiente). También se elige si el evento de disparo (cuando recibe la orden de mostrar en pantalla las medidas tomadas) se hará cuando la señal de disparo suba (flanco positivo) o baje (flanco negativo).

[Acquire] Selecciona "Normal" o "Average". Si se usa "Average" se hace la media de varias medidas (útil para reducir ruidos). No usar más de 16 medidas para hacer la media. "Average" afecta también a [Single]. Average-1 hace un suavizado utilizando todas las muestras de una medida.

[Save/Recall]-[Default-Setup] Recupera el estado de fábrica del osciloscopio (útil, si el anterior usuario lo ha dejado en un estado extraño).

[Save/Recall]-[Formats] o en [Utility]-[PrintConf] Se escogen los formatos de salida de las imágenes de pantalla. Las imágenes o capturas se obtienen pulsando [Quickprint]. Los formatos interesantes son BMP (bitmap sin comprimir, 180k aprox.), TIF (bitmap comprimido, 90k aprox.), y CSV (datos numéricos para meter en un programa graficador, en una hoja de cálculo o bien simplemente para operar con ellos). Activando [Factors] se añade un fichero de texto con los factores de escala (en formato numérico) utilizados en las gráficas actuales. Todo se graba en disquete.

Informaciones mostradas en una pantalla típica:





A) Medidas en Alterna

Medir con el osciloscopio la amplitud, periodo y frecuencia de dos señales generadas por el oscilador. Una debe ser triangular, y la otra cuadrada, sus amplitudes y frecuencias deben ser distintas.

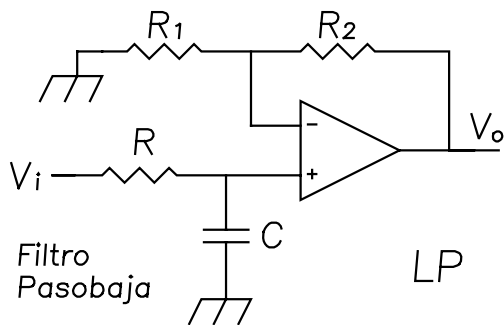
- > Se deben anotar las medidas (forma, amplitud, periodo, frecuencia) de las formas de onda que se han medido. En el osciloscopio digital, se pueden tomar medidas de tres formas distintas:
- midiendo divisiones y multiplicando por el factor de escala.
 - midiendo con los cursores.
 - dejando al osciloscopio que mida automáticamente (en ciertos casos la medida puede no ser válida).

En el guión de prácticas debería aparecer una tabla con medidas, similar a la siguiente:

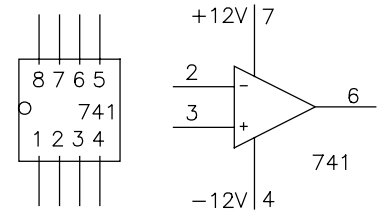
Señal:  			
OSCILOSCOPIO	FUENTE SEÑAL	Amplitud	2 V
		Periodo	1 ms
		Frecuencia	1 kHz
OSCILOSCOPIO	DIVISIONES	Amplitud	4div x 0,5V/div = 2V
		Periodo	10div x 0,1ms/div = 1ms
		Frecuencia	1 kHz
OSCILOSCOPIO	CURSORES	Amplitud	1,98 V
		Periodo	1,02 ms
		Frecuencia	980,4 Hz
OSCILOSCOPIO	AUTOMATICO	Amplitud	1,977 V
		Periodo	1,024 ms
		Frecuencia	976,6 Hz

B) Filtro con amplificador operacional. Diagrama de Bode

➤ Construir el filtro pasobaja (LP) que se muestra en la figura. La frecuencia de corte del filtro (f_c) deberá ser 2 kHz (la frecuencia será aproximada, en función del material disponible en el laboratorio). La ganancia de la etapa coincide con $k=(1+R_2/R_1)=2$ (usar dos resistencias iguales).



PATILLAJE DEL AMP.OP. 741



$$H(s) = \frac{V_o}{V_i} = k \frac{1}{RCs + 1} = k \frac{1}{s/\omega_c + 1}$$

$$\text{con: } k = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad ; \quad \omega_c = 2\pi f_c = \frac{1}{RC}$$

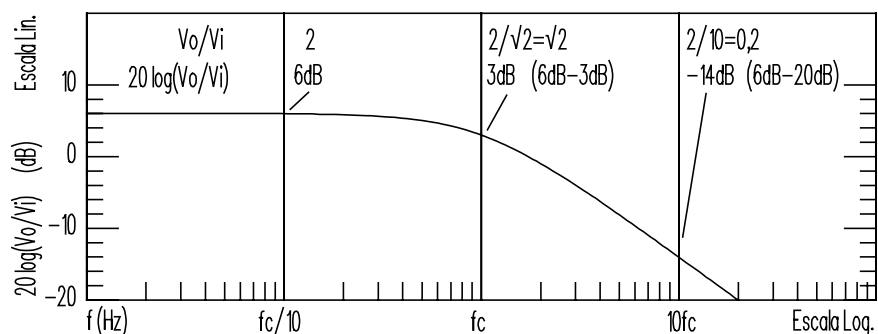
➤ Inmediatamente tras construir la etapa, debe comprobarse lo siguiente:

- La ganancia a bajas frecuencias en el pasobaja, debe ser igual a $k=(1+R_2/R_1)$. Debería salir aproximadamente igual a 2 (6 dB).
- La frecuencia de corte $f_c=1/(2\pi \cdot RC)$ está próxima a la teórica (según los valores de R y C escogidos). La frecuencia de corte es aquella en la que la ganancia es $k/\sqrt{2}=0,707 \cdot k$ (caída de 3 dB). En nuestro caso, debería salir aproximadamente $2/\sqrt{2}=\sqrt{2}=1,4142$ (3 dB, que es 6 dB menos la caída de 3 dB).
- La ganancia a $10 \cdot f_c$ en el filtro pasobaja debería salir aproximadamente igual a $k/10=2/10=0,2$ (-14 dB, que es 20 dB menos que la máxima ganancia de 6 dB).

➤ Diagrama de Bode:

- Medir V_i y V_o desde 80 Hz hasta 50 kHz*
- Dar una tabla con las medidas de frecuencia, V_i , V_o , V_o/V_i y $20 \cdot \log(V_o/V_i)$.
- Hacer el diagrama de Bode en módulo. El diagrama de Bode tener al menos 20 puntos.

* En el filtro pasoalta (HP), y a altas frecuencias, vigilar que la onda V_o no aparezca triangular, si sucediera, reducir el valor de V_i . El producto $2 \cdot V_i \cdot (2\pi f)$ debe ser menor que 500.000 V/s, por ejemplo para 40 kHz y $V_i=1V$ ($V_o=2V$) el producto sale 502.654 V/s, por lo tanto deberíamos bajar algo el valor de V_i .

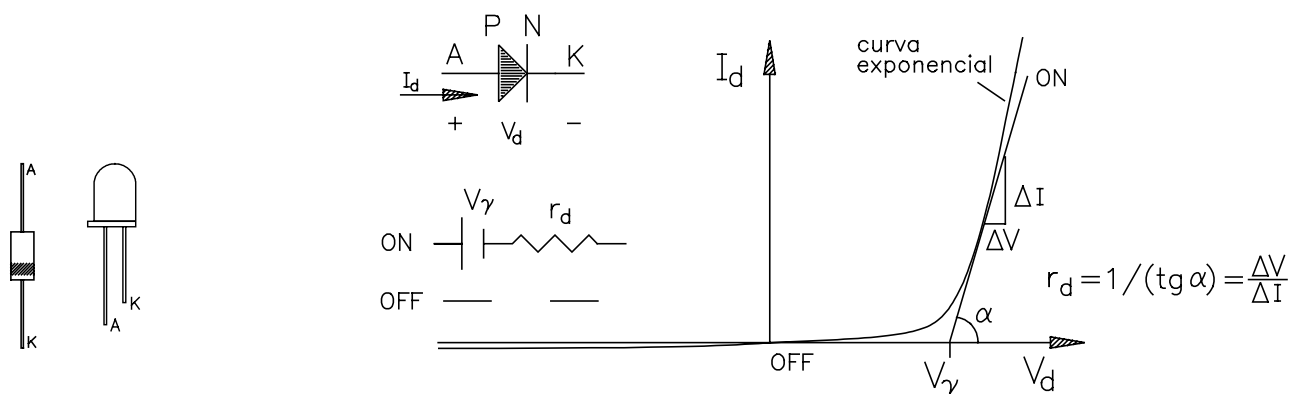


3 DIODO. UNION PN

El funcionamiento del diodo, a corrientes no muy altas, se describe con una ecuación exponencial:

$$I = I_s \left(e^{\frac{qV}{\eta kT}} - 1 \right) \quad \text{si } V \gg \eta \frac{kT}{q} : I \approx I_s e^{\frac{qV}{\eta kT}} \quad \text{si } V \ll 0 : I \approx -I_s$$

donde I y V son la corriente y tensión en el diodo, I_s es la corriente inversa de saturación, q el valor absoluto de la carga del electrón, k la constante de Boltzmann, y T la temperatura absoluta. El factor de idealidad η aparece debido a corrientes de generación-recombinación en la zona de carga espacial. Aunque η depende del punto de operación, se suele tomar como un promedio. En diodos de silicio y LED, η suele estar próximo a 2. A corrientes muy altas, la resistencia serie del propio diodo influye en obtener un η por encima de 2.



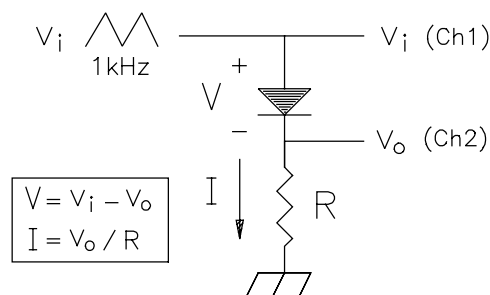
Como la corriente depende exponencialmente con V , se observa que el comportamiento del diodo tiene dos tramos muy diferenciados: Por debajo de la tensión umbral V_γ el diodo apenas conduce (OFF), y por encima el crecimiento de la corriente es muy rápido (ON). El resultado es que se puede utilizar un modelo lineal para el diodo, que sigue aproximadamente la curva exponencial. En esta práctica se obtendrán sólo los parámetros del modelo lineal del diodo.

A) Polarización directa. Tensión umbral (V_γ) y resistencia dinámica (r_d)

Lo descrito en este apartado se hará con 3 ó 4 diodos, procurando que tengan una tensión umbral lo más distinta posible.

➤ Medir la tensión umbral V_γ con el polímetro. Apuntar su valor en una tabla similar a la que aparece al final de este apartado.

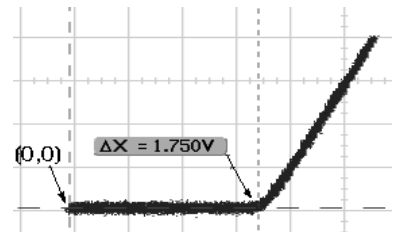
➤ Montar el circuito de la figura. Se conecta en V_i el canal 1 del osciloscopio y en V_o el canal 2. Una onda triangular de frecuencia 1 kHz se conecta en V_i . La tensión de esta onda deberá variar entre 0 V y 5 V (6 V si V_γ es mayor que 1,5V) con resistencia $R=120 \Omega$. Comprobar que en modo XY, en la pantalla se ve una aproximación de la curva I-V de un diodo.



Antes de capturar los datos con el osciloscopio, comprobar:

- El osciloscopio debe estar en [Acquire]-[Normal] para que no haga ningún tipo de media.
- Los circuitos limitadores de ruido están encendidos en los dos canales. BW-Limit debe estar en ON.
- La longitud del fichero CSV debe ser de 2.000 puntos.

> En el osciloscopio se debe medir la tensión umbral V_γ como se indica en la figura de la derecha, y se apunta en la columna correspondiente de la tabla.



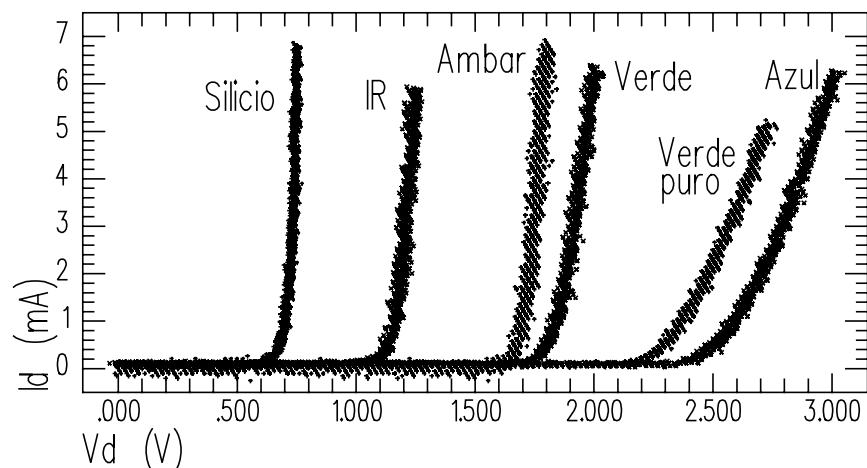
> Hacer una captura de los datos numéricos de los canales **¡en formato CSV!** para cada diodo.

> Posteriormente, en casa, y con una hoja de cálculo, se debe realizar una gráfica con los datos (CSV) de los diodos. (En la gráfica de muestra se han incluido más diodos de los necesarios.)

$$I_d = V_{Ch2} / R$$

(No olvidar poner R en k Ω)

$$V_d = V_{Ch1} - V_{Ch2}$$



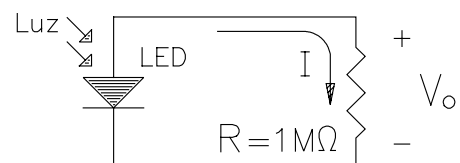
- Escoger, para cada diodo, el valor máximo (aproximado) de I_d y V_d . Con ellos, y V_γ , se puede calcular la resistencia r_d ($r_d = (V_{d-max} - V_\gamma) / I_{d-max}$. r_d debe estar en ohmios).

Diodo:	V_γ (V) (polímetro)	V_γ (V) (osciloscopio)	V_{d-max} (V)	I_{d-max} (mA)	r_d (Ω)

B) Diodo sin polarización, funcionando como célula fotovoltaica

Con un LED (preferentemente verde), montar el circuito de la figura, que no tiene polarización aplicada. Mida con el voltímetro la tensión V_O , y verá que es mayor cuanto mayor sea la intensidad luminosa incidente en el LED. Parte de la potencia generada en el LED se pierde en el propio LED. A la máxima iluminación posible, calcule la potencia consumida en la resistencia ($P = I \cdot V_O = V_O^2 / R$).

¿Cuántos LED serían necesarios para hacer funcionar una bombilla de 40W?

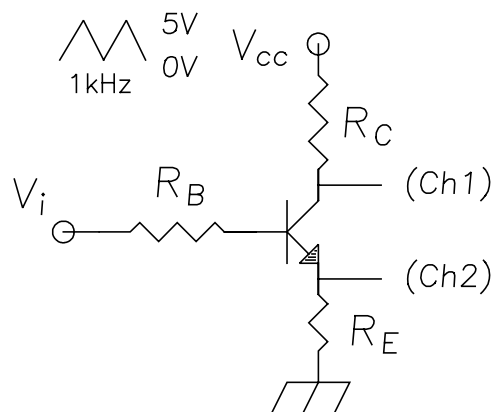


4. TRANSISTOR BIPOLAR DE UNION

A) Curva característica de salida (I_C frente a V_{CE})

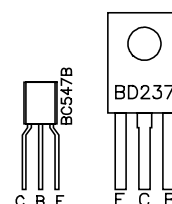
Con el polímetro, mida β (β_F) del transistor que va a usarse en la práctica. Monte el circuito de la figura. V_{CC} es una onda triangular de 0 a 5V, y V_i es una tensión continua tomada de la fuente variable de continua. Conecte los canales 1 y 2 del osciloscopio tal como se indica en la figura.

$$\begin{aligned} R_B &= 220 \text{ k}\Omega \\ R_C &= 100 \text{ }\Omega \\ R_E &= 10 \text{ }\Omega \end{aligned}$$



En el osciloscopio:

- Poner BW-limit=ON en Ch2 y Average=1 en [Acquire].
- Hacer que la longitud del fichero CSV sea 500.
- Poner modo XY, debería verse la curva característica.
- Parar con Stop, no con Single, y grabar los datos en disquete con Quickprint.



Debe entregarse una gráfica con 3 curvas (como la figura, pero ésta tiene más). Las 3 curvas corresponderán a tres tensiones V_i de valores comprendidos entre 0,8 y 6V. Debe completarse la tabla asociada: V_i valor tomado, V_{BE} medido con el polímetro, $V_E (=V_{CH2})$ medido en ZAD con los cursores del osciloscopio, I_{E-osc} valor calculado como $I_{E-osc}=V_E/R_E$, I_E valor calculado con la ecuación 1 y usando la β medida por el polímetro, β_{osc} valor calculado con la ecuación 1 usando la I_{E-osc} .

Calcule la media de β_{osc} y compárela con la β del polímetro. ¿Cuál es el error relativo del polímetro en la medida de β ?

V_i	V_{BE}	V_E	I_{E-osc}	I_E	β_{osc}

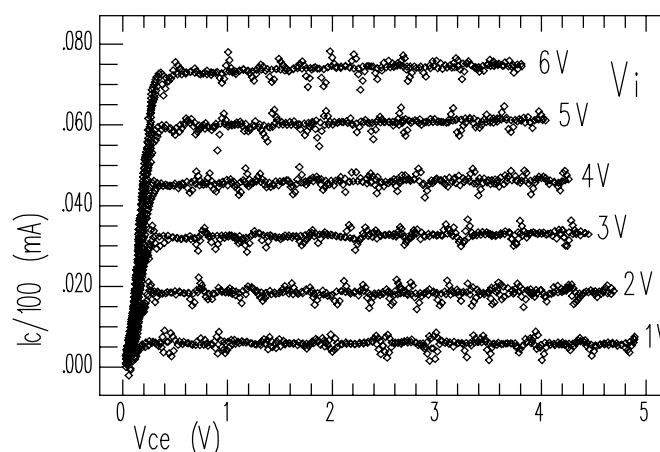
Ecuación 1: $I_E = [(V_i - V_{BE}) / (R_B + (\beta + 1) R_E)] (\beta + 1)$

Ejemplo:

En la gráfica de la derecha se usaron 6 valores de V_i , desde 1V hasta 6V, y las intensidades de colector son casi constantes en la zona plana (Z.A.D.). Usamos que en Z.A.D., I_E es aproximadamente igual a I_C . Estas I_E son aproximadamente:

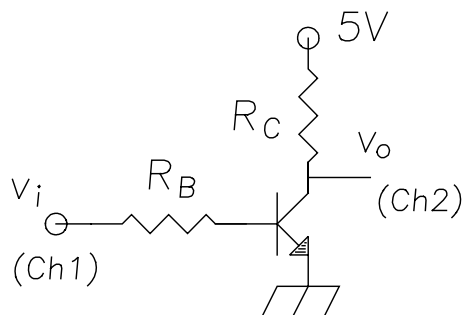
0,6mA 1,8mA 3,3mA 4,5mA 6mA y 7,5mA.

Las I_E calculadas eran un 28% superiores a las medidas. Esa gran diferencia es debida a que la β medida por el polímetro era de 403, cuando la β real era de 314.



B) Montaje amplificador básico. Cálculo de la ganancia

El circuito de la figura da en la salida v_o , la señal de entrada v_i amplificada. En v_i deberá ponerse la fuente de señal senoidal con un valor de tensión de pico a pico de 0,2V y un valor de continua (offset) regulable (a este valor le llamamos V_{DC}). Se medirá con el osciloscopio la amplitud (de pico a pico) de v_i y de v_o . A partir de ahí, la ganancia se calcula como v_o/v_i .



$$\begin{aligned} R_B &= 220 \text{ k}\Omega \\ R_C &= 2,7 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

En el osciloscopio poner los dos canales en modo AC y disparar por Ch1. En [Trigger]-[Mode] poner "Noise Reject" y "HF Reject". Es recomendable usar las medidas automáticas del osciloscopio, por eso conviene tener el disparo (trigger) bien configurado. Una vez que el montaje esté listo para medir, poner Average=4.

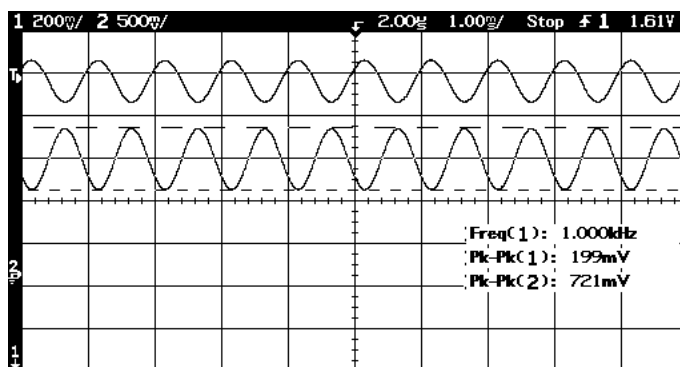
Deberán tomarse cuatro medidas distintas de la ganancia. La primera será con un valor $V_{DC}=0,8V$, la última con el valor V_{DC} que haga visible en v_o que el transistor entra en saturación, otra en el V_{DC} que dé la máxima ganancia, y una cuarta donde se quiera.

Deberán entregarse las imágenes (TIF) de esas cuatro medidas, y rellenar la siguiente tabla.

V_{DC}	v_i (V)	v_o (V)	v_o/v_i	Comentario
0,8V				
				Ganancia máxima
				Entra en Saturación

Ejemplo:

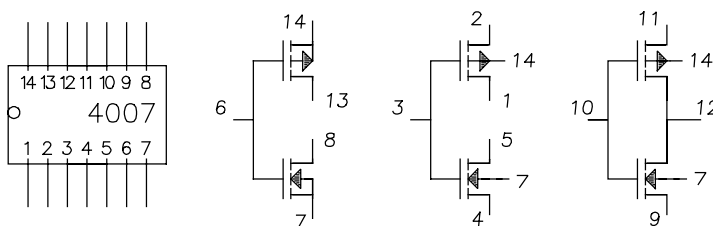
En la gráfica de la derecha la amplitud de entrada es de 199 mV, y la de salida es de 721 mV, por tanto la ganancia (v_o/v_i) es de 3,60. La senoidal de salida v_o (la de abajo) se ve sin ningún recorte o deformación, es decir no hemos entrado en saturación, toda la onda se mueve en la zona activa directa.



5 FAMILIAS LOGICAS: CMOS

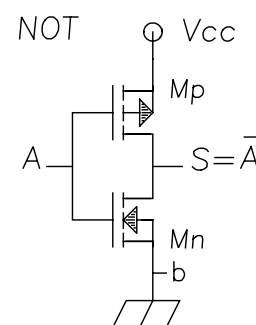
En el circuito integrado 4007 se tienen tres mosfet de canal n y tres de canal p, por tanto se pueden construir distintas variantes de puertas CMOS. Al hacer la práctica, se debe apuntar el valor de la alimentación usada en la práctica (V_{CC}).

PATILLAJE DEL CIRCUITO INTEGRADO CMOS 4007



A) Puerta NOT CMOS

- ① Construir la puerta NOT. Comprobar que los niveles de tensión de la tabla de verdad son correctos.
- ② Apuntar la máxima frecuencia de trabajo admisible. Medir los retardos de bajo-alto y de alto-bajo.
- ③ Con una señal triangular (~ 1 kHz), medir la tensión umbral (V_T).
- ④ Con la anterior señal triangular, poner el modo XY del osciloscopio (Ch1 en A, Ch2 en S). Dibujar la función de transferencia. Añadir una resistencia de bajo valor ($\sim 100 \Omega$) entre b y tierra. Con el osciloscopio en modo XY (Ch1 en A, Ch2 en b) dibujar la gráfica de consumo de la puerta CMOS.

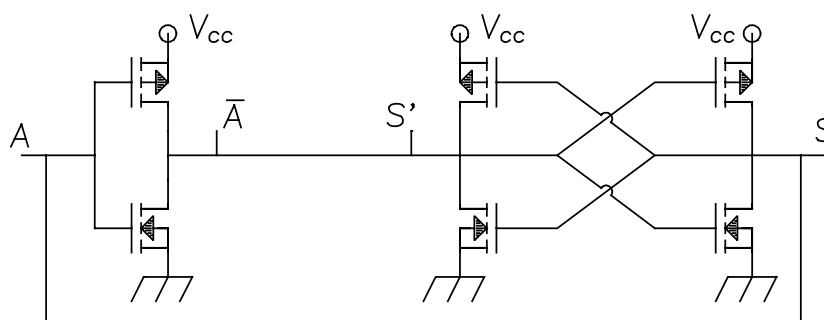


B) Memoria CMOS

- ① Montar la célula de memoria CMOS de la figura, con entrada A y salidas S' y S.
- ② Con A=0 y A=1, comprobar que las salidas S' y S son correctas. En ambos casos, desconectar A y comprobar que S' y S se mantienen en sus valores correctos.

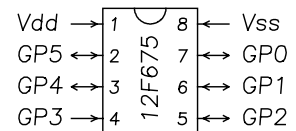
Consejos:

- Que no pasen cables por encima del C.I. 4007, ya que basta con que éste tenga un mosfet estropeado para que el montaje no funcione y haya que cambiar el chip.
- Use cables con colores iguales o parecidos a todas las conexiones que compartan tensión. Por ejemplo, rojo para todas las V_{CC} , negro para todas las tierras, verde para todas las $S=A$, etc.
- Al final debe tenerse accesibles los cables de la entrada A, la salida S' y la salida S.
- Es más cómodo dejar fijo el común (negro) del polímetro a tierra.



6 CONVERTOR ANALOGICO-DIGITAL

Se va a utilizar un microcontrolador PIC12F675, que tiene un conversor analógico-digital (ADC) de 10 bits. Un microcontrolador es un ordenador contenido en un único chip, capaz de controlar totalmente tareas básicas.



Montaje:

- La alimentación del circuito se hace poniendo V_{DD} a 5 V y V_{SS} a tierra. Entre estos dos terminales se conecta un condensador de 100 nF.
- La tensión de referencia (REF) está conectada internamente a V_{DD} . La tensión de referencia es la máxima tensión a digitalizar, que en este caso es la alimentación (5 V), y se debe medir con precisión.
- Los 10 bits de la palabra numérica se entregan en serie (en el terminal GP0), empezando por el bit más significativo (MSB) y acabando por el menos significativo (LSB). La salida de reloj está en el terminal GP1.
- La tensión analógica a digitalizar, entra en GP4, y se obtiene de la fuente de tensión variable. Si se usa el polímetro con escalas 400mV-4V, se hará con un valor por debajo de 0,4 V, y dos valores por debajo de 4 V. Si se usa el polímetro con escalas 200mV-2V, se hará con un valor por debajo de 0,2 V, y dos por debajo de 2 V.

ATENCION: La tensión de entrada nunca debe superar los 5 V, ya que se estropearía el PIC.

- El canal 1 y el canal 2 del osciloscopio se conectan a las patas GP1 y GP0 respectivamente. La fuente del disparo debe ser el canal del reloj (Ch1). El disparo se pone en modo normal, y para que detecte el flanco ascendente del primer pulso de reloj.

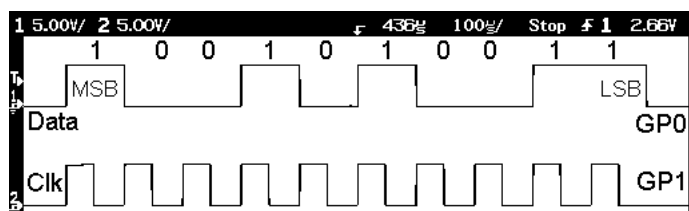
1. Medir la tensión de alimentación V_{DD} de forma muy precisa, ya que es la tensión de referencia (REF) y calcular el valor del LSB ($LSB = REF / 1024$).

2. Para cada tensión analógica (V_a):

- se mide, de forma muy precisa, la tensión de entrada analógica V_a .
- se captura en un disquete la imagen (tif o bmp) del osciloscopio (datos y reloj).
- se extrae de la imagen, la palabra numérica (en binario) y se convierte a decimal.
- se comprueba que la palabra digital se corresponde con el valor teórico dado por la siguiente ecuación ($E =$ función parte entera, $Min =$ función mínimo):

$$Num(V_a) = \text{Min} \left[E \left(\frac{V_a + LSB/2}{LSB} \right), 1023 \right]$$

Ejemplo: En la imagen siguiente, se ve que hay 10 pulsos de reloj. En la línea de datos aparecen los 10 bits de la conversión analógico-digital. Aparece primero el bit más significativo (MSB), y se termina por el menos significativo (LSB). La palabra numérica correspondiente a la tensión analógica de entrada $V_a = 2,873$ V resulta ser 10 0101 0011, es decir 595 en decimal. Para comprobar si el resultado es correcto, calculamos el $LSB = V_{DD}/1024 = 4,939V/1024 = 4,823242$ mV, y al operar con V_a en la fórmula del conversor analógico digital, se obtiene que $Num = 596$, que sólo falla en el último bit, como el fabricante dice que tiene un error máximo de 1,5 bits, damos el resultado como correcto, además probablemente el error provenga de las medidas con el polímetro de las tensiones V_{DD} y V_a .



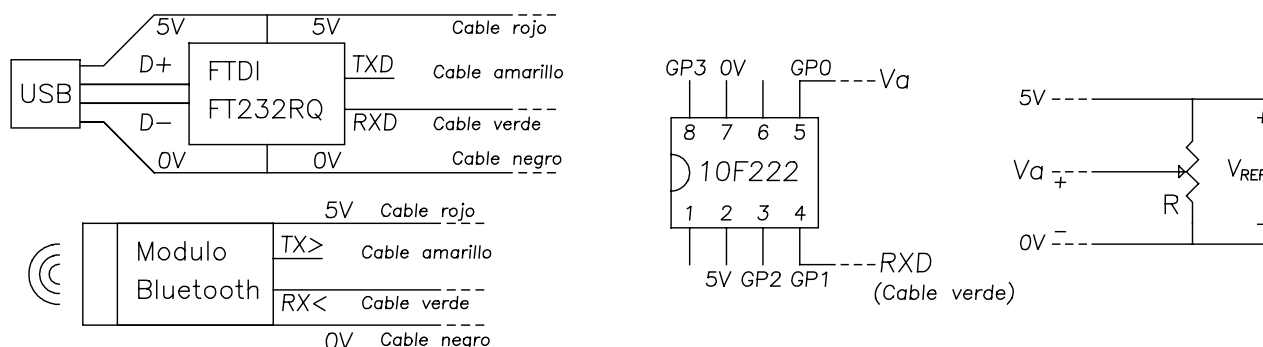
7 CONVERSOR ANALOGICO-DIGITAL

Esta práctica tiene dos variantes según se haga la lectura de los valores numéricos:

- **Variante USB [USB].** La lectura de los datos se hará en un ordenador con Linux mediante una conexión USB. Con un módulo FTDI, que leerá los valores numéricos dados por el PIC, y los convierte a formato USB. La alimentación de este montaje (0V y 5V) se tomará de las dos líneas USB de alimentación. No se usará la fuente de alimentación del laboratorio.

- **Variante Bluetooth [BT].** La lectura de los datos numéricos se hará en un teléfono Android mediante una conexión Bluetooth. Un módulo Bluetooth leerá los valores numéricos dados por el PIC, y los emite por Bluetooth. La alimentación de este montaje usa 5V tomada de la fuente de alimentación del laboratorio. El teléfono lo pone el alumno. Iphone (iOS) no admite transmisión de datos en serie por BT.

Para evitar problemas, se recomienda que todas las alimentaciones de 5V sean de un color (rojo) y las tierras de otro (negro). Con la alimentación del circuito, **que depende de la variante**, se alimentará el PIC, y el potenciómetro. En el tercer terminal del potenciómetro se tendrá, respecto de 0 V, una tensión variable V_a desde 0 V a 5 V. Esta tensión V_a se digitalizará con el PIC10F222, que pasará la información numérica al módulo (FTDI/Bluetooth) en formato TTL-232 (se verá en el osciloscopio). Finalmente, el módulo (FTDI/Bluetooth) enviará la palabra numérica correspondiente a V_a , al ordenador/teléfono por USB/Bluetooth.



Según sea la conexión (a 0 V o a 5 V) de GP2 y GP3, el funcionamiento del PIC cambiará:

- GP2 controla la velocidad de transmisión de la palabra numérica, desde el 10F222 al chip FTDI. Si GP2 = 0 V, la transmisión se hace a 9.600 baudios, y si GP2 = 5 V se hace a 19.200 baudios.
- Si GP3 = 5 V el 10F222 emite una cadena de caracteres "0123456789ABCDEF", que sirve para comprobar si la recepción en el ordenador está libre de problemas. Si GP3 = 0 V el 10F222 hace la conversión analógico-digital de la tensión analógica V_a .

Potenciómetro

El potenciómetro ($R = 1 \text{ k}\Omega$) está conectado entre 0 y 5 V. La tensión analógica (V_a) podrá tomar cualquier valor comprendido entre 0 y 5 V, dependiendo de la posición del cursor.

PIC10F222

La tensión V_a del potenciómetro, será convertida a palabra numérica de 8 bits por el microcontrolador PIC10F222. Un microcontrolador es un ordenador contenido en un único chip, capaz de controlar totalmente tareas básicas. El microcontrolador dispone de una CPU, memoria de programa y de datos, y unos periféricos muy básicos, como el conversor analógico-digital que se usa en esta práctica. La palabra numérica se envía de forma asíncrona (sin señales de reloj), y en serie, empezando por el bit menos significativo (LSB) y terminando por más significativo (MSB). Se codifica en TTL-232, es decir como una señal RS-232, pero con niveles TTL (0 V y 5 V) y lógica positiva.

[USB] FTDI

La señal TTL-232 que sale de la línea GP1 del 10F222, se recibe en RXD (cable verde) del chip FTDI. Luego, el chip FTDI envía la palabra numérica al ordenador codificada según la norma USB, a velocidad FS (*full speed*).

[USB] Ordenador

Se usará un ordenador con Linux, y kernel 2.4.20 o posterior. La versión del kernel puede verse con el comando `uname -a`. Se usará el ordenador en modo terminal, sin entrar en X-Window (si es necesario, abrir un segundo terminal con Alt-F2). Sólo se conecta el USB, cuando se haya terminado el montaje del circuito, y esté revisado. Tras conectar el circuito USB al ordenador, se comprueba con `dmesg` que Linux lo ha aceptado correctamente, y que le ha asignado el nombre `/dev/ttyUSB0`. Luego, puede verse la configuración del puerto serie con `stty -F /dev/ttyUSB0`, o directamente configurarlo. Se debe configurar para aceptar datos en bruto (*raw*) a la velocidad de transmisión deseada (por ejemplo 9.600 baudios) con `stty -F /dev/ttyUSB0 raw 9600`.

[BT] Módulo Bluetooth

La señal TTL-232 que sale de la línea GP1 del 10F222, se recibe en RX< (cable verde) del módulo Bluetooth. Luego, el módulo envía la palabra numérica al teléfono conectado al módulo Bluetooth según el perfil SPP (RFCOMM). La velocidad usada será la fijada por el PIC (9.600 o 19.200).

[BT] Android

Se debe usar un teléfono con Android compatible con Bluetooth (versión 2.1 o posterior). Se usará un programa terminal de Bluetooth. Recomiendo usar BluetoothTerm, que aunque está en ruso (ver guía al final), es muy efectivo, y cumple todos los requerimientos de la práctica. Los links a los terminales (apk) de Bluetooth útiles para la práctica están en la página web de la asignatura (en "programas"). El primer paso es que el teléfono detecte el módulo BT, luego se empareja (el módulo no tiene clave), y luego desde el terminal se establece conexión. En ese momento se verán los datos enviados en el teléfono. Visualizar esos datos en hexadecimal.

Montaje:

- Sin conectar el USB al ordenador, sin establecer conexión con el teléfono, montar el circuito, pero inicialmente conectar GP3 a 5 V, ya que en esa posición el 10F222 emitirá la cadena de caracteres "0123456789ABCDEF" que servirá para probar si la transmisión hacia el ordenador está libre de problemas. El cable amarillo de (TXD/TX<) no debe dejarse suelto, pues un movimiento puede provocar un cortocircuito; conectarlo a un agujero sin uso de la placa de conexiones. Revisar el circuito meticulosamente.

- **[USB]** Conectar el circuito USB al ordenador. Para recibir las palabras digitales, los valores numéricos de la tensión analógica, usaremos el comando `xxd`. Con el comando `xxd </dev/ttyUSB0`, los valores numéricos recibidos en el puerto USB, se transforman en tabla de valores hexadecimales legibles en la pantalla del ordenador.

- **[BT]** Establecer conexión entre el programa terminal BT en Android, con el módulo BT del montaje. En el terminal se verán los valores numéricos recibidos en hexadecimal.

- Para ver la transmisión de los datos en TTL-232, conectar el canal-1 del osciloscopio en GP1. Pulsar [Edge] y poner en flanco descendente para detectar el bit de "Start" en el canal-1. Es necesario utilizar el modo normal de disparo [Mode-Coupling]-[Normal], no el automático.

Medidas:

1. Medir la tensión de alimentación en el potenciómetro (V_{REF}) de forma precisa, y calcular el valor del LSB ($LSB = V_{REF} / 256$). Poner GP3 a 0 V.

2. Si se usa el polímetro con escalas 400mV-4V, se digitalizará un valor por debajo de 0,4 V, y dos valores por debajo de 4 V. Si se usa el polímetro con escalas 200mV-2V, se hará con un valor por debajo de 0,2 V, y dos por debajo de 2 V. Para estos tres valores de V_a :

2a. Se mide, de forma precisa, la tensión de entrada V_a . Se calcula el valor decimal $Num(V_a)$ con la siguiente ecuación (E = función parte entera, Min = función mínimo):

$$Num(V_a) = \text{Min} \left[E \left(\frac{V_a + LSB/2}{LSB} \right), 255 \right]$$

2b. Se captura en un disquete la imagen (tif o bmp) del osciloscopio. Se extrae de la imagen la palabra numérica en binario, y se pasa a decimal.

2c. Se apunta la palabra en hexadecimal recibida en el ordenador, y se pasa a decimal.

Finalmente se comprueba que los valores decimales de la fórmula teórica, de la imagen del osciloscopio, y del valor hexadecimal recibido en el ordenador coinciden.

Ejemplo:

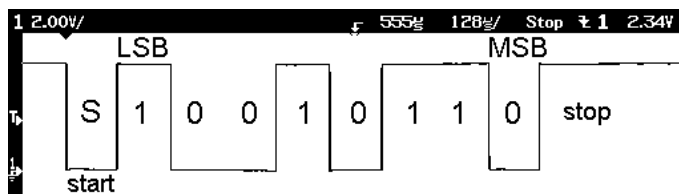
1. $V_{REF} = 5,046 \text{ V} \rightarrow LSB = 5,046/256 \text{ V} = 19,710 \text{ 9375 mV}$.

2a. $V_a = 2,064 \text{ V} \rightarrow Num(V_a) = 105$

2b. 0110 1001 $\rightarrow 105$

2c. 69h $\rightarrow 105$

Funcionamiento perfecto, pues todos los valores decimales son iguales.



Guía para BluetoothTerm

Target:

Найти устройства (Naití ustróistva) Encontrar dispositivos

Устройство не подключено (Ustróistva ne padkliuchéna) Dispositivo no conectado

BT:

Выключать Bluetooth при выходе (Vikliuchát BT pri výjade) Desconectar BT al salir

Включить Bluetooth (Vkliuchít BT) Conectar BT

Подключить (Padkliuchít) Conectar

Terminal:

формат посылки (Fórmát pasílki) Formato de los datos

Послать (Poslát) Enviar

Очистить (Achístit) Limpiar

SPICE

Las prácticas 1, 6 y 7 no se hacen en Spice. Debe entregarse el listado del programa si se usa la versión DOS, o el dibujo del circuito, en caso de usar la versión Windows, y los resultados pedidos.

2. Alterna. Amplificador Operacional. Diagrama de Bode.

Crear en Spice el filtro pasobaja. Usar como entrada VAC de 1 V y ua741 para el amplificador operacional. Se debe hacer un análisis de barrido en frecuencia (AC-sweep) logarítmico desde 80 Hz a 100 kHz. Se usa un *marker* especial de bode (vdb) en la salida del filtro. Con este *marker* se consigue el diagrama de Bode del filtro.

- Se entregará una gráfica con el diagrama de Bode en módulo del filtro pasobaja (LP) en función de la frecuencia. En la gráfica **deben aparecer marcados y etiquetados (valor y frecuencia)** los puntos siguientes ($f_c = 1/(2\pi \cdot RC)$):

- El punto de máxima ganancia G_{MAX} (debería estar a bajas frecuencias).
- El punto de ganancia $G_{MAX}-3$ dB (debería estar en f_c).
- La frecuencia de corte f_c (debería estar en el punto de $G_{MAX}-3$ dB).
- El punto de ganancia $G_{MAX}-20$ dB (debería estar en la frecuencia $10 \cdot f_c$).

3. Diodo. Unión PN.

Crear un circuito compuesto por una fuente de tensión de continua (Vdc) acoplada en paralelo a 3 diodos (todos en paralelo). Sobre la fuente de tensión se hace un barrido de tensiones en continua (análisis DC, o DC-sweep). La fuente de tensión se hará variar desde 0 V hasta un máximo de 3,2 V. Se añaden *markers* de intensidad para poder tener una gráfica de I_d frente a V_d . El valor máximo de I_d en la gráfica será 7 mA. Los tres diodos deberán ser alguno de los usados en el laboratorio:

1N4148 que ya está en las librerías básicas de Spice, o los siguientes

Led Infrarrojo: $I_s=4.55e-12$ $N=2.276$ $R_s=1.185$

Led Super-red: $I_s=234.76e-21$ $N=1.7734$ $R_s=1.626$

Led Ambar: $I_s=661e-24$ $N=1.65$ $R_s=4.86$

Led True-green: $I_s=6.25e-12$ $N=5$ $R_s=7.97$

Led Blue: $I_s=540e-15$ $N=5$ $R_s=14.7$

- Se entregará la curva característica de los 3 diodos.

4. Transistor Bipolar de Unión.

Simular el circuito del apartado 4a (con $R_C=1\Omega$ y sin R_E) pero triplicado, con tres entradas V_i distintas (VDC entre 1 y 6V). Los *markers* de corriente se colocan en el colector del BJT. Usar DC-Sweep para variar V_{CC} desde 0 a 3V. Se obtendrán 3 curvas I_C-V_{CE} . Se entregará la gráfica con las curvas I_C-V_{CE} . Simular el circuito del apartado 4b con una senoidal de entrada con amplitud de pico a pico de 200 mV y valor de continua (V_{DC}) con un valor comprendido entre 0,8V y el máximo que provoca que la señal entre en saturación. Se debe comprobar que la salida está amplificada e invertida respecto a la entrada.

5. Familias Lógicas: CMOS.

A) Construir la puerta NOT (usar IRF9140, IRF150). Hacer que la entrada A sea una fuente de tensión sobre la que se hace un barrido de continua (.DC o DC-Sweep) desde 0V hasta V_{CC} . Representar en Probe, la salida S en función de la entrada A. Sobre esa gráfica comprobar el funcionamiento de la tabla de verdad, localizar y marcar el punto de la tensión umbral y dar su valor. Se entregará la gráfica realizada.