

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA E INFORMÁTICA  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MASSACHUSETTS**  
CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS 02139

6.101 Práctica introductoria de electrónica analógica  
Práctica 2

## TRABAJO DE LECTURA

Antes de realizar esta práctica debe haber leído los trabajos de lectura sobre diodos que se facilitan en el resumen del curso.

Para esta práctica, será necesario que consulte el manual de instrucciones de los trazadores de curvas Tektronix 577-177 ó 575 [debe firmar el registro en la ventanilla 38-501 del almacén al retirar los manuales]. Como mínimo, debe consultar la sección **Applications (Aplicaciones)** en la que se describe cómo montar el trazador de curvas para realizar mediciones en dispositivos específicos, como pueden ser los diodos, los transistores bipolares, etc. Dado que el 577-177 es un diseño de duro desafío ergonómico, le recomendamos encarecidamente que utilice el modelo 575. En el laboratorio, encontrará las instrucciones simplificadas de los trazadores de curvas 575 enganchadas a los instrumentos y también están disponibles en la ventanilla del almacén. **PELIGRO: LA ALTA TENSIÓN está disponible en las terminales del colector de cualquier trazador de curvas dependiendo del ajuste del interruptor de tensión del colector y de la posición del potenciómetro de tensión variable del colector. Asegúrese de volver a colocar el interruptor selector del transistor en posición "off" antes de insertar o quitar los transistores, y de tener libres las manos mientras aplica la tensión.** [Aunque esta tensión está pulsada y la corriente es limitada, ¡aún puede "darle una sorpresa" si toca las terminales del colector!].

**MONTAJE ESPECIAL DEL TRAZADOR DE CURVAS:** se ha modificado uno de los trazadores de curvas para permitir que se visualicen las curvas en los nuevos osciloscopios de muestreo Tektronix. A pesar de que las curvas no son tan limpias como las que aparecen en una pantalla analógica, los nuevos osciloscopios le permiten guardar en disquete lo que visualiza. Le sugerimos que utilice archivos .TIF para estas curvas. Las instrucciones de uso de este trazador de curvas híbrido se facilitan en el equipo. Esto le ahorrará tener hacer muchos esquemas de curvas de dispositivos.

## OBJETIVO

### **Diodos, diodos Zener, transistores bipolares, amplificadores operacionales y fuentes de alimentación.**

Estos son algunos de los circuitos y dispositivos fundamentales de la electrónica analógica. Aprenderá más cosas sobre nuestro equipo de pruebas y estudiará algunas de las propiedades de los dispositivos anteriores. Además, construirá [3] fuentes lineales de alimentación [sin conmutación] y las comparará. Aprenderá a visualizar las características de entrada y de salida de algunos de estos dispositivos en nuestros antiguos, pero todavía muy útiles, trazadores de curvas.

### **Experimento 1: reglas básicas de los diodos: cómo construir un amplificador logarítmico sencillo.**

En este experimento aprenderá más cosas acerca de los diodos a través del estudio de un amplificador logarítmico sencillo.

### ***Amplificador logarítmico sencillo***

[Necesitará saber que la ganancia de tensión de este amplificador es  $A_V = -\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_{diodo}}{1,0k\Omega}$ , así como que la entrada invertida, el pin 2, es una masa virtual, en este caso para las señales AC y DC]. [Le sugerimos que exprese  $R_{diodo}$  en términos más útiles].

1. Construya el amplificador logarítmico de la figura 1. **P.1.1 ¿Cuál es la relación ideal de entrada/salida  $V_{OUT}$  frente a  $V_{IN}$  para este amplificador cuando el diodo está polarizado con una corriente directa?**  
**P.1.2 ¿Para qué margen de tensiones de entrada existe una relación logarítmica de  $V_{OUT}$  frente a  $V_{IN}$ ?**

2. Cuando el diodo tiene una polarización directa, la relación tensión / corriente del diodo viene dada por:

$$I_D = I_S \left( e^{\left[ \frac{qV_D}{kT} \right]} - 1 \right) \approx I_S e^{\left[ \frac{qV_D}{kT} \right]}$$

donde  $kT/q$  es la tensión térmica [ $\approx 26$  mV a temperatura ambiente] e  $I_S$  es la corriente inversa de saturación del diodo que depende del dispositivo, la temperatura, etc., específicos. **P.1.3 Cuando se aumenta la corriente directa del diodo en un factor de 10, ¿cuánto cambia la tensión del diodo?**

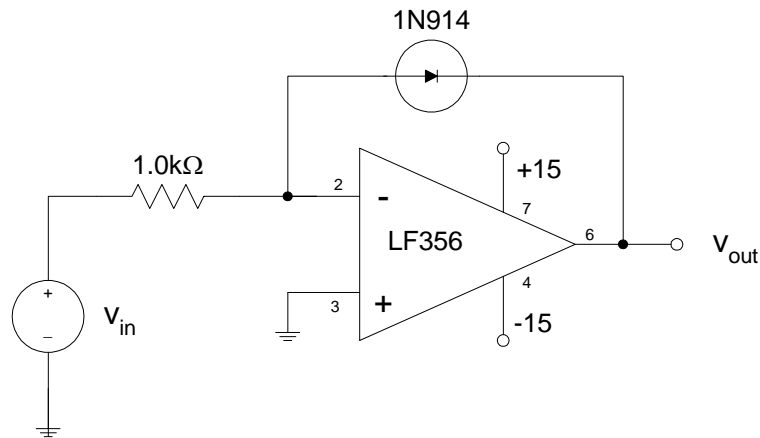


Figura 1. Circuito para el experimento 1.

3. Trace la relación de entrada / salida del amplificador para  $10 \text{ mV} < V_{IN} < 1000 \text{ mV}$ . Utilice el control de ajuste de desplazamiento DC de su generador de funciones para proporcionar una fuente de tensión DC. Asegúrese de que la señal AC del generador está desconectada. Para ello, mantenga pulsado el botón de **OFFSET** (*desplazamiento*) durante dos segundos o hasta que escuche un clic. Esto producirá una salida DC pura sin corriente alterna (AC) montada sobre ésta. Coloque una de las sondas del osciloscopio en la salida del amplificador para observarla y asegúrese de que la única señal presente es una señal DC. Debería utilizar su DMM (multímetro digital) para leer, en primer lugar, la tensión de entrada [fijada en un valor útil] y, a continuación, desplazar el DMM hacia la terminal de salida para leer la tensión DC de salida. Mida varios puntos por década de tensión de entrada y utilice ejes semi-logarítmicos; esto debe dar como resultado un diagrama lineal sobre ejes semi-logarítmicos.

4. **P.1.4 Halle el coeficiente  $I_S$  del diodo a partir de los datos que tiene.** Es necesario que sepa que la corriente que entra por el pin 2 del amplificador operacional es insignificante si se compara con la corriente que pasa a través del diodo, al menos en las tensiones DC superiores de entrada. Si descubre que la relación logarítmica entre la entrada y la salida desaparece a tensiones DC bajas de entrada, puede deberse al hecho de que la corriente de entrada del pin 2 tiene el mismo orden de magnitud que la corriente que pasa a través del diodo a tensiones bajas de entrada. Esto puede suceder incluso cuando el LM356 tiene una etapa de entrada de un JFET y, por consiguiente, una corriente de polarización de entrada excesivamente baja.

5. **P.1.5 Mida un coeficiente aproximado de temperatura para la tensión del diodo, en mV/°C.** [Consejo: puede realizar esta operación con el diodo funcionando en su circuito. Queremos que realice un cálculo estimado del coeficiente de temperatura del diodo. Un posible método para modificar la temperatura del diodo es sujetar el diodo entre sus dedos pulgar e índice hasta que la tensión de salida deje de cambiar].

**P.1.6 Comente la utilidad de usar este amplificador en un aparato en el que la temperatura puede variar mucho [por ejemplo, en un aparato de electrónica comercial donde la temperatura ambiente puede variar de 40°F a 150°F].**

6. Sustituya el 1N914 en su circuito por otro 1N914 de su kit o de los cajones del laboratorio. En la misma serie de ejes, trace la relación  $V_{OUT}/V_{IN}$ . **P.1.6 Observe si hay diferencias entre las dos curvas y explique por qué.**

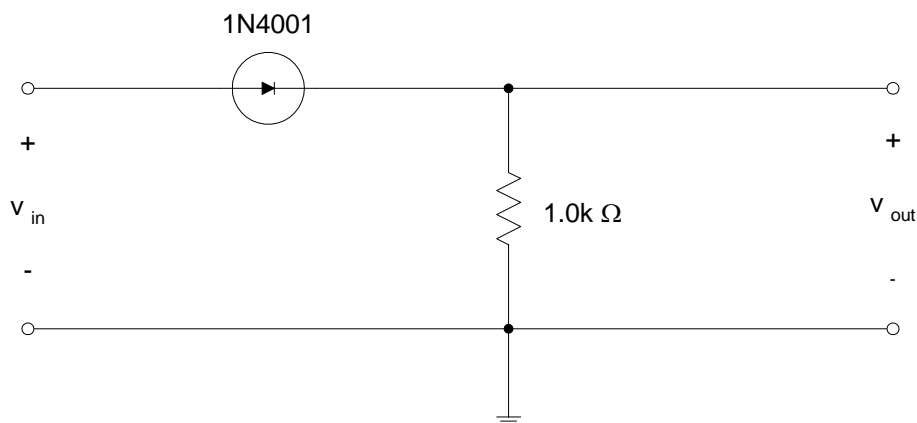


Figura 2. Circuito para el experimento 2.

### Experimento 2: diodos rectificadores.

1. Utilice el trazador de curvas para medir las características de un diodo rectificador 1N4001 de su kit de prácticas. [Suelde cables de diámetro más pequeño a los cables de su diodo para que encajen en la toma de corriente del trazador de curvas o, de lo contrario, dañará la toma. O también puede acoplar el diodo al trazador de curvas mediante los postes de conexión]. Consulte la sección *SIGNAL AND RECTIFYING DIODES (DIODOS RECTIFICADORES Y DE SEÑAL)* de la página 33 del manual 577-177 o utilice el montaje para la característica directa del diodo (*diode forward characteristic*) de la página 4 del manual que está sujeto al trazador de curvas 575 [adjunto]. [Las características directas de un diodo Zener y de un diodo rectificador o de señal ordinario se miden de la misma forma]. En su cuaderno de prácticas [o en un papel gráfico lineal aparte que puede insertar en su cuaderno], trace la característica  $v - i$  del diodo para corrientes de hasta 20 mA. Repita este diagrama en un papel semi-logarítmico, utilizando la escala logarítmica para el eje  $y$  [corriente].

2. Construya el circuito de la Figura 2. Aplique 100 Hz, 6 V de señal pico-pico desde el generador de señales hasta la entrada  $V_{in}$ . Mida el valor de pico de la tensión de salida  $V_{out}$  y la fracción de cada ciclo

en la que  $V_{out}$  es cero.

3. Repita el apartado 2 para una tensión de entrada de 20 V pico-pico.

4. Aumente la frecuencia del generador de señales a 10 kHz. Observe que el diodo no se desconecta de inmediato y que, de hecho, lo que en realidad hace el diodo es conducir corriente negativa durante un breve periodo de tiempo. Este fenómeno es más marcado a una frecuencia de 100 kHz, debido a que es necesario eliminar los portadores de exceso de la unión del diodo antes de que éste pueda resistir una tensión inversa. El tiempo necesario para eliminar esta carga del diodo se conoce como tiempo inverso de recuperación [referido como  $t_{rr}$  en las hojas de datos de los diodos]. [ $t_{rr}$  se define como el tiempo que tarda en caer una corriente inversa a un décimo de la corriente directa que fluía antes de que la tensión a través del diodo cambiase la polaridad]. Mida el tiempo durante el cual los diodos conducen corriente inversa con la tensión de entrada a frecuencias de 10 y 100 kHz.

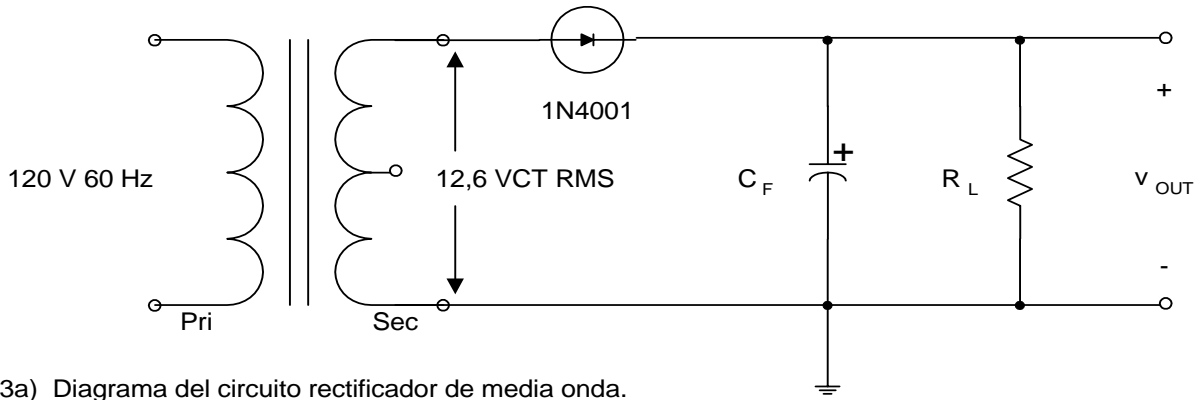
5. Sustituya el diodo 1N4001 por el 1N914 de su kit de prácticas. Éste es un diodo de conmutación y está diseñado para funcionar en tiempos de conmutación mucho más rápidos que el 1N4001. Repita los apartados 2 al 4 con este diodo, aunque es posible que no se pueda medir su tiempo de recuperación.

### **Experimento 3: fuentes de alimentación sencillas.**

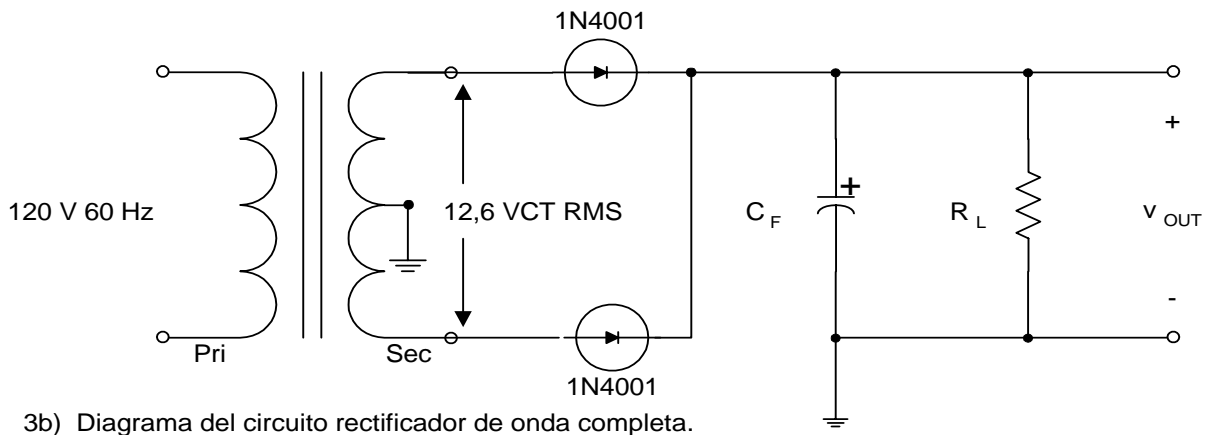
En este experimento, construirá los tres circuitos básicos de fuente de alimentación del rectificador sin regular y comparará su funcionamiento.

1. Utilice las terminales de 12,6 Voltios del transformador de potencia unidas en el centro con cinta adhesiva [RMS] que hay en su nuevo kit [de funda de madera] del curso 6.101, o consiga un transformador de potencia montado en una caja de aluminio con un enchufe AC de tres dientes de 120V en la ventanilla del almacén, si tiene un kit antiguo del curso. [El tercer diente (redondo) sirve para conectar a tierra la caja de metal y NO se muestra en el esquema de más adelante. Construya los circuitos rectificadores de la Figura 3, utilizando  $R_L = 100 \Omega$  [necesitará una resistencia especial de 5 vatios del almacén] y  $R_L = 1000 \Omega$  [**P.3.1 ¿Qué vataje necesitará para esta resistencia?**]. Se proporcionan tablas para introducir los datos. El primer dato debería tomarse antes de instalar cualquiera de los condensadores de filtros electrolíticos. Utilice el DMM y el osciloscopio en el margen AC para medir la tensión AC secundaria del transformador,  $V_{sec}$ .
2. Dibuje y marque la tensión DC de salida  $V_{out}$  para cada una de las tres conexiones, de nuevo sin instalar ningún condensador de filtros. Marque los valores de salida de pico.
3. Calcule el valor medio DC a partir de sus dibujos.
4. Desplace las sonda de su osciloscopio y el DMM hacia  $V_{out}$  y mida los valores reales. Compárelos con los valores que calculó.
5. Instale los condensadores electrolíticos y las resistencias de carga que se piden en la tabla y realice también las mediciones requeridas. **Procure obtener correctamente la polaridad del condensador para evitar una posible explosión u otro daño personal o del condensador.** Es posible que le interese colocar su osciloscopio en acoplamiento AC para así ver la ondulación de una manera más efectiva.
6. Repita el paso 2 teniendo instalado el condensador de filtro más pequeño. Marque valores de ondulación de pico a pico. Revise los datos de su tabla y extraiga conclusiones acerca de la tensión baja de ondulación [deseable] frente al tamaño del condensador [uno electrolítico de 1000  $\mu F/25V$  tiene un coste de 0,84 \$; uno de 470  $\mu F/25V$  cuesta 0,34 \$] y de la tensión baja de ondulación frente al número de diodos [un 1N4001 cuesta 0,053 \$]. **P.3.2 ¿Qué tensión secundaria del transformador será necesaria para que**

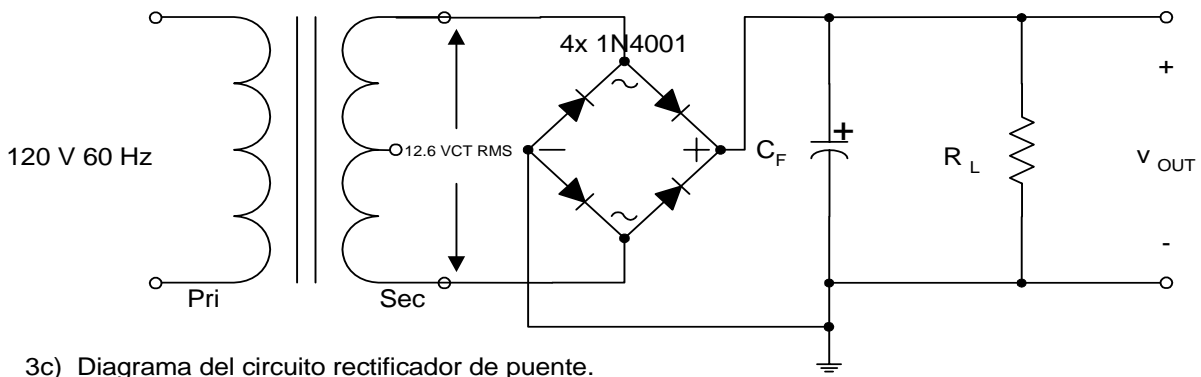
la salida del circuito rectificador de onda completa sea igual a la salida de los circuitos rectificadores de puente o de media onda?



3a) Diagrama del circuito rectificador de media onda.



3b) Diagrama del circuito rectificador de onda completa.



3c) Diagrama del circuito rectificador de puente.

Figura 3. Circuitos para el experimento 3.

Tabla para los datos de los circuitos rectificadores; carga de 100 $\Omega$						
Circuito	Tamaño del condensador	V <sub>secundario</sub> [p-p]	V <sub>secundario</sub> rms [DMM]	V <sub>out</sub> DC [DMM]	V <sub>ondulación</sub> [p-p]	Frecuencia de ondulación
Media onda	ninguno					
	470 $\mu$ F					
	1000 $\mu$ F					
	1470 $\mu$ F					
Onda completa	ninguno					
	470 $\mu$ F					
	1000 $\mu$ F					
	1470 $\mu$ F					
Puente	ninguno					
	470 $\mu$ F					
	1000 $\mu$ F					
	1470 $\mu$ F					

Tabla para los datos de los circuitos rectificadores; carga de 1000 $\Omega$						
Circuito	Tamaño del condensador	V <sub>secundario</sub> [p-p]	V <sub>secundario</sub> rms [DMM]	V <sub>out</sub> DC [DMM]	V <sub>ondulación</sub> [p-p]	Frecuencia de ondulación
Media onda	ninguno					
	470 $\mu$ F					
	1000 $\mu$ F					
	1470 $\mu$ F					
Onda completa	ninguno					
	470 $\mu$ F					
	1000 $\mu$ F					
	1470 $\mu$ F					
Puente	ninguno					
	470 $\mu$ F					
	1000 $\mu$ F					
	1470 $\mu$ F					

### Experimento 4: diodos Zener.

Como verá, los diodos Zener tienen un componente de tensión constante de su característica V-I inversa que los hace útiles como reguladores de tensión en fuentes de alimentación sencillas y como referencias de tensión en fuentes de alimentación más complejas y en otras aplicaciones.

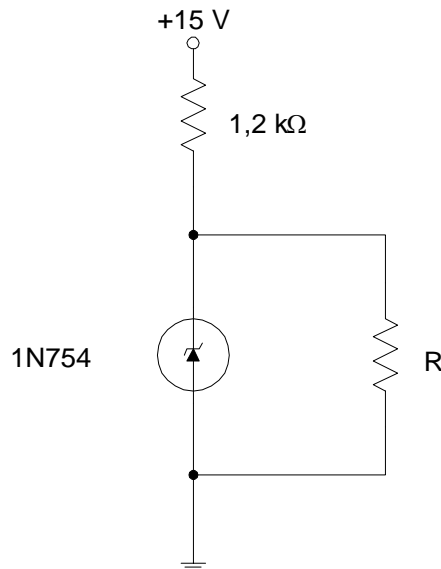


Figura 4. Circuito para el experimento 4.

1. Utilice el trazador de curvas para medir las características del diodo Zener 1N754 de su kit de prácticas. Consulte la sección *ZENER DIODES* (DIODOS ZENER) de la página 35 del manual 577-177I, o la página 5 del manual 575. [Su punto zener será una tensión distinta de la que se indica en el manual]. Trace las características V-I del diodo para corrientes de hasta 20 mA en las direcciones directa e inversa.
2. Construya el circuito de la Figura 4. Mida la tensión a través de la resistencia R para  $R = 10\text{k}\Omega$ ,  $R = 1,0\text{ k}\Omega$  y  $R = 100\ \Omega$ .
3. Calcule el valor de R en la Figura 4 para el que el diodo Zener deja de proporcionar una regulación de tensión. Verifique su cálculo de forma experimental. [**P.4.1 Explique por qué el diodo Zener deja de regular para ciertos valores de R. Consejo: piense en el “divisor de tensión” o el “divisor de corriente”**].

### Experimento 5: transistores bipolares.

En este experimento, estudiará las características básicas de los transistores bipolares y, en experimentos posteriores, algunas aplicaciones prácticas de estos dispositivos. Para el transistor 1 únicamente, realice un boceto, dibuje o reproduzca las curvas características de la pantalla del trazador de curvas en papel gráfico lineal. Será más que suficiente con un papel cuadrículado de 0,25 pulgadas. Necesitará cuatro [4] transistores NPN 2N3904 de su kit de prácticas o de los cajones del laboratorio.

1. Utilice el trazador de curvas para medir las características de un transistor NPN 2N3904 de su kit de prácticas. Marque el transistor con el número 1 para poderlo diferenciar de los restantes 2N3904 de su kit. Consulte la sección *BIPOLAR TRANSISTORS* (TRANSISTORES BIPOLARES) de la página 19 del manual 577-177, o las páginas 9ff del manual 575 [**se adjunta la página 9**]. En concreto, ajuste el trazador de curvas para medir la corriente de colector  $I_C$  del transistor en función de la tensión colector-emisor  $V_{CE}$  para 10 escalones de corriente de base a  $5\ \mu\text{A/escalón}$ . Ajuste el control *MAX PEAK POWER WATTS* (vatios máximos de potencia de pico) a 0,6 vatios [únicamente el modelo 577-177].

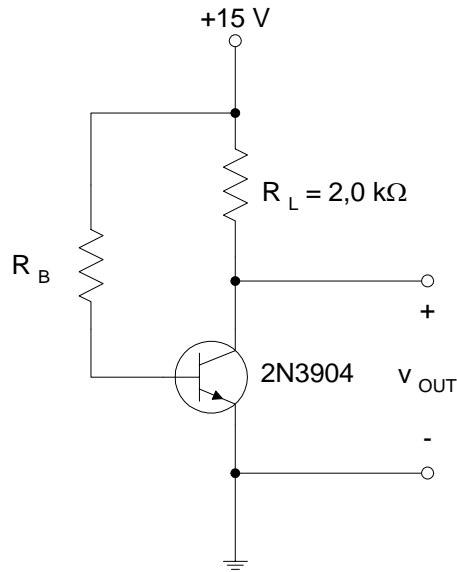


Figura 5. Circuito para el experimento 5.

2. Calcule el beta de pequeña señal  $\beta_F = I_C / I_B$  de este transistor para cada valor de corriente de base a tensiones colector-emisor de 5 y 10 voltios.

3. Calcule el beta de pequeña señal  $\beta_o = \Delta I_C / \Delta I_B$  para el transistor en función de la corriente de base para las tensiones colector-emisor de 5 y 10 voltios.

4. Mida  $\beta_F$  para los tres transistores 2N3904 restantes. No realice una serie extensa de mediciones. La idea es simplemente comparar los transistores, lo cual es suficiente para medir los betas a tensiones colector-emisor de 5 voltios y a corrientes de colector de 1 mA. Asegúrese de marcar cada uno de ellos de alguna forma para poderlos identificar cuando los utilice en experimentos posteriores.

5. Seleccione el transistor 2N3904 con el mayor valor de  $\beta_F$  basándose en los resultados de la prueba. Construya el circuito de la Figura 5. Basándose en sus mediciones de este transistor en particular, calcule los valores de  $R_B$  de forma que el valor DC de la tensión  $V_{out}$  sea de aproximadamente 7 V. Con la ayuda de la resistencias de su kit de prácticas, calcule aproximadamente el valor de  $R_B$  en su circuito y verifique los cálculos. **P.5.1 ¿Qué factores determinan lo cerca que está de conseguir el valor DC deseado de la tensión de salida?**

6. A continuación, seleccione el transistor 2N3904 con el menor valor  $\beta_F$  de su kit de prácticas. Sustituya este transistor por el de su circuito y mida el valor de la tensión  $V_{out}$ . Calcule el valor de  $R_B$  que necesita este transistor para obtener una tensión de salida de aproximadamente 7 V y verifique de nuevo estos resultados de forma experimental.

7. Seleccione un transistor PNP 2N3906 de su kit de prácticas. Con la ayuda del trazador de curvas, mida la corriente de colector  $I_C$  del transistor en función de la tensión colector-emisor  $V_{CE}$  para 10 escalones de corriente de base  $5 \mu A$ /escalón. Calcule el beta de gran señal  $\beta_F = I_C / I_B$  de este transistor para cada valor de corriente de base a tensiones colector-emisor de -5 y -10 voltios.

**La siguiente nota de Agilent [antes Hewlett-Packard] explica cómo leer el valor de la media onda sinusoidal que transmite el rectificador de media onda, en el caso de que tenga problemas para conseguir la lectura adecuada. La correcta debería ser aproximadamente la tensión de pico dividida por  $\pi$ .**

"El 34401A no se autoalinea muy bien cuando se miden señales AC en modo DC. Puesto que la AC no se integra, elige el margen erróneo, demasiado pequeño y, a continuación, la entrada se sobrecarga. Tiene que seleccionar manualmente un margen en el que la señal AC no se recorte. Para un pico de 17V necesitará el margen de 100V. Entonces debe funcionar correctamente.

Este tiempo de integración se puede ajustar utilizando el comando MEAS del menú o de las teclas con los dígitos azules 4, 5, 6. Para poder utilizarlas pulse la tecla de cambio (*shift*) (también azul) y a continuación la tecla en cuestión. Por ejemplo, si quiere cambiar a 4,5 dígitos pulse *shift* y, a continuación, la tecla de flecha hacia abajo (la que tiene el número 4 encima).

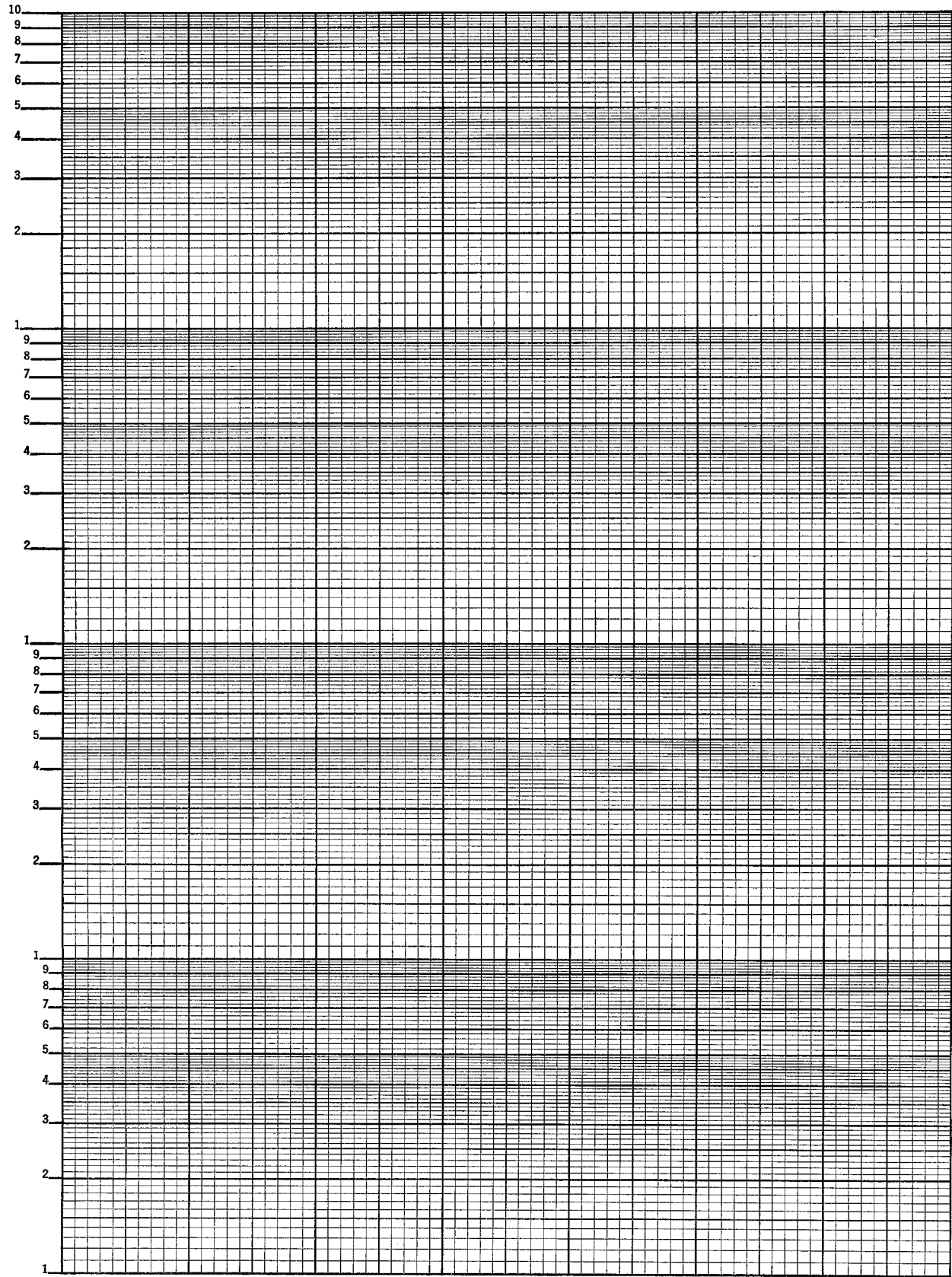
El tiempo de integración no hará efectiva esta integración a menos que sea inferior a un periodo completo de la señal que se está midiendo. Puesto que es una señal de 60Hz, cualquier cosa con un NPLC de valor 1 o superior funcionará.

Es cierto, podíamos haber hecho que funcionase el algoritmo de autoalineación en este tipo de señal, pero habría sido mucho más lento y la mayoría de los usuarios desean que funcione rápido en DC.

Saludos,  
Hal Wright  
*Agilent Technologies*

## **CÓMO AJUSTAR EL PASO CERO (*STEP ZERO*) EN EL TRAZADOR DE CURVAS 575**

1. En primer lugar, asegúrese de que las pantallas vertical y horizontal están en cero: mantenga el interruptor de calibración para cada una en cero y coloque el punto de forma que se ubique en la esquina inferior izquierda del retículo para los dispositivos NPN y en la esquina superior derecha del retículo para los dispositivos PNP. La mejor forma de realizarlo es sin tener conectado ningún transistor bajo prueba [TUT] y con el potenciómetro de *PEAK VOLTS* (VOLTIOS DE PICO) conectado completamente a CCW.
2. A continuación, inserte, para este ejemplo, un dispositivo NPN en el enchufe de prueba y ajuste la ganancia vertical para 0,5mA/DIV, la horizontal para 2V/DIV y la corriente de base para 0,005 mA/escalón. Fije el interruptor en "Repetitive" (repetitivo) y conecte el control *STEP ZERO* completamente en CW.
3. Ajuste el potenciómetro STEPS/FAMILY (escalones/familia) completamente a CCW para 4 STEPS/FAMILY. En realidad, verá CINCO escalones,  $I_B = 0$  escalones y, a continuación, los 4 escalones correspondientes a  $I_B = 0,005$  mA, 0,010mA, 0,015mA, and 0,020 mA.
4. Una vez haya verificado que hay cinco escalones, aumente el selector de escalón de la corriente de base a 0,01 mA/escalón. Los escalones superiores desaparecerán, pero será más fácil ver el escalón 0.
5. Haga subir el interruptor ZERO CURRENT (corriente cero) y observe donde cae el escalón 0. Suelte el interruptor y ajuste el potenciómetro STEP ZERO a CCW hasta que el escalón 0 se mueva hacia abajo de la línea inferior en el retículo [ $I_C = 0$ ,  $I_B = 0$ ]. ¡NO GIRE MÁS EL MANDO! Si lo hace, la señal de escalón 0 no disminuirá más, pero las señales 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, etc, se moverán en dirección hacia abajo y, por consiguiente, estropearán la calibración. Puede que le interese alternar elevar y soltar el interruptor de ZERO CURRENT (corriente cero) mientras gira el mando de escalón cero.
6. No conviene que repita esta calibración a menos que utilice un transistor PNP transistor o a menos que llegue alguien y decida hacer este ajuste de forma inadecuada.
7. Cuando vea las curvas del JFET en este trazador de curvas, asegúrese de conectar la resistencia de 1000 ohmios a través de los terminales del emisor de base para convertir los mA de la base a voltios de puerta. Posteriormente, cuando realice el procedimiento anterior de calibración, asegúrese de fijar el interruptor a ZERO VOLTS (cero voltios) durante el proceso.



## Tiempo de recuperación inversa

Para más información sobre el tiempo de recuperación inversa, consulte el artículo escrito por Anton Kruger en:

<http://www.chipcenter.com/eeexpert/akruger/akruger004.html>