

Guía de Prácticas de Electrónica

*Benito González Pérez
Antonio Hernández Ballester
José Ramón Sendra Sendra
Javier García García
Javier del Pino Suárez*

Guía de Prácticas de Electrónica

*Benito González Pérez
Antonio Hernández Ballester
José Ramón Sendra Sendra
Javier García García
Javier del Pino Suárez*

1999

Benito González Pérez, Antonio Hernández Ballester, José Ramón Sendra Sendra,
Javier García García y Javier del Pino Suárez

Profesores Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática
de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

ISBN: 84-699-0847-2

D.L: G.C 963-1999

Impresión: KINACOPIAS, S. L.
Servicios Reprográficos Universitarios
Fotocopiadora RANK XEROX
Nº de serie 1103804201

ÍNDICE GENERAL

Introducción a las prácticas de electrónica	1
Práctica I: Instrumentación básica	17
Práctica II: Componentes pasivos en serie	21
Práctica III: El diodo rectificador	27
Práctica IV: Fuente de alimentación	37
Práctica V: Simulación de una fuente de alimentación mediante PSPICE	47
Práctica VI: Amplificador en emisor común con el transistor bipolar	53
Práctica VII: Introducción a las puertas lógicas	61
Material y componentes necesarios	67

*Introducción a las prácticas
de Electrónica*

1. INTRODUCCIÓN A LA METROLOGÍA

1.1 CONCEPTO DE MEDIDA.

Medir una magnitud es compararla con otra de la misma especie tomada como unidad. La medida es el resultado de la comparación, y el valor obtenido se expresa diciendo que la magnitud es un número de veces la unidad.

$$M = k \cdot U \text{ , } U \equiv \textit{unidad} \text{ ; } M \equiv \textit{medida} \text{ ; } k \equiv \textit{factor de comparación}$$

En general, las medidas se pueden clasificar en:

- a) Directas: el valor numérico de la medida se obtiene a partir de una sola lectura en un instrumento.
- b) Indirectas: el valor se obtiene a partir de una ley que relaciona los valores de otras magnitudes con la de interés.

1.2 INTERFERENCIAS EN LAS MEDIDAS.

Se denominan interferencias a aquellas señales que perturban inintencionadamente el normal funcionamiento de un sistema electrónico, afectando a las magnitudes eléctricas o magnéticas de sus circuitos.

La principal causa suele ser la propia red eléctrica de la instalación. Otras son las pantallas de T.V u ordenadores, cables de alta tensión, teléfonos móviles, los cables del equipo, los propios equipos, etc.

Se conoce como susceptibilidad de un dispositivo o equipo a la propensión que tiene de ser afectado por las interferencias. Existen diversas técnicas para disminuir la susceptibilidad; como técnicas de apantallamiento, tomas a tierra o compatibilización de los equipos (diseñar los equipos de modo que se produzca el menor número de interferencias mutuas).

1.3 ERRORES DE MEDIDA.

Se dice que en una medida hay error cuando existe diferencia entre el resultado obtenido y el verdadero valor de la magnitud medida. La medida se puede expresar como:

$$M = \chi + C \pm I$$

donde χ es el valor medido, C incluye las correcciones e I es la

incertidumbre o error.

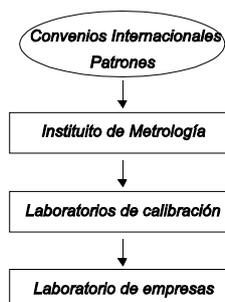
Conociendo el error cometido en la medida, se conoce la validez del método de medición empleado.

Los errores de medida se pueden clasificar en:

- a) Errores aberrantes: son los que aparecen un número reducido de veces respecto del total de las medidas realizadas de la misma magnitud. Se denominan también errores parásitos o equivocaciones. Las medidas con estos errores son descartadas.
- b) Errores sistemáticos: son los que aparecen al realizar sucesivas medidas de una misma magnitud con un determinado valor, y en las mismas condiciones (Ej: aparatos descalibrados, errores de alteración de la medida). En todo instrumento debe indicarse el error o incertidumbre que se produce en la medida.
- c) Errores aleatorios: son los que resultan de la combinación debida al azar de múltiples errores, producidos por el aparato o por el operador. Permanecen una vez disminuidos los errores sistemáticos y excluidos los aberrantes. Ej: sobrecargas, cambios de temperatura, interferencias, etc.

1.4 CADENA DE TRAZABILIDAD.

Son los sucesivos laboratorios de calibración que se han tenido en cuenta para determinar la validez de una medida. En España la cadena de trazabilidad es la siguiente:



1.5 OTROS CONCEPTOS.

1.5.1 Repetibilidad: propiedad que caracteriza la capacidad de un instrumento de obtener siempre el mismo resultado al medir una magnitud sin variar las condiciones, prescindiendo si coincide o no con el verdadero valor de ésta.

1.5.2 Resolución: capacidad de reaccionar a pequeños cambios de la magnitud medida.

1.5.3 Valor nominal: es el valor dado por el fabricante. Este valor debe ir acompañado por una tolerancia.

1.5.4 Tolerancia: es el rango en torno al valor nominal, en el que el fabricante nos indica que se encuentra el valor real. Así se definen:

a) Desviación superior: es la diferencia entre el valor máximo

$$d_s = Y_{\max} - Y_n$$

y el valor nominal.

b) Desviación inferior: es la diferencia entre el valor nominal

$$d_i = Y_n - Y_{\min}$$

y el valor mínimo.

La tolerancia es entonces la suma de las desviaciones superior

$$t = d_s + d_i = Y_{\max} - Y_{\min}$$

e inferior.

Si $d_s = d_i$, se dice que la tolerancia es simétrica. Ej: resistencias.

1.5.5 Error absoluto: es la diferencia entre el resultado de la medida, Y_m , y el valor real, Y_r , de la magnitud.

$$\epsilon_{abs} = Y_m - Y_r \approx Y_m - Y_{nominal} \approx Y_m - Y_{teórico}$$

1.5.6 Error relativo: es el cociente entre el error absoluto y el valor de la magnitud medida. Se suele expresar en tantos por ciento.

$$\epsilon_{rel} = \frac{\epsilon_{abs}}{Y_{medido}} * 100$$

Para que en electrónica una medida sea considerada correcta, el error relativo debe ser menor que el 10%.

2. INSTRUMENTACION

2.1 CLASIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA.

En función del método de medida los instrumentos se pueden clasificar en:

- a) Instrumento analógicos: cuando la magnitud deseada se mide en forma continua.
- b) Instrumentos digitales: cuando se toma la medida en un determinado instante o en un intervalo de tiempo.

Por el método de representación de la medida se clasifican en:

- a) Instrumentos analógicos: cuando el resultado de la medida se indica por medio de un indicador mecánico. Ej: una aguja sobre una escala.
- b) Instrumentos digitales: cuando el resultado se obtiene mediante una representación numérica, o código de barras.

Debido al error producido por la posición relativa entre el operador y el aparato de medida (paralelaje), y a la escasa resolución que permiten los sistemas mecánicos (0.3 mm), los instrumentos digitales suelen ser más precisos que los analógicos.

2.2 INSTRUMENTOS BASICOS.

- . Osciloscopio: sirve para representar visualmente las formas de onda. Mide tensiones.
- . Multímetro o polímetro: sirve para medir tensiones y otras magnitudes que puedan, de forma simple, convertirse en tensiones. Ej: intensidades, resistencias.
- . Frecuencímetros: son para medir frecuencias y tiempos.
- . Medidores de impedancias: miden capacidades, resistencias e inductancias.
- . Generadores de señal: son generadores de onda de distinta forma (sinusoidales, cuadradas, triangulares).
- . Fuente de alimentación: pueden ser de corriente o tensión.

2.3 INSTRUMENTOS A USAR EN EL LABORATORIO.

Manual de la fuente de alimentación Tektronix CPS250

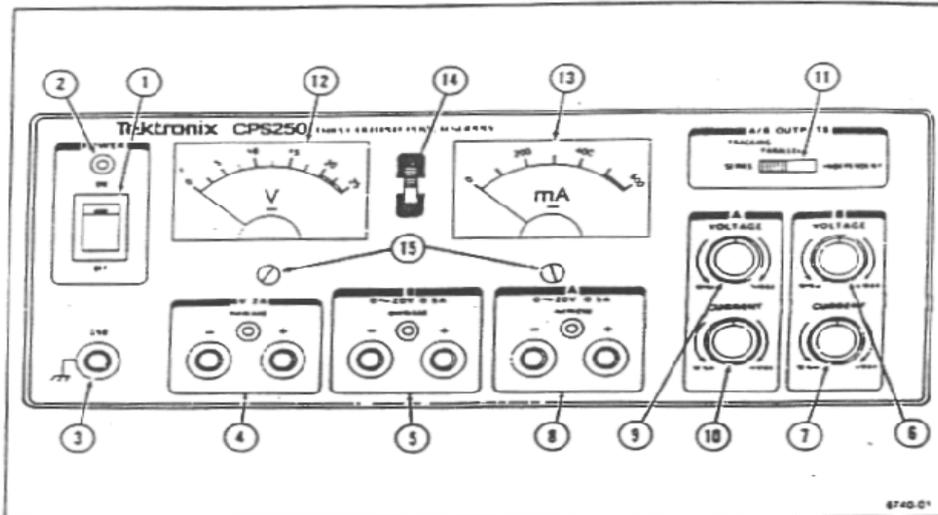


Figura 2-1. Panel frontal de la fuente de alimentación CPS250.

Manual del multímetro Tektronix CDM2250

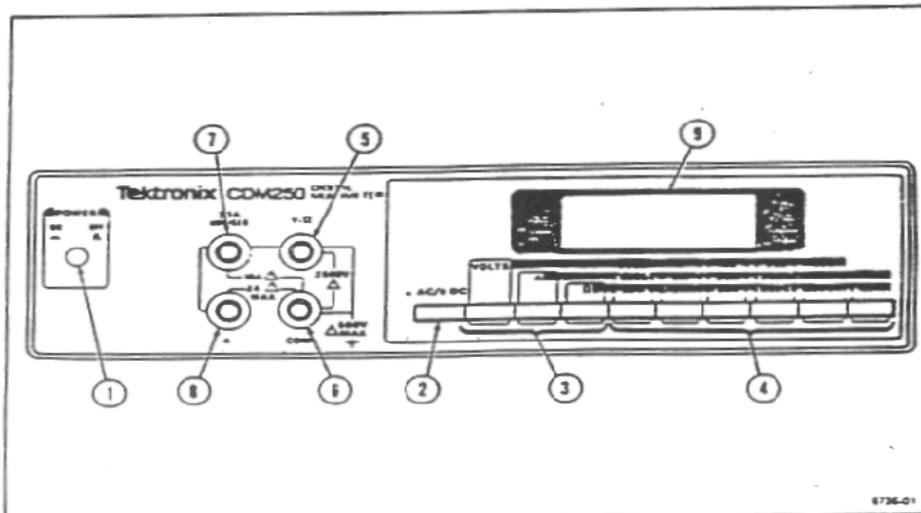


Figura 2-1. Panel frontal del multímetro CDM250.

Manual del generador de funciones Tektronix CFG250

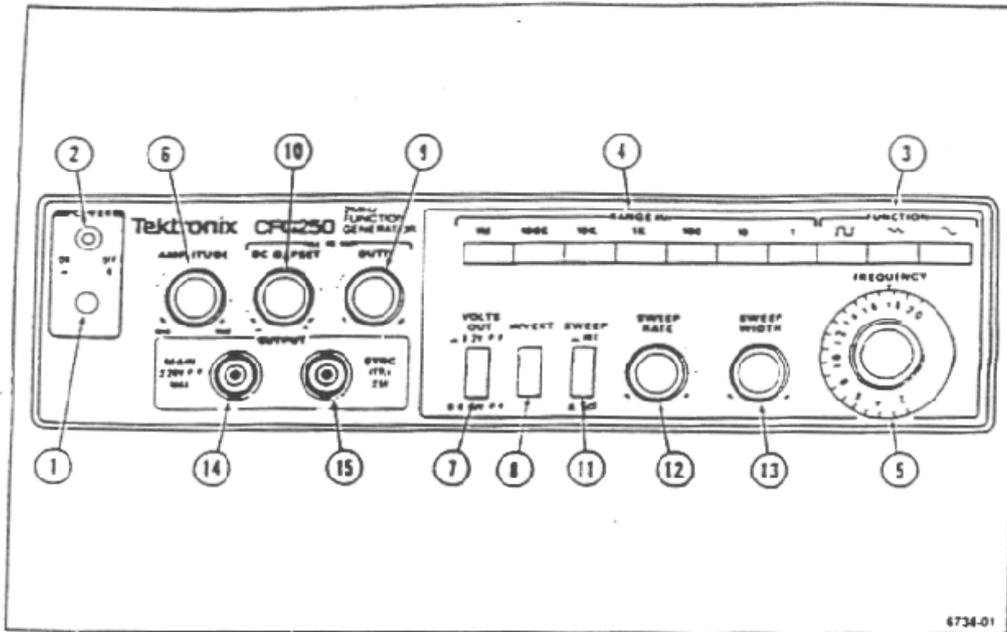
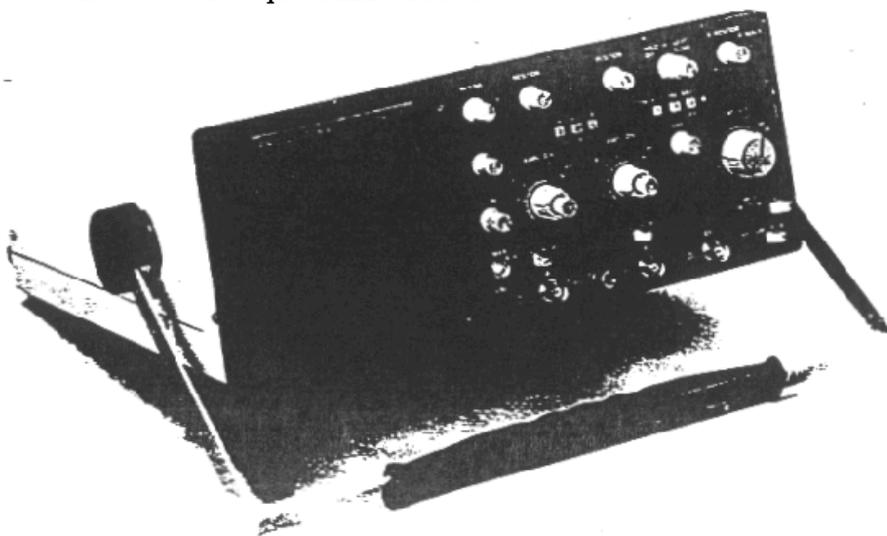


Figura 2-1. Panel frontal del generador de funciones CFG250.

Manual del osciloscopio PHILIPS PM 3208



2.4 NOTAS SOBRE EL MANEJO DE LOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO.

a) Fuente de alimentación:

- . La toma de tierra está unida al chasis.
- . Conectar el borne más negativo a la toma de tierra (por seguridad y tener una tensión de referencia más estable).
- . Comprobar la polaridad antes de encender la fuente.
- . La fuente no es ideal.
- . *Tracking* es para las conexiones internas de las fuentes A y B, en serie o paralelo. En ese caso los mandos de A controlan ambas fuentes (los mandos de B deben estar girados totalmente en sentido horario).
- . Si se encienden los diodos de la fuente es que el circuito solicita una corriente más alta que la que la fuente puede suministrar (aumentar la corriente de salida de la fuente).

b) Polímetro digital:

- . Si la pantalla marca un "1" significa que la magnitud a medir sobrepasa del rango de escala seleccionado. Un "-" es que la tensión que se mide es negativa.
- . La salida de corriente de 10 A. no tiene fusible de protección.
- . Con la opción *DC* se miden tensiones continuas o valores medios.
- . Con la opción *AC* para alterna se miden valores eficaces.
- . No tocar las puntas con los dedos y, para medir resistencias, al menos desconectar una de las patas del circuito.
- . Las tensiones se miden en paralelo y las corrientes en serie.
- . Empezar por las escalas más altas e ir reduciéndola hasta aproximarse lo más posible al valor de la medida.
- . Tener apagada la fuente hasta medir.

c) Generador de señal:

- . Voltaje de salida máximo en circuito abierto.
- . Para activar *duty* (el tiempo de subida o bajada se selecciona con *INVERT*) o *DC offset* (nivel de continua), tirar de los mandos hacia afuera.
- . Con *duty* activado, la señal es simétrica si está totalmente girado en sentido antihorario.
- . Los mandos 11, 12, 13, son para controlar las señales externas si son tomadas como referencia, ej: barrido.

d) Osciloscopio:

- . Existen dos campos eléctricos (vertical y horizontal),

generados por parejas de placas metálicas. El campo vertical es controlado por la señal a visualizar, mientras que el campo horizontal controla la velocidad de barrido de la señal.

. Los mandos de calibrado deben estar girados totalmente en sentido horario.

. *Trace rotation* es para centrar la cuadrícula.

. Para invertir la señal, activar hacia fuera el mando de posición vertical del canal B.

. La toma de tierra está unida al chasis.

. *Level slope* controla la amplitud y el retardo de la señal de disparo. Se utilizan para estabilizar la imagen.

. Con *Auto*, *Trigger* y *Single*, se selecciona el modo de barrido. En modo *Auto*, el barrido se realiza automáticamente cada 100 msg.

. La señal de barrido se selecciona con *Ext*, *A*, *B*, o *LINE*.

. *DC*, *AC*, *TV* ..., son distintos tratamientos que se pueden hacer sobre la señal de disparo (ampliación de electrónica).

. La frecuencia máxima que se puede visualizar es 20 MHz.

3. COMPONENTES

3.1 COMPONENTES.

Se definen los componentes electrónicos como aquellos dispositivos o partes que entran a formar parte de los circuitos electrónicos.

A los dispositivos físicos o piezas se les denominan componentes (transistores, inductores, resistores, capacitores, etc.). Mientras que a los modelos matemáticos que describen su funcionamiento se les denominan elementos (resistencias, inductancias, capacidades, etc.).

El estudio técnico de los componentes debe incluir su definición, detalles constructivos, aplicaciones, codificación, y un modelo o circuito equivalente a partir de su estructura interna.

3.1.1 Clasificación de los componentes :

En general los componentes se pueden clasificar en:

- a) Componentes pasivos: Son dispositivos que no suministran ganancia ni control. Aseguran los enlaces entre los diferentes componentes activos y transmiten las señales electrónicas. Ej: resistores, condensadores, conectores, etc.
- b) Componentes activos: Son aquellos que suministran ganancia o control a una señal eléctrica. Ej: transistores, diodos, etc.

3.1.2 Evolución histórica :

Tecnológicamente se distinguen dos tipos de electrónica. La electrónica de los tubos electrónicos y la de los semiconductores.

En los tubos electrónicos los portadores de carga se mueven en vacío o en un gas de presión muy débil. Se utilizan cápsulas de vidrio o cerámicas. Ej: televisión, osciloscopio, etc.

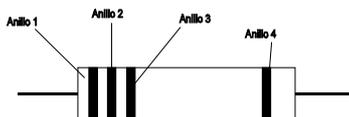
En los semiconductores los portadores se desplazan en un sólido y obedecen las leyes de la física del estado sólido. Gracias a su descubrimiento se inventó el diodo y posteriormente el transistor, dando lugar al nacimiento de la electrónica moderna.

Por otro lado, también se hablan de generaciones en electrónica. La primera correspondería a los tubos electrónicos. La segunda es la electrónica discreta, donde los circuitos constaban de unos pocos diodos y transistores. Y la tercera generación son los circuitos integrados, donde en un área muy

reducida (0.25 cm^2), pueden haber hasta millones de transistores.

3.2 RESISTENCIAS.

En las resistencias, el valor nominal y la tolerancia vienen dados por un código de colores.



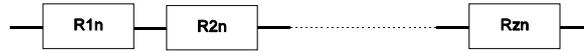
COLOR	Anillo 1 1ª Cifra	Anillo 2 2ª Cifra	Anillo 3 Factor	Anillo 4 Tolerancia
Negro		0	10^0	
Marrón	1	1	10^1	1%
Rojo	2	2	10^2	2%
Naranja	3	3	10^3	
Amarillo	4	4	10^4	
Verde	5	5	10^5	
Azul	6	6	10^6	
Violeta	7	7	10^7	
Gris	8	8	10^8	
Blanco	9	9	10^9	
Plata			0.01	$\pm 10\%$
Oro			0.1	$\pm 5\%$
Ninguno				$\pm 20\%$

Hay resistencias con cinco anillos (cuatro para el valor y uno para la tolerancia), que se corresponde con el mismo código que las de cuatro anillos. Algunas resistencias tienen incluso un sexto anillo para codificar la influencia de la temperatura.

En el caso de las resistencias la tolerancia es simétrica respecto al valor nominal. Si se tuviese un agrupamiento de varias resistencias, el cálculo de la tolerancia se podría hallar como sigue:

a) **Tolerancia de resistencias en serie.**

Sean las resistencias de valor nominal $R_{1n}, R_{2n}, R_{3n}, \dots, R_{zn}$, colocadas en serie según indica la figura:



La resistencia nominal equivalente, R_n , y la tolerancia total, t , vienen dadas por:

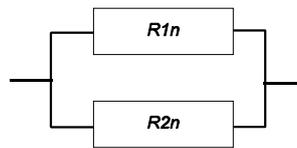
$$R_n = R_{1n} + R_{2n} + \dots + R_{zn}$$

$$t = t_1 + t_2 + \dots + t_z$$

La resistencia total y su tolerancia asociada aumentan respecto a la de cualquier resistencia, aunque la tolerancia sigue siendo simétrica.

b) Tolerancia de resistencias en paralelo:

La tolerancia de la resistencia equivalente se puede calcular agrupando las resistencias de dos en dos. Así, si tenemos dos resistencias en paralelo R_{1n} y R_{2n} :



La resistencia nominal total equivalente será:

$$R_n = \frac{R_{1n} * R_{2n}}{R_{1n} + R_{2n}}$$

mientras que la resistencia máxima y mínima total posibles serán:

$$R_{m\acute{a}x} = \frac{R_{1m\acute{a}x} * R_{2m\acute{a}x}}{R_{1m\acute{a}x} + R_{2m\acute{a}x}} \qquad R_{m\acute{i}n} = \frac{R_{1m\acute{i}n} * R_{2m\acute{i}n}}{R_{1m\acute{i}n} + R_{2m\acute{i}n}}$$

Con lo que la tolerancia será:

$$t = R_{m\acute{a}x} - R_{m\acute{i}n}$$

Tanto la resistencia equivalente como la tolerancia asociada son menores respecto a las de cualquier resistencia, pero la tolerancia deja de ser simétrica.

3.3 CONDENSADORES.

La siguiente tabla indica la codificación de los condensadores más usados. Entre paréntesis se indica la referencia indicada en el cuerpo del condensador, y debajo se representa el significado.

El lugar donde se indica la unidad es la posición del punto decimal. En caso de que no se indiquen las unidades de la capacidad, por defecto son picofaradios. La tolerancia viene indicada por una letra (J= 5%, K=10%).

El último condensador es electrolítico, y las franjas indican el terminal negativo. Estos condensadores sólo pueden ser polarizados de modo que al terminal negativo le corresponda la menor tensión. Por otro lado, también existen condensadores con codificación por barras.

CONDENSADOR	CAPACIDAD	TOLERANCIA	TENSION MAXIMA
	(47 p) 47 pF	(J) +/- 5%	
	(151) (15x10) 150 pF	(K) +/- 10%	
	(n 39) 0.39 nF	(K) +/- 10%	
	(1200) 1200 pF	(J) +/- 5%	
	(224) (22x10000) 220 nF	(K) +/- 10%	(100V) 100 V
	(1u5) 1.5 uF		(100) 100 V
	(6,8 uF) 6.8 uF	(J) +/- 5%	(100 V) 100 V
	(2200 uF) 2200 uF		(25 V) 25 V

Para hallar la capacidad y tolerancia de varios condensadores

agrupados se procede de forma análoga a las resistencias, pero cambiando las expresiones serie por paralelo y viceversa.

Práctica I

Instrumentación Básica

1.1 OBJETIVOS.

El objetivo de la práctica es el conocimiento del manejo básico de los instrumentos de laboratorio.

1.2 MONTAJE DE LOS LATIGUILLOS.

Montar dos pares de latiguillos. Cada par de latiguillos consta de un cable rojo y otro negro. En los extremos de cada cable se suelda un conector banana y otro cocodrilo, del mismo color que el cable correspondiente.

Una vez soldados los conectores comprobar que se ha realizado correctamente midiendo la resistencia entre los contactos.

1.3 CONOCIMIENTO DE LOS POLÍMETROS Y LA FUENTE DE ALIMENTACION.

1. Diseñar un circuito compuesto por tres resistencias (de forma que dos estén en paralelo y una en serie), y una fuente de tensión continua (emplear las resistencias menores).

2. Estimar el valor de tensión máxima para que la potencia disipada por cada resistencia no supere la máxima especificada por el fabricante.

3. Una vez seleccionada la tensión de alimentación y efectuado el montaje sobre la placa, calcular teóricamente y medir (con los dos polímetros) para la resistencia colocada en serie y otra en paralelo:

- a) La caída de tensión entre sus bornes.
- b) La corriente que circula por ella.
- c) El valor de la resistencia.

Calcular el error relativo en todos los casos con ambas resistencias y con los dos polímetros.

1.4 CONOCIMIENTO DEL GENERADOR DE FUNCIONES Y OSCILOSCOPIO.

1. Seleccionar una señal triangular de 2065 Hz, con una amplitud de 500 mV pico y con un nivel de continua negativo de 300 mV.

2. A partir de una señal triangular de 1 kHz. y la amplitud que se desee, obtener otra de diente de sierra con un flanco de bajada de 4 msg.

3. Introduzca la señal del apartado 2 por los canales A y B, utilizando el modo *DUAL* para ver las dos señales. Seleccione la posición adecuada en el mando *TIME/DIV* para que en la pantalla aparezcan dos ciclos completos de la señal. Sumar y restar las dos señales.

4. Visualizar una señal de continua de 5 V., extraída de la fuente de alimentación.

Práctica II

Componentes pasivos en serie

2.1 OBJETIVOS.

Estudiar el comportamiento de los elementos pasivos (resistencia, bobina y condensador), en circuitos en serie con señal alterna.

2.2 CARACTERISTICAS DE LA BOBINA.

Sabemos por la ley de Lenz que cuando circula corriente por una bobina, se crea en ésta un campo magnético y una tensión inducida que se oponen a la variación de la corriente que la atraviesa.

Esta propiedad de la bobina de oponerse a la variación de la corriente se modeliza con la inductancia de la bobina, L. Su unidad es el Henrio (H).

Cuando a una bobina asociada en serie con una resistencia se le aplica una **tensión constante**, al principio se comporta como un circuito abierto. A continuación comienza a fluir la corriente y, tras un cierto tiempo, la bobina se comporta como un cortocircuito.

La constante de tiempo de la bobina viene dada por $\tau = \frac{L}{R}$, donde R es el valor de la resistencia en serie asociada a la bobina. Tras un tiempo igual a la constante de tiempo, el valor de la tensión en la bobina es un 37% respecto del que tenía inicialmente (valor de la tensión constante). Tras cuatro veces la constante de tiempo, la tensión en la bobina se puede aproximar como nula.

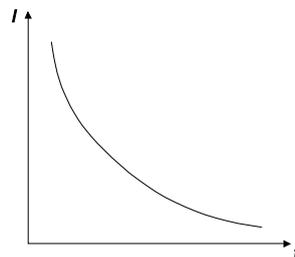
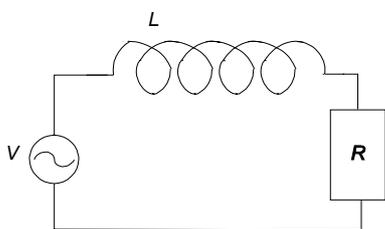
2.3 CARACTERISTICAS DE UN CONDENSADOR.

Un condensador es un elemento pasivo compuesto de dos placas metálicas o armaduras separadas por un dieléctrico (aislante). Las propiedades más importantes son: almacenamiento de energía en forma de carga o campo eléctrico, bloqueo de la corriente continua y paso de la corriente alterna.

Cuando a un condensador descargado y asociado en serie con una resistencia, se le aplica una **tensión constante**, en un principio el condensador actúa como un cortocircuito. A medida que transcurre el tiempo el condensador se va cargando y finalmente acaba por tener la tensión de la fuente y comportarse como un circuito abierto.

La constante de tiempo del condensador viene dada por $\tau = RC$, donde R es la resistencia en serie asociada al condensador. Tras un tiempo igual a la constante de tiempo, el valor de la tensión en el condensador es un 63% del valor máximo (el de la fuente de tensión continua). Tras cuatro constantes de tiempo la tensión del condensador es prácticamente la de la fuente.

2.4 RESPUESTA EN FRECUENCIA DE UN CIRCUITO RL.



Cuando a la bobina se aplica una corriente sinusoidal alterna, la reactancia inductiva que presenta viene dada por:

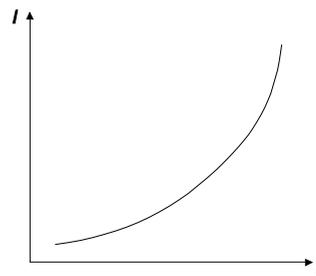
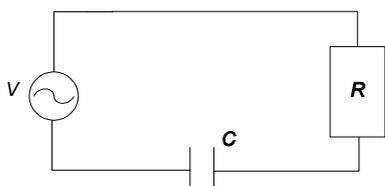
$$X_L = 2\pi fL \quad (\Omega)$$

donde f es la frecuencia de la señal alterna aplicada (Hz). El valor de la impedancia en el circuito RL es:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Un aumento de la frecuencia de la señal hará que X_L aumente, con lo que la impedancia del circuito aumenta y la corriente disminuye ($I=V/Z$). Para una tensión alterna fija, la corriente eficaz depende con la frecuencia como se aprecia en la figura superior.

2.5 RESPUESTA EN FRECUENCIA EN UN CIRCUITO SERIE RC.



Cuando al condensador se aplica una tensión alterna, la reactancia capacitiva, X_c , viene dada por:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \quad (\Omega)$$

siendo f la frecuencia de la señal. El valor de la impedancia en el circuito serie RC es:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

Como X_c disminuye cuando aumenta la frecuencia, la impedancia disminuirá y la corriente eficaz aumentará con la frecuencia. Esta dependencia puede apreciarse en la figura.

2.6 RESPUESTA EN FRECUENCIA EN UN CIRCUITO RLC.



En este caso se combina el efecto de la bobina con el del condensador. La impedancia será:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Tanto a frecuencias altas como bajas la impedancia es alta. A bajas frecuencias es debido a X_c , y a altas frecuencias debido a X_L . En estos dos casos la corriente será pequeña.

A frecuencias intermedias se compensa el efecto de X_L con X_c , obteniéndose impedancias menores y por tanto corrientes mayores. Cuando X_L es igual a X_c , la impedancia es mínima y la corriente en el circuito máxima. Esto ocurre a la frecuencia:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Esta frecuencia se conoce como frecuencia de resonancia.

2.7 MONTAJES PRACTICOS A REALIZAR.

1) Medida de la capacidad de un condensador e inductancia de una bobina a partir de las constantes de tiempo.

a) Al circuito RC en serie se le aplica una señal cuadrada de tensión. Ajustar la amplitud y frecuencia de la señal cuadrada de forma que se aprecie la carga y descarga total del condensador.

a.1) Hallar el valor de la capacidad a partir de la constante de tiempo.

a.2) Comprobar que tras cuatro constantes de tiempo, el condensador se carga totalmente.

b) Al circuito RL en serie se le aplica una señal cuadrada de tensión. Ajustar la amplitud y frecuencia de la señal cuadrada, de forma que se aprecie la activación y desactivación total de la bobina.

b.1) Hallar el valor de la inductancia a partir de la constante de tiempo.

b.2) Comprobar que tras cuatro constantes de tiempo la bobina se desactiva totalmente.

Resistencia a emplear en a) y b): $1\text{ K}\Omega$ (0.5 W).

2) Comprobación del efecto de la frecuencia en el circuito RLC.

Sea el circuito RLC compuesto por una bobina de 100 mH, un condensador de $1\text{ }\mu\text{F}$ y una resistencia de $1\text{ K}\Omega$ (0.5 W). Aplicamos ahora una señal sinusoidal de 8 Vpp al circuito RLC, con una frecuencia inicial de 50 Hz.

a) Calcular la impedancia Z y la corriente eficaz del circuito.

b) Medir la corriente eficaz del circuito.

c) Repetir los apartados a) y b) para las frecuencias 100, 200, 500, 1000, 2000 y 3000 Hz, expresando los resultados en un cuadro.

d) Representar en un gráfico la variación de la intensidad medida con la frecuencia.

e) Calcular y medir la frecuencia de resonancia del circuito.

Práctica III

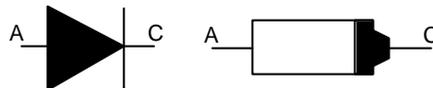
El Diodo rectificador

3.1 OBJETIVOS.

Con esta práctica se pretende que el alumno conozca las características y el funcionamiento del diodo. Para ello se realizarán cuatro montajes usuales en aplicación.

3.2 INTRODUCCION.

El diodo es un dispositivo no lineal de dos terminales, ánodo y cátodo. Su símbolo y correspondencia con el componente se aprecian en la siguiente figura:



El funcionamiento elemental se puede describir de la siguiente forma:

- a) Cuando se polariza de forma directa (el ánodo positivo respecto al cátodo), la resistencia que ofrece al paso de la corriente es prácticamente nula. Actúa como un cortocircuito.
- b) Cuando se polariza de forma inversa, la resistencia que ofrece al paso de la corriente es muy elevada. Prácticamente actúa como un circuito abierto.

3.3 IDENTIFICACION DE TERMINALES CON EL POLIMETRO.

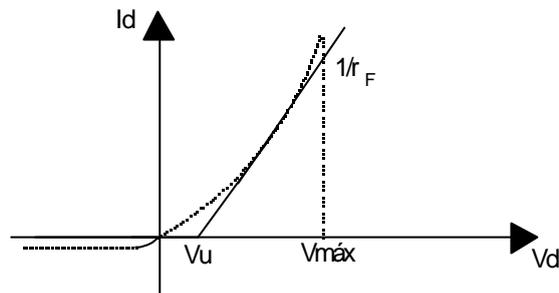
Basándonos en el principio de funcionamiento del diodo, podemos conocer cual es el ánodo y el cátodo con la ayuda del polímetro. Para ello medimos la **resistencia** del diodo alternando las puntas de prueba del polímetro. En una posición nos debe salir resistencia prácticamente nula, y en la otra una resistencia muy grande (no se mueve la aguja del polímetro).

Para identificar el ánodo y el cátodo hay que tener en cuenta que, la polaridad de la pila interna del polímetro aplicada al diodo

es opuesta a la de las salidas de éste (el cable rojo corresponderá a la tensión negativa, y el negro a la positiva).

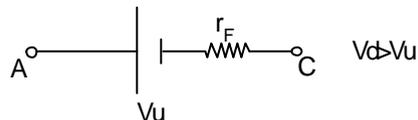
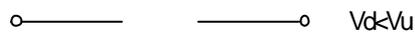
3.4 CURVA CARACTERISTICA.

En la siguiente gráfica se puede apreciar la curva característica del diodo y la aproximación por tramos lineales:



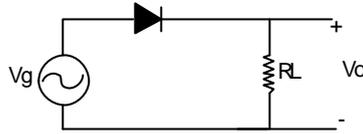
- . V_d es la tensión aplicada al diodo (de ánodo a cátodo).
- . V_u es la tensión umbral del diodo; es la tensión en directa a partir de la cual comienza a haber conducción. Para diodos de Silicio V_u es 0.6 V, mientras que para los de Germanio es 0.2 V.
- . $V_{máx}$ es la tensión máxima en directa que puede soportar el diodo.
- . r_F es la resistencia dinámica que presenta el diodo en conducción.

Los circuitos equivalentes del diodo en corte y conducción serán:



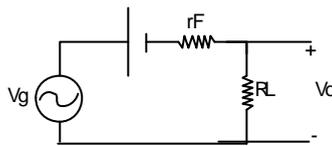
3.5 RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA.

Se corresponde con la figura siguiente:



Cuando la tensión del generador es inferior a la umbral, $V_g < V_u$, el diodo está cortado. No hay corriente y por tanto la tensión de salida será nula.

Cuando la tensión del generador es mayor que la umbral, $V_g > V_u$, sustituyendo el diodo rectificador por su modelo a tramos lineales, el circuito queda como:



La tensión en el diodo será:

$$V_d = V_u + I \cdot r_F$$

La corriente que circula por el circuito vendrá dada por:

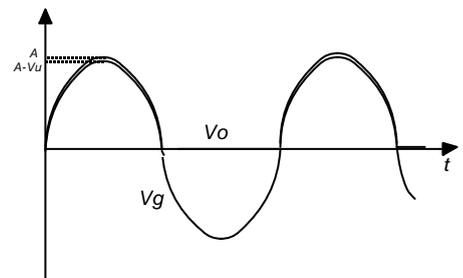
$$I = \frac{(V_g - V_u)}{R_L + r_F}$$

Normalmente $R_L \gg r_F$, entonces:

$$V_O = I \cdot R_L \approx V_g - V_u$$

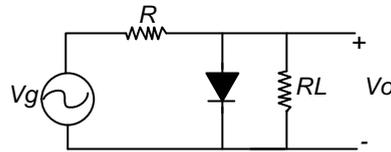
Resumiendo:

$$\begin{aligned} \text{Si } V_g < V_u &\Rightarrow V_O \approx 0 \\ \text{Si } V_g > V_u &\Rightarrow V_O \approx V_g - V_u \end{aligned}$$



3.6 LIMITADOR POSITIVO.

Suprime los ciclos positivos de la señal de entrada. La siguiente figura muestra el esquema de este circuito:

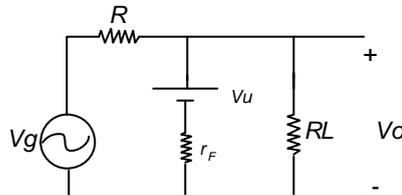


Cuando $V_g < V_u$, la tensión en el diodo no supera la umbral, por lo que estará cortado. Entonces:

$$V_o \approx V_g \frac{R_L}{R + R_L}$$

como R es tal que $R_L \gg R$, entonces $V_o \approx V_g$.

Cuando $V_g > V_u$ el diodo comenzará a conducir. Sustituyendo el diodo por su circuito equivalente queda como:



Del análisis del circuito podemos escribir:

$$\frac{V_g}{R} = V_o \left[\frac{1}{R} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{r_F} \right] - \frac{V_u}{r_F}$$

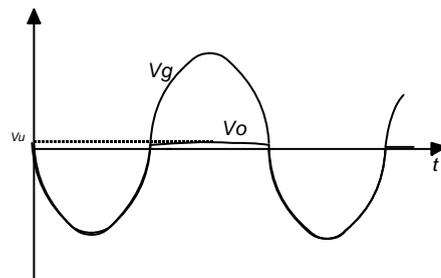
Como $R, R_L \gg r_F$, entonces $1/R + 1/R_L + 1/r_F \approx 1/r_F$. Nos queda que:

$$V_o \approx \frac{r_F}{R} V_g + V_u \approx V_u$$

Resumiendo:

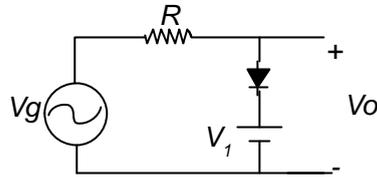
$$\text{Si } V_g < V_u \Rightarrow V_o \approx V_g$$

$$\text{Si } V_g > V_u \Rightarrow V_o \approx V_u$$

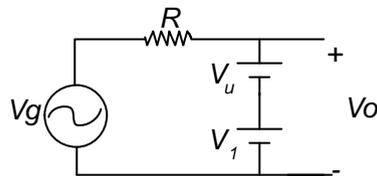


3.7 LIMITADOR PARALELO POLARIZADO.

Se corresponde con la siguiente figura:



Cuando la señal de entrada sinusoidal, V_g , supera V_1 más la tensión umbral del diodo, el diodo conduce. Despreciando la resistencia en conducción del diodo, el circuito queda como:

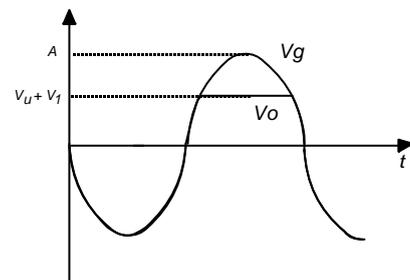


Con lo que la tensión de salida queda limitada a V_u+V_1 .

Si la tensión de entrada es menor que V_u+V_1 , el diodo no conduce. Por la resistencia R no puede circular corriente, con lo que la tensión de salida es igual a la de entrada.

Resumiendo:

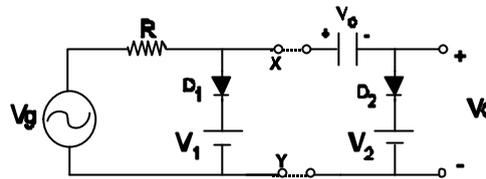
$$\begin{aligned} \text{Si } V_g < V_u + V_1 &\Rightarrow V_o = V_g \\ \text{Si } V_g > V_u + V_1 &\Rightarrow V_o \approx V_u + V_1 \end{aligned}$$



NOTA: Para que el limitador funcione correctamente, la amplitud de la señal de entrada A , debe ser mayor que V_u+V_1 .

3.8 FIJADOR DE NIVEL.

Al limitador paralelo polarizado visto anteriormente, se le añade un circuito fijador de nivel. El circuito queda como sigue:



La tensión entre los puntos X e Y, es la señal recortada debida al limitador positivo.

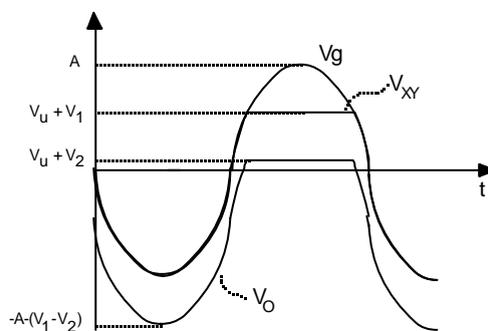
Por otro lado, el condensador es capaz de cargarse sólo en un sentido, cuando la tensión V_{XY} supere la fuente de tensión V_2 más la tensión umbral del diodo serie. Es decir, $V_{XY} > V_2 + V_u$.

La tensión en el condensador V_c , será máxima cuando V_{XY} haya alcanzado su valor máximo, es decir:

$$V_{C-m\acute{a}x} = V_{XY-m\acute{a}x} - (V_u + V_2) = V_1 + V_u - V_u + V_2 = V_1 - V_2$$

Entonces el condensador, al no poder descargarse debido al diodo D_2 , quedará con la tensión con la tensión máxima $V_{C-m\acute{a}x}$, con lo que la tensión de salida será:

$$V_o = -V_{C-m\acute{a}x} + V_{XY} = V_{XY} - (V_1 - V_2)$$



3.9 MONTAJES PRACTICOS A REALIZAR.

1) Identificar los terminales del diodo con el polímetro.

2) Rectificador de media onda.

Montar el circuito rectificador de media onda con una resistencia de carga R_L de 10 k Ω (0.5 W). La amplitud de la señal sinusoidal (del generador de señal), es de 10 V_p y una frecuencia de 50 Hz.

2.1) Medir el valor de pico (V_p) de la señal de salida con el osciloscopio.

2.2) Calcular V_p . Compararlo con el resultado de 1.1).

2.3) Medir la tensión de salida con el polímetro seleccionado en continua. Esta será la tensión media, V_{DC} .

2.4) Calcular la corriente media como $I_{DC}=V_{DC}/R_L$.

2.5) Medir la corriente media, I_{DC} , que circula por R_L (el polímetro en corriente continua). Compararla con resultado obtenido en 1.4).

2.6) Comprobar que para el rectificador de media onda se cumple:

$$V_{DC} = \frac{V_p}{\pi}$$

3) Limitador positivo.

Montar el circuito correspondiente al limitador positivo. Los valores de las resistencias son $R= 1k\Omega$ (0.5 W) y $R_L= 100 k\Omega$ (0.5 W). Aplicar con el generador de señal una tensión sinusoidal de 50 Hz y 10 V_p .

3.1) Medir el valor de pico (V_p) de la señal de salida (en R_L) con el osciloscopio.

3.2) Medir la tensión de salida con el polímetro seleccionado en continua. Esta será la tensión media, V_{DC} .

3.3) Calcular la corriente media como $I_{DC}=V_{DC}/R_L$.

3.4) Medir la corriente media, I_{DC} , que circula por R_L (el polímetro en corriente continua). Compararlo con resultado obtenido en el apartado anterior.

3.5) Comprobar que para el limitador positivo se cumple:

$$V_{DC} = \frac{V_p}{p}$$

3.6) Medir la tensión umbral del diodo.

4) Limitador paralelo polarizado.

Montar el circuito correspondiente con una resistencia R de 10 kΩ (0.5 W), una fuente de tensión V_1 de 5 V., y una señal sinusoidal de 10 V_p y 50 Hz de frecuencia.

4.1) Observar las formas de onda de entrada y salida, V_g y V_o respectivamente.

4.2) Medir la tensión máxima limitada de salida del circuito.

4.3) Calcular la tensión máxima de salida. Compararla con el resultado medido.

5) Fijador de nivel.

Añadir al limitador positivo el circuito fijador estudiado. El condensador es electrolítico (¡¡ **Cuidado con la polaridad !!**), de 1 μF (20 V). La fuente de tensión continua es de 2 V.

5.1) Comprobar la tensión de salida en los terminales XY.

5.2) Comprobar el funcionamiento del fijador. Medir las tensiones máximas y mínimas.

5.3) Calcular la tensión máxima y mínima de salida. Compararlas con 5.2).

5.4) Medir y calcular la tensión en el condensador. Compararlos.

Práctica IV

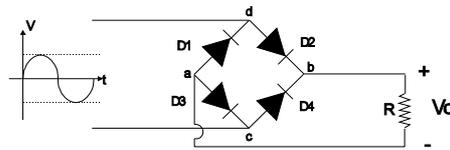
Fuente de alimentación

4.1 OBJETIVOS.

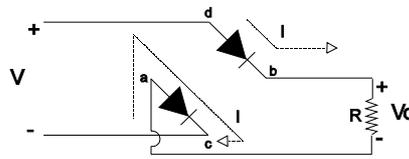
Con esta práctica se pretende que el alumno amplíe el conocimiento de las características y el funcionamiento del diodo. Para ello se realizará una fuente de alimentación en sus distintas etapas: puente rectificador, filtro de condensador y finalmente la fuente de alimentación.

4.2 PUENTE RECTIFICADOR.

El circuito se corresponde con la siguiente figura:



Cuando la tensión de entrada es superior al doble de la tensión umbral de los diodos, $V > 2 \cdot V_Y$, los diodos D2 y D3 conducen, mientras que D1 y D4 están cortados. Refiriendo las tensiones al nudo c ($V_c = 0$), la situación en el circuito sería la siguiente:

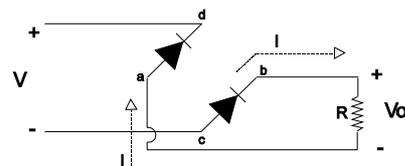


$$V > 2 \cdot V_Y$$

$$V_d = V, V_b \approx V - V_Y, V_a \approx V_Y, V_c = 0$$

Con lo que la tensión de salida es: $V_o = V_b - V_a \approx V - 2 \cdot V_Y$.

Cuando la tensión de entrada es inferior a menos el doble de la tensión umbral, $V < -2 \cdot V_Y$, los diodos D1 y D4 conducen. Mientras que D2 y D3 están cortados. La situación en el circuito sería ahora la siguiente:



Con lo que la tensión de salida es: $V_o \approx -V - 2 \cdot V_Y$. Resumiendo:

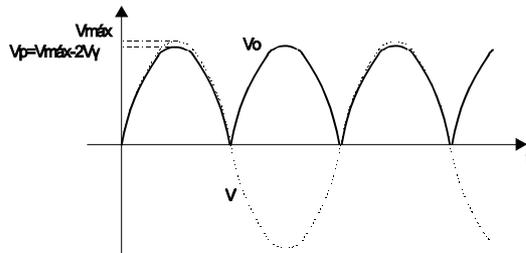
$$V_o = |V| - 2 \cdot V_Y \quad \text{si } |V| > 2 \cdot V_Y$$

$$V_o = 0 \quad \text{si } |V| < 2 \cdot V_Y$$

siendo V_Y la tensión umbral de los diodos.

El tiempo en el que la tensión de salida es nula, es el tiempo que tarda la señal sinusoidal de entrada, V , de valer $-V_Y$ a V_Y , por lo que prácticamente no se observará en el osciloscopio.

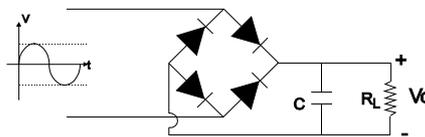
Como se aprecia en las gráficas anteriores, la corriente en la resistencia de salida siempre tiene el mismo sentido. Si representamos la tensión de salida V_o y la de entrada V , éstas tendrán la forma:



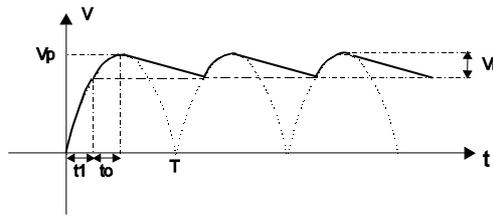
4.3 FILTRO DE CONDENSADOR.

Mediante la rectificación de puente se consigue que la corriente en la resistencia de carga circule en un sólo sentido, pero la tensión de salida es pulsante con semiciclos positivos.

Con el filtro de condensador se pretende que la tensión de salida sea aproximadamente constante, $V_o \approx \text{cte}$. El circuito es el siguiente:



Se puede apreciar en la siguiente gráfica la tensión de salida, V_o , del circuito:



Los semiciclos punteados se corresponden con la salida del rectificador puente, caso de que no estuviera el condensador. Durante la mitad del primer periodo, $T/2$, el condensador se carga a la tensión de pico del rectificador puente (V_p). Posteriormente al pico positivo, la tensión en el condensador es mayor que la que existiría a la salida del rectificador puente, forzando a que los diodos dejen de conducir. Entonces se produce la descarga del condensador a través de la resistencia R , con lo que la tensión de salida disminuye.

Cuando la tensión del rectificador puente alcanzase el valor de la del condensador, los diodos vuelven a conducir. El condensador se carga de nuevo, y la tensión de salida alcanza otra vez el valor de pico V_p .

Este proceso se repite con una frecuencia igual a la de la señal de salida del rectificador puente.

La variación de la tensión de salida respecto a su valor máximo, V_p , se denomina tensión de rizado V_r . La tensión media de salida será:

$$V_{DC} = V_p - \frac{V_r}{2}$$

El tiempo t_o , es aquél en el que los diodos conducen y se carga el condensador. Para t_1 se cumple:

$$V_p \text{sen}(2\pi f' t_1) = V_p - V_r \Rightarrow t_1 = \frac{1}{2\pi f'} \arcsen\left(\frac{V_p - V_r}{V_p}\right)$$

con lo que t_o viene dado por:

$$t_o = \frac{T}{2} - t_1 = \frac{1}{2\pi f'} \left[\frac{\pi}{2} - \arcsen\left(\frac{V_p - V_r}{V_p}\right) \right]$$

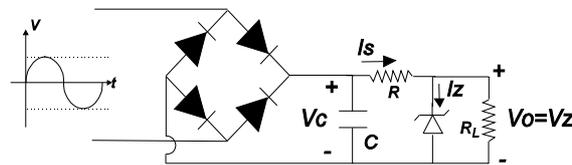
NOTA: f' se refiere la frecuencia de una señal senoidal completa, por lo que:

$$f' = \frac{1}{T'} = \frac{1}{2T}$$

siendo T el periodo de la señal de rizado.

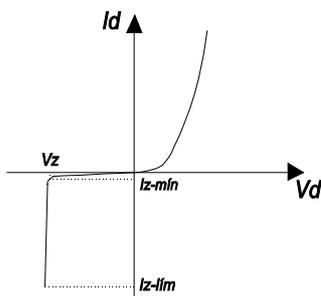
4.4 FUENTE DE ALIMENTACION.

Para conseguir una fuente de tensión de salida estable, independiente de la carga conectada R_L , se utiliza el filtro de condensador. Con el objeto de eliminar el rizado que se produce a la salida del filtro, se introduce entre el condensador y la carga un diodo zener y una resistencia R. El circuito es el siguiente:



El zener queda polarizado en la región de ruptura, con lo que la tensión de salida queda fijada a la tensión zener. Como la caída de tensión en el condensador es variable, el voltaje que exceda la tensión zener se aplicará en la resistencia R. El rizado de la tensión del filtro de condensador quedará aplicado en la resistencia R, quedando eliminado de la salida del circuito.

Consideraciones de diseño:



En la siguiente figura se representa la curva característica de un diodo zener. Para que el diodo conduzca en ruptura, la corriente en inversa debe ser mayor que un valor mínimo: $|I_d| > I_{z-min}$.

La corriente mínima en el diodo ocurre cuando la tensión en el condensador es mínima. Entonces, para que el diodo esté en ruptura se ha de cumplir:

$$\frac{V_{C-\text{mín}} - V_z}{R} \geq I_{z-\text{mín}} + \frac{V_z}{R_L}$$

$$\Rightarrow R \leq \frac{R_L (V_{C-\text{mín}} - V_z)}{R_L I_{z-\text{mín}} + V_z} \quad (1)$$

condición que ha de cumplir la resistencia R, para que el diodo zener esté en la región de ruptura.

Por otro lado, la potencia máxima disipada en R será cuando la tensión en el condensador sea máxima, $V_{C-\text{máx}}$. Es decir:

$$P_{R-\text{máx}} = \frac{(V_{C-\text{máx}} - V_z)^2}{R} < 1 \text{ W} \quad (2)$$

condición que se ha de cumplir para que no se queme la resistencia R.

La máxima corriente que soportará el diodo en ruptura será cuando la corriente de entrada sea máxima, o sea:

$$I_{S-\text{máx}} = \frac{V_{C-\text{máx}} - V_z}{R} = I_{z-\text{máx}} + \frac{V_z}{R_L}$$

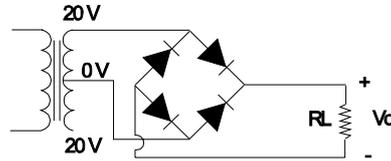
$$\Rightarrow I_{z-\text{máx}} = \frac{V_{C-\text{máx}} - V_z}{R} - \frac{V_z}{R_L}$$

Esta corriente máxima debe ser menor que la corriente límite que puede soportar el diodo en ruptura, $I_{z-\text{lím}}$, para que éste no se queme.

$$I_{z-\text{máx}} < I_{z-\text{lím}} \quad (3)$$

4.5 MONTAJES PRACTICOS A REALIZAR.

1) Rectificador puente.



- 1.1) Medir el valor de pico (V_p) de la señal de salida (en R_L) con el osciloscopio.
- 1.2) Medir la tensión de salida con el polímetro seleccionado en continua. Esta será la tensión media, V_{DC} .
- 1.3) Calcular la corriente media como $I_{DC} = V_{DC} / R_L$.
- 1.4) Medir la corriente media, I_{DC} , que circula por R_L (el polímetro en corriente continua). Error relativo respecto al resultado obtenido en el apartado anterior.
- 1.5) Comprobar que para el rectificador puente se cumple:

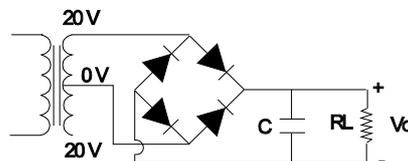
$$V_{DC} = 2 * \frac{V_p}{\pi}$$

Calcular el error relativo con respecto al valor obtenido en el apartado 1.2.

- 1.6) Medir la frecuencia de la señal de salida.

2) Filtro de condensador.

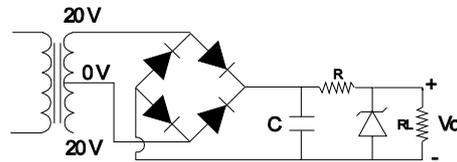
¡¡ Cuidado con la polaridad del condensador electrolítico !!



- 2.1) Medir la tensión de rizado en el osciloscopio. Para ello, seleccionar el modo AC.
- 2.2) Medir la tensión de pico de salida, V_p .
- 2.3) Calcular la tensión media mediante su relación con la de rizado.

- 2.4) Medir la tensión media, V_{DC} . Error relativo con 3).
- 2.5) Medir el periodo de la señal de rizado.
- 2.6) Medir y calcular t_o . Error relativo entre ambos.

3) Fuente de alimentación.



- 3.1) Comprobar que se cumplen las consideraciones de diseño 1, 2 y 3, teniendo en cuenta que $I_{z-mín}=630 \mu A$, $I_{z-lím}=30 \text{ mA}$.
- 3.2) Comprobar que la corriente media que circula por el diodo zener, I_{z-DC} , verifica:

$$I_{z-mín} < I_{z-DC} < I_{z-lím}$$

COMPONENTES NECESARIOS: $R_L=1 \text{ k}\Omega$ (0.5 W), C(**electrolítico**)= $100 \mu F$ (63 V), 4 diodos, $R=200 \Omega$ (1 W), diodo zener de 13 V.

Práctica V

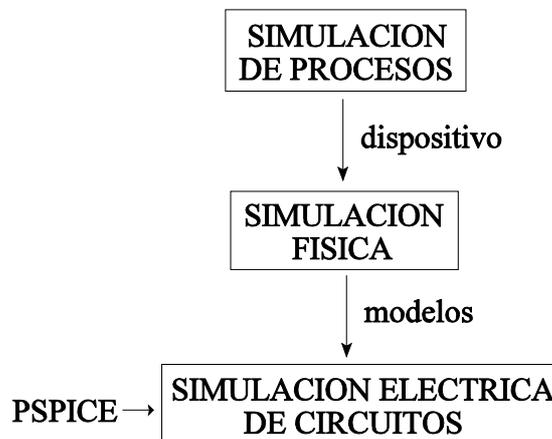
Simulación de una fuente de alimentación mediante PSPICE

5.1 OBJETIVO

Esta práctica consiste en simular una fuente de alimentación con el programa PSPICE. Para ello se procederá en tres pasos, calculando en cada uno de ellos:

- 1) Puente rectificador ($R_L=1\text{ k}\Omega$): V_V , V_{pico} , V_{DC} , I_{DC} , y f en R_L .
- 2) Filtro de condensador ($R_L=1\text{ k}\Omega$, $C=10^{-4}\text{ F}$): V_{pico} , V_{rizado} , V_{DC} , t_o (tiempo de carga del condensador), y f en R_L .
- 3) Fuente de alimentación ($R_L=1\text{ k}\Omega$, $C=10^{-4}\text{ F}$, $V_z=13\text{ V}$, $R=200\ \Omega$): V_{DC} en R_L . Medir la tensión máxima y mínima en el condensador. Comprobar las consideraciones de diseño.

5.2 SIMULACION ELECTRONICA



5.3 FICHEROS DE SIMULACION.

Cada apartado tendrá su propio fichero de simulación. En PSPICE los nombres de los ficheros deben terminar por `.CIR`:

- 1) **RECT.CIR**
- 2) **FILTRO.CIR**
- 3) **FUENTE.CIR**

La primera línea de cada fichero corresponde con el título de éste.

Para realizar un fichero en PSPICE hay que asignar a cada nudo del circuito un número, teniendo en cuenta que a la tensión de referencia siempre se le asigna el 0.

Entre cada dos nudos hay que especificar los elementos que están entre ellos.

El transformador no lo simularemos, sino que introducimos directamente al circuito una señal sinusoidal de amplitud y frecuencia igual a la salida del transformador de las prácticas (20 V, 50 Hz): **V1 nudo1 nudo2 SIN(0 20 50 0 0 0)**.

Parámetros de análisis:

El modelo del diodo rectificador que se va a emplear es el modelo exponencial. Este viene dado por:

```
.MODEL nombre D
```

donde **nombre** es aquél asignado a los diodos rectificadores.

El modelo del diodo zéner que se va a emplear es el modelo exponencial junto con la región de ruptura. Este viene dado por:

```
.MODEL nombre D(BV=13)
```

donde **nombre** es aquél asignado al diodo zéner, y BV es la tensión zener en valor absoluto.

El análisis a realizar es un régimen transitorio (dinámico), por lo que emplearemos:

```
.TRAN 1E-9 0.05
```

1E-9 sg es el intervalo de simulación, y 0.05 sg es el tiempo total de simulación.

Por último indicar que en los ficheros hay que incluir al final:

```
.OPTIONS TRTOL=9  
.PROBE  
.END
```

.OPTIONS es para ayudar a que converja la simulación, **.PROBE** es para ver los resultados por pantalla, y **.END** indica el final del fichero.

5.4 SIMULACION.

El control de las distintas opciones lo realizaremos con el ratón, la tecla ENTER (↵), y/o las teclas de dirección.

Dependiendo de si el entorno de trabajo es el sistema operativo MS-DOS o WINDOWS, se procederá de distinta forma.

*** WINDOWS:**

Tras encender el PC se escribe:

```
nombre: pc  
servidor: ELEC  
ENTER  
nueva contraseña: cancelar
```

Entramos en **Programas de electrónica III** , y **PSPICE**.

*** MS-DOS:**

Tras encender el PC, entramos con el **Arranque normal**. El login es "**pspice**" y el password es "**curso**".

Cada grupo va a trabajar con su propio disquete desde el directorio a:\.

1) Cómo escribir los ficheros:

*** WINDOWS:**

Cada grupo va a trabajar con su propio disquete desde el directorio a:\.

Abrir un editor de texto. Se escribe el nuevo fichero (**archivo, nuevo**) y se guarda seleccionando **archivo, guardar** y escribiendo en **nombre de archivo** a:\nombre del fichero.CIR. ACEPTAR.

Cerrar el editor de texto.

*** MS-DOS:**

Llamamos al editor de texto del MS-DOS con **edit**. Escribimos el fichero y lo guardamos con **FILE, SAVE, nombre.CIR**.

Para salir del editor: **FILE, EXIT**.

2) Cómo simular:

*** WINDOWS:**

Abrir PSPICE. Seleccionar **FILE, OPEN**, e introducir en *nombre de archivo*: a:\nombre del fichero.CIR. ACEPTAR.

Tras la simulación saldrá un mensaje indicando si ésta ha sido correcta o no. Cerrar PSPICE.

En caso de que haya error en la simulación editar "**nombre del fichero.OUT**".

*** MS-DOS:**

Escribir **pspice** (ENTER), "**nombre del ficero**".

En caso de que haya error en la simulación editar "**nombre del fichero.OUT**".

Para salir del sistema escribir "**logout**".

3) Cómo visualizar los resultados:

*** WINDOWS:**

Abrir PROBE. Seleccionar **FILE, OPEN**, e introducir en **nombre de archivo: nombre del fichero.DAT**. (Seguir con MS-DOS).

*** MS-DOS:**

Para ver las tensiones entre dos puntos Ej.: 2 y 4, seleccionar **TRACE, ADD** y escribir: **V(2)-V(4)**. Si se quiere ver su valor medio, se escribe: **avg(V(2)-V(4))**

Para medir en **TOOLS**, emplear **CURSOR, DIPLAY**. Se podrán medir tensiones o corrientes, y tiempos, entre dos puntos cualesquiera. Un cursor se posiciona con el botón izquierdo del ratón, y el otro con el derecho.

Para borrar gráficas, seleccionar la gráfica a eliminar por su nombre en el margen inferior izquierdo. A continuación seleccionar **EDIT, CUT**.

NOTA: Cada grupo debe traer un disquete para grabar los ficheros que cree.

Práctica VI

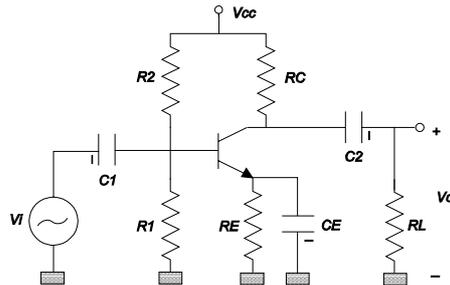
Amplificador en emisor común con el transistor bipolar

6.1 OBJETIVOS.

Conocimiento del funcionamiento del amplificador en emisor común. Estudio de la influencia del condensador de desacoplo de la resistencia de emisor.

6.2 AMPLIFICADOR EN EMISOR COMUN.

En la siguiente figura se aprecia el amplificador en emisor común:



Los condensadores C_1 y C_2 sirven para desacoplar el amplificador de la entrada y la salida en continua.

El condensador C_E se emplea para eliminar la resistencia de emisor en pequeña señal, con lo que aumenta enormemente la ganancia. R_E se usa para estabilizar el punto de trabajo Q del circuito.

6.3 ANALISIS EN CONTINUA.

Debemos polarizar el circuito de forma que el transistor esté en la región activa. En continua el circuito queda:



En el circuito de la derecha se ha calculado el equivalente Thevenin visto desde la base, donde:

$$V_{th} = V_{cc} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad ; \quad R_{th} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

Para calcular el punto de trabajo teóricamente, se desprecia la corriente de base (no hace falta conocer β).Entonces:

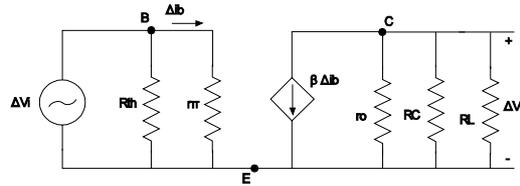
$$V_{BQ} \approx V_{th} ; I_{EQ} \approx I_{CQ} \approx \frac{-V_{BEQ} + V_{th}}{R_E}$$

$$V_{CEQ} \approx V_{cc} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

6.4 ANALISIS EN PEQUEÑA SEÑAL.

a) Con el condensador de desacoplo C_E :

Si sustituimos el transistor por su circuito equivalente para pequeña señal, el circuito queda:



A partir del análisis del circuito:

$$G_V = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = - \frac{(r_o || R_C || R_L) \beta}{r_{\pi}} \approx - \frac{R_C \beta}{r_{\pi}}$$

si r_o y $R_L \gg R_C$, entonces:

$$G_V \approx - \frac{R_C \beta}{r_{\pi}}$$

como $r_{\pi} = V_T \beta / I_{CQ}$, siendo $V_T = 25$ mV la tensión térmica, se cumple:

$$G_V \approx - \frac{R_C I_{CQ}}{V_T}$$

Los márgenes dinámicos de la tensión de salida para el corte y la saturación son:

$$\Delta V_{o,corte} \approx R_C I_{CQ}$$

$$\Delta V_{o,sat} = V_{CEQ}$$

La máxima tensión de salida sin distorsión será:

$$\Delta V_{o,m\acute{a}x.} = \min\{\Delta V_{o,corte}, \Delta V_{o,sat}\}$$

La impedancia de entrada vendrá dada por:

$$Z_{in} = R_{th} || r_{\pi}$$

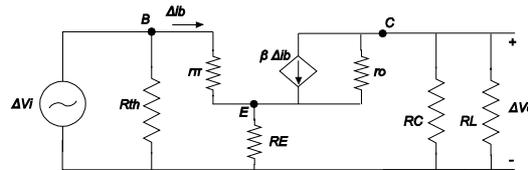
donde $r_{\pi} = V_T / I_{BQ} = V_T \cdot R_{th} / (V_{th} - V_{BQ})$.

Mientras que la impedancia de salida, sin la resistencia de carga R_L , viene dada por:

$$Z_{out} = R_o \parallel R_C \approx R_C$$

b) Sin el condensador de desacoplo C_E :

En caso de que no estuviese el condensador de desacoplo de emisor C_E , el circuito equivalente en pequeña señal sería:



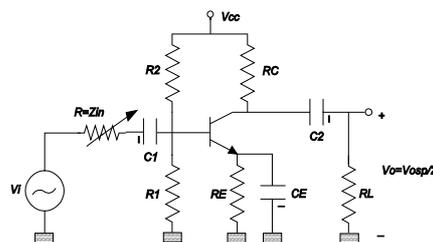
Teniendo en cuenta que $r_o, R_L \gg R_C$, en este caso:

$$G_V \approx - \frac{R_C I_{CQ}}{V_T + R_E I_{CQ}}$$

$$\Delta V_{o, corte} = R_C I_{CQ} ; \Delta V_{o, sat} \approx V_{CEQ} \frac{R_C}{R_E + R_C}$$

$$Z_{in} = R_{th} \parallel [r_{\pi} + (\beta + 1) R_E] \approx R_{th} ; Z_{out} \approx R_C$$

6.5 MEDIDA DE LA IMPEDANCIA DE ENTRADA.



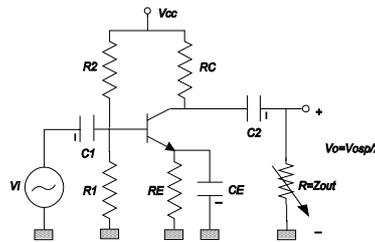
Se aplica una señal de entrada midiendo la tensión de salida sin distorsión, V_{osp} , que produce.

A continuación se conecta un potenciómetro entre V_i y el condensador de entrada C_1 . Variamos la resistencia del potenciómetro hasta que la tensión de salida sea $V_{osp}/2$. Entonces se mide la resistencia del potenciómetro ya que ésta coincide con la impedancia de entrada.

6.6 MEDIDA DE LA IMPEDANCIA DE SALIDA.

Se desconecta la resistencia de carga R_L , y se mide la tensión de salida sin distorsión V_{osp} .

A continuación se conecta un potenciómetro en la salida y se varía su resistencia hasta que la tensión de salida sea ahora $V_{osp}/2$. Entonces la resistencia del potenciómetro coincide con la impedancia de salida.



6.7 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

La frecuencia seleccionada de la señal ha de ser lo suficientemente baja como para que las capacidades internas del transistor se comporten como circuitos abiertos. Pero lo suficientemente alta como para que el condensador de emisor C_E , C_1 y C_2 se comporten como cortocircuitos.

En continua R_1 y R_2 prácticamente es un partidor de tensión. La tensión en la base ha de ser superior a 0.7 V para que el transistor conduzca, pero lo suficientemente baja para que esté en región activa directa. Por esto se escoge $R_2 > R_1$ ($V_{BQ} \geq 0.7$ V).

La resistencia de emisor, R_E , ha de ser pequeña; mientras que la capacidad C_E ha de ser muy grande, de forma que a la frecuencia de funcionamiento seleccionada, la impedancia del paralelo $R_E \parallel C_E$ sea prácticamente un cortocircuito y así el emisor esté a tierra en alterna.

R_C se escoge de forma que la tensión $V_{CEQ} \approx V_{CC}/2 = 5$ V. Así el transistor está en región activa. Por otro lado, el paralelo R_C debe ser mucho menor que la resistencia de salida del transistor en alterna, $r_o \approx 35$ k Ω , y que la resistencia de carga R_L . Así la resistencia de salida viene determinada sólo por R_C (no afecta ni el transistor ni la resistencia de carga).

6.8 MONTAJE PRACTICO A REALIZAR.

Montar el amplificador en emisor común con el condensador de desacoplo C_E . La alimentación es $V_{cc}=10\text{ V}$, y la obtenemos a partir de la fuente de alimentación.

La señal de entrada es sinusoidal, de 1000 Hz de frecuencia, y una amplitud de decenas de milivoltios (usar el generador de señal seleccionando la amplitud de salida entre 0 y 2 V.).

Los condensadores son electrolíticos. **CUIDADO CON LA POLARIDAD DE LOS CONDENSADORES.**

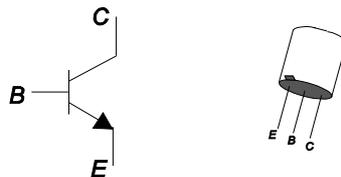
Una vez montado el circuito:

1) Medir el punto de trabajo Q: V_{CEQ} , V_{BQ} , I_{EQ} . Para obtener I_{EQ} , medimos V_{EQ} y entonces:

$$I_{EQ} = \frac{V_{EQ_{med}}}{R_E}$$

- 2) Comprobar el punto Q teóricamente.
- 3) Medir y calcular G_v .
- 4) Medir y calcular los márgenes dinámicos de la tensión de salida, para el corte y saturación del transistor.
- 5) ¿Cuál es la máxima tensión de salida sin distorsión ?.
- 6) Medir y calcular la impedancia de entrada.
- 7) Medir y calcular la impedancia de salida.
- 9) Repetir los apartados del el 3 hasta el 8 sin el condensador de emisor C_E .

NOTA: La correspondencia del transistor 2N2222A con el símbolo del transistor bipolar es la siguiente:



COMPONENTES NECESARIOS: Un transistor 2N2222A, $R_1=2.2\text{ k}\Omega$, $R_2=12\text{ k}\Omega$, $R_E=220\ \Omega$, $R_C=1\text{ k}\Omega$, $R_L=100\text{ k}\Omega$, $C_1=10\ \mu\text{F}$, $C_2=1\ \mu\text{F}$, $C_E=47\ \mu\text{F}$. Todas las resistencias son de 0.5 W., y los condensadores son electrolíticos.

Práctica VII

Introducción a las puertas lógicas

7.1 OBJETIVOS.

Aplicación del transistor bipolar en electrónica digital.
Conocimiento y montaje de algunas puertas lógicas básicas.

7.2 INTRODUCCION.

La informática actual trata la información reduciéndola toda ella a dos posibles valores. Estos valores se denominan el "0" y el "1" lógicos.

1 lógico \Rightarrow 5 voltios

0 lógico \Rightarrow 0.2 voltios

Los valores lógicos tienen una correspondencia con tensiones en los nudos del circuito. Los valores de tensión más extendidos con transistores bipolares son:

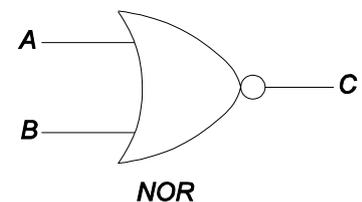
La electrónica digital es aquella en la que sólo son posibles estos dos valores en cualquier nudo del circuito.

Existen dos funciones o puertas lógicas básicas: la puerta NAND y la NOR. Se denominan puertas universales ya que todo circuito digital se puede implementar usando exclusivamente cualquiera de estas dos puertas.

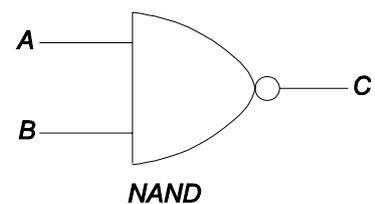
El funcionamiento de las puertas lógicas se puede representar con tablas de verdad. En estas tablas se recogen los valores de la salida (C) para cada una de las posibles combinaciones de los valores de entrada (A, B).

Las tablas de verdad de las puertas NOR y NAND, junto con sus símbolos correspondientes, son:

A	B	C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



A	B	C
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

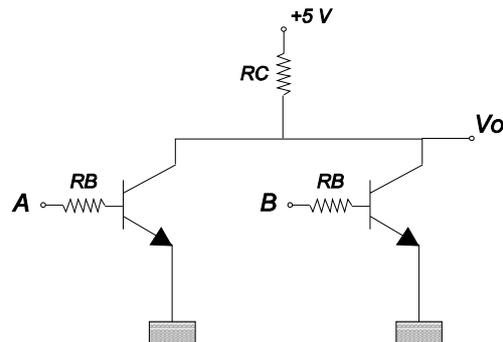


7.3 IMPLEMENTACION PUERTAS LOGICAS.

Gracias a los transistores se pueden implementar las puertas lógicas. Hay diferentes formas de hacerlo, dando lugar a distintas familias lógicas. A continuación vamos a ver dos de ellas elementales.

1) Familia lógica RTL:

La familia lógica RTL (resistor transistor logic) emplea resistencias y transistores para implementar la puerta NOR. Su esquema es el siguiente:



Cuando alguna de las entradas está en el estado lógico alto "1", el transistor correspondiente conduce. El diseño se realiza de forma que el transistor que conduzca esté en saturación ($I_c < \beta I_b$). Así la tensión de salida es el "0" lógico.

Para esto hay que tener en cuenta lo siguiente:

$$\text{Transistor saturado} \Rightarrow I_c < \beta I_b \Rightarrow \beta > \frac{I_c}{I_b}$$

$$\beta > \frac{I_c}{I_b} \approx \frac{\frac{5-0.2}{R_c}}{\frac{5-0.7}{R_B}}$$

El caso más desfavorable (I_c mayor) es cuando conduce un sólo transistor. Como la tensión del diodo base-emisor del transistor en conducción es 0.7 V, se cumplirá:

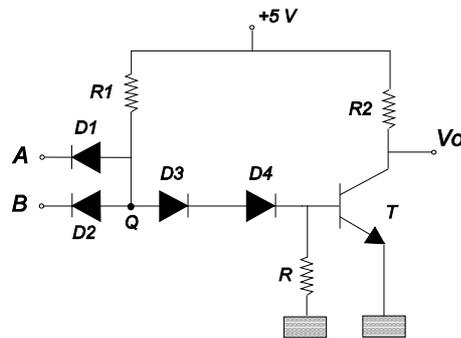
Si $R_B = R_c$, entonces $\beta > 1.1$. Las resistencias han de escogerse de forma que la corriente en el transistor no sea excesivamente grande y se queme.

Cuando las dos entradas son "0", ningún transistor conduce

y la salida es un "1" lógico (Por la resistencia R_c no circula corriente): el circuito se comporta como una puerta NOR.

2) Familia lógica DTL:

La familia lógica DTL (diode transistor logic) emplea resistencias, diodos y transistores para implementar la puerta NAND. Su esquema es el siguiente:



Cuando alguna de las dos entradas es un "0" lógico (0.2 V.), el diodo de entrada correspondiente (D1, D2) se polariza en directa. La tensión en el punto Q del circuito es aproximadamente $0.2+0.7=0.9$ V. Esta tensión no es suficiente para polarizar en directa D3, D4, y el diodo base-emisor del transistor (harían falta al menos $0.7*3=2.1$ V). Por tanto el transistor estará cortado y la tensión de salida será el "1" lógico.

Si las dos entradas son un "1" lógico, los diodos D1 y D2 estarán cortados ya que están polarizados en inversa (debido a R1, la tensión en el punto Q no puede ser superior a 5 V.). D3 y D4 se polarizan en directa, y la resistencia R se toma lo suficientemente grande como para que casi toda la corriente proveniente de los diodos se introduzca en la base del transistor y polarize el diodo base-emisor en directa. Así la tensión en el punto Q será $0.7+0.7+0.7=2.1$ V.

Se diseña el circuito de forma que cuando el transistor conduce esté en saturación, así la salida es un "0". Con lo que:

$$I_c < \beta I_b \Rightarrow \beta > \frac{I_c}{I_b} \approx \frac{\frac{5-0.2}{R_2}}{\frac{5-(3*0.6)}{R_1}}$$

Si $R_1=R_2$, entonces $\beta > 1.7$. Las resistencias han de ser de forma que la corriente en el transistor no sea grande y lo queme.

El circuito se comporta como una puerta NAND. La resistencia

R se introduce para que en las transiciones de saturación a corte del transistor, se elimine antes la carga acumulada en la base del transistor y así la tensión de salida antes.

7.4 MONTAJES PRACTICOS A REALIZAR.

1) Puerta NOR RTL:

Montar el circuito correspondiente a la puerta NOR. Los componentes son: $R_B=12\text{ k}\Omega$, $R_C=12\text{ k}\Omega$, T_1 y T_2 son del tipo 2N2222A.

1. Comprobar la tabla de verdad NOR del circuito.
2. ¿ Qué tensiones representan el "1" y "0" lógicos ?.
3. Comprobar que el transistor se encuentra en la región de corte o en la de saturación.

2) Puerta NAND DTL:

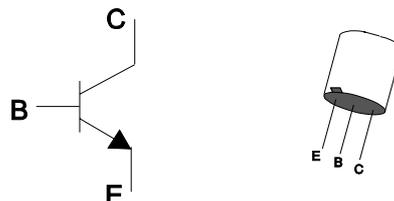
Montar el circuito correspondiente a la puerta lógica NAND. Los componentes son: $R_1=12\text{ k}\Omega$, $R_2=12\text{ k}\Omega$, $R=100\text{ k}\Omega$, T es un transistor del tipo 2N2222A.

1. Comprobar la tabla de verdad NAND del circuito.
2. ¿ Qué valores representan el "1" y "0" lógicos ?.
3. Comprobar que el transistor se encuentra en la región de corte o en la de saturación.

NOTAS:

* Al ser la β del transistor 2N2222A muy superior a la unidad (100-150), los transistores al conducir estarán en saturación profunda. Por esto el "0" lógico se corresponderá prácticamente con 0 V.

* Patillaje del transistor 2N2222A:



* Se emplearán fuentes de alimentación para polarizar los circuitos, y alimentar las entradas de las puertas lógicas.

COMPONENTES NECESARIOS: 2 transistores 2N2222A, 3 resistencias de $12\text{ k}\Omega$ (0.5 W), una resistencia de $100\text{ k}\Omega$ (0.5 W), y 4 diodos.

*Normativa, componentes y
material necesarios*

1. NORMATIVA

Las prácticas de laboratorio de la asignatura "Tecnología y Componentes Electrónicos y Fotónicos" del primer curso de la E.T.S.I.T. tendrán lugar en el laboratorio de Componentes del Aulario (3ª planta), en el horario recogido en el apartado 5.

Las prácticas serán individuales y cada alumno debe adquirir el material indicado en el siguiente apartado (no se admitirá su petición al profesor).

La asistencia a las prácticas es obligatoria. En caso de ausencia, previa justificación, el alumno deberá recuperar la práctica en horario libre y presentar los resultados al profesor correspondiente en la siguiente práctica.

La puerta del laboratorio se cerrará una vez superados los primeros diez minutos clase. Si el alumno llegase posteriormente se considerará como falta de asistencia. No se permitirá la entrada y salida del laboratorio una vez comenzada la práctica.

El alumno debe realizar todas las prácticas, entregando al final de las mismas (en el mismo laboratorio) los resultados y cálculos teóricos necesarios. Se evaluará el interés mostrado, la preparación previa de la práctica, así como los resultados obtenidos y su presentación.

Por último, recordar que el laboratorio es un lugar común donde se deben tener presentes mínimas conductas de respeto. El tono de voz debe ser moderado y no se permitirá la presencia de alimentos. Al finalizar las prácticas el alumno debe dejar su puesto en perfecto estado y ordenado. Por supuesto, pueden consultarse dudas e intercambiar opiniones, pero cada alumno debe realizar "su" práctica.

2. PONENTES Y MATERIAL NECESARIO

a) Material de medición.

. Dos pares de latiguillos. Cada par de latiguillos está formado por: dos cables (uno rojo y otro negro de 75 cm de longitud). Cuatro conectores, dos tipo banana (uno rojo y otro negro) y dos tipo cocodrilo (uno rojo y otro negro).

. Un pequeño destornillador para ajustar potenciómetros.

. Un cortacables.

. Una placa protoboard para realizar los montajes.

b) Componentes necesarios.

Resistencia	Máxima potencia	Unidades
200 Ω	1 W	1
220 Ω	0.5 W	1
1 k Ω	0.5 W	1
2.2 k Ω	0.5 W	1
10 k Ω	0.5 W	1
12 k Ω	0.5 W	3
100 k Ω	0.5 W	1

Condensador electrolítico	Tensión máxima	Unidades
1 μ F	20 V	1
10 μ F	20 V	1
47 μ F	20 V	1
100 μ F	63 V	1

. 4 Diodos rectificadores.

. 2 Transistores 2N2222A.

3. PROGRAMACIÓN

Introducción a las prácticas	1 semana
Instrumentación básica	3 semanas
Componentes pasivos en serie	2 semanas
Diodo rectificador	2 semanas
Fuente de alimentación	3 semanas
Simulación P-SPICE	1 semana
Amplificador en emisor común	3 semanas
Simulación P-SPICE	1 semana

4. PROFESORES

Javier García García, Felix Tobajas Marrero, Benito González Pérez y Antonio Hernández Ballester.

5. HORARIOS

GRUPO 1	...	Lunes	de 12:00 a 14:00
GRUPO 2	...	Martes	de 12:00 a 14:00
GRUPO 3	...	Miércoles	de 12:00 a 14:00
GRUPO 4	...	Jueves	de 15:00 a 17:00
GRUPO 5	...	Viernes	de 12:00 a 14:00
GRUPO 6	...	Martes	de 14:00 a 16:00
GRUPO 7	...	Miércoles	de 14:00 a 16:00

Resultados

PRACTICA II

Tiempo estimado: 2 semanas.

Material a entregar a los alumnos: Un condensador con encapsulado de plástico (no electrolítico) de $1\mu F$, y una bobina de 100 mH.

1)

$$C_{med}=1.2\mu F ; C_{re}=1\mu F ; \varepsilon_{rel}=16\%$$

$$L_{med}=100\text{ mH}; L_{re}=100\text{ mH} ; \varepsilon_{rel}=0\%$$

2)

f (Hz)	I_{med} (mA)	I_{teor} (mA)
50	0.8	0.85
100	1.43	1.54
200	2.18	2.34
500	2.52	2.82
1000	2.37	2.56
2000	1.8	1.83
3000	1.5	1.35
f_r (Hz)	550	503

A muy altas frecuencias los valores medidos se alejan de los teóricos. Esto es debido a las capacidades e inductancias parásitas que aparecen en el circuito, y a que el polímetro no está capacitado para medir a altas frecuencias.

En un circuito RLC el efecto de las capacidades parásitas es menor que en un circuito RL, ya que la capacidad de 100 nF es la que predomina en el circuito.

PRACTICA III

Tiempo estimado: 2 semanas.

2)

2.1 $V_{p-med} \approx 9.2 \text{ V}.$

2.2 $V_{p-cal} = 9.3 \text{ V}.$ $\epsilon_{rel} = 1 \%$.

2.3 $V_{DC} \approx 2.7 \text{ V}.$

2.4

$$I_{DC-cal} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{2.66}{10^4} = 266 \mu A$$

2.5 $I_{DC-med} = 270 \mu A.$ $\epsilon_{rel} = 1.5 \%$.

2.6

$$V_{DC} = \frac{9.2}{\Pi} = 2.9 \text{ V} \approx 2.7 \text{ V} (\epsilon_{rel} = 9\%)$$

3)

3.1 $V_p = 10 \text{ V}.$

3.2 $V_{DC} \approx 3 \text{ V}.$

3.3

$$I_{DC-cal} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{3}{10^5} = 30 \mu A$$

3.4 $I_{DC-med} = 29.75 \mu A.$ $\epsilon_{rel} = 0.8 \%$.

3.5

$$V_{DC} = 3.18 \text{ V} \approx 3 \text{ V} (\epsilon_{rel} \approx 6.1\%)$$

3.6 $0.7 \text{ V}.$

4)

4.2 $5.6 \text{ V}.$

4.3 $5.7 \text{ V}.$ $\epsilon_{rel} = 1.8 \%$.

5)

5.2 $V_{o-max} = 2.4 \text{ V}$

$V_{o-min} = -1.4 \text{ V}$

5.3 $V_{o-max} = 5 + 0.6 - 3 = 2.6 \text{ V}.$ $\epsilon_{rel} = 8.3 \%$.

$V_{o-min} = -10 - 3 = -13 \text{ V}.$ $\epsilon_{rel} = 7.1 \%$.

5.4 $V_{c-med} = 3.14 \text{ V};$ $V_{c-cal} = 3 \text{ V};$ $\epsilon_{rel} = 4.45 \%$.

PRACTICA IV

Tiempo estimado: 2 semanas. Material a entregar: zener de 13 V.

1)

1.1 $V_p \approx 19.84 \text{ V}$.

1.2 $V_{DC} \approx 11.97 \text{ V}$.

1.3

$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R_L} = \frac{11.97}{1000} = 11.97 \text{ mA}$$

1.4-1.5 $I_{DC}=12 \text{ mA}$.

$$\varepsilon_{rel} = \frac{11.97-12}{12} * 100 = -0.25\%$$

1.6

$$V_{DC} = 2 * \frac{19.84}{\pi} = 12.63 \text{ } (\varepsilon_{rel} \approx 5\%)$$

1.7 $f = 100 \text{ Hz}$.

2)

2.1 $V_r \approx 1.875 \text{ V}$.

2.2 $V_p \approx 19.53 \text{ V}$.

2.3

$$V_{DC} = V_p - \frac{V_r}{2} = 18.59 \text{ V}$$

2.4 $V_{DC}=18.54 \text{ mA}$.

$$\varepsilon_{rel} = \frac{18.59-18.4}{18.4} * 100 = 1\%$$

2.5 $T=9.9 \text{ msg. } (f=101 \text{ Hz})$.

2.6 $t_{omed} \approx 1.2 \text{ msg.}$

$$f' = \frac{1}{2T} = \frac{1}{2 * 9.9 * 10^{-3}} = 50.5 \text{ Hz}$$

Con lo que $t_{oteór} \approx 1.39 \text{ msg.}$

$$\varepsilon_{rel} = \frac{1.39-1.2}{1.2} * 100 = 15\%$$

Este error puede deberse a que la señal del rectificador puente no es totalmente sinusoidal.

3) $V_o=13 \text{ V}$. $R < 380 \text{ } \Omega$.

Para $R=200 \text{ } \Omega$, $P=0.25 \text{ W}$. Luego para R es válido: $200 \text{ } \Omega$, 1 W .

$$I_{z-m\acute{a}x} = 22 \text{ mA} < I_{z-l\acute{i}m}$$

PRACTICA V

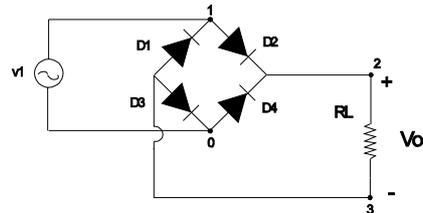
Tiempo estimado: 1 semana.

FICHEROS:

1) RECT.CIR

```

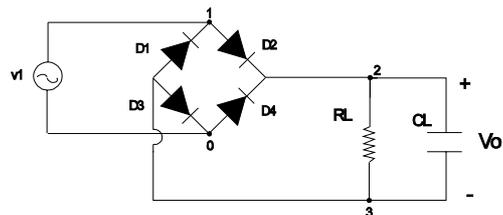
PUENTE RECTIFICADOR
RL 2 3 1K
D1 3 1 DIODO
D2 1 2 DIODO
D3 3 0 DIODO
D4 0 2 DIODO
V1 1 0 SIN(0 20 50 0 0 0)
.PROBE
.MODEL DIODO D
.TRAN 1E-9 0.05
.OPTIONS TRTOL=9
.END
    
```



2) FILTRO.CIR

```

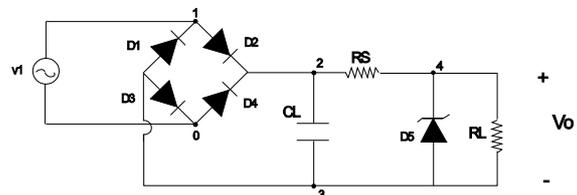
FILTRO DE CONDENSADOR
RL 2 3 1K
CL 2 3 100U
D1 3 1 DIODO
D2 1 2 DIODO
D3 3 0 DIODO
D4 0 2 DIODO
V1 1 0 SIN(0 20 50 0 0 0)
.PROBE
.MODEL DIODO D
.TRAN 1E-9 0.05
.OPTIONS TRTOL=9
.END
    
```



3) FUENTE.CIR

```

FUENTE DE ALIMENTACION
RL 3 4 1K
RS 2 4 200
CL 2 3 100U
D1 3 1 DIODO
D2 1 2 DIODO
D3 3 0 DIODO
D4 0 2 DIODO
D5 3 4 ZENER
V1 1 0 SIN(0 20 50 0 0 0)
.PROBE
.MODEL DIODO D
.MODEL ZENER D(BV=13)
.TRAN 1E-9 0.05
.OPTIONS TRTOL=9
.END
    
```



Resultados de las simulaciones:

1) RECT.CIR

$V_V=0.7$ V
 $V_p=18.26$ V
 $V_{DC}=11.05$ V
 $I_{DC}=11.02$ mA
 $T=9.19$ msg

2) FILTRO.CIR

$V_p=18.32$ V
 $V_r=1.25$ V
 $V_{DC}=17.8$ V
 $t_o=1.6$ msg
 $T=10.08$ msg

3) FUENTE.CIR

$V_{DC}=13.481$ V

PRACTICA VI

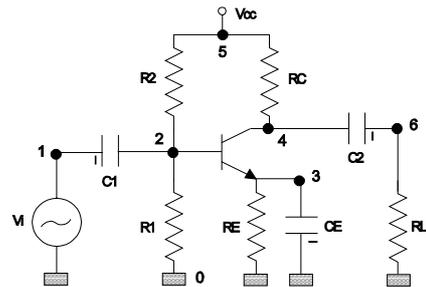
Tiempo estimado: 2 semanas.

- 1) $V_{CEQ}=5.5 \text{ V}$, $V_{BQ}=1.5 \text{ V}$, $I_{EQ}=3.63 \text{ mA}$.
- 2) $V_{CEQ}=5.3 \text{ V}$, $V_{BQ}=1.55 \text{ V}$, $I_{EQ}=3.8 \text{ mA}$.
- 3) $\beta=137$
- 4) $G_v=-100$; $G_{v_{teór.}}=-128$
- 5) $\Delta V_{oc}=3.2 \text{ V}$; $\Delta V_{oct}=3.2 \text{ V}$; $\Delta V_{os}=5.8 \text{ V}$; $\Delta V_{ost}=6.1 \text{ V}$.
- 6) $\Delta V_{omáx}=3.2 \text{ V}$.
- 7) $Z_{in}=964 \Omega$; $Z_{int}=680 \Omega$;
- 8) $Z_o=962 \Omega$; $Z_{ot}=1000 \Omega$;
- 9) $G_v=-4.25 \text{ V}$; $G_{v_{teór.}}=-4.35 \text{ V}$.
 $\Delta V_{oc}=3.6 \text{ V}$; $\Delta V_{oct}=3.2 \text{ V}$; $\Delta V_{os}=4.4 \text{ V}$; $\Delta V_{ost}=5 \text{ V}$.
 $\Delta V_{omáx}=3.6 \text{ V}$.
 $Z_{in}=1919 \Omega$; $Z_{int}=1756 \Omega$;
 $Z_o=976 \Omega$; $Z_{ot}=1000 \Omega$;

AMPLIFICADOR EN EMISOR COMÚN CON BJT

```

C1 1 2 10U
C2 4 6 1U
C3 3 0 47U
R1 2 0 2.2K
R2 2 5 12K
RE 3 0 220
RC 4 5 1K
RL 6 0 100K
Q1 4 2 3 BIPOLAR
VCC 5 0 DC 10
VIN 1 0 SIN(0 10M 1000)
.MODEL BIPOLAR NPN BF= $\beta_{medida}$  VJE=0.7
.TRAN 0.01F 6M
.PROBE
.END
    
```



$V_{CEQ}=6.1 \text{ V}$, $V_{BQ}=1.5 \text{ V}$, $I_{EQ}=3.2 \text{ mA}$.
 $\beta=137$
 $G_v=105$
 $\Delta V_{omáx}=1 \text{ V}$.
 $G_v=4.34$, $\Delta V_{omáx}=3 \text{ V}$.

PRACTICA VII

Tiempo estimado: 1 semana.

1)

1.1 Funciona correctamente.

1.2 "1" -> 4.97 V.

"0" -> 0.01 V.

2)

2.1 Funciona correctamente.

2.2 "1" -> 4.97 V.

"0" -> 0.01 V.