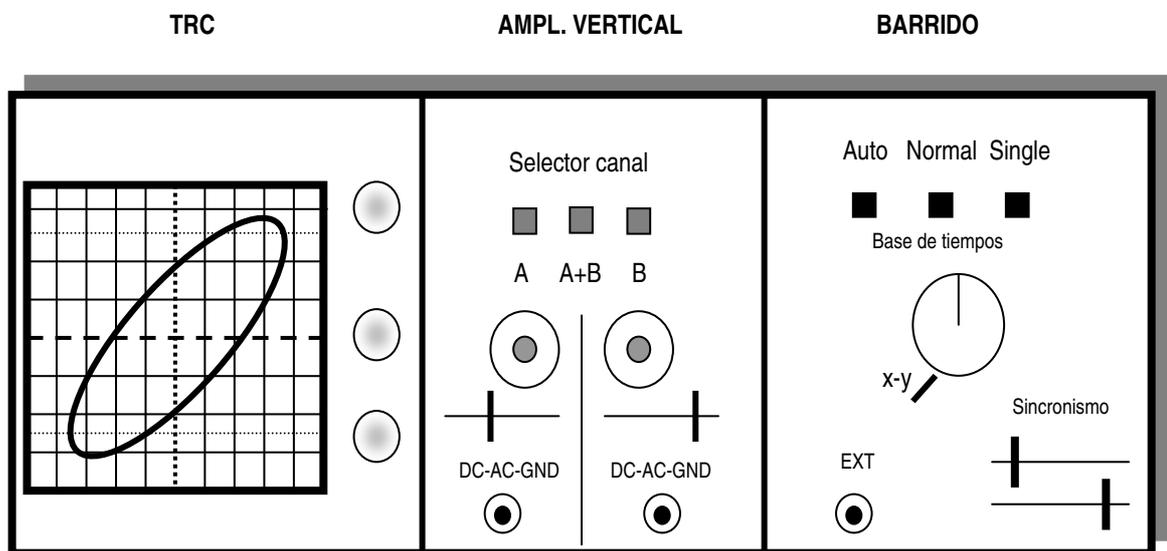


FUNDAMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA



Luis Gómez Déniz
Félix Tobajas Guerrero

Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
Universidad de las Palmas de Gran Canaria

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN ÍNDICE

i
iii

CAPÍTULO 1: Señales y Medidas	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 SEÑALES EMPLEADAS EN ELECTRÓNICA	2
1.2.1 Propiedades de las señales senoidales	3
1.2.2 Parámetros que definen a la señal senoidal	3
1.3 CONCEPTOS GENERALES DE INSTRUMENTACIÓN	7
1.3.1 Clasificación de los equipos de medidas	7
1.3.2 Interferencias en las medidas	8
1.3.3 Error por carga	9
1.3.4 Fuentes de error en el laboratorio	10
1.3.5 Error absoluto y relativo	10
1.4 UNIDADES DE MEDIDA	11
1.5 PROBLEMAS RESUELTOS	12
1.6 PROBLEMAS PROPUESTOS	18
CAPÍTULO 2: Introducción al Osciloscopio	19
2.1 INTRODUCCIÓN	20
2.2 EL REGISTRADOR X-t	20
2.3 CONDICIONES NECESARIAS PARA REPRESENTAR SEÑALES ELECTRÓNICAS	22
2.4 EL TUBO DE RAYOS CATÓDICOS (TRC)	23
2.5 EL CAÑÓN DE ELECTRONES	24
2.6 PLACAS DE DEFLEXIÓN	25
2.7 PANTALLA	29
2.8 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL OSCILOSCOPIO ELEMENTAL	30
2.9 RESUMEN DEL CAPÍTULO SEGUNDO	31
2.10 PROBLEMAS PROPUESTOS	31
CAPÍTULO 3: Canal Vertical	35
3.1 INTRODUCCIÓN	36
3.2 CANAL VERTICAL	36
3.2.1 Modos de entrada	36
3.2.2 Comportamiento del canal con la frecuencia	42
3.3 IMPEDANCIA DE ENTRADA: EFECTO DE CARGA	44
3.4 SONDAS DE TENSIÓN	46
3.5 SONDAS DE CORRIENTE	51
3.6 RESUMEN DEL CAPÍTULO TERCERO	51
3.7 PROBLEMAS PROPUESTOS	52
CAPÍTULO 4: Canal Horizontal	57
4.1 CANAL HORIZONTAL	58
4.1.1 Modos de trabajo	58
4.2 SEÑAL DE BARRIDO EN EL EJE X	58

4.3 BARRIDO LIBRE	59
4.4 BARRIDO DISPARADO	65
4.5 BASE DE TIEMPOS	67
4.6 SINCRONISMO	69
4.6.1 Circuitos de sincronismo	69
4.6.2 Selección del punto de disparo	72
4.6.2.1 Amplificador diferencial	73
4.6.2.2 Selección de la pendiente de disparo (SLOPE)	74
4.7 MODOS DE DISPARO: NORMAL Y AUTOMÁTICO	78
4.8 SEÑAL DE SINCRONISMO	80
4.8.1 Sincronismo interior	81
4.8.2 Sincronismo exterior	82
4.8.3 Sincronismo <i>line</i>	82
4.9 MODO DE TRABAJO X-Y	84
4.10 AMPLIFICADOR HORIZONTAL	87
4.11 HOLD-OFF	88
4.12 CANAL Z	89
4.13 OSCILOSCOPIOS DE DOS CANALES	90
4.13.1 Osciloscopios de doble traza	90
4.13.2 Suma de señales	92
4.14 RESUMEN DEL CAPÍTULO CUARTO	92
4.15 PROBLEMAS RESUELTOS	92
4.16 PROBLEMAS PROPUESTOS	97
CAPÍTULO 5: Generador de Señales	103
5.1 INTRODUCCIÓN	104
5.2 GENERADOR DE SEÑAL	104
5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS GENERADORES DE FUNCIONES	105
5.4 GENERACIÓN DE LA SEÑAL TRIANGULAR	105
5.5 GENERACIÓN DE LA SEÑAL SENOIDAL	106
5.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL GENERADOR DE SEÑALES	107
5.7 PROBLEMAS PROPUESTOS	108
CAPÍTULO 6: Fuente de Alimentación	111
6.1 INTRODUCCIÓN	112
6.2 CONCEPTO DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN	112
6.3 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN	112
6.3.1 Fuente no regulada electrónicamente	113
6.3.2 Fuente regulada electrónicamente	114
6.3.2.1 Circuito regulador serie	116
6.3.2.2 Limitaciones de las fuentes reguladas electrónicamente	117
6.4 FUENTE DE CORRIENTE	118
6.5 ASOCIACIÓN DE FUENTES	120
6.6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN	121
6.6.1 Regulación por carga	121
6.6.2 Rizado y ruido	121
6.7 PROBLEMAS PROPUESTOS	122

CAPÍTULO 7: Polímetro Analógico	125
7.1 INTRODUCCIÓN	126
7.2 POLÍMETRO ANALÓGICO	126
7.3 GALVANÓMETRO DE D'ARSONVAL	127
7.3.1 Corriente a fondo de escala y resistencia crítica	128
7.3.2 Error de calibrado	128
7.4 SHUNT ELEMENTAL: AMPERÍMETRO	129
7.5 VOLTÍMETRO DE CONTINUA	131
7.5.1 Resistencia de entrada y sensibilidad	132
7.6 ERROR DE CARGA DEBIDO AL AMPERÍMETRO/VOLTÍMETRO	133
7.7 ÓHMETRO SERIE	133
7.7.1 Error en la lectura	135
7.8 VOLTÍMETRO DE ALTERNA	135
7.9 PROBLEMAS PROPUESTOS	137
CAPÍTULO 8: Problemas Resueltos	147
8.2 PROBLEMAS RESUELTOS	148
BIBLIOGRAFÍA	155

INTRODUCCIÓN

Se presenta la publicación denominada *Fundamentos de Instrumentación Electrónica*, con el afán de satisfacer las necesidades docentes de la parte de la asignatura *Ampliación de Electrónica* dedicada al estudio del funcionamiento de los equipos electrónicos básicos. Estos equipos son:

- el osciloscopio analógico,
- el generador de señales,
- la fuente de alimentación y,
- el polímetro analógico.

Se ha pretendido reunir en un sólo texto aquellos aspectos que se consideran fundamentales para el seguimiento de la asignatura *Ampliación de Electrónica*. Los conocimientos recogidos en esta publicación deben ser reforzados con la resolución de problemas y las prácticas correspondientes.

Esta publicación docente se ha estructurado en ocho capítulos. A continuación se resume el contenido de cada uno de ellos.

El primer capítulo, *Señales y Medidas*, se dedica a la presentación de conceptos fundamentales en instrumentación electrónica básica. Se presentan las señales periódicas, sus propiedades más importantes y se justifica la necesidad de emplear el error relativo a la hora de expresar los datos experimentales.

Los capítulos segundo (*Introducción al Osciloscopio*), tercero (*Canal Vertical*) y cuarto (*Canal Horizontal*), se dedican al estudio del osciloscopio. Este equipo requiere un conocimiento profundo de cara a su correcto empleo en aplicaciones prácticas. Se discuten todos aquellos aspectos que se consideran de conocimiento obligado para todo estudiante de la asignatura. Así, se detalla el funcionamiento de los canales vertical y horizontal, de los diversos modos de operación del equipo (modo DC, AC), las posibilidades que ofrecen los diversos modos de sincronismo (interior, exterior, *line*) para finalizar con el modo X-Y. Asimismo, otros aspectos no tan relevante encuentra cabida en estos capítulos, entre ellos, se explica brevemente el funcionamiento de los osciloscopios de dos canales.

El siguiente capítulo, *Generador de Señales*, se centra en el estudio del otro equipo presente en el puesto de prácticas de electrónica básica: el generador de señal (o generador de funciones). Este equipo requiere

conocimientos de electrónica superior para entender completamente su funcionamiento, es por ello, que se presenta en este capítulo los aspectos que pueden ser entendidos por el alumno con los conocimientos de electrónica adquiridos hasta el momento.

El capítulo sexto, *Fuente de Alimentación*, se dedica al estudio del generador de continua. Una vez más, se ha seleccionado los circuitos reguladores que pueden ser comprendidos a partir de conocimientos básicos de electrónica.

En el capítulo séptimo, *Polímetro Analógico*, se describe el medidor elemental –el galvanómetro de D'Arsonval- y se explican los diversos montajes necesarios para realizar un amperímetro, un voltímetro (de continua y de alterna) y un óhmetro; todos ellos con diversas escalas.

En el último capítulo, *Problemas Resueltos*, se recoge una colección de problemas, a título de repaso, de los siete temas. Se incluye, además, ejercicios de autoevaluación.

Finaliza esta publicación con la relación de textos empleados en la elaboración de la misma, que se recogen en el apartado denominado *Bibliografía*.

Este libro reemplaza a la anterior edición publicada en el año 1999. Las principales modificaciones respecto a la anterior versión son, la incorporación de explicaciones adicionales en determinados apartados, la corrección de errores tipográficos, y la inclusión de una colección de problemas resueltos y problemas propuestos

Los autores,

Luis Gómez Déniz y Félix Tobajas Guerrero

Las Palmas de Gran Canaria
Febrero, 2001

CAPÍTULO 1

SEÑALES Y MEDIDAS

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

- 1.1 INTRODUCCIÓN**
- 1.2 SEÑALES EMPLEADAS EN ELECTRÓNICA**
 - 1.2.1 Propiedades de las señales senoidales**
 - 1.2.2 Parámetros que definen a la señal senoidal**
- 1.3 CONCEPTOS GENERALES DE INSTRUMENTACIÓN**
 - 1.3.1 Clasificación de los equipos de medidas**
 - 1.3.2 Interferencias en las medidas**
 - 1.3.3 Error por carga**
 - 1.3.4 Fuentes de error en el laboratorio**
 - 1.3.5 Error absoluto y relativo**
- 1.4 UNIDADES DE MEDIDA**
- 1.5 PROBLEMAS RESUELTOS**
- 1.6 PROBLEMAS PROPUESTOS**

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se discuten aspectos básicos relacionados con la instrumentación electrónica. Se presentan conceptos que serán de uso habitual a lo largo del curso, como error relativo, error absoluto, error por carga. Asimismo se recogen las unidades de medidas a emplear y los factores de escala más empleados en electrónica.

1.2 SEÑALES EMPLEADAS EN ELECTRÓNICA

Entendemos por *señal* a toda magnitud física cuyo valor varía en el tiempo. Las señales empleadas en aplicaciones electrónicas pertenecen, generalmente, al conjunto de señales periódicas. De este conjunto, las más empleadas son las siguientes:

- Señal cuadrada,
- diente de sierra,
- señal sinusoidal (o senoidal),
- pulso cuadrado.

En la figura 1.1 se representan estas señales.

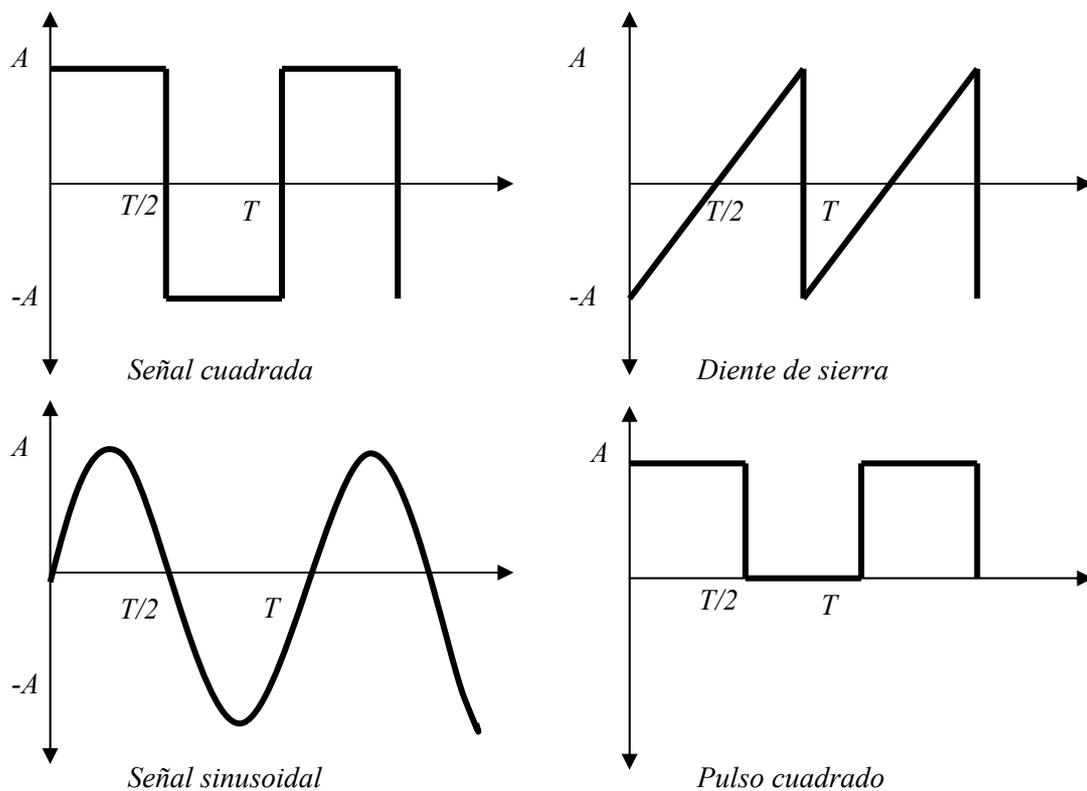


Fig. 1.1. Señales periódicas más empleadas en electrónica.

De uso también común en electrónica son las siguientes señales –no periódicas–,

- función rampa,

- función escalón.

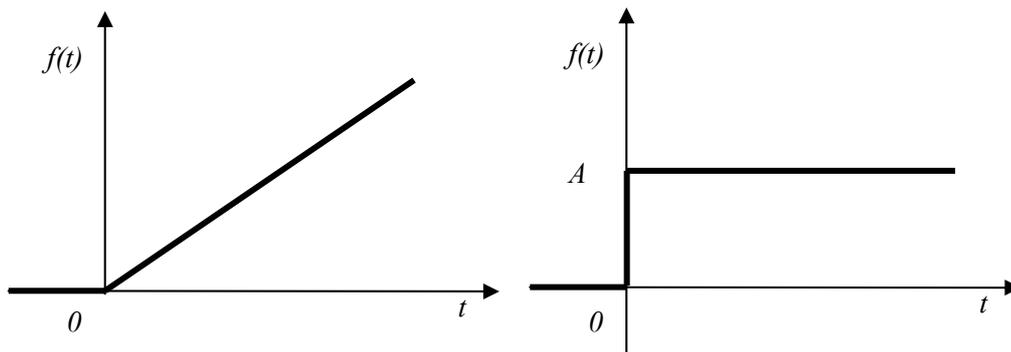


Fig. 1.2. Señal rampa y señal escalón.

1.2.1 Propiedades de las señales senoidales

Las señales senoidales son las más empleadas en electrónica y ello es porque satisfacen las siguientes propiedades:

- una red eléctrica lineal excitada por una fuente de tensión o intensidad senoidal muestra en todas las partes de la red, tensiones e intensidades senoidales (pasado un corto período transitorio). Estas tensiones e intensidades tienen la misma frecuencia del generador (pudiendo variar en fase y /o amplitud).
- La suma de n señales senoidales de amplitudes y fases arbitrarias pero de la misma frecuencia es también una señal senoidal de frecuencia la de las señales componentes.
- La derivada de una señal senoidal es una señal senoidal.
- La integral de una señal senoidal es una señal senoidal.

Todas estas propiedades resultan muy interesantes en los circuitos electrónicos y además hemos de indicar que las señales senoidales se generan fácilmente mediante generadores.

1.2.2 Parámetros que definen a la señal senoidal

En la figura 1.3 se muestran los parámetros que definen completamente a la señal senoidal. Éstos son:

- amplitud (o valor de pico),
- pulsación (o frecuencia angular),
- fase (o ángulo de fase).

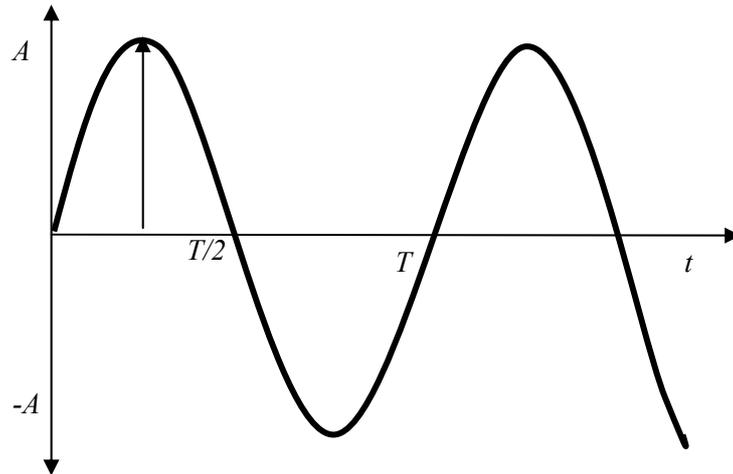


Fig. 1.3. *Función senoidal.*

La función matemática que define a la señal senoidal es {1.1},

$$f(t) = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + \phi)$$

donde {1.2},

$$\omega = 2\pi f, T(\text{periodo}) = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$$

El período (T) es el tiempo que tarda la señal en repetirse y su inversa (la frecuencia) nos indica el número de ciclos que la señal efectúa por unidad de tiempo. Como se observa en {1.1}, el ángulo de fase nos indica en qué instante de tiempo comienza la señal a propagarse; al ser una magnitud relativa su significado se entiende mejor cuando se habla de más de una señal (ver figura 1.4).

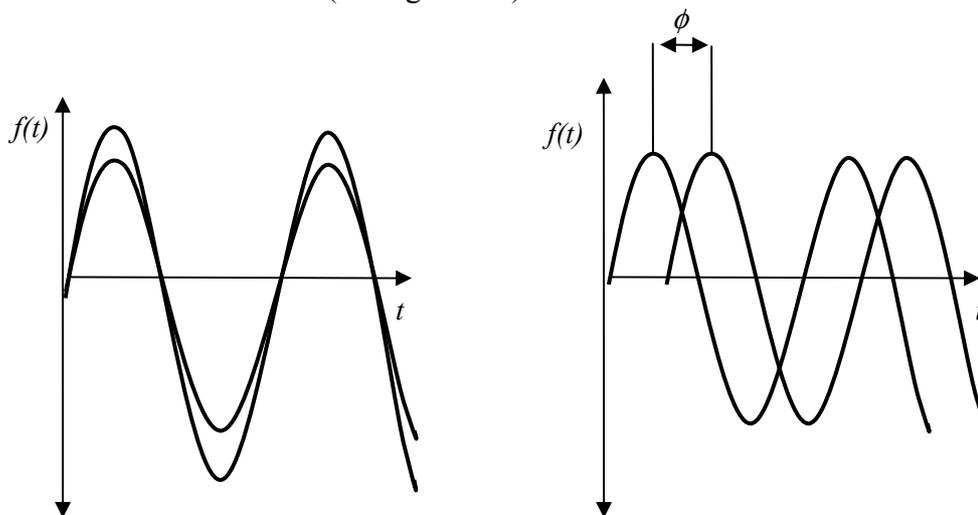


Fig. 1.4. *Desfase entre señales.*

Como se aprecia en la figura 1.4, las señales de la izquierda no muestran desfase mientras que las de la derecha presentan un desfase de ϕ (que se expresa en radianes).

Como casos particulares hay que destacar los siguientes desfases,

- $\phi = \pi / 2$. Se identifica fácilmente porque cuando una señal alcanza el valor máximo (mínimo), la otra pasa por cero,
- $\phi = \pi$. Cuando una señal alcanza el valor máximo la otra tiene el valor mínimo y viceversa.

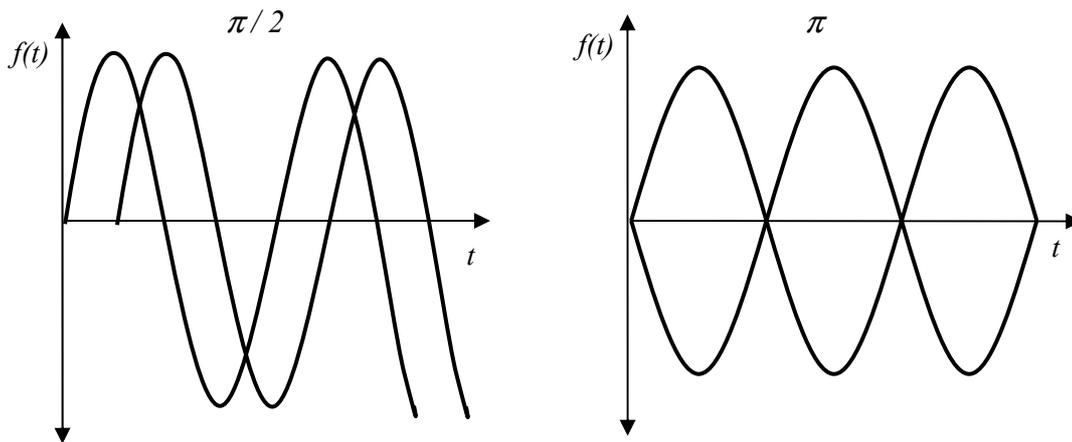


Fig. 1.5. Desfase de $\pi/2$ y de π .

Otros parámetros importantes son:

- valor medio,
- valor eficaz,
- tiempos de subida y bajada.

El valor medio es el valor medio de la señal en un período. Se calcula de la siguiente forma {1.3},

$$V_m = \frac{1}{T} \int_a^{a+T} f(t) dt$$

Para señales senoidales el valor medio es cero puesto que los semiciclos positivos anulan los semiciclos negativos y con ello la integral se hace nula. Es por ello que se define el valor eficaz de la señal, que se calcula mediante {1.4},

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_a^{a+T} [f(t)]^2 dt}$$

Nótese que al elevar al cuadrado el valor de $f(t)$, la integral no es nula. Se demuestra fácilmente que para señales senoidales el valor eficaz viene dado por **{1.5}**,

$$V_{ef} = \frac{\text{Amplitud}}{\sqrt{2}}$$

Por último se definen los tiempos de subida y de bajada de la siguiente forma,

- tiempo de subida (T_{LH} , *Low-High*): tiempo que emplea la señal en pasar del punto en el que la amplitud vale 10% de su valor al punto en el que vale 90% de su valor (con la señal subiendo),
- tiempo de bajada (T_{HL} , *High-Low*): tiempo que emplea la señal en pasar del punto en el que la amplitud vale 90% de su valor al punto en el que vale 10% de su valor (con la señal bajando),

Asimismo, se define el retardo entre señales (T_P) como el que se mide entre los puntos en los que la amplitud vale el 50% de su valor. El significado de estos retardos se entiende mejor con la ayuda de la figura 1.6.

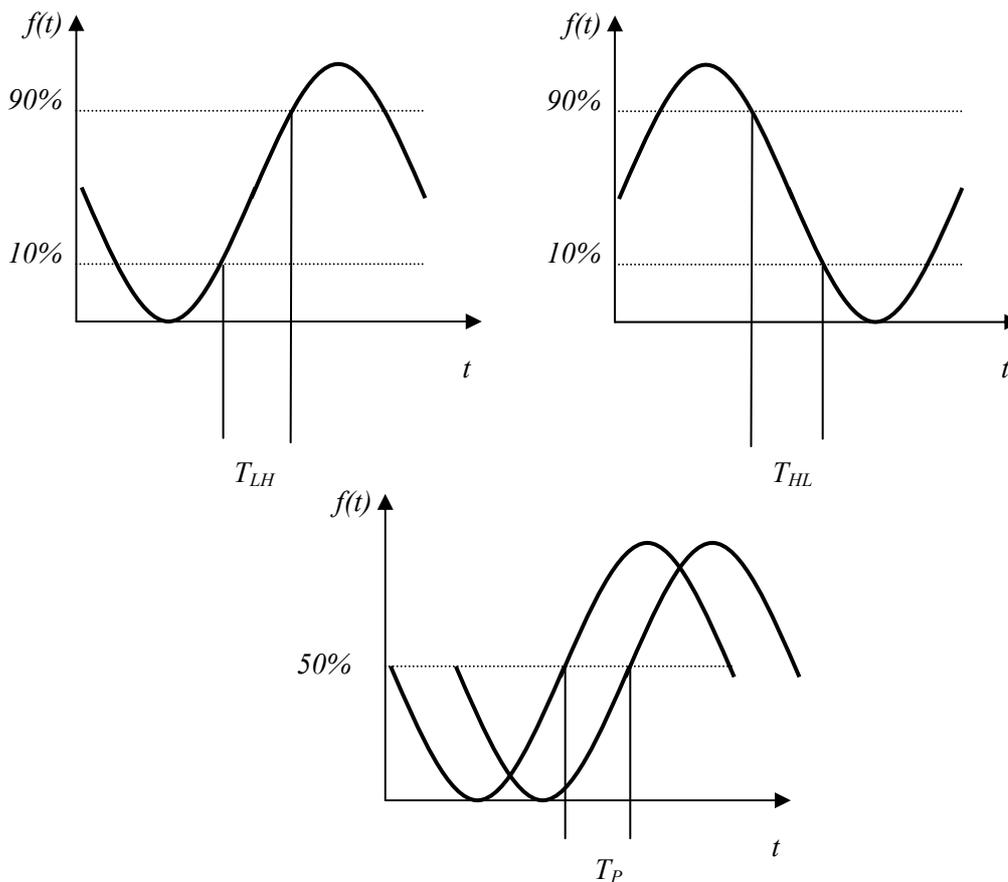


Fig. 1.6. *Tiempos de subida/bajada y retardo entre señales.*

1.3 CONCEPTOS GENERALES DE INSTRUMENTACIÓN

En este apartado se explican aspectos básicos relacionados con la instrumentación electrónica.

Los equipos básicos de medida en electrónica son:

- osciloscopio: permite visualizar formas de onda (señales),
- polímetro: permite medir tensiones, corrientes, capacidades...
- frecuencímetro: mide frecuencias y tiempos.

Como equipos auxiliares se dispone en un puesto de prácticas de,

- generador de funciones (señales)
- fuente de alimentación.

1.3.1 Clasificación de los equipos de medidas

Pueden clasificarse según el tipo de forma en que se realiza la medición en:

- equipos analógicos,
- equipos digitales.

En los primeros la medición se realiza de forma continua. Piénsese en un reloj de agujas, que muestra la lectura de forma continua. Sin embargo, los equipos digitales realizan la medición a intervalos de tiempo. Estos instrumentos toman muestras de la señal a medir y la presentan por lo general en una pantalla digital. Como ejemplo se tiene el reloj digital.

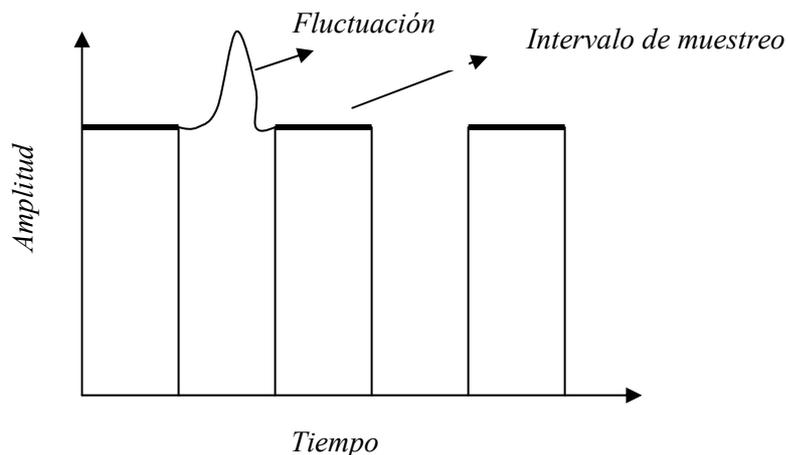


Fig. 1.7. Lectura en un equipo digital.

Hay que asegurar que la velocidad de muestreo es lo suficientemente elevada para no perder detalle de la fluctuación de la señal continua.

A su vez, según sea la forma en que se muestra la medida el equipo puede ser clasificado como analógico o digital. Los instrumentos analógicos suelen emplear un

indicador mecánico (ver Tema 7). El más utilizado consiste en una aguja sobre una escala. La lectura es menos precisa debido a que la resolución gráfica es del orden de 0.3 mm, debido al efecto denominado *paralaje* (ver figura 1.8).

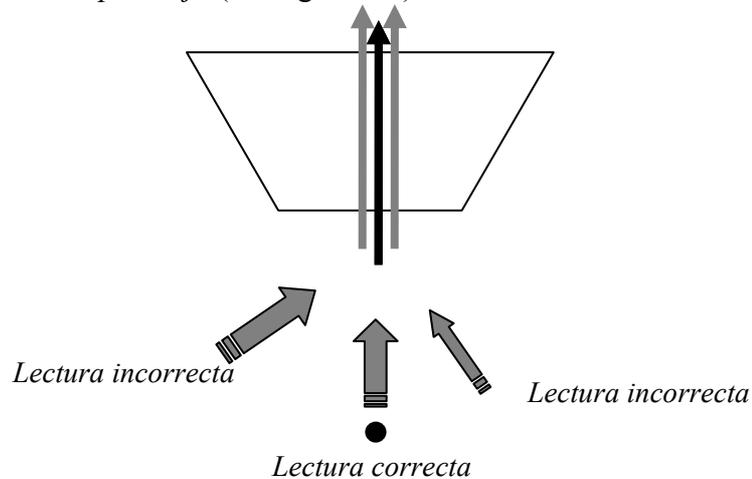


Fig. 1.8. Paralaje: equipo analógico.

Este error de paralaje se debe a la lectura incorrecta del valor medido sobre la escala graduada en función del ángulo con el que se realiza la lectura. Una lectura correcta se realiza mirando de forma perpendicular al plano formado por la escala graduada y alineando la mirada a la aguja de medida. Cualquier otra forma de lectura de la medida conlleva error de paralaje (ver figura anterior).

Por contra, los equipos digitales que muestran las medidas en una pantalla (*display*) mediante cifras o dígitos, por lo que no muestran errores de lectura.

1.3.2 Interferencias en las medidas

Se entiende por interferencia a toda perturbación que altera el funcionamiento del sistema a medir y/o el equipo de medidas. Una de las principales causas de interferencias es la red de distribución eléctrica y el ruido electromagnético debido a las múltiples señales de radio presentes en el ambiente. Estas perturbaciones afectan a las medidas a través de lo que se conoce como *acople*. Una forma de proteger los equipos es mediante una correcta puesta a tierra.

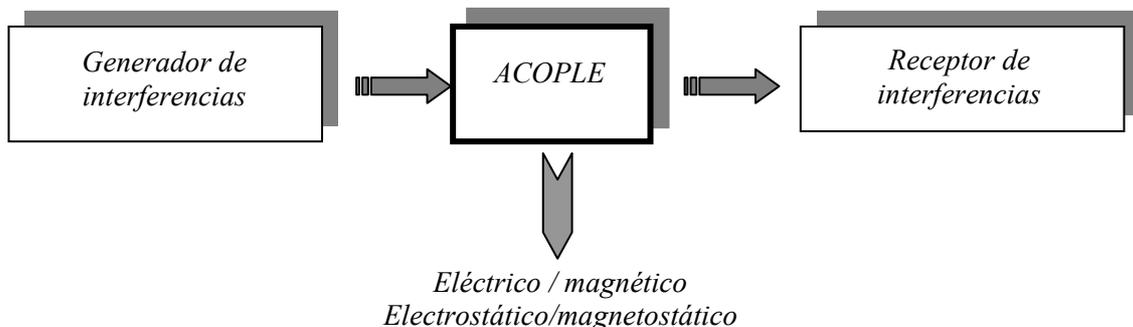


Fig. 1.9. Interferencias en las medidas.

En relación a las interferencias se define el término *susceptibilidad* para indicar la mayor o menor propensión de un equipo para funcionar correctamente en un ambiente sujeto a interferencias cotidianas. Asimismo se emplea el término de *compatibilidad* para indicar que un equipo puede funcionar sin perturbar a otros aparatos y sin ser afectado por ellos.

1.3.3 Error por carga

El problema fundamental asociado a toda medición es que toda medición perturba el sistema que se está midiendo. Este concepto aplicado a los equipos electrónicos se traduce en el denominado *efecto de carga*, que no es otra cosa que al medir con un equipo sobre un circuito, la presencia del equipo hace que el circuito ya no sea el mismo y por consiguiente, el resultado que se mide no responde exactamente a la situación original (circuito no conectado al equipo de medidas). Es por ello que debe conocerse la magnitud del error por carga ya que, de no ser así, se producirá una lectura incorrecta, añadiéndose un error adicional a la medida realizada.

Esto se ilustra en la siguiente figura – que puede representar el circuito equivalente de una disposición más complicada- donde se desea medir con un osciloscopio la tensión entre los puntos 1 y 2. Al conectar el osciloscopio al circuito (modelo equivalente del osciloscopio viene dado en este ejemplo por una simple impedancia de entrada Z_{in}), se cierra el circuito entre los puntos 1 y 2 y el valor que se mide difiere del que había antes de poner el osciloscopio.

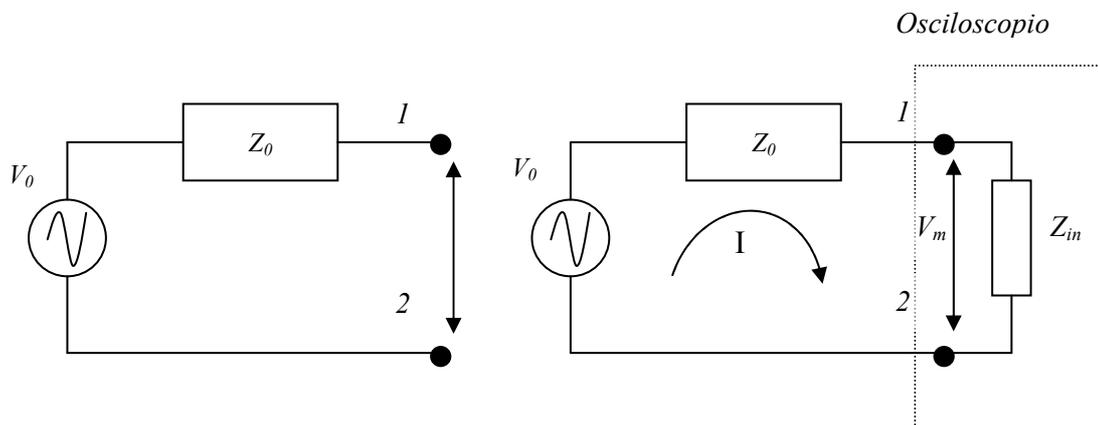


Fig. 1.10. Error por carga.

Es fácil ver que la tensión entre los puntos 1 y 2 es –antes de conectar el osciloscopio- igual al valor del generador V_0 (pues no circula corriente alguna). Al cerrar el circuito, la tensión que se mide V_m , viene dada por {1.6},

$$V_m = \frac{V_0}{Z_0 + Z_{in}} \cdot Z_{in}$$

que tiende al valor de V_0 para valores de Z_{in} muy grandes (como es en la realidad).

Siempre que se vaya a medir tensión, la impedancia de entrada Z_{in} del equipo debe ser mucho mayor que la resistencia Thevenin del circuito sobre el que se realiza la medida; de esta forma se asegura que el error por carga es despreciable.

1.3.4 Fuentes de error en el laboratorio

Se recogen de forma resumida las principales fuentes de error en el laboratorio de electrónica. Éstas son:

- desconocimiento de lo que se pretende medir u observar,
- errores asociados al montaje (conexiones, alimentaciones...),
- componentes defectuosos (resistencias, transistores quemados...),
- equipos defectuosos,
- desconocimiento de los equipos de medición,
- equipos no calibrados adecuadamente,
- errores asociados a las medidas (mal empleo de las escalas),
- número de muestras insuficientes.

1.3.5 Error absoluto y relativo

El error absoluto se define como {1.7},

$$\Delta = | \text{valor}_{real} - \text{valor}_{medido} |$$

El error relativo viene dado por {1.8},

$$\delta = \frac{\Delta}{\text{valor}_{real}}$$

Para entender estos conceptos veamos un ejemplo. Supongamos que al medir dos resistencias se obtienen las siguientes medidas,

$$R_1 = 5.2\Omega \pm 0.1\Omega,$$
$$R_2 = 100.8\Omega \pm 0.1\Omega,$$

Está claro que el error absoluto que se ha cometido en las dos medidas es igual ($\pm 0.1\Omega$). Pero ¿cuál de las dos medidas es más exacta?. Para ello se precisa conocer el error relativo que es,

$$\delta_1 = 0.1 / 5.2 \approx 1.0E-2,$$

$$\delta_2 = 0.1 / 100.8 \approx 1.0E-4,$$

Resultando claramente más precisa la primera medición.

1.4 UNIDADES DE MEDIDA

Se recogen en la tabla 1.1 las unidades de medida del sistema internacional relacionadas con la electrónica.

Tabla 1.1. Unidades de medida (S. I.).

MAGNITUD	SÍMBOLO	NOMBRE	SÍMBOLO
Corriente eléctrica	<i>I</i>	Amperio	<i>A</i>
Carga eléctrica	<i>Q</i>	Culombio	<i>C</i>
Campo eléctrico	<i>E</i>	Voltio/metro	<i>V/m</i>
Potencial eléctrico	<i>V</i>	Voltio	<i>V</i>
Capacidad	<i>C</i>	Faradio	<i>F</i>
Resistencia	<i>R</i>	Ohmio	Ω
Autoinductancia	<i>L</i>	Henrio	<i>H</i>
Potencia	<i>P</i>	Vatio	<i>W</i>
Frecuencia	<i>f</i>	Hercio	<i>Hz</i>

Los factores de conversión de uso común en electrónica se recogen en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Factores de conversión.

PREFIJO	SÍMBOLO	VALOR
Tera	<i>T</i>	10^{12}
Giga	<i>G</i>	10^9
Mega	<i>M</i>	10^6
Kilo	<i>K</i>	10^3
Mili	<i>m</i>	10^{-3}
Micro	μ	10^{-6}
Nano	<i>n</i>	10^{-9}
Pico	<i>p</i>	10^{-12}

1.5 PROBLEMAS RESUELTOS

➤ Problema 1.1

1.1.a. Representa en una sólo gráfica:

- una señal sinusoidal de amplitud A_1 voltios, período T_1 y frecuencia f_1 .
- una señal sinusoidal de amplitud $2 \cdot A_1$ voltios, período T_1 y frecuencia f_1 .

1.1.b. Representa en otra gráfica la señal que se obtiene al sumar dichas sinusoides.

1.1.c. Extrae conclusiones.

SOLUCIÓN:

1.1.a. La señal senoidal es de la forma,

$$f(t) = v(t) = A \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

donde,

- $v(t)$ indica que se trata de una señal (tensión) que es función del tiempo,
- A es la amplitud de la señal (tensión de pico),
- ω es la frecuencia angular ($\omega = 2\pi f$)
- φ es el ángulo de fase

En nuestro caso, la función a representar es,

$$\begin{aligned} \mathbf{a:} \quad f(t) = v_1(t) &= A_1 \cdot \text{sen}(\omega_1 t) \\ \mathbf{b:} \quad f(t) = v_2(t) &= A_2 \cdot \text{sen}(\omega_2 t) \end{aligned}$$

donde,

- $A_2 = 2 A_1$
- $\omega_1 = \omega_2 = 2\pi f_1$
- $\varphi = 0$ (grados).

El desfase se ha tomado igual a cero en tanto que sólo tiene sentido cuando se refiere a más de una señal o bien, se indica explícitamente. La siguiente figura (fig. P1) contiene las dos señales tal como se pide en el enunciado del problema.

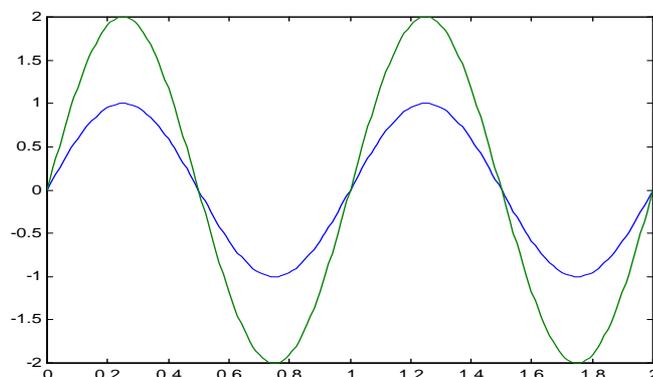


Fig. P1. Señales $v_1(t)$ y $v_2(t)$.

Como se aprecia, las señales tienen los siguientes valores,

- (a): $A_1 = 1$ Voltio
 $\omega_1 = 2\pi f_1$, con $f_1 = 1$ Hz
- (b): $A_2 = 2$ $A_1 = 2$ Voltios
 $\omega_2 = 2\pi f_2$, con $f_2 = 1$ Hz

1.1.b. Como las señales son de la misma frecuencia, la señal resultante es de la misma frecuencia y del tipo senoidal (ver figura P2) . La resultante es,

$$f = f_1 + f_2 = v_1(t) + v_2(t) = A_1 \cdot \text{sen}(\omega_1 t) + 2A_1 \cdot \text{sen}(\omega_1 t) = (A_1 + 2A_1) \cdot \text{sen}(\omega_1 t) = 3A_1 \cdot \text{sen}(\omega_1 t)$$

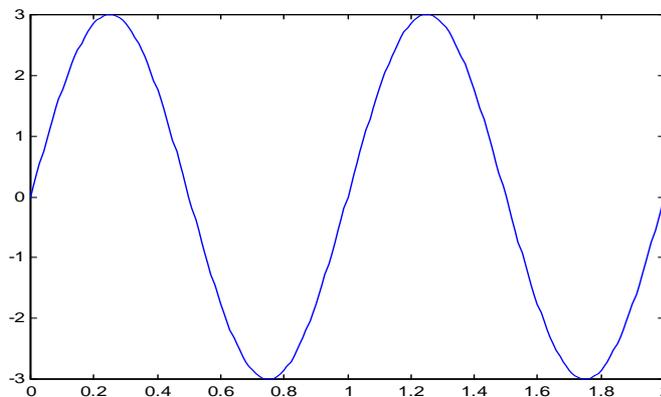


Fig. P2 Solución.

1.1.c. La conclusión inmediata que extraemos es que la suma de señales senoidales (de misma frecuencia) resulta una señal senoidal de frecuencia la de las señales originales. Esto es realmente importante en electrónica en tanto en que en un mismo circuito coexisten multitud de señales e interesa que la resultante sea senoidal en la mayoría de las ocasiones.

➤ **Problema 1.2**

1.2.a. ¿ Qué pasaría si sumamos dos señales senoidales de distinta frecuencia ?

SOLUCIÓN:

1.2.a. Analicemos los posibles casos,

- Señales de la misma amplitud y fase (f_1, f_2 , figura P3.a, f_1+f_2 en figura P3.b)
 $F_1 = A_1 \cdot \text{sen}(\omega_1 \cdot t)$, $\omega_1 = 2 \cdot \pi$
 $F_2 = A_1 \cdot \text{sen}(\omega_2 \cdot t)$, $\omega_2 = 5 \cdot \pi$

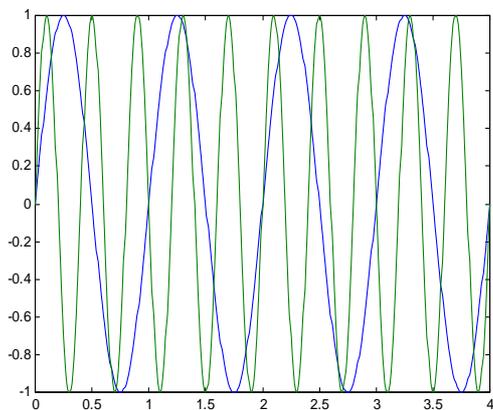


Fig. P3.a. Señales iniciales.

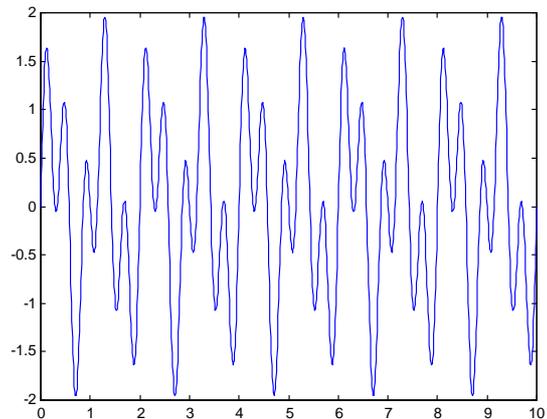


Fig. P3.b. Señales sumadas.

Como se aprecia¹ la señal suma de ambas es periódica pero no es senoidal. Además, no es nada sencilla !!!!!

➤ Señales de distinta amplitud (misma fase)

$$F_1 = A_1 \cdot \text{sen}(\omega_1 \cdot t), \omega_1 = 2 \cdot \pi$$

$$F_2 = 2A_1 \cdot \text{sen}(\omega_2 \cdot t), \omega_2 = 5 \cdot \pi$$

Se muestran las señales f_1, f_2 en la figura P3.c y f_1+f_2 en la figura P3.d.

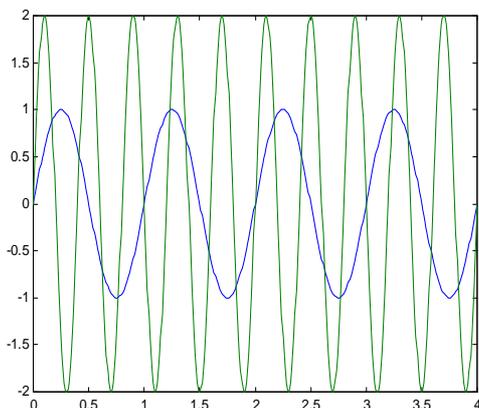


Fig. P3.c. Señales iniciales.

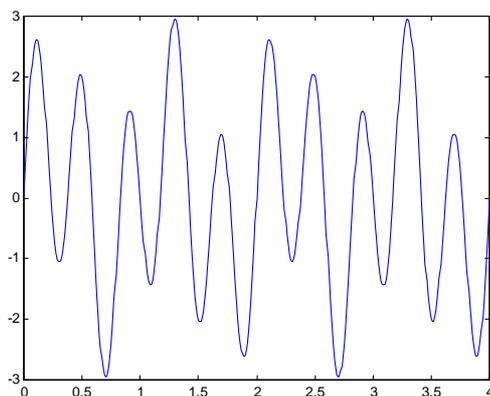


Fig. P3.d. Señales sumadas.

Se obtiene una solución similar a la del caso anterior. De forma análoga se obtiene el caso de señales de distinta frecuencia, amplitud y fase.

¹ Se ha ampliado la representación para apreciar la periodicidad

➤ **Problema 1.3**

Dada la señal, $f(t) = A \cdot \text{sen}(wt + \phi)$, calcula:

- 1.3.a. Valor de pico, valor de pico a pico, fase.
- 1.3.b. Valor medio.
- 1.3.c. Valor eficaz.

SOLUCIÓN:

1.3.a. Se trata de una señal senoidal (del tipo de la que se representa en la figura P4).

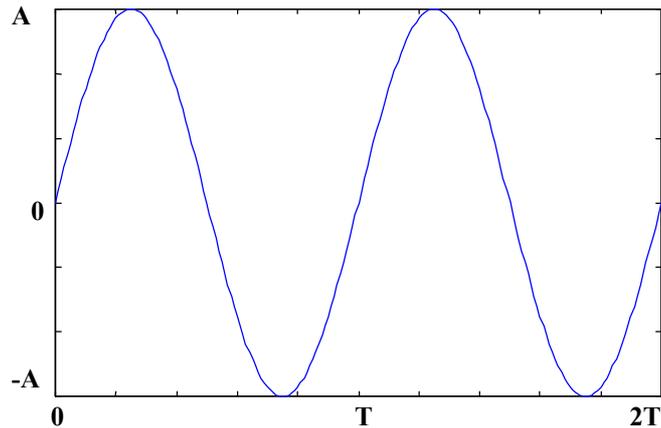


Fig. P4. Señal $f(t)$.

Los parámetros que definen a la señal son,

- 1.3.a.** $V_p = \text{Amplitud} = A$,
 $V_{pp} = 2 \cdot \text{Amplitud} = 2 A$,
Fase (ϕ) = 0° .
- 1.3.b.** $V_m = 0$ (puesto que los semiciclos positivos anulan exactamente los semiciclos negativos en cada período).
- 1.3.c.** Se demuestra que para la señal senoidal, el valor eficaz viene dado por, Amplitud / $\sqrt{2}$, entonces, $V_{eficaz} = A / \sqrt{2}$.

➤ **Problema 1.4**

Dada la siguiente señal (donde V se expresa en voltios):

$$V(t) = 10 \cdot \cos(10\pi \cdot t) + 2$$

Calcular,

- 1.4.a. Tipo de señal (periódica, diente de sierra...).
- 1.4.b. Parámetros característicos de la misma (frecuencia, amplitud...).
- 1.4.c. Valor medio de la señal.
- 1.4.d. Valor eficaz.
- 1.4.e. Representarla en una gráfica.

SOLUCIÓN:

1.4.a. Se trata de una señal senoidal, por consiguiente es periódica.

1.4.b. Los parámetros característicos son,

Amplitud: 10 Voltios,
Componente continua: 2 Voltios,
Frecuencia angular: 10π ,
Frecuencia: $f = \omega / 2\pi = 10\pi / 2\pi = 5 \text{ Hz}$,
Ángulo de fase: 0° .

1.4.c. $V_m = 2$ Voltios (puesto que los semiciclos positivos anulan exactamente los semiciclos negativos en cada período para la parte alterna).

1.4.d. Se demuestra que para la señal senoidal, el valor eficaz viene dado por, Amplitud / $\sqrt{2}$, entonces, $V_{eficaz} = 10 / \sqrt{2}$ Voltios.

1.4.e. Se representa en la gráfica P5.

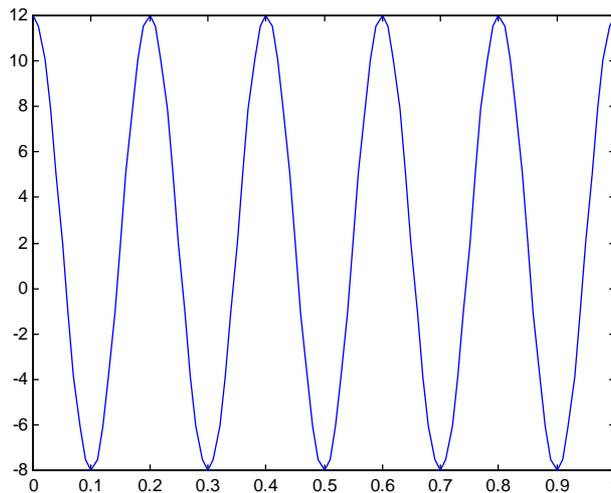


Fig. P5. Señal $V(t)$.

Problema 1.5

A una resistencia de 300Ω , se le ha aplicado una tensión continua y se determina que disipa una potencia de 0.5 W . Seguidamente, se le aplica una señal sinusoidal y se mide el mismo valor de potencia. Determina el valor de tensión continua aplicado y el valor de pico para la señal alterna.

SOLUCIÓN:

Primeramente calculamos la tensión en DC que está en bornas de la resistencia,

$$V = I \cdot R = \sqrt{\frac{P}{R}} R = \sqrt{P \cdot R}$$

Sustituyendo datos, obtenemos que $V = 12.24 \text{ V}$.

Sabemos que la tensión eficaz de una señal alterna produce la misma disipación de potencia en una resistencia que el mismo valor de tensión continua. Por ello, el valor eficaz de la señal aplicada es de 12.24 voltios y el de pico a pico,

$$V_{pp} = V_{eficaz} \cdot \sqrt{2}$$

Sustituyendo datos obtenemos $V_{pp} = 17.32 \text{ V}$.

Problema 1.6

En el diseño de un circuito se precisa una resistencia por la que va a circular una intensidad de 110 mA cuando entre sus bornas hay una diferencia de potencial de 20 V. Se elige una resistencia de 200 ohmios, con una tolerancia del 10% y una potencia nominal de 1 W. Justifica si es correcto o no la elección de dicho componente.

SOLUCIÓN:

Primeramente veamos si el valor óhmico es correcto.

Cuando circula una intensidad de 110 mA y la diferencia de potencial es de 20 V, el valor resistivo debe ser,

$$R = V / I = 20 / 110 = 0.18 \text{ K}\Omega = 180 \Omega$$

La resistencia tiene una tolerancia de $\pm 10 \%$, lo cual indica que su verdadero valor óhmico está comprendido entre,

$$\begin{aligned} R_1 &= 200 \Omega + 10 \% \text{ de } 200 \Omega = 220 \Omega \\ R_2 &= 200 \Omega - 10 \% \text{ de } 200 \Omega = 180 \Omega \end{aligned}$$

Vemos la consideración de potencia. Cuando la resistencia tiene el valor máximo de 220 Ω , la intensidad que circula por ella es de,

$$\begin{aligned} I_1 &= V / R_1 = 20 / 220 \Omega = 0.09 \text{ A} \\ P_1 &= V \cdot I = 0.09 \cdot 20 = 1.8 \text{ W} \end{aligned}$$

Para el valor mínimo,

$$\begin{aligned} I_2 &= V / R_2 = 20 / 180 \Omega = 0.11 \text{ A} \\ P_1 &= V \cdot I = 0.11 \cdot 20 = 2.22 \text{ W} \end{aligned}$$

Por consiguiente, dado que el valor nominal de potencia que la resistencia puede disipar es de 1 W, hemos de reemplazarla por otra de mayor potencia.

1.6 PROBLEMAS PROPUESTOS

Problema 1.7

Un condensador tiene un valor nominal de $100 \mu\text{F}$, con una tolerancia del 3%. Indicar el valor máximo y mínimo de capacidad de dicho condensador. Expresa el resultado en

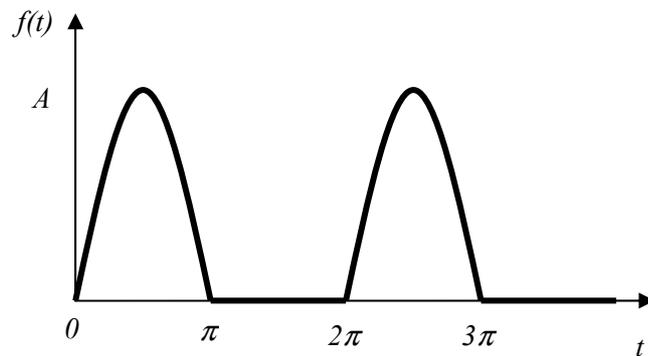
1.7.a. Microfaradios.

1.7.b. Picofaradios.

1.7.c. Nanofaradios.

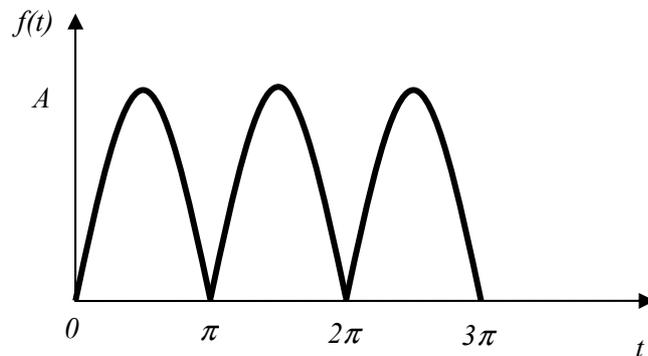
Problema 1.8

Para la siguiente señal, calcular el valor medio y el valor eficaz.



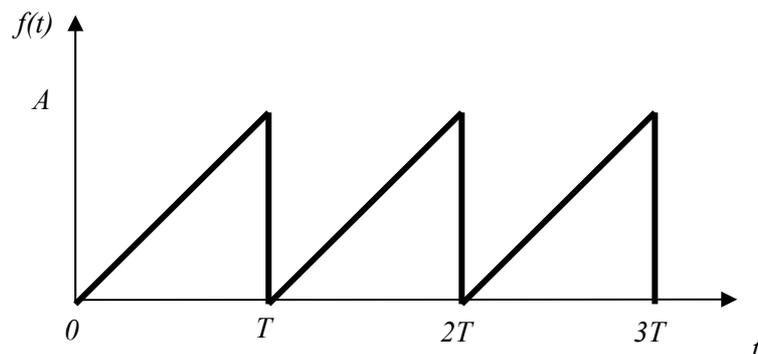
Problema 1.9

Para la siguiente señal, calcular el valor medio y el valor eficaz.



Problema 1.10

Para la siguiente señal, calcular el valor medio y el valor eficaz.



CAPÍTULO 2

INTRODUCCIÓN AL OSCILOSCOPIO

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

- 2.1 INTRODUCCIÓN**
- 2.2 EL REGISTRADOR X-t**
- 2.3 CONDICIONES NECESARIAS PARA REPRESENTAR SEÑALES
ELECTRÓNICAS**
- 2.4 EL TUBO DE RAYOS CATÓDICOS (TRC)**
- 2.5 EL CAÑÓN DE ELECTRONES**
- 2.6 PLACAS DE DEFLEXIÓN**
- 2.7 PANTALLA**
- 2.8 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL OSCILOSCOPIO ELEMENTAL**
- 2.9 RESUMEN DEL CAPÍTULO SEGUNDO**
- 2.10 PROBLEMAS PROPUESTOS**

2.1 INTRODUCCIÓN

Designamos con el término osciloscopio al instrumento de laboratorio capaz de representar la variación en el tiempo de una tensión –generalmente periódica- sobre la pantalla de un tubo de rayos catódicos (TRC). Es en la actualidad uno de los equipos más empleados en los laboratorios y no sólo de electrónica sino que se emplea en medicina, física, química, ingeniería industrial, mecánica...

Para poder representar la señal es necesario transformar tensiones y tiempos en distancias del mismo modo que se realiza una gráfica con papel y lápiz. Veremos que se sustituye el papel por la pantalla y el lápiz por un haz de electrones!. En este capítulo se estudia cómo se logra realizar esta operación.

Previamente y con el afán de que la explicación resulte más sencilla, vamos a estudiar un sencillo instrumento que permite transformar tensiones y tiempos en distancias.

2.2 EL REGISTRADOR X-t

Este equipo dibuja sobre un papel una gráfica de la tensión aplicada en los bornes de entrada. Para ello dispone de un rollo continuo de papel que va pasando por delante de una pluma con velocidad constante (ver figura 2.1). Este equipo se emplea actualmente para el estudio de los sismos (terremotos), es el conocido sismógrafo.

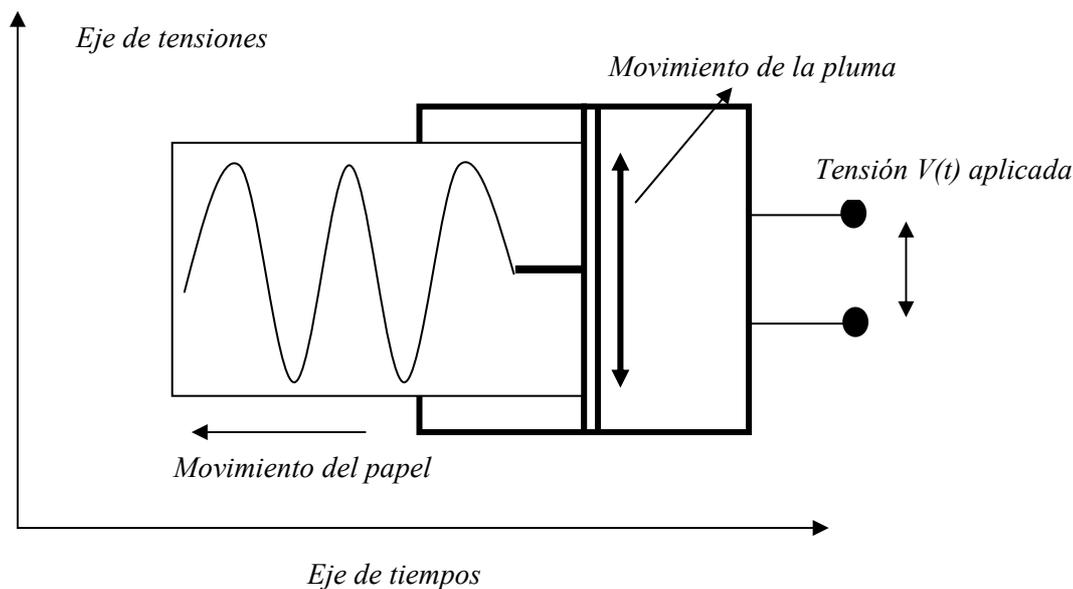


Fig. 2.1. El registrador X-t.

La pluma puede desplazarse sobre una guía en sentido perpendicular al del movimiento del papel, y su desplazamiento con respecto a su posición de reposo (centro del papel) es proporcional a la tensión aplicada en las bornas de entrada ($V(t)$). Así que, en un instante determinado, la distancia ($X(t)$) que marca la pluma al punto de reposo viene dada por la ecuación {2.1},

$$X(t) = k_x \cdot V(t)$$

siendo k_x una constante de proporcionalidad denominada sensibilidad, y que tiene las unidades de cm/Voltio. A su vez, el papel se ha desenrollado una longitud l_p {2.2},

$$l_p = v \cdot t$$

siendo,

- v : velocidad de desplazamiento del papel,
- t : tiempo empleado en dibujar el trozo de señal.

Supongamos que este registrador tiene aplicada una señal de entrada senoidal de 1 Hz de frecuencia y 10 V_{pp}. La velocidad de desplazamiento del papel es de 10 cm/s y la anchura del papel es de 10 cm. La sensibilidad del equipo, k_x , es de 1 cm/V. En estas condiciones, es sencillo comprobar que la gráfica que se dibuja sobre el papel es la siguiente,

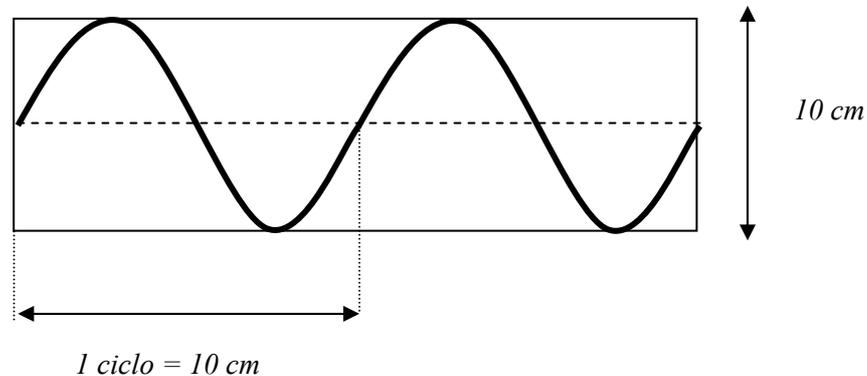


Fig. 2.2. Señal dibujada.

Se hace notar que la pluma que dibuja la señal llega justo a los límites del papel, con el consiguiente riesgo de dar lugar a problemas en la representación.

Supongamos ahora que se desea representar una señal sinusoidal de 100 Hz y 10 V_{pp} con el mismo registrador. Un sencillito cálculo nos indica que se dibuja un ciclo de la señal en una longitud de papel de 0.1 cm, o sea 1 mm, es decir, del tamaño del grosor del trazo de la pluma. Por consiguiente, resultaría un simple manchón donde no se apreciaría nada.

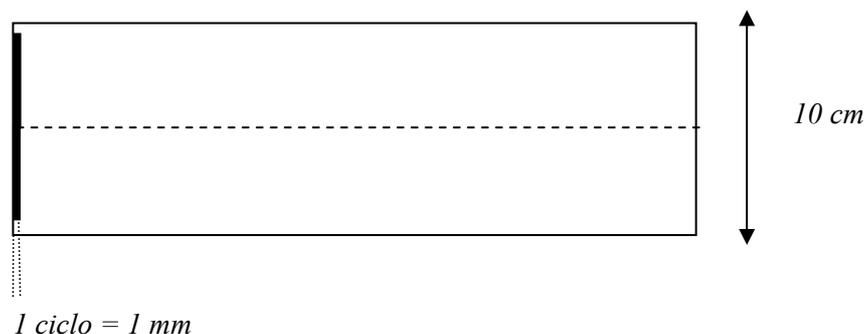


Fig. 2.3. Señal dibujada.

Queda claro que se precisa poder variar la velocidad del papel en función de la frecuencia de la señal a representar, de modo que para obtener una longitud dibujada de 2 cm., la velocidad del papel –para esta última señal- debería ser de 2 m/s. De esta forma es posible dibujar señales de distinta frecuencia de manera que resulte posible su análisis. Sin embargo, la plumilla tiene una inercia (imaginar cuando dibuja un pico y regresa hacia un valle), justo al terminar de dibujar el pico, la plumilla tiende a seguir su movimiento hacia arriba (igual ocurre para el caso de dibujar el valle). Incluso, la plumilla puede salirse de los límites del papel. Esta inercia aumenta con la frecuencia de la señal. En la práctica, solo se puede emplear este equipo para visualizar señales de unos pocos hercios (situación bastante infrecuente en el caso de la electrónica). Es por ello que este equipo se emplea en aplicaciones como la medicina (electrocardiograma, encefalogramas..) y demás ámbitos donde las señales caen en el rango de los pocos hercios.

¿ Qué ocurre cuando se quiere dibujar una señal que excede en longitud a los límites del papel ? Esta situación puede darse si tratamos de representar una señal de cierta amplitud. En este caso se debe tener la posibilidad de cambiar el factor de sensibilidad, k_v , para que la señal se dibuje dentro del papel. Recuerda que según la expresión {2.1}, el tamaño de la señal es proporcional a la sensibilidad del equipo, por lo que si ésta es variable se puede conseguir su ajuste al tamaño del papel.

Una vez vistas las posibilidades del registrador X-t, a continuación se presentan las condiciones que le vamos a exigir al equipo que emplearemos en electrónica para visualizar señales.

2.3 CONDICIONES NECESARIAS PARA REPRESENTAR SEÑALES ELECTRÓNICAS

Para obtener una representación de una señal de tensión que varíe con la frecuencia, se precisa disponer de un punto (*un lápiz ideal*) que:

- se desplace a velocidad constante en una dirección (la del papel, para el registrador X-t),
- su desplazamiento, respecto del punto de reposo y en una dirección perpendicular a la dirección de velocidad de velocidad constante, fuese en todo momento, proporcional al valor instantáneo de la tensión a representar, a través de una constante de proporcionalidad (sensibilidad),
- que el parámetro de sensibilidad fuese variable, para así representar señales de distinta amplitud.
- que se pueda variar la velocidad de desplazamiento del punto en sentido horizontal para poder visualizar señales de alta frecuencia,
- que se eliminen los problemas relacionados con la inercia,

Si conseguimos todo ello, además,

- que impresione nuestros sentidos (la vista) de modo que la trayectoria del punto sea observable. Esta trayectoria sería la representación deseada.

¿ De qué equipo estamos hablando ? Por supuesto que lo has adivinado: el osciloscopio!! Pero, ¿ dónde está el papel ?, ¿ y la pluma ? A continuación

trataremos de aclarar estas preguntas. Comenzamos estudiando el denominado tubo de rayos catódicos, conocido también como TRC.

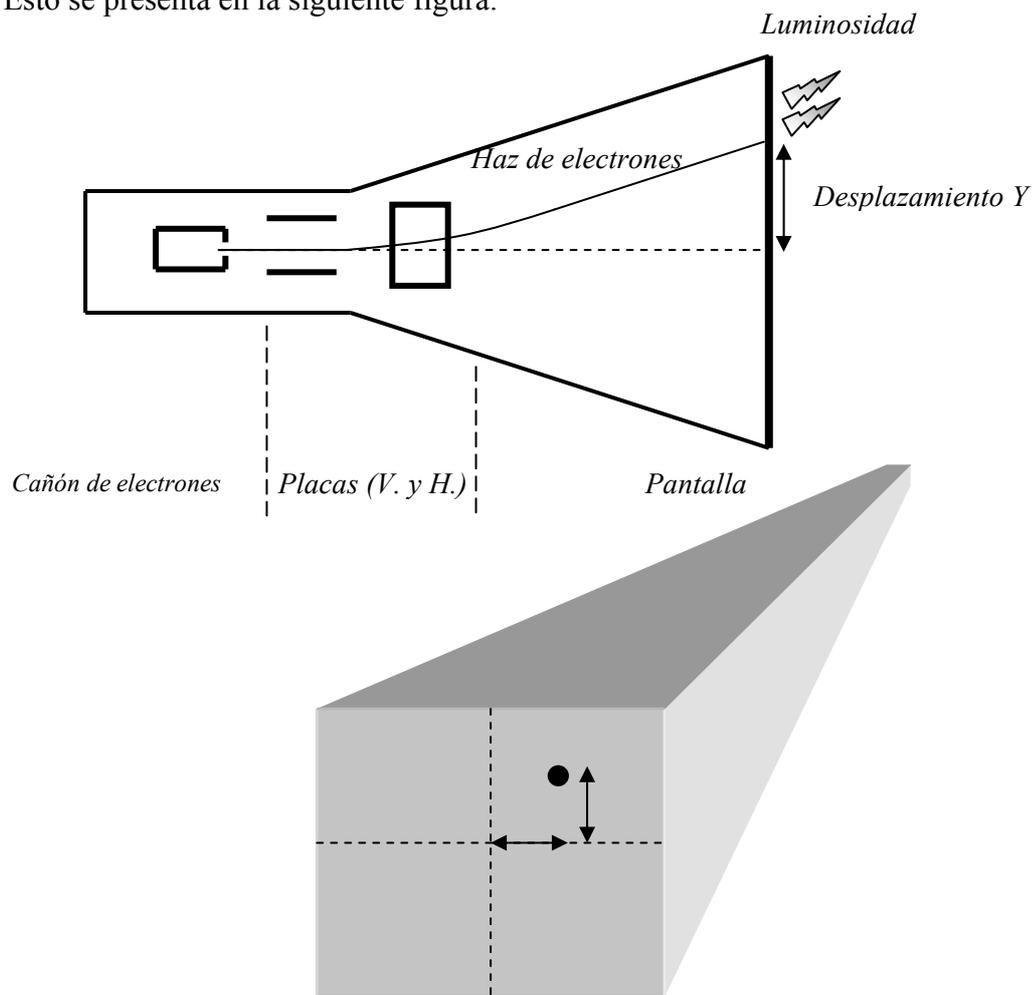
2.4 EL TUBO DE RAYOS CATÓDICOS (TRC)

El papel para dibujar la señal será una pantalla de vidrio (como la de la televisión), y el lápiz para dibujar será uno que tiene un grosor de mina prácticamente nulo: un haz de electrones. Pero para poder manejar este lápiz tan especial, debemos operar en condiciones de vacío.

El TRC es una ampolla de vidrio (como una bombilla pero más alargada), en la que se ha realizado un vacío elevado, y que tiene en su interior un cañón de electrones que genera un haz de electrones de un diámetro muy pequeño. Además, contiene,

- un juego de placas verticales que deflecan (desvían) el haz en el eje vertical,
- un juego de placas horizontales que deflecan el haz de izquierda a derecha,
- una pantalla recubierta de fósforo que brilla al impactar el haz de electrones.

Esto se presenta en la siguiente figura.



Desplazamiento del haz según ejes X-Y

Fig. 2.4. Tubo de rayos catódicos.

Una vez presentados los aspectos generales de funcionamiento, se procede a describir las partes más importantes del TRC.

2.5 EL CAÑÓN DE ELECTRONES

El cañón de electrones es un conjunto de electrodos que produce un haz de electrones que al ser sometidos a una diferencia de potencial entre el cañón y la pantalla del orden de los 20 kV, son acelerados y se dirigen hacia la pantalla a gran velocidad. Los electrones se emiten por efecto termoiónico cuando un filamento calienta una placa metálica (cátodo) y hace que ésta emita electrones. En esto consiste, en esencia el cañón. Entre el cañón y la pantalla se cierra una corriente eléctrica formada justo por la debida al haz. Cuando el haz incide sobre la pantalla, excita a los átomos de fósforo que la recubren y éstos al desexcitarse emiten fotones visibles, por lo general en la longitud de onda del color verde o azul. La intensidad del haz se puede controlar desde el exterior con el mando **BRILLO**, que actúa sobre el cilindro metálico (*cilindro de Whenelt*) permite que salgan más o menos electrones según sea más negativo o positivo con respecto al cátodo.

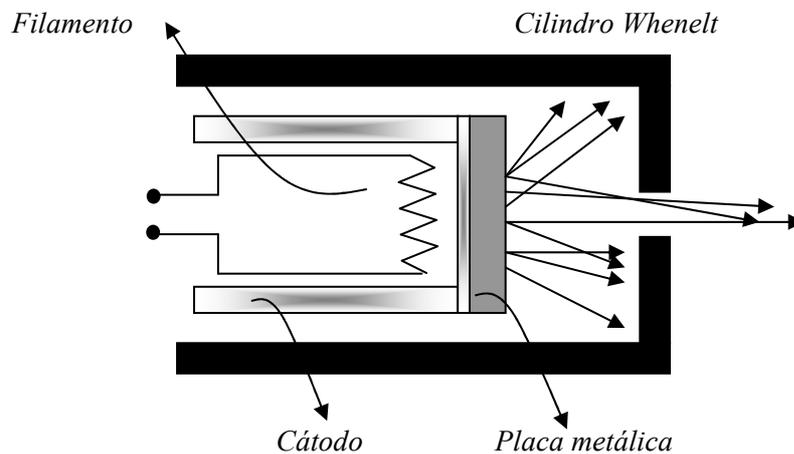


Fig. 2.5. Cañón de electrones.

Nótese que los electrones que consiguen salir hacia la pantalla no forman un haz estrecho sino que hay muchos electrones que no tienen velocidades paralelas. Para ello se dispone de un sistema de lentes electrónicas que consiguen focalizar el haz. El estudio de lentes electrónicas queda fuera de los objetivos de la asignatura.

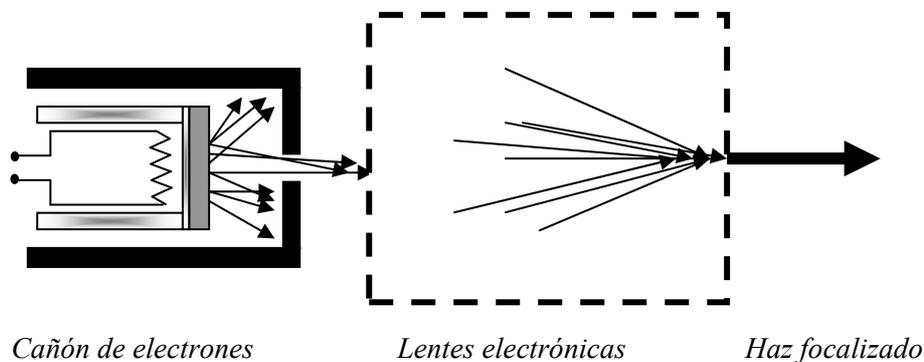


Fig. 2.6. Focalización del haz..

2.6 PLACAS DE DEFLEXIÓN

Existen dos pares de placas denominadas placas verticales y placas horizontales que desvían el haz cuando se les aplica tensión. Las placas verticales desvían el haz en el eje vertical (equivale al movimiento de la pluma de arriba a abajo) y las placas horizontales lo desvían en el eje horizontal. Si no hubiese tensión aplicada a las placas el haz de electrones incidiría en el centro de la pantalla. En función de las tensiones el haz impacta en una parte de la pantalla o en otra. Primero vamos a estudiar qué pasa cuando el haz atraviesa las placas verticales. Existen tres casos (tensión aplicada a las placas horizontales nula):

- a) no hay tensión aplicada \Rightarrow el haz impacta en el centro de la pantalla,

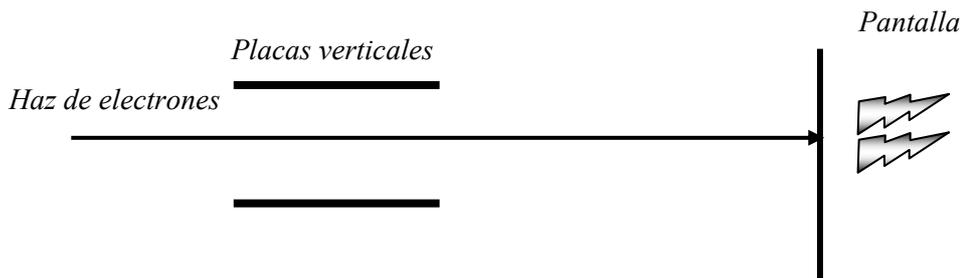


Fig. 2.7. Impacto en el centro de la pantalla (V_{PH} nula).

- b) la placa vertical es positiva respecto de la inferior (atrae los electrones) \Rightarrow el haz se desvía hacia arriba una distancia D .

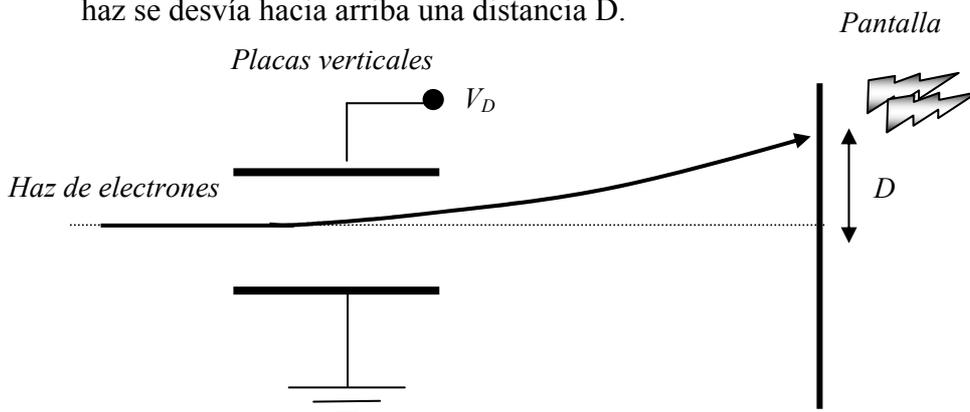


Fig. 2.8. Impacto en la parte superior de la pantalla (V_{PH} nula).

- c) la placa vertical es negativa respecto de la inferior (repele los electrones) \Rightarrow el haz se desvía hacia abajo una distancia D .

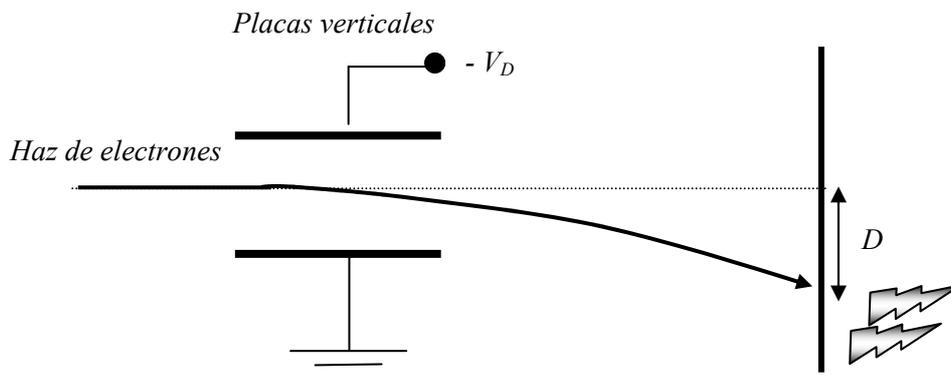


Fig. 2.9. Impacto en la parte inferior de la pantalla (V_{PH} nula).

Queda claro que si la señal que se trata de observar se conecta a las placas verticales conseguimos desplazar el haz de arriba abajo y de abajo a arriba.

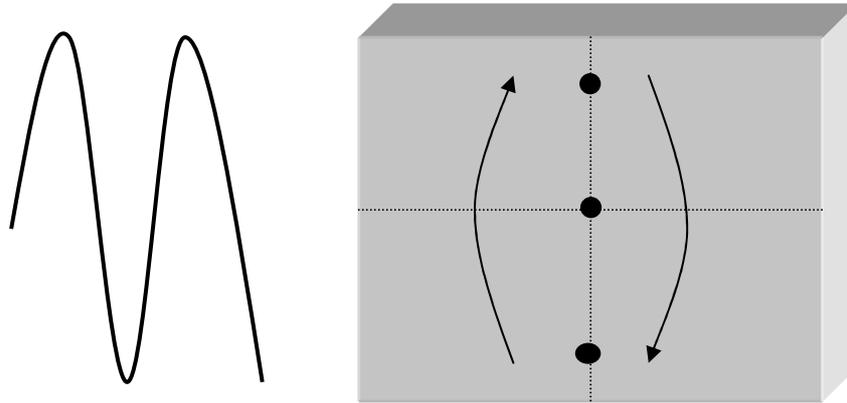


Fig. 2.10. Impactos del haz en la pantalla (V_{PH} nula).

¿ Qué es lo que falta para poder observar la señal en la pantalla ? Sólo se necesita que el punto se desplace de izquierda a derecha a velocidad constante. Para ello, veamos qué es lo que ocurre cuando se aplica tensión a las placas horizontales.

En las gráficas siguientes se muestra el punto de impacto del haz visto desde la pantalla (frontal del equipo). Asimismo vemos las tensiones aplicadas a las placas. Recuerda siempre que las caras del mismo signo se repelen. Vamos a estudiar varios casos.

- a) tensión de placas verticales nula,
tensión de placas horizontales (ver figura 2.11).

Vemos que en este caso, el haz impacta en el centro de la pantalla (eje vertical) debido a que no hay tensión aplicada a las placas verticales. Además, en el eje horizontal, el haz impacta en el lado derecho puesto que, para las tensiones aplicadas, la placa de la izquierda atrae a los electrones (al ser positiva respecto de la otra placa horizontal).

Los otros casos se representan en las figuras y su comprensión debe ser sencilla para el alumno.

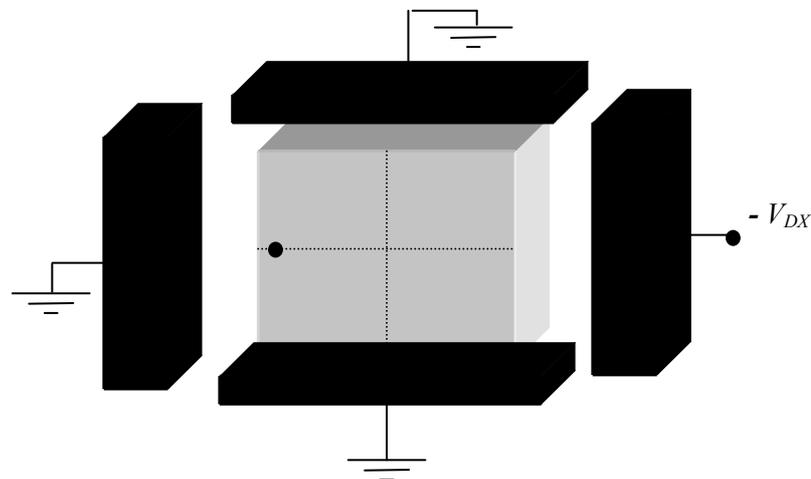


Fig. 2.11. Impactos del haz en la pantalla (V_{PV} nula).

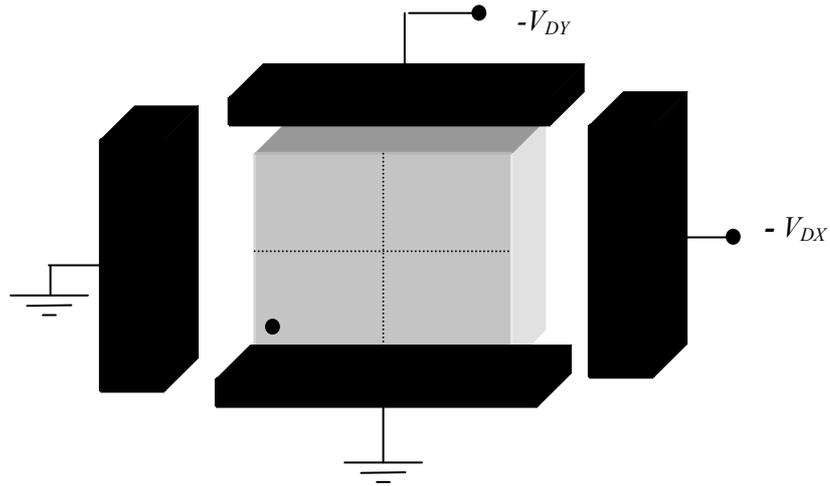


Fig. 2.12. Impactos del haz en la pantalla.

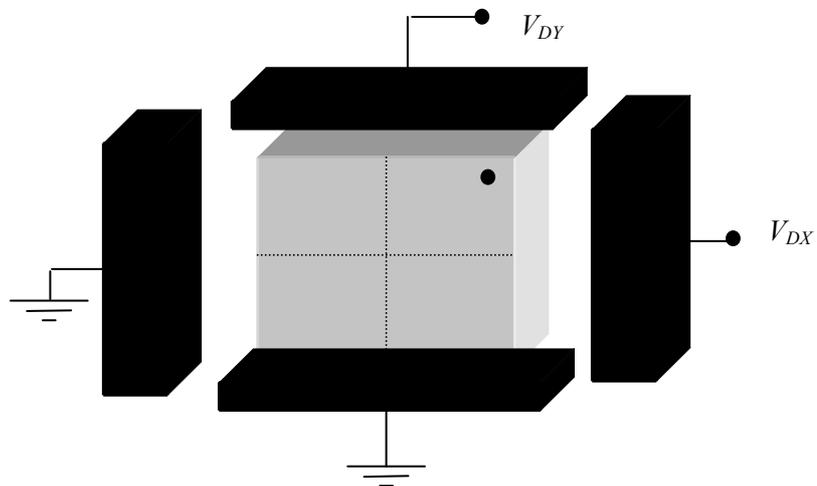


Fig. 2.13. Impactos del haz en la pantalla.

A la vista de estas figuras resulta claro que podemos desplazar el haz a todas las posiciones de la pantalla aplicando las tensiones correspondientes a las placas.

Si aplicamos la siguiente tensión a las placas horizontales (con tensión aplicada a las placas verticales nula),

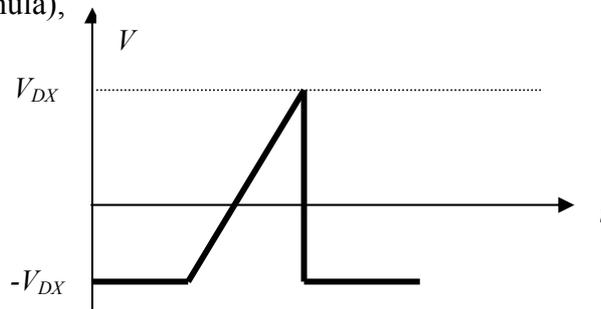


Fig. 2.14. Diente de sierra aplicado (señal de barrido).

donde la tensión $-V_{DX}$ es la que deflece el haz hasta el extremo izquierdo de la pantalla, y la tensión V_{DX} lo lleva hasta el extremo derecho de la pantalla, la imagen que obtenemos en la pantalla es la de un punto desplazándose de izquierda a derecha una sola vez,

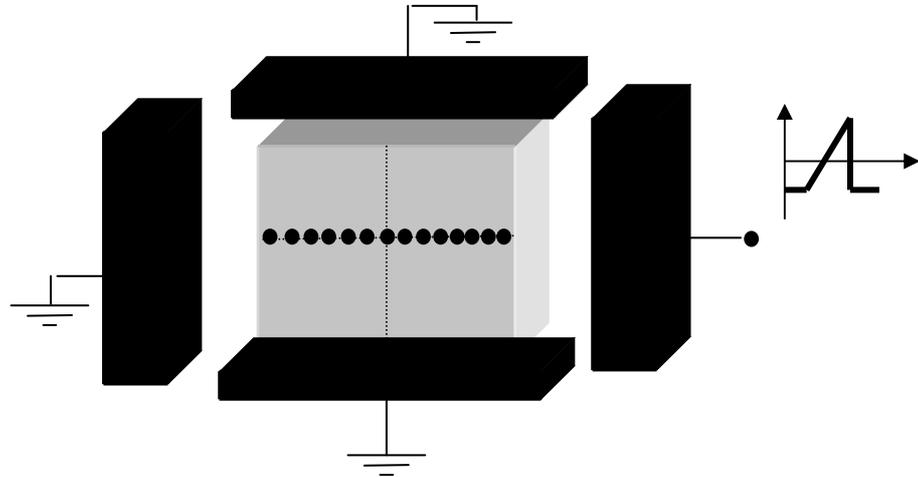


Fig. 2.15. Señal de barrido: movimiento del haz en la pantalla.

La señal que se observa en la figura anterior se *dibujaría* una sola vez en la pantalla por lo que para que se mantenga es necesario que se aplique a las placas horizontales no un solo ciclo del diente de sierra si no que debe aplicarse una señal como la que se muestra en la figura 2.16.

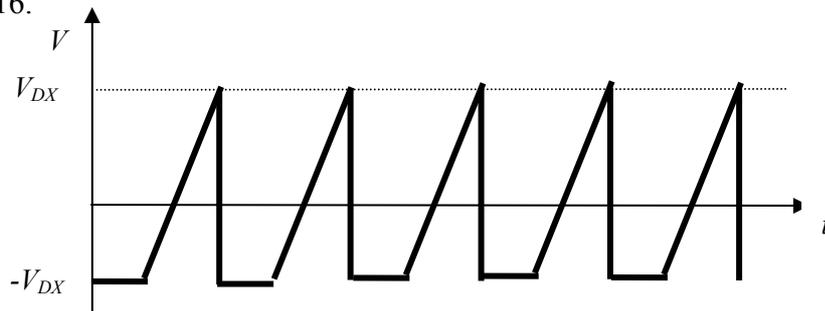


Fig. 2.16. Señal de barrido aplicada al canal horizontal.

Con esta señal en las placas horizontales se ha conseguido disponer de un punto que se desplaza a velocidad constante en una dirección, esto equivale a disponer de un papel que se desplaza a velocidad constante (registrador X-t).

Si a la vez que se aplica el diente de sierra a las placas horizontales se aplica la señal a visualizar en las placas verticales, entonces se observará en la pantalla un reflejo de la señal aplicada a las placas verticales. Esto se debe que al introducir la señal que se desea observar en las placas verticales, se dispone de un punto cuyo desplazamiento sobre el eje Y es proporcional al valor instantáneo de la señal a representar. Se comprende mejor observando la siguiente figura.

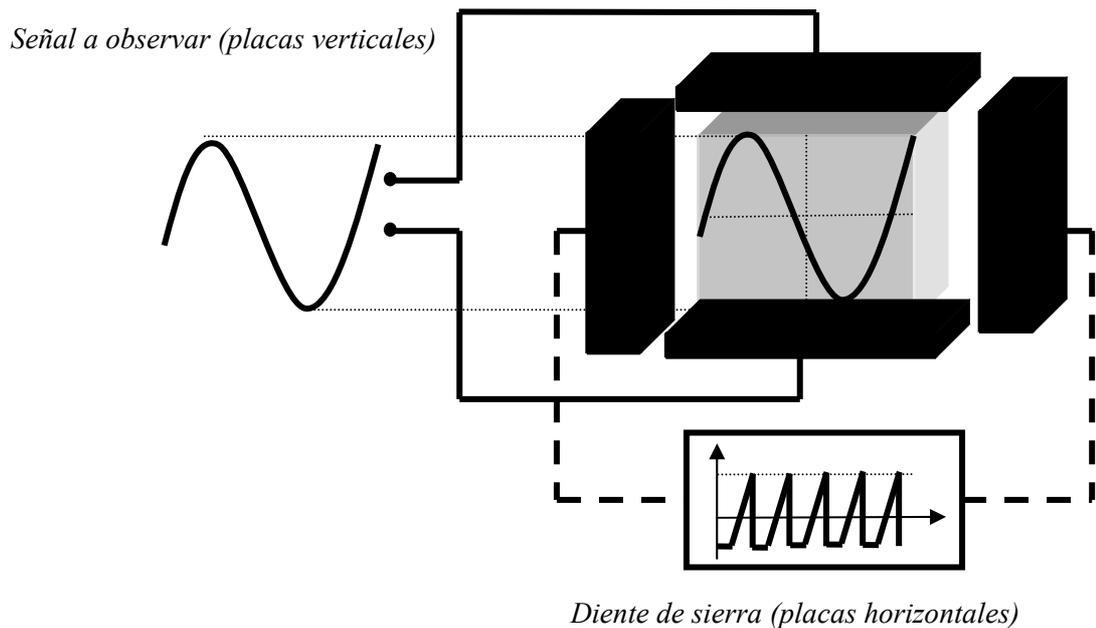


Fig. 2.17. Visualización de la señal a observar.

Se deduce de la anterior figura que de esta forma se pueden observar sólo señales periódicas, pues se dibuja la señal introducida por cada período del diente de sierra y se vuelve a repetir la representación. Efectivamente, en los osciloscopios analógicos sólo es posible visualizar señales periódicas. En los equipos digitales se observan tanto señales periódicas como no periódicas. A diferencia del registrador X-t, con el osciloscopio se pueden observar señales de alta frecuencia pero con la condición de que sean periódicas.

La señal a observar no entra directamente a las placas verticales si no que ha de pasar por un conjunto de circuitos que –como se estudia en el siguiente capítulo- permiten ajustar su tamaño a la pantalla, bien sea amplificándola (cuando es de amplitud muy pequeña) o atenuándola (para señales de amplitud muy grande). Esta operación la efectuamos desde el exterior sin más que actuando sobre el mando *VOLT/DIV*.

Asimismo, la generación del diente de sierra se estudia en el capítulo cuarto pero adelantamos el hecho de que reúne las siguientes características:

- tiene la misma frecuencia que la señal a visualizar (o es de frecuencia múltiplo entero),
- mediante el mando *TIME/DIV*, permite seleccionar trozos de la señal a observar para poder visualizar o bien toda la señal en pantalla o una fracción de la misma.

2.7 PANTALLA

Hasta este momento se ha obviado un aspecto de vital importancia de cara a visualizar una señal en la pantalla del osciloscopio y es el que tiene que ver con la forma en que el ojo humano percibe la señal observada como si de una representación continua se tratase. La

señal se ha reconstruido en la pantalla a base de impactos del haz sobre el recubrimiento interno de fósforo que lleva, pero se observa como una señal continua.

Esto se debe a que el ojo humano no es capaz de aislar imágenes que se mueven muy rápidamente sino que las ve como una sola imagen (esta propiedad es la que permite ver las imágenes de cine no como fotogramas aislados sino como una imagen continua). Este fenómeno se conoce con el término de *persistencia retiniana*.

Entonces, si la velocidad del punto luminoso es suficiente, se observa como una traza continua. Esta impresión duraría lo que dura la persistencia retiniana –unas décimas de segundo-, por lo que es preciso que el haz repita la trayectoria de forma exactamente igual (empezando además por el mismo punto).

2.8 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL OSCILOSCOPIO ELEMENTAL

Se presenta en la siguiente figura un esquema resumen a nivel de diagrama de bloques del osciloscopio, donde se aprecian los juegos de placas y se indica la circuitería asociada a los canales. El bloque con título Amplificador/atenuador se estudia en detalle en el siguiente capítulo. Asimismo, se incluye el bloque de sincronización. Este bloque es el que sincroniza los impulsos de diente de sierra con la señal a observar. Se estudia en el capítulo cuarto.

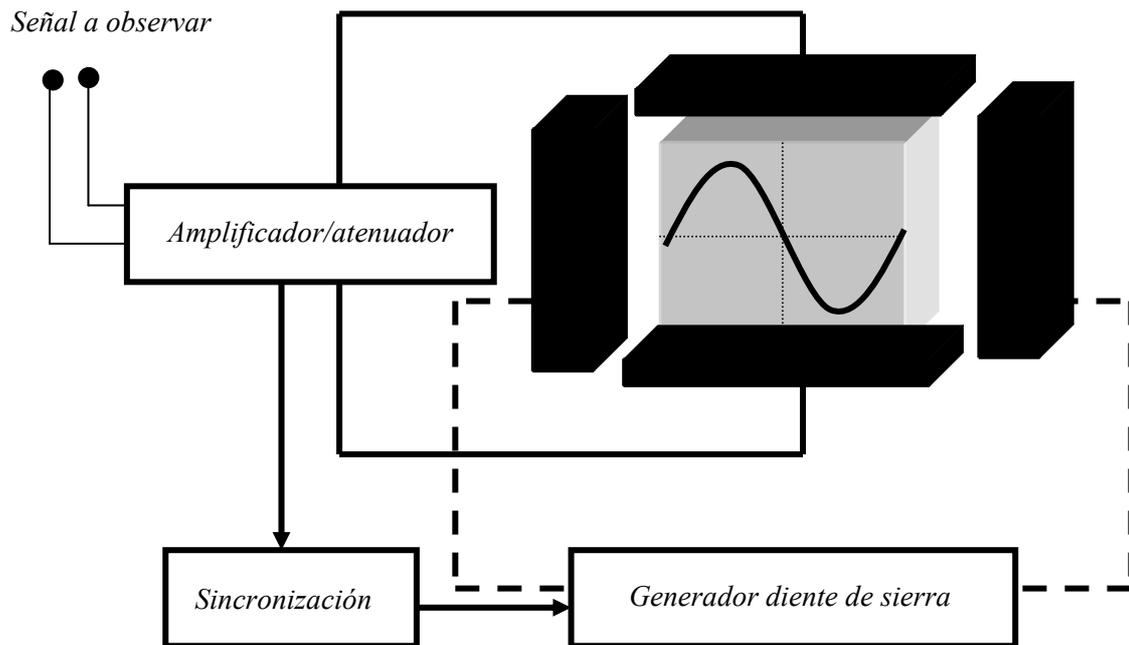


Fig. 2.18. Diagrama de bloques elemental.

2.9 RESUMEN DEL CAPÍTULO SEGUNDO

En este capítulo hemos estudiado los siguientes aspectos:

- que se puede representar una señal en la pantalla de un tubo de rayos catódicos (TRC) siempre que se disponga de un punto que se desplace a velocidad constante en el eje X y de forma proporcional a la tensión de señal a visualizar en el eje Y.
- Una señal que permite un barrido en el eje X a velocidad constante es la señal *diente de sierra*, que es la que realmente se emplea en los osciloscopios.
- Se aprovecha el hecho de que el ojo humano no puede aislar el movimiento del haz y lo contempla como si de una traza continua se tratara. Este fenómeno se denomina *persistencia retiniana*.

2.10 PROBLEMAS PROPUESTOS

Problema 2.1

Se desea representar con un registrador X-t una señal de 2.5 Hz y 8 Vpp. La velocidad de desplazamiento del papel es de 10 cm/s, la anchura es de 10 cm y la sensibilidad se ajusta al valor de 1 cm/v. Dibuja la gráfica resultante (2 ciclos).

Problema 2.2

Para el ejemplo anterior, indica cuál debe ser la velocidad de papel para que al representar una señal de 100 Hz y 10 Vpp, la traza dibujada (1 ciclo) ocupe 5 cm.

Problema 2.3

Indica las limitaciones del registrador X-t para visualizar señales. Asimismo, explica las aplicaciones prácticas del registrador X-t y justifica su empleo.

Problema 2.4

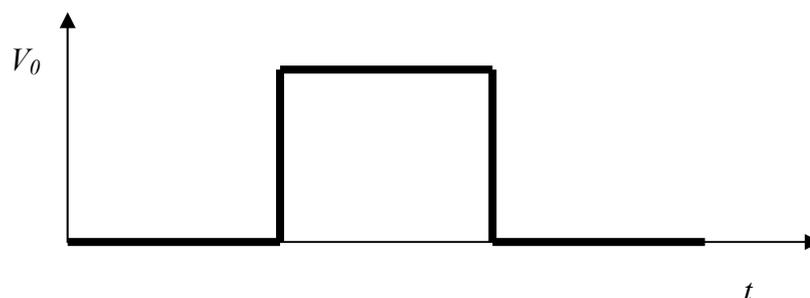
El osciloscopio analógico permite visualizar señales que son prácticamente imposibles de observar con un registrador X-t. Pero, el registrador mantiene una ventaja sobre el osciloscopio. ¿Cuál?

Problema 2.5

Explica lo que se entiende por *persistencia retiniana*. Indica qué medios técnicos se emplean en el osciloscopio para prolongar dicha persistencia.

Problema 2.6

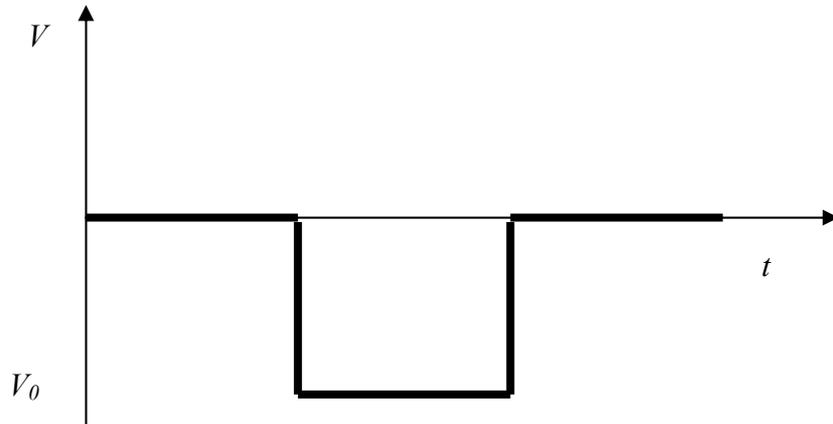
Dada la siguiente señal de barrido, indica el recorrido del punto de impacto en la pantalla.



Explica el valor que debe tener la tensión V_0 para que el haz se desplace al extremo derecho de la pantalla.

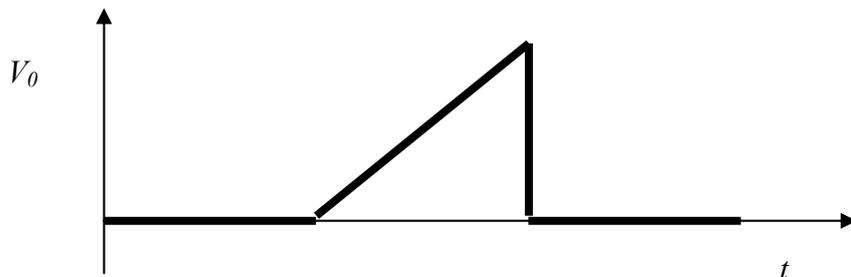
Problema 2.7

Dada la siguiente señal de barrido, indica el recorrido del punto de impacto en la pantalla. Explica el valor que debe tener la tensión V_0 para que el haz se desplace al extremo izquierdo de la pantalla.



Problema 2.8

Dada la siguiente señal de barrido, indica el recorrido del punto de impacto en la pantalla. Explica el valor que debe tener la tensión V_0 para que el haz se desplace al extremo derecho de la pantalla.



Problema 2.9

En relación a los problemas 2.6 y 2.8, explica las diferencias entre lo que se observa en la pantalla.

Problema 2.10

Explica cómo es el movimiento de los electrones al atravesar el juego de placas verticales.

Problema 2.11

Como sabes, el osciloscopio es más sensible cuando mayor es la deflexión que se observa en la pantalla. En base a esto, indica si aumenta la sensibilidad de un osciloscopio si,

- a) el TRC es de mayor longitud V-F
- b) las placas son más largas V-F

- c) la tensión de aceleración es menor V-F

Justifica las respuestas.

Problema 2.12

Explica el funcionamiento del mando **BRILLO** del osciloscopio.

CAPÍTULO 3

CANAL VERTICAL

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

- 3.1 INTRODUCCIÓN**
- 3.2 CANAL VERTICAL**
 - 3.2.1 Modos de entrada**
 - 3.2.2 Comportamiento del canal con la frecuencia**
- 3.3 IMPEDANCIA DE ENTRADA: EFECTO DE CARGA**
- 3.4 SONDAS DE TENSIÓN**
- 3.5 SONDAS DE CORRIENTE**
- 3.6 RESUMEN DEL CAPÍTULO TERCERO**

CAPÍTULO 3

CANAL VERTICAL

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

- 3.1 INTRODUCCIÓN**
- 3.2 CANAL VERTICAL**
 - 3.2.1 Modos de entrada**
 - 3.2.2 Comportamiento del canal con la frecuencia**
- 3.3 IMPEDANCIA DE ENTRADA: EFECTO DE CARGA**
- 3.4 SONDAS DE TENSIÓN**
- 3.5 SONDAS DE CORRIENTE**
- 3.6 RESUMEN DEL CAPÍTULO TERCERO**
- 3.7 PROBLEMAS PROPUESTOS**

será necesario manejar el osciloscopio adecuadamente). Actualmente existen osciloscopios con frecuencias de corte superior por encima de los 20 GHz (20.000 MHz!).

¿ Qué pasa con la frecuencia de corte inferior ? Los amplificadores utilizados responden perfectamente a bajas frecuencias, incluso en continua (frecuencia 0 Hz), existiendo una diferencia entre la respuesta a baja frecuencia en modo DC y en modo AC, pues en este último caso se introduce un condensador que produce una disminución de la ganancia en el canal.

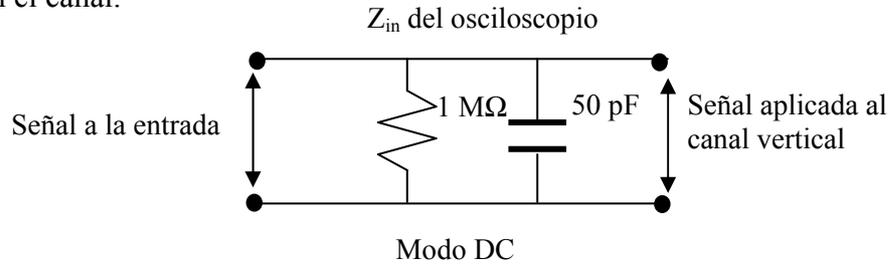


Fig. 3.9. Acople DC: circuito equivalente.

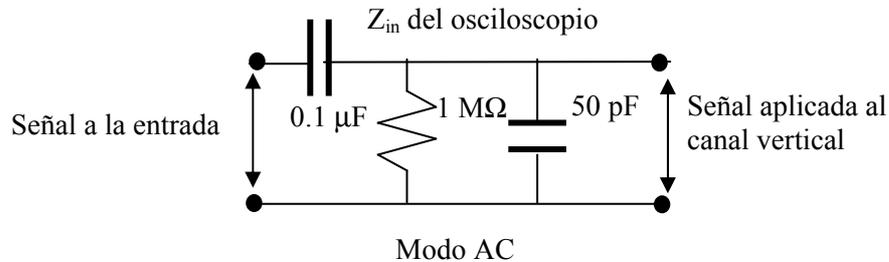


Fig. 3.10. Acople AC: circuito equivalente.

Tal como se desprende de estas dos figuras², se ve que en el modo DC la señal entra directamente al canal vertical mientras que en el modo AC, la presencia del condensador hace que la señal se divida entre la que cae en el condensador y la que se aplica al amplificador, lo que provoca una disminución de la ganancia del conjunto (desde la entrada hasta las placas). Ello da lugar a una frecuencia de corte inferior que suele ser de unos pocos hercios. Por consiguiente, para observar señales de muy baja frecuencia debe emplearse el modo DC.

Podemos resumir lo expuesto indicando que la respuesta del canal vertical viene limitada a altas frecuencias por los circuitos de amplificación/atenuación y a bajas frecuencias no está limitada en modo DC pero sí lo está en modo AC debido a la presencia del condensador de entrada. La variación típica de la respuesta en ambos modos se ha representado en la gráfica 3.11.

² El concepto de impedancia de entrada (Z_{in}) se explica en el siguiente apartado.

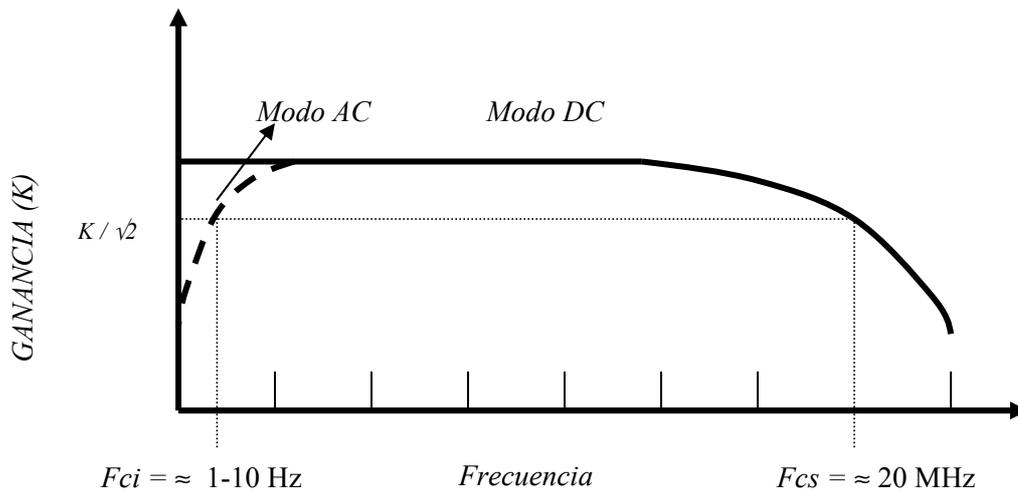


Fig. 3.11. Ancho de banda del osciloscopio.

3.3 IMPEDANCIA DE ENTRADA: EFECTO DE CARGA

Se ha estudiado en el primer tema de la asignatura el denominado *efecto de carga*, lo cual no es más que el efecto que se produce cuando un circuito queda modificado al conectar un equipo para realizar una medida.

El osciloscopio presenta una impedancia entre los bornes de entrada, por lo que cuando se conecte a un circuito –con el afán de medir, por ejemplo una tensión– esta impedancia del osciloscopio se conectará al circuito y éste queda modificado, cometándose un error en la medida efectuada. Esta impedancia se denomina impedancia de entrada del osciloscopio, que como veremos, es además función de la frecuencia de la señal a observar.

Para una mejor comprensión de este efecto, vamos a estudiar el circuito de la siguiente figura (ilustración 3.12).

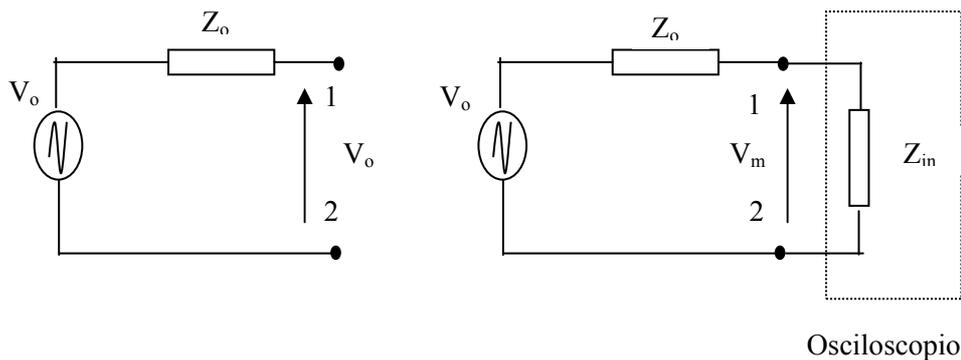


Fig. 3.12. Circuito equivalente (*efecto de carga*).

La tensión entre los puntos 1 y 2 es V_0 dado que no circula corriente y no hay caída de tensión en la resistencia Z_0 . Sin embargo, al medir con el osciloscopio de impedancia de entrada Z_{in} , se cierra un circuito y circula corriente; ahora la tensión entre los puntos 1 y 2 viene dada por {3.1},

$$V_m = \frac{V_0}{Z_0 + Z_{in}} \cdot Z_{in}$$

cometiéndose un error en la medida, pues $V_0 \neq V_m$. Este error será menor cuanto mayor sea Z_{in} en comparación con Z_0 , puesto que {3.2},

$$\text{si } Z_{in} \gg Z_0 \Rightarrow V_m \approx V_0$$

Por lo tanto, interesa que la impedancia de entrada del osciloscopio sea lo más grande posible (idealmente infinita), para disminuir el error de carga. Téngase en cuenta que el circuito de la figura es un equivalente Thevenin de cualquier otro circuito eléctrico, por lo que el análisis efectuado es válido para cualquier caso.

Siempre que se vaya a resolver un problema circuital donde exista un osciloscopio, debemos reemplazarlo por su modelo equivalente,

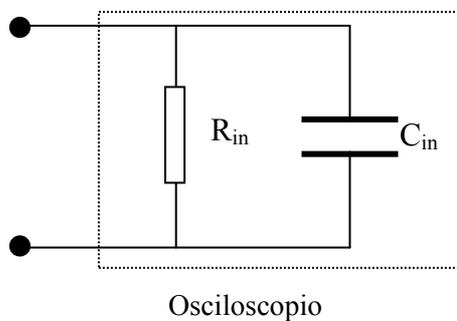


Fig. 3.13. Impedancia de entrada: circuito equivalente.

el cual consta de una resistencia (de algunos megaohmios) en paralelo con un condensador (≈ 50 pF). Además, el valor de la impedancia de entrada es función de la frecuencia de la señal a observar. Esto se comprenderá mejor con el siguiente ejemplo.

EJEMPLO 3.4:

Se mide en el circuito de la figura 3.14 la tensión entre los puntos 1 y 2 con un osciloscopio ($R_{in} = 1\text{ M}\Omega$, $C_{in} = 50\text{ pF}$) en los tres casos siguientes,

- a) la tensión $V_0 = 10\text{ V}$, continua,
- b) la tensión $V_0 = 10\text{ V}_{pp}$, senoidal de frecuencia 1 KHz,
- c) la tensión $V_0 = 10\text{ V}_{pp}$, senoidal de frecuencia 1 MHz.

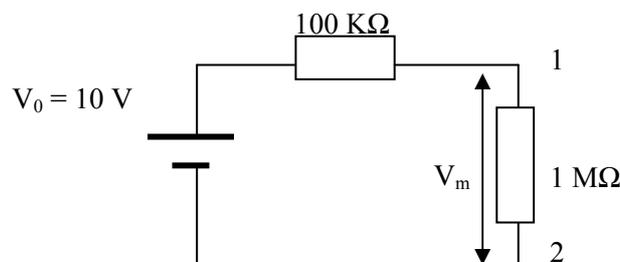


Fig. 3.14. Circuito correspondiente al ejemplo 3.4.

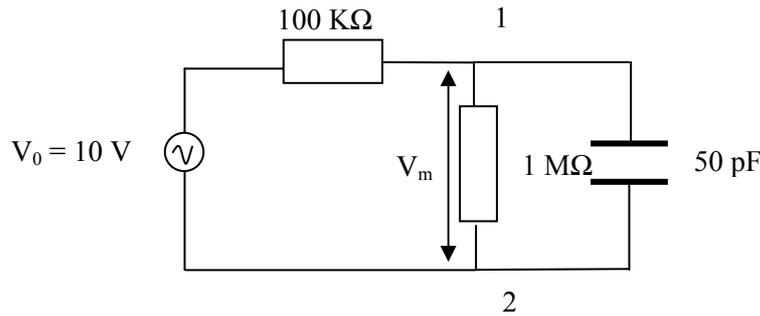


Fig. 3.15. Impedancia de entrada: circuito equivalente.

SOLUCIÓN:

- a) En este caso, al ser la señal a observar continua, la capacidad del osciloscopio se muestra como un circuito abierto, y el circuito equivalente es el de la figura 3.14. El valor de la tensión medida viene dado por (divisor de tensión) {3.3},

$$V_m = \frac{10V}{1+0.1} \cdot 1 = 9.1 V$$

El error en este caso es (el valor real debe ser de 10 V {3.4},

$$\text{error} = \frac{10 - 9.1}{10} = 9\%$$

- b) El circuito es ahora el de la figura 3.15, y operando se obtiene que $V_m = 9.1 V$, es decir, el mismo error que en el caso anterior.
 c) El circuito es el mismo que en el apartado anterior, salvo que el valor de la impedancia (impedancia compleja) es de $-j 3.2 K\Omega$, y operando se obtiene que la tensión medida es $V_m = 0.32 V$. El error relativo es {3.5},

$$V_m = \frac{10 - 0.32}{10} = 96.8\%$$

Se observa que el error en el último caso es muy elevado. A su vez, es claro que dicho error aumenta con la frecuencia de la señal a observar, falseando -a alta frecuencia- completamente el valor de la medida.

En el siguiente apartado se estudia cómo solventar esta situación, situación que además es harto frecuente en el laboratorio, puesto que valores de unos pocos megahercios son comunes en los laboratorios de electrónica.

3.4 SONDAS DE TENSIÓN

Tal como se ha visto en el apartado anterior, el canal vertical del osciloscopio se caracteriza por una impedancia de entrada equivalente que se modela mediante una resistencia de valor elevado (típicamente de 1 MΩ) en paralelo con una capacidad de

valor reducido (normalmente 50 pF). Estos valores aparecen indicados en la toma de señal de todo osciloscopio.

Además, cuando la impedancia equivalente del circuito sobre el que se está midiendo es de valor comparable o superior a la del osciloscopio, se producía un error de carga al modificarse la tensión en el circuito. En el ejemplo resuelto se pudo comprobar que este error puede llegar a ser de valor tan elevado que incluso llega a falsear completamente la medida para el caso de frecuencias elevadas.

¿ Tiene solución este problema ? . Afortunadamente sí la tiene y se basa en colocar a la entrada del osciloscopio *algo* que aumente la impedancia con la que se carga al circuito. Este *algo* es un sencillo circuito que está incorporado a un cable de medida y se conoce con el nombre técnico de sonda.

La sonda más sencilla puede ser cualquier resistencia de valor elevado (ver figura 3.16).

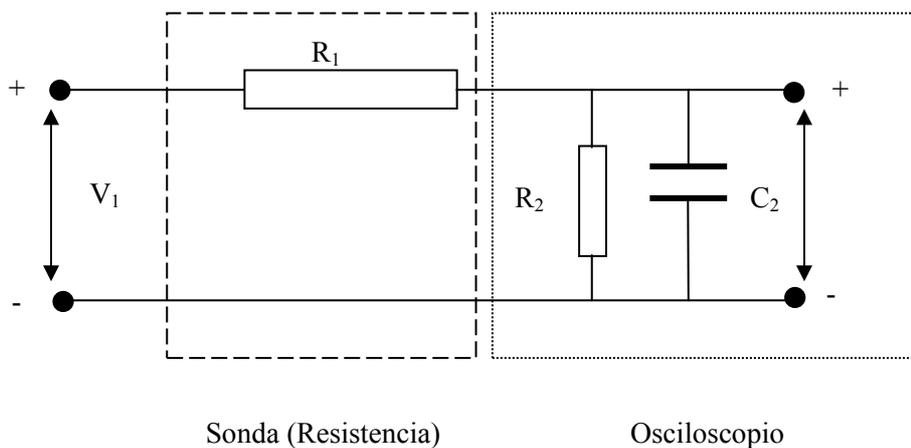


Fig. 3.16. Sonda de tensión elemental: una resistencia.

En este caso, la impedancia del conjunto sonda-osciloscopio viene dada por {3.6},

$$Z = R_1 + \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}$$

siendo,

- R_1 : valor de la resistencia de la sonda,
- R_2 : valor de la resistencia de entrada del osciloscopio,
- C_2 : valor de la capacidad de entrada del osciloscopio,
- ω : frecuencia angular de la señal ($\omega = 2\pi f$).

Como se deduce de esta expresión, el valor de la nueva impedancia del conjunto sonda-osciloscopio es superior a R_1 , cuyo valor, además, puede elegirse tan grande como se desee. Sin embargo, la sonda introduce una atenuación en la señal que va al canal vertical, de forma que la señal que llega es menor que la que existe en el circuito.

Esta atenuación viene dada por {3.7},

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{1 + j\omega C_2 R_1 R_2 / (R_1 + R_2)}$$

que como se puede observar depende de la frecuencia (a través de ω). Esta dependencia de la atenuación con la frecuencia es una fuente de error al medir amplitudes en el osciloscopio y, además, produce una distorsión de la señal cuando ésta no sea sinusoidal.

Para evitar estos problemas, se emplea la sonda que incorpora una resistencia y un condensador en paralelo (ver figura 3.17).

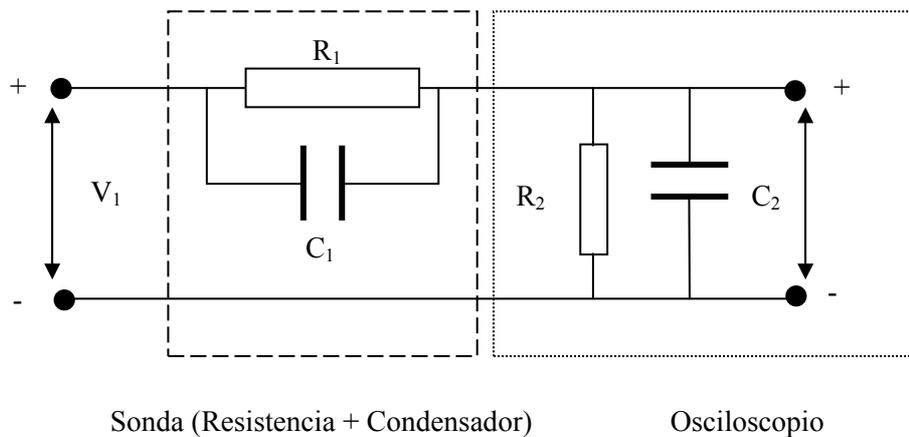


Fig. 3.17. Sonda de tensión compensable: resistencia y condensador.

Un sencillo cálculo nos permite obtener el nuevo valor de la atenuación {3.8},

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_2}{R_2 + R_1(1 + j\omega C_2 R_2) / (1 + j\omega C_1 R_1)}$$

que sigue siendo función de la frecuencia (aparece en el término ω), salvo en el caso en que se haga {3.9},

$$R_2 C_2 = R_1 C_1$$

Con esta condición, la expresión {3.8} queda reducida a {3.10},

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Cuando esta condición se cumple ($R_2 C_2 = R_1 C_1$) la impedancia de entrada del conjunto sonda-osciloscopio es {3.11},

$$Z = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot \frac{R_2}{1 + j\omega C_2 R_2}$$

Esta expresión nos indica que la nueva impedancia es la del osciloscopio (segundo término) multiplicada por un factor mayor que la unidad, que coincide con la atenuación introducida por la sonda.

En la práctica, el factor de atenuación de las sondas es de 10, lo cual implica que la impedancia de entrada del conjunto sonda-osciloscopio es 10 veces superior a la impedancia propia del osciloscopio (la resistencia aumentará 10 veces y la capacidad disminuirá 10 veces). Cuando la frecuencia es elevada, el valor capacitivo del cable de la sonda puede modificar el análisis anterior en tanto que habría que añadir la capacidad equivalente del cable. Para los propósitos de esta asignatura, se ignorará este efecto de segundo orden.

¿Cómo se consigue hacer que $R_2 C_2 = R_1 C_1$? Para que esta relación sea exacta, lo que se hace es que el condensador de la sonda C_1 sea variable. Para ajustar la relación se conecta una señal cuadrada (ver figura 3.18) y se observa su imagen en la pantalla.

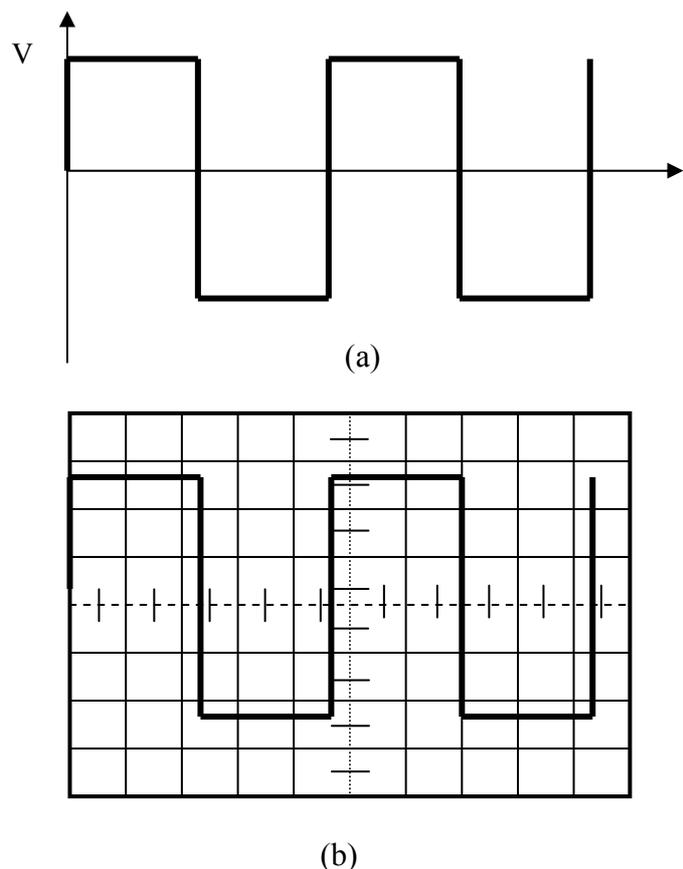


Fig. 3.18. Sonda compensada: señal a la entrada (a), señal de salida (b).
($R_2 C_2 = R_1 C_1$)

Cuando la compensación de la sonda es correcta, la imagen de la onda cuadrada aparece sin distorsión (ver figura 3.18), mientras que cuando el valor de C_1 es insuficiente la sonda está *subcompensada* y la imagen aparece distorsionada (figura 3.19). También

aparece distorsión cuando la sonda está *sobrecompensada*, es decir, el valor de C_1 es demasiado elevado (ver figura 3.20).

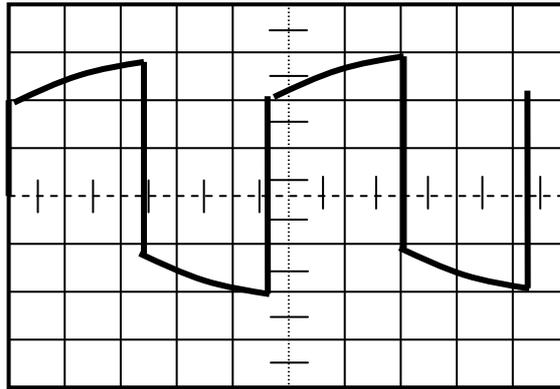


Fig. 3.19. Sonda subcompensada ($R_1C_1 < R_2C_2$).

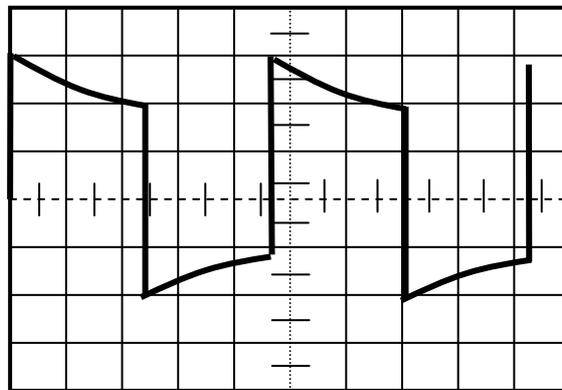


Fig. 3.20. Sonda sobrecompensada ($R_1C_1 > R_2C_2$).

Para realizar el ajuste el osciloscopio incorpora la señal cuadrada (aparece en la frontal del equipo) y la sonda lleva un tornillo que al girarlo permite variar el valor del condensador variable C_1 . Siempre que se emplee la sonda debe realizarse el ajuste. Esta operación -que se hace en las prácticas de la asignatura- es sencilla y rápida.

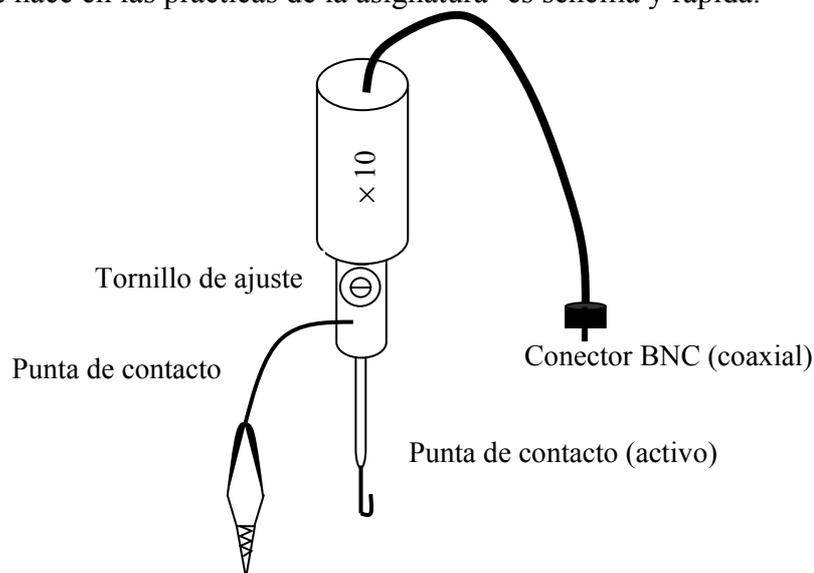


Fig. 3.21. Sonda de tensión.

Es muy frecuente que la sonda lleve un conmutador que permita cortocircuitar la resistencia R_I de forma que la señal pase directamente al osciloscopio sin ningún tipo de atenuación (y por lo tanto sin modificar la impedancia equivalente).

¿Cuál es el valor de la señal medida con la sonda? En el caso de las sondas convencionales (factor de atenuación de 10), será necesario multiplicar el valor de la señal que se mide en la pantalla por 10. Por este motivo estas sondas llevan impresa la indicación “ $\times 10$ ” cuando está conectada la impedancia que atenúa la señal y aumenta la impedancia de entrada; y la indicación “ $\times 1$ ” cuando la señal en la punta de la sonda es llevada directamente a la borna de entrada del osciloscopio.

3.5 SONDAS DE CORRIENTE

El estudio de las sondas de corriente queda fuera del alcance de la asignatura, pero sin embargo, a modo de resumen se indica que existen sondas de corriente disponibles en el mercado que se basan o bien en lectura a través de la corriente inducida en el secundario de un transformador o bien haciendo uso de un fenómeno físico muy común en medidas y que es el denominado efecto Hall.

Cabría la posibilidad de hacer circular la corriente que se desea medir a través de una resistencia de valor conocido y medir la caída de tensión en el osciloscopio. Este procedimiento –de urgencia- es válido pero el hecho de introducir una resistencia de muestreo añade un error que puede ser apreciable, por lo que normal es el empleo de las sondas citadas en el párrafo anterior.

3.6 RESUMEN DEL CAPÍTULO TERCERO

En este capítulo se ha estudiado el canal vertical del osciloscopio. A este canal es el que se conecta la señal que se desea visualizar, y la conexión se efectúa a través del conector situado en el panel frontal del equipo.

Se han estudiado los diversos modos de acople de la señal:

- Acople DC
- Acople AC
- GND

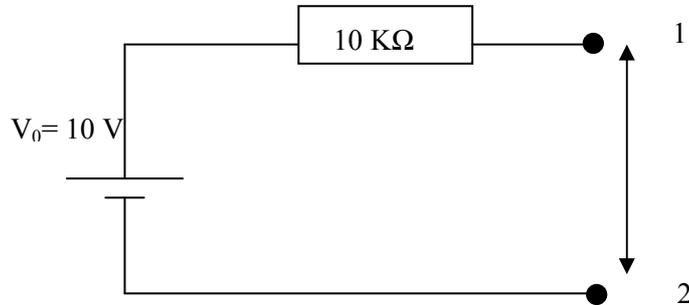
Se debe seleccionar siempre el modo que permita observar la señal en pantalla con el máximo detalle. Esto es especialmente importante para señales con un nivel de continua grande.

Además, se ha presentado el concepto de ancho de banda del osciloscopio y la sonda de tensión. Se ha visto cómo se reduce significativamente el efecto de carga asociado a la medida de tensiones con el empleo de la sonda. Recuerda que la sonda debe estar compensada para realizar medidas correctas.

3.7 PROBLEMAS PROPUESTOS

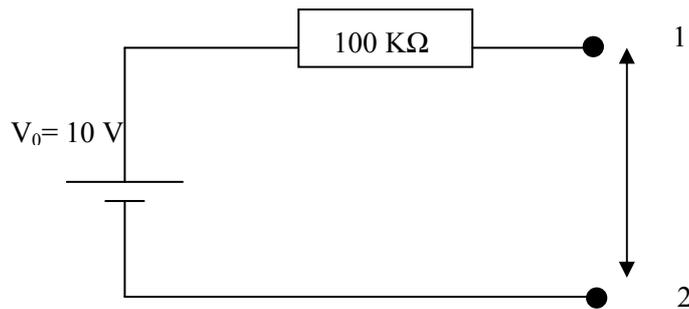
Problema 3.1

Calcular el error de carga (absoluto y relativo) que se comete al medir la tensión (entre los puntos 1 y 2) en el circuito de la figura con un osciloscopio ($1\text{ M}\Omega / 47\text{ pF}$).



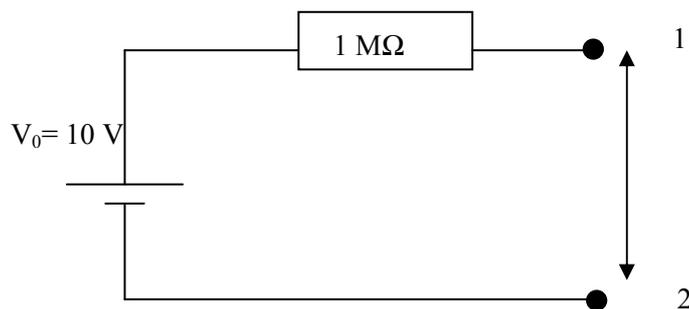
Problema 3.2

Calcular el error de carga (absoluto y relativo) que se comete al medir la tensión (entre los puntos 1 y 2) en el circuito de la figura con un osciloscopio ($1\text{ M}\Omega / 47\text{ pF}$).



Problema 3.3

Calcular el error de carga (absoluto y relativo) que se comete al medir la tensión (entre los puntos 1 y 2) en el circuito de la figura con un osciloscopio ($1\text{ M}\Omega / 47\text{ pF}$).

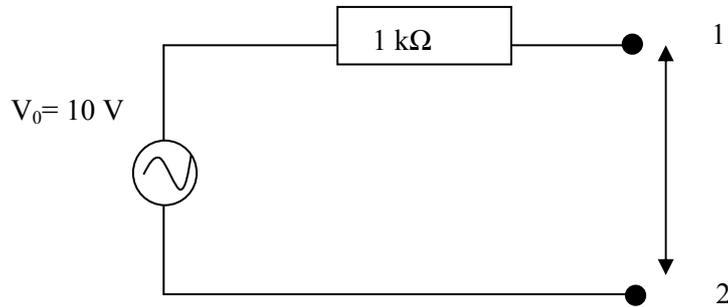


Problema 3.4

Explica a qué se debe el hecho de que el error aumente. ¿ Tiene algo que ver el condensador de 47 pF ?. Extrae conclusiones de las soluciones que has obtenido en los problemas anteriores.

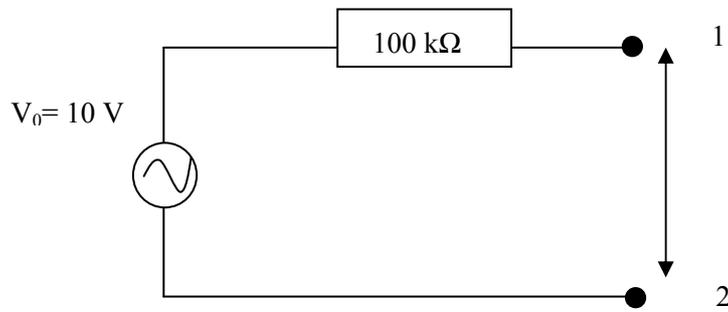
Problema 3.5

Calcular el error de carga que se comete al medir la tensión (entre los puntos 1 y 2) si la señal de tensión V_0 es de 100 Hz. La medida se efectúa con un osciloscopio ($1\text{ M}\Omega / 47\text{ pF}$).



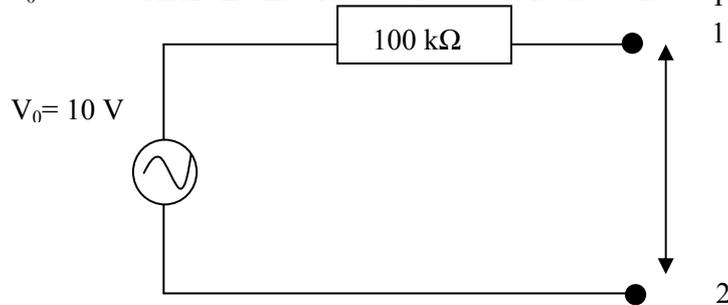
Problema 3.6

Calcular el error de carga que se comete al medir la tensión (entre los puntos 1 y 2) si la señal de tensión V_0 es de 200 Hz. La medida se efectúa con un osciloscopio ($1\text{ M}\Omega / 47\text{ pF}$).



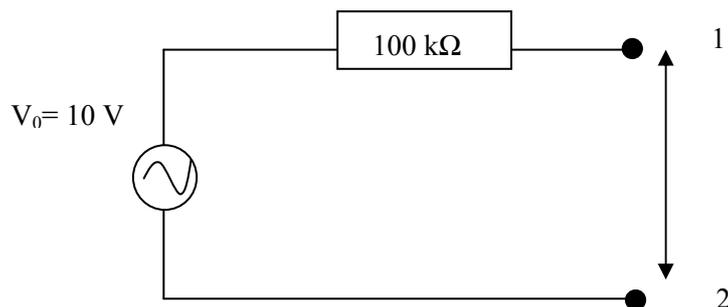
Problema 3.7

Calcular el error de carga que se comete al medir la tensión (entre los puntos 1 y 2) si la señal de tensión V_0 es de 5 KHz. La medida se efectúa con un osciloscopio ($1\text{ M}\Omega / 47\text{ pF}$).



Problema 3.8

Calcular el error de carga que se comete al medir la tensión (entre los puntos 1 y 2) si la señal de tensión V_0 es de 10 MHz. La medida se efectúa con un osciloscopio ($1\text{ M}\Omega / 47\text{ pF}$).



Problema 3.9

Un osciloscopio tiene una impedancia de entrada de $1\text{ M}\Omega / 47\text{ pF}$. Se va a realizar una medida en una resistencia de $20\text{ K}\Omega$ y se desea que el error por carga no supere el 5%. Calcular la frecuencia máxima de la señal a medir.

Problema 3.10

Se dispone de un osciloscopio de ancho de banda de 20 MHz con una impedancia de entrada de $1\text{ M}\Omega / 47\text{ pF}$. Se desea medir las siguientes tensiones en una resistencia de $10\text{ K}\Omega$:

- Senoidal de $f =$ 1 MHz y 15 Vpp,
- Senoidal de $f =$ 1 GHz y 40 Vpp,
- Senoidal de $f =$ 100 Hz y 10 Vpp,
- Pulso cuadrado $f =$ 2 KHz y 10 Vpp,
- Senoidal de $f =$ 0.25 Hz y 10 Vpp.

Indica las señales que se pueden medir. Para las que se puedan medir, razona si es necesario el empleo de sonda.

Problema 3.11

Se desea medir una señal de 2.5 Hz y 15 Vpp con un osciloscopio. Indica qué modo de acople debe emplearse. Justifica la respuesta.

Problema 3.12

Se desea visualizar una onda senoidal de frecuencia 400 Hz de forma que aparezcan 5 ciclos completos en la pantalla del osciloscopio. Indica la posición del control TIME / DIV y el tipo de acople a emplear.

Problema 3.13

Se desea medir una señal senoidal de 10 MHz de frecuencia con el menor error por carga posible. Se dispone de dos osciloscopios que tienen estas características,

Osciloscopio (a)

- Ancho de banda: 200 MHz ,
- $1\text{ M}\Omega / 47\text{ pF}$,

Osciloscopio (b)

- Ancho de banda: 500 MHz ,
- $1\text{ M}\Omega / 20\text{ pF}$,

Problema 3.14

Dibuja la forma de onda que se observa en la pantalla de un osciloscopio de ancho de banda 20 MHz si se conecta una entrada senoidal pura de 10 Vpp y 20 MHz de frecuencia.

Problema 3.15

Se ajusta un osciloscopio de tal forma que tiene el control VOLT/DIV en la posición de 1 V/DIV y la base de tiempos a 0.1 ms/DIV . Se desea observar una señal senoidal de 3 Vpp y 5 KHz de frecuencia con una componente de continua de -4 V . Dibuja la forma de onda

que se verá en la pantalla empleando los dos modos de acoplamiento. Se supone el nivel de referencia GND ajustado al centro de la pantalla.

Problema 3.16

Si un osciloscopio tiene una impedancia de entrada de $1\text{ M}\Omega / 30\text{ pF}$, calcula el valor que debe tener la R y C de la sonda atenuadora para que la atenuación sea de 100:1.

Problema 3.17

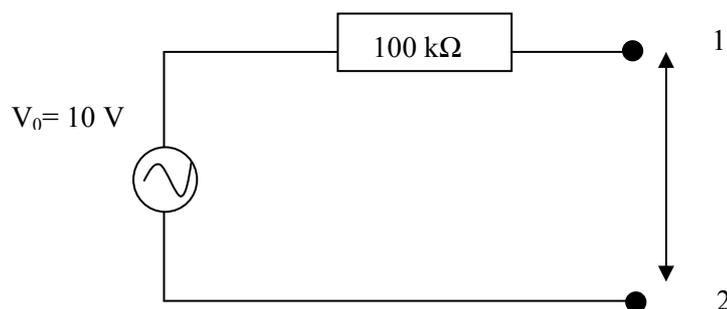
Explica por qué el ancho de banda de un osciloscopio es función del acoplamiento de entrada.

Problema 3.18

Al medir una señal con un osciloscopio aparece en la pantalla 6 ciclos completos y la señal ocupa 6 divisiones de amplitud, de las cuales 4 son positivas y 2 son negativas. Si el control TIME/DIV está a 10 ms/div y el de VOLT/DIV a 2 V/div , indica la frecuencia de la señal, la amplitud de pico a pico, el nivel de continua y el valor eficaz.

Problema 3.19

Se desea medir la tensión en los puntos 1 y 2 con el menor error por carga. Para ello se dispone de una sonda atenuadora de relación 10:1. Calcula el valor medido. La señal del generador es de 1 MHz y el osciloscopio indica $1\text{ M}\Omega / 30\text{ pF}$.



Problema 3.20

Repetir el problema anterior para el caso de que la sonda fuera de relación 20:1.

CAPÍTULO 4

CANAL HORIZONTAL

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

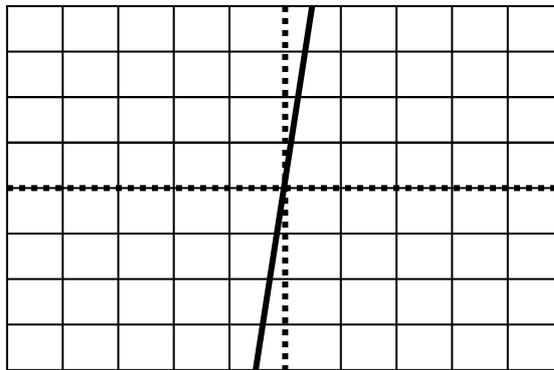
- 4.1 CANAL HORIZONTAL
 - 4.1.1 Modos de trabajo
- 4.2 SEÑAL DE BARRIDO EN EL EJE X
- 4.3 BARRIDO LIBRE
- 4.4 BARRIDO DISPARADO
- 4.5 BASE DE TIEMPOS
- 4.6 SINCRONISMO
 - 4.6.1 Circuitos de sincronismo
 - 4.6.2 Selección del punto de disparo
 - 4.6.2.1 Amplificador diferencial
 - 4.6.2.2 Selección de la pendiente de disparo (SLOPE)
- 4.7 MODOS DE DISPARO: NORMAL Y AUTOMÁTICO
- 4.8 SEÑAL DE SINCRONISMO
 - 4.8.1 Sincronismo interior
 - 4.8.2 Sincronismo exterior
 - 4.8.3 Sincronismo *line*
- 4.9 MODO DE TRABAJO X-Y
- 4.10 AMPLIFICADOR HORIZONTAL
- 4.11 HOLD-OFF
- 4.12 CANAL Z
- 4.13 OSCILOSCOPIOS DE DOS CANALES
 - 4.13.1 Osciloscopios de doble traza
 - 4.13.2 Suma de señales
- 4.14 RESUMEN DEL CAPÍTULO CUARTO
- 4.15 PROBLEMAS RESUELTOS
- 4.16 PROBLEMAS PROPUESTOS

4.2.e. Indicar la tensión continua en bornas de R_1 .

No se puede medir directamente (pues el canal 1 tiene acople AC). La calculamos. Del divisor de tensión,

$$V_{R1} = -V_{R2} \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = +1V$$

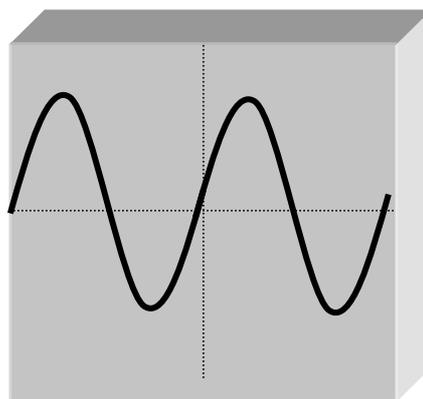
4.2.f. Dibujar en la carátula adjunta la señal que se obtendría en la pantalla si, con el mismo circuito, se coloca la sonda del canal 2 en la posición x10, se invierte el canal 2 y se pasa a acople AC



4.16 PROBLEMAS PROPUESTOS

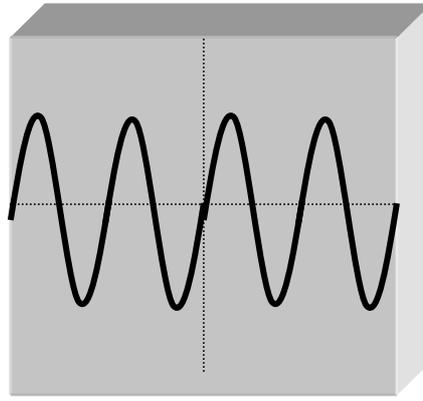
Problema 4.3

Dada la representación en pantalla, dibuja la señal aplicada a las placas verticales y la señal de barrido correspondiente. Detalla en una tabla la composición punto a punto de señales.



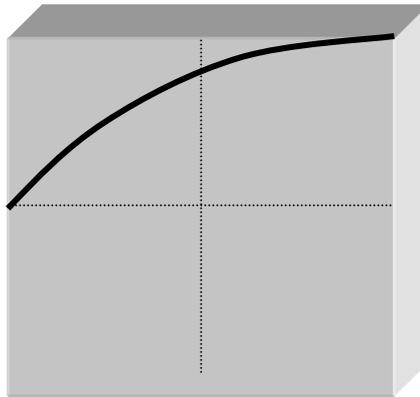
Problema 4.4

Dada la representación en pantalla, dibuja la señal aplicada a las placas verticales y la señal de barrido correspondiente. Detalla en una tabla la composición punto a punto de señales.



Problema 4.5

Dada la representación en pantalla, dibuja la señal aplicada a las placas verticales y la señal de barrido correspondiente.



Problema 4.6

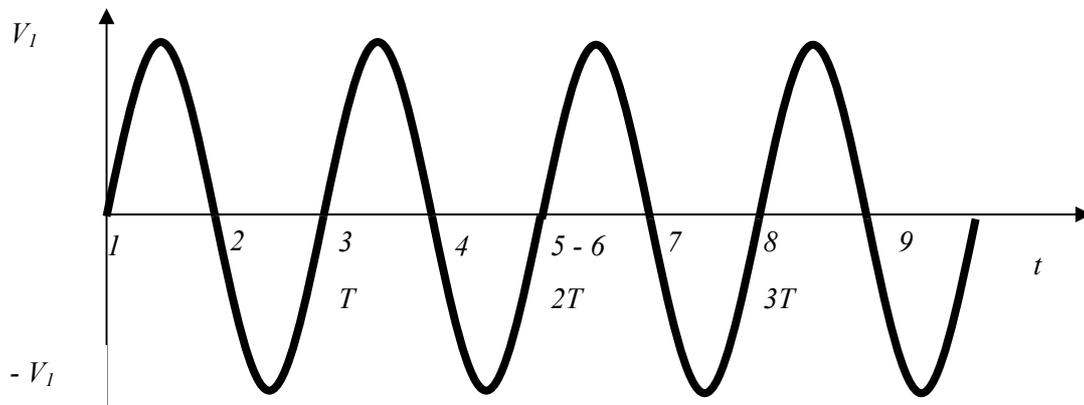
Indica, para los problemas anteriores, si el modo de acople es **DC** o **AC** (se supone que antes de visualizar la señal se colocó la traza en el centro de la pantalla empleando el modo GND). Justifica la respuesta.

Problema 4.7

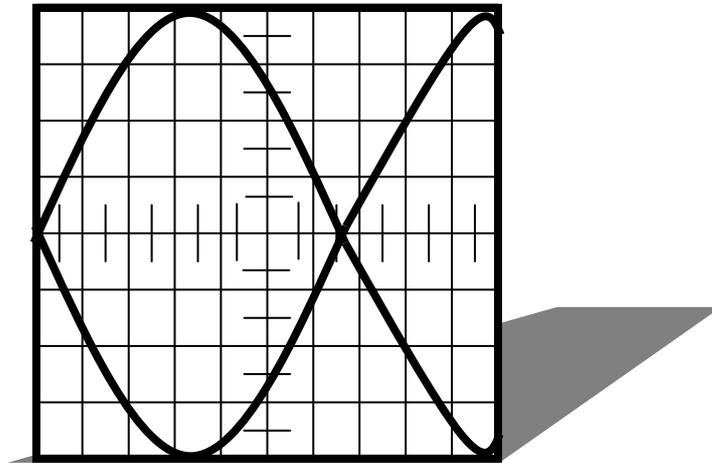
Indica, para los problemas anteriores, el tipo de barrido empleado (libre o disparado). Justifica la respuesta.

Problema 4.8

Si la señal aplicada a las placas verticales es,



y se observa en la pantalla lo siguiente, representa la señal de barrido e indica de qué tipo de barrido se trata (libre o disparado). Justifica la respuesta. Detalla en una pantalla la composición punto a punto. Indica asimismo cuántos barridos se están representando.

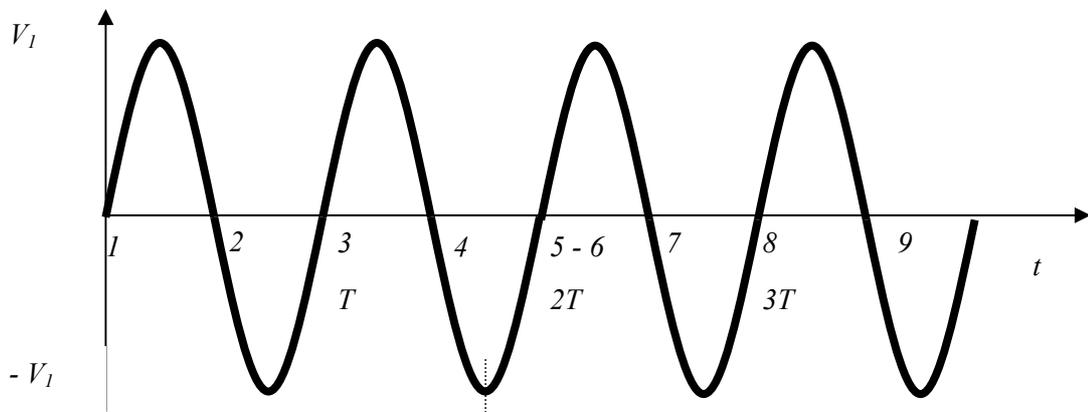


Problema 4.9

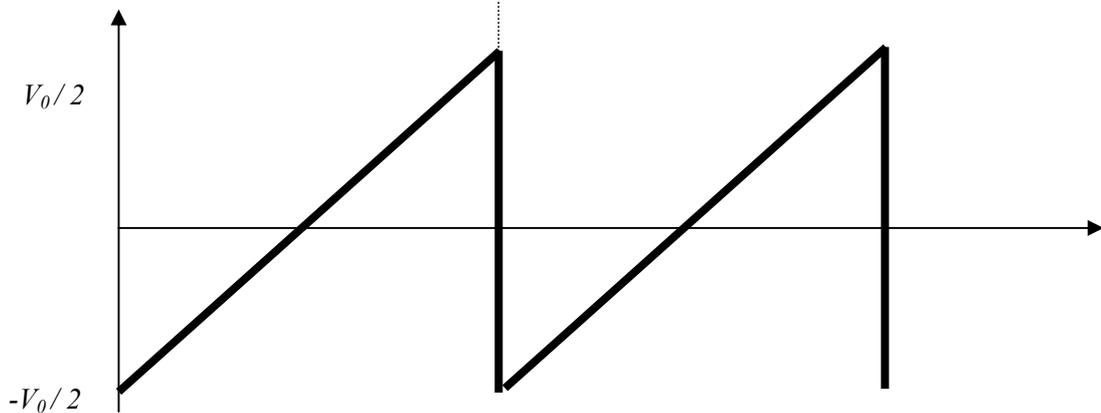
Para el problema anterior, representa lo que se ve en la pantalla en los barridos 3º y 4º.

Problema 4.10

Si la señal aplicada a las placas verticales es,



y la señal de barrido es,



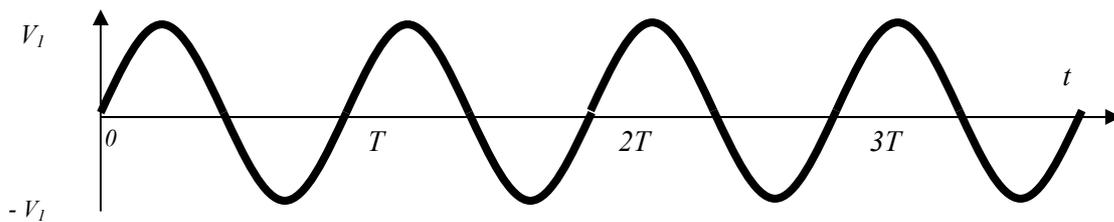
representa la señal que se observa en la pantalla (2 barridos) e indica de qué tipo de barrido se trata (libre o disparado). Justifica la respuesta. Detalla en una pantalla la composición punto a punto.

Problema 4.11

Explica las diferencias que existen entre los tipos de barrido libre y disparado. Representa un caso en el que se observe lo mismo en la pantalla del osciloscopio con los dos tipos de barrido. Justifica la respuesta.

Problema 4.12

Dada la siguiente señal,

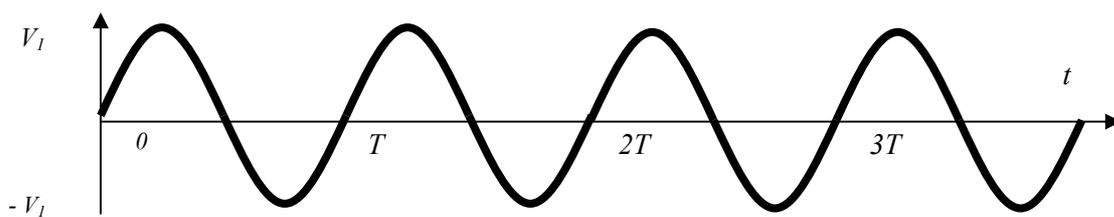


Dibuja la señal de barrido –disparado- necesaria para visualizar e la pantalla

- a) un ciclo completo,
- b) tres ciclos completos,
- c) un ciclo y medio.

Problema 4.13

Dada la siguiente señal, explica la generación del diente de sierra para que se visualicen 2 ciclos completos. Se desea que la señal se vea de forma que aparezca en el extremo izquierdo de la pantalla con pendiente positiva. Para ello debes representar un gráfico como el que aparece en la página 59 del texto de Instrumentación. Indica el valor que debe tener seleccionado el mando LEVEL .

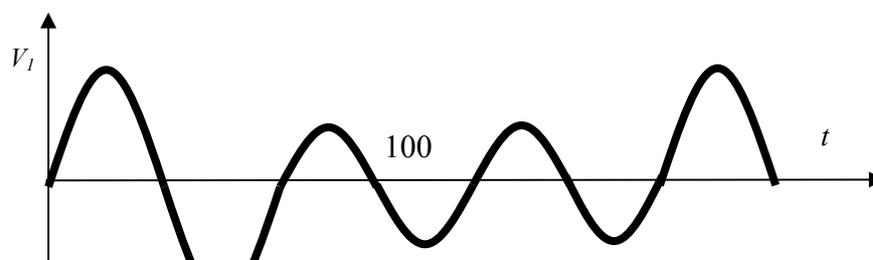


Problema 4.14

Repite el problema anterior pero que la señal comience a verse con pendiente negativa.

Problema 4.15

Se desea observar la siguiente señal en el osciloscopio,



Para ello se selecciona el modo NORMAL y un valor LEVEL superior a V_I . Explica lo que se observa en la pantalla.

Problema 4.16

Repite el problema anterior pero para un valor LEVEL de $V_I / 2$. Representa la que se observa en la pantalla.

Problema 4.17

Repite el problema anterior pero para un valor de LEVEL superior a V_I y modo AUTOMÁTICO.

Problema 4.18

Repite el problema anterior pero para un valor de LEVEL de $V_I / 2$ y modo AUTOMÁTICO.

Problema 4.19

Explica las diferencias que existen entre el modo NORMAL y el modo AUTOMÁTICO. Indica en qué circunstancias se debe emplear el modo NORMAL. Justifica la respuesta.

Problema 4.20

Representa en una gráfica una señal que requiera el empleo del sincronismo EXTERIOR .

Problema 4.21

Se desea observar en la pantalla dos señales A (100 Hz, 5 V_{pp}) y B (100 Hz, 5 V_{pp}). Indica lo que se observa en pantalla si se selecciona,

- a) sincronismo con A,
- b) sincronismo con B,
- c) sincronismo LINE,
- d) sincronismo EXT (no hay señal aplicada).

Problema 4.22

Se desea observar en la pantalla dos señales A (1 KHz, 5 V_{pp}) y B (1 KHz, 5 V_{pp}). Indica lo que se observa en pantalla si se selecciona,

- a) sincronismo con A,
- b) sincronismo con B,
- c) sincronismo LINE,
- d) sincronismo EXT (no hay señal aplicada).

Problema 4.23

Se desea observar en la pantalla dos señales A (1 KHz, 5 V_{pp}) y B (2.5 KHz, 5 V_{pp}). Indica lo que se observa en pantalla si se selecciona,

- a) sincronismo con A,
- b) sincronismo con B,
- c) sincronismo LINE,
- d) sincronismo EXT (no hay señal aplicada).

Problema 4.24

Se desea observar en la pantalla dos señales A (1 KHz, 5 V_{pp}) y B (2.5 KHz, 5 V_{pp}). Indica lo que se observa en pantalla si se selecciona,

- a) sincronismo con A,
- b) sincronismo con B,
- c) sincronismo LINE,
- d) sincronismo EXT (2.5 KHz).

Problema 4.25

Se desea observar en la pantalla dos señales A (1 KHz, 5 V_{pp}) y B (1 KHz, 5 V_{pp}). Indica lo que se observa en pantalla si se selecciona el modo X-Y.

Problema 4.26

Explica la necesidad de disponer del circuito de HOLD-OFF. Acompaña la explicación con las gráficas necesarias.

Problema 4.27

Explica la utilidad del canal Z con un ejemplo.

Problema 4.28

Realiza la composición punto a punto para explicar lo que se observa en pantalla (modo X-Y) si las señales A y B son de la misma frecuencia y el desfase entre ellas es de,

- a) 0°,
- b) 90°,
- c) 180°,
- d) 45°.

Problema 4.29

Indica cómo representa el osciloscopio dos señales con un solo haz. Representa en una gráfica lo que se observa en la pantalla si se visualizan dos señales de la misma frecuencia y,

- a) las dos señales son de frecuencia elevada,
- b) las dos son de baja frecuencia.

CAPÍTULO 5

GENERADOR DE SEÑALES

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

- 5.1 INTRODUCCIÓN**
- 5.2 GENERADOR DE SEÑAL**
- 5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS GENERADORES DE FUNCIONES**
- 5.4 GENERACIÓN DE LA SEÑAL TRIANGULAR**
- 5.5 GENERACIÓN DE LA SEÑAL SENOIDAL**
- 5.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL GENERADOR DE SEÑALES**
- 5.7 PROBLEMAS PROPUESTOS**

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el generador de señal, también denominado generador de funciones, que es el tercero de los equipos básicos de instrumentación presentes en los laboratorios de electrónica.

Este equipo se compone de circuitos electrónicos que no se han estudiado hasta el momento y que no son objeto de la asignatura de Ampliación de Electrónica, es por ello que en este capítulo se describe sólo el circuito básico que genera la señal triangular y la senoidal. A partir de éstas –y con circuitería basada en amplificadores operacionales- se obtiene el resto de señales.

5.2 GENERADOR DE SEÑAL

Se entiende como tal al equipo que genera señales que admiten representación matemática sencilla y que son de empleo común en electrónica. Las formas de ondas mencionadas son,

- señal triangular,
- diente de sierra,
- señal senoidal,
- pulso cuadrado.

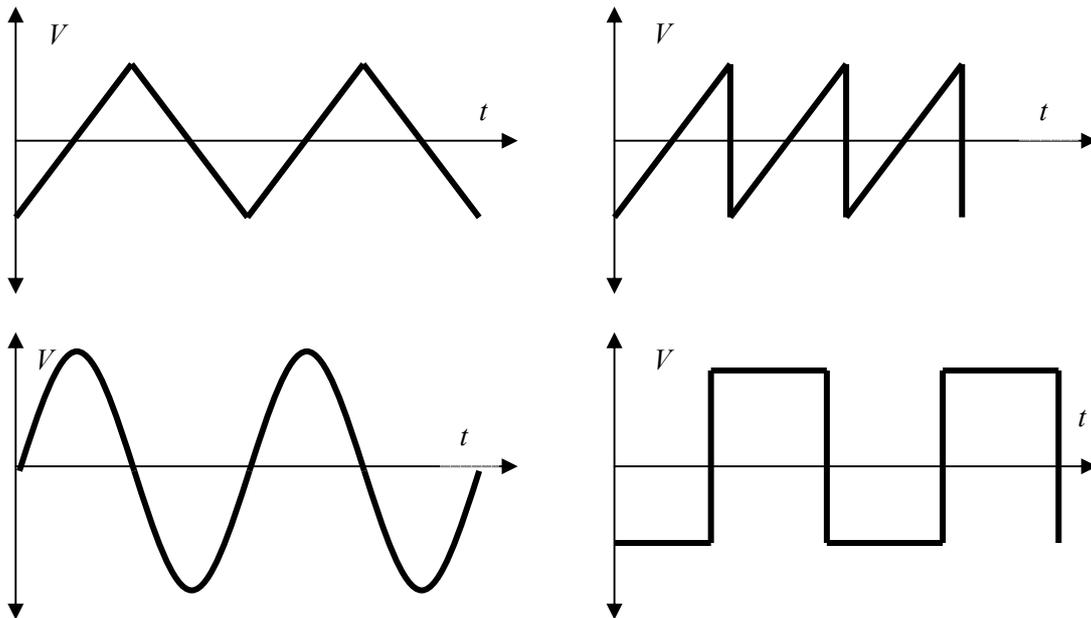


Fig. 5.1. Formas de onda usuales.

Este tipo de señales se emplean en aplicaciones,

- triangular: medidas de nivel de disparo, estudio de linealidad,
- senoidal: respuesta en frecuencia,
- cuadrada: análisis transitorio,
- TTL: circuitos digitales.

Además, estas señales aparecen en toda clase de equipos, desde el diente de sierra del osciloscopio a los impulsos digitales que hacen funcionar a los microcircuitos (*chips*).

5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS GENERADORES DE FUNCIONES

Se suelen clasificar en función de la frecuencia de las señales que permite generar en los diversos tipos,

- generadores de audiofrecuencia: $0.01 \leq f \leq 10 \text{ MHz}$
- generadores de radiofrecuencia: $1 \text{ KHz} \leq f \leq 1 \text{ GHz}$
- generadores de microondas: $f > 1 \text{ GHz}$.

Según esta clasificación el generador del puesto de prácticas es uno del tipo audiofrecuencia, puesto que genera señales de hasta un máximo de 2 MHz.

5.4 GENERACIÓN DE LA SEÑAL TRIANGULAR

La señal fundamental es una onda triangular, que se obtiene cargando y descargando un condensador con corriente constante (ver figura 5.2).

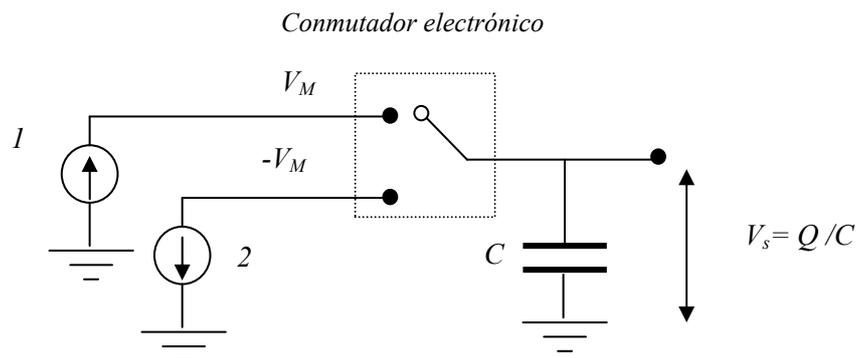


Fig. 5.2. Generación de la señal triangular.

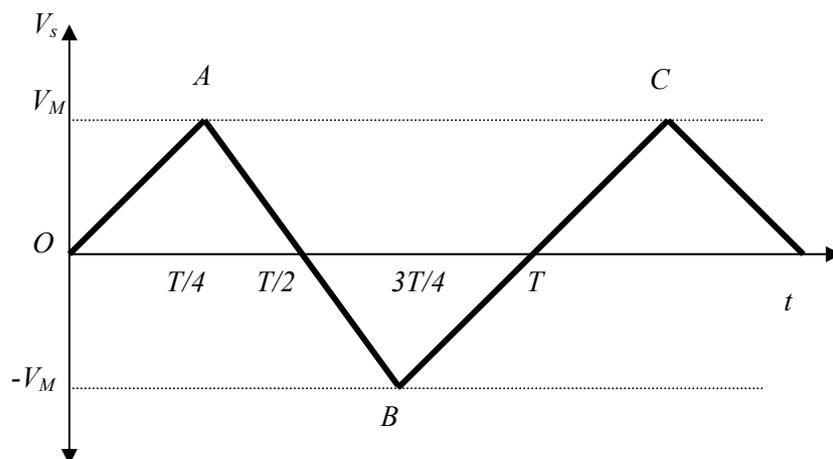


Fig. 5.3. Señal triangular.

El circuito de carga-descarga hace que en las fases de carga, el condensador se cargue a ritmo constante hasta alcanzar la tensión V_M . Cuando se alcanza esta tensión, el conmutador electrónico desconecta el generador 1 y conecta el generador 2, lo que provoca la descarga del condensador hasta la tensión $-V_M$. Este ciclo se repite y la señal de salida, una vez amplificada, es la que se obtiene en las bornas de salida del equipo.

La tensión de salida se calcula de la siguiente forma (recta que pasa por dos puntos),

TRAMO OA:

$$\{5.1\}, V_s = \frac{I \cdot t}{C}, \quad t < T/4, \text{ (carga del condensador)}$$

TRAMO AB:

$$\{5.2\}, V_s = V_M - \frac{I \cdot (t - T/4)}{C}, \quad T/4 < t < 3T/4, \text{ (descarga del condensador)}$$

TRAMO BC:

$$\{5.3\}, V_s = -V_M + \frac{I \cdot (t - 3T/4)}{C}, \quad 3T/4 < t < 5T/4, \text{ (carga del condensador)}$$

Si se elige el período **{5.4}**,

$$T = \frac{4 \cdot C \cdot V_M}{I}, \quad f = 1/T = \frac{I}{4 \cdot C \cdot V_M}$$

A partir de esta expresión se observa que, puesto que el valor de C , es fijo, la frecuencia de la señal se calcula a partir de un valor de tensión, es decir, que cuando se selecciona un valor de frecuencia determinado, se obtiene el valor de V_M necesario para genera la señal a la frecuencia seleccionada.

5.5 GENERACIÓN DE LA SEÑAL SENOIDAL

No se dispone de salida senoidal pura sino que se emplea un circuito recortador –a base de diodos- para conformar la señal. Tal como se ha estudiado en la asignatura de Electrónica, un circuito como el que se presenta en la figura 5.4 recorta a dos niveles la señal triangular introducida.

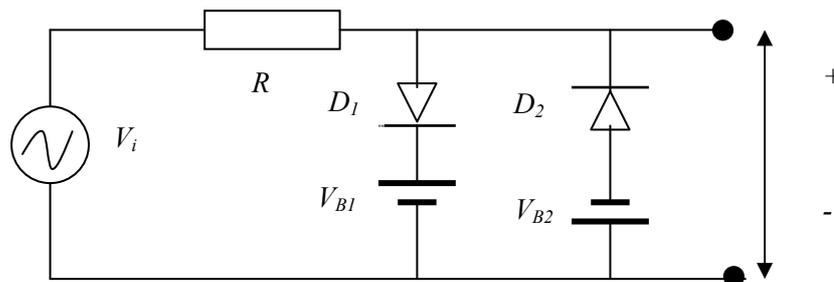


Fig. 5.4. Recortador a dos niveles.

Como se sabe, para este circuito se cumple que los diodos están en estado de conducción (ON) cuando,

- $D1$: ON, cuando, $V_i \geq V_{B1} + 0.7 V$
- $D2$: ON, cuando, $V_i \leq -V_{B2} - 0.7 V$

Entonces, si la señal de entrada es una triangular, la señal de salida queda recortada tal como ilustra la siguiente figura.

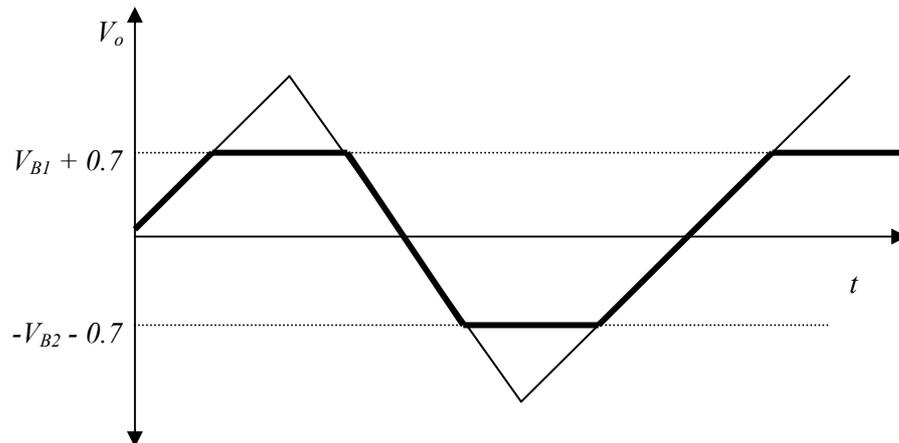


Fig. 5.5. Señal recortada dos niveles.

Si se emplea un circuito que contenga más diodos (típicamente 8 diodos) se puede recortar la señal hasta conseguir darle la forma senoidal (ver figura 5.6). Esta operación se denomina conformación lineal a tramos.

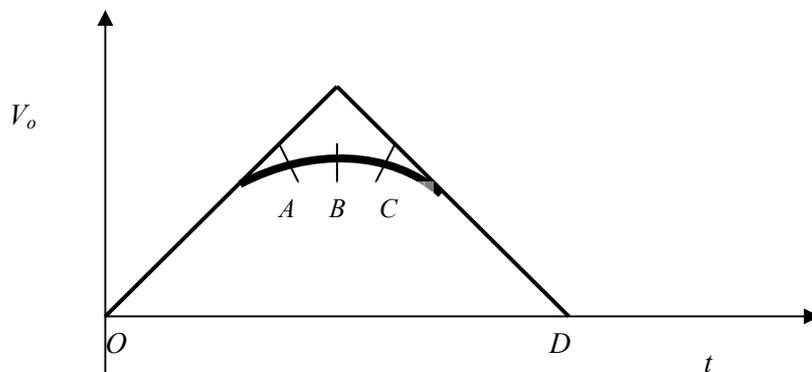


Fig. 5.6. Conformación lineal a tramos.

En esta figura se ha realizado una conformación a base de los tramos, OA, AB, BC y CD. Evidentemente, cuanto mayor es el número de tramos más se asemeja la señal a la forma de onda senoidal. Para obtener la forma de onda cuadrada –de las más complicadas– se requiere el concurso de circuitos basados en el amplificador operacional.

5.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL GENERADOR DE SEÑALES

En la figura 5.7 se muestra el diagrama de bloques de un generador de funciones básico. Como se aprecia, el equipo representado genera las formas de onda usuales. Además, la

mayoría de los generadores incorporan a su vez dos generadores, uno de ellos basados en el concepto de carga-descarga, y que se emplea para obtener señales de alta calidad (triangular y derivadas de ésta). Este generador se denomina principal. El otro generador que incorporan es el secundario que no emplea el mecanismo de carga-descarga sino que usa circuitos de operacionales y osciladores. Con este generador se pueden obtener señales moduladas en amplitud (señal AM), en frecuencia (FM), barridos (SWEEP)

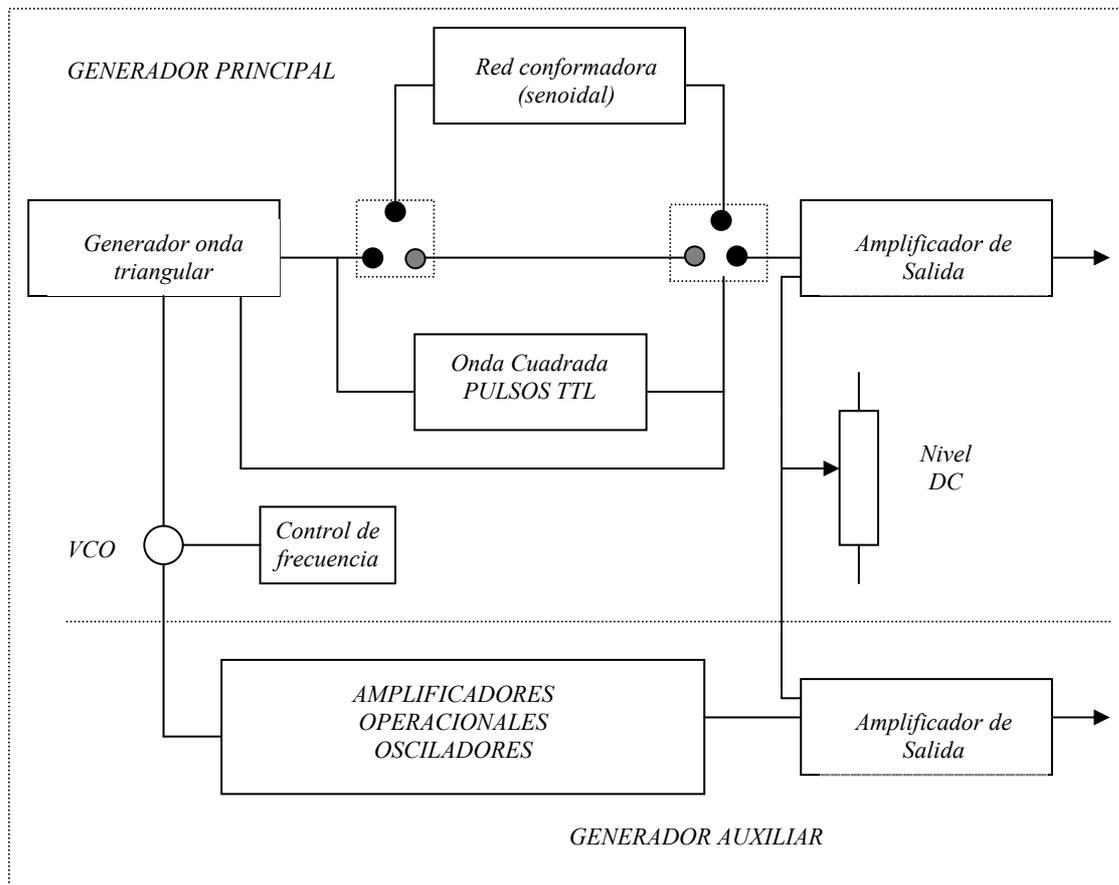


Fig. 5.7. Diagrama de bloques.

Como se observa, el control de frecuencia va conectado a una entrada denominada *VCO* –que se encuentra en el panel posterior del equipo- que permite controlar la frecuencia de la señal a generar. Es de mucha utilidad para aplicaciones en las que se ha de *enganchar* dos generadores.

Por último, se indica que el generador permite que circule a su través una corriente de valor máximo $I_{m\acute{a}x}$ (16 mA para el equipo del puesto de prácticas); esto indica que el generador presenta salida flotante, y que puede conectarse a otro generador (siempre que $I_1 + I_2 < I_{m\acute{a}x}$ permitida).

5.7 PROBLEMAS PROPUESTOS

Problema 5.1

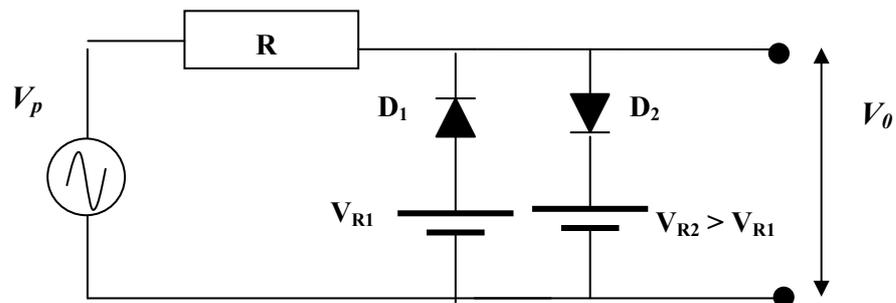
Explica cómo se carga y descarga un condensador de capacidad C a través de una resistencia R . Acompaña la explicación con las gráficas oportunas

Problema 5.2

Explica la generación del diente de sierra en un generador de señal. Si has hecho el problema anterior, ¿por qué la curva que se obtiene tiene la forma triangular?

Problema 5.3

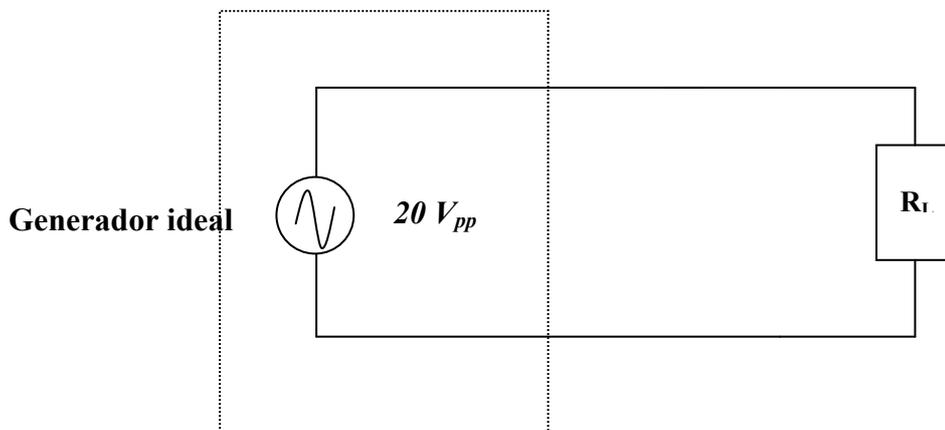
Explica el funcionamiento del siguiente circuito,



Dibuja en una gráfica la forma de onda presente en la salida del circuito.

Problema 5.4

Se desea que en los extremos de una resistencia de 2K exista una señal senoidal de 15 V de amplitud. Se dispone de un generador de señal con impedancia de salida de 600 Ω y tensión máxima de salida de 20 V_{pp} que se conecta según la siguiente figura,



Calcula la tensión real que hay en bornes de la resistencia de carga. ¿Qué valor debe tener la impedancia de salida del generador?. Justifica la respuesta.

Problema 5.5

Indica con un montaje práctico cómo medir la impedancia de salida del generador.

Problema 5.6

Se mide una señal senoidal de $16 V_{pp}$ en bornes de una resistencia de $2K$ (se mide en paralelo). Si el generador de señal indica una amplitud seleccionada de $10 V$, calcular la impedancia interna del equipo.

Problema 5.7

Un generador de señal ($Z_0 = 500 \Omega$) está ajustado sin carga (*en vacío*) y suministra una señal senoidal de 10 voltios y una frecuencia de 2 MHz. Se conecta un osciloscopio ($Z_{in} = 1 M\Omega // 47$ pf) para medir la señal del generador. Calcular el error que se comete en la medida.

Problema 5.8

Repetir el problema anterior pero midiendo con una sonda atenuadora $10:1$.

CAPÍTULO 6

FUENTE DE ALIMENTACIÓN

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

- 6.1 INTRODUCCIÓN**
- 6.2 CONCEPTO DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN**
- 6.3 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN**
 - 6.3.1 Fuente no regulada electrónicamente**
 - 6.3.2 Fuente regulada electrónicamente**
 - 6.3.2.1 Circuito regulador serie**
 - 6.3.2.2 Limitaciones de las fuentes reguladas electrónicamente**
- 6.4 FUENTE DE CORRIENTE**
- 6.5 ASOCIACIÓN DE FUENTES**
- 6.6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN**
 - 6.6.1 Regulación por carga**
 - 6.6.2 Rizado y ruido**
- 6.7 PROBLEMAS PROPUESTOS**

lo cual indica que la tensión de salida V_3 queda fijada al valor {6.4},

$$V_3 = V_{ref} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Por lo tanto, la tensión de salida V_3 se puede fijar o bien variando la tensión de referencia V_{ref} o la relación $(R_1 + R_2 / R_2)$, siendo lo primero el método habitual de control de la tensión de salida de las fuentes de alimentación de los laboratorios. Es ésta tensión de referencia la que se selecciona a través del mando de control de la fuente.

Hemos visto cómo se ha conseguido el objetivo perseguido de disponer de una tensión de salida constante; a continuación se presentan las limitaciones que conlleva el diseño de la fuente regulada electrónicamente.

6.3.2.2 Limitaciones de las fuentes reguladas electrónicamente

Tras lo expuesto en el apartado anterior, se podría pensar que la fuente puede suministrar cualquier tensión sin más que variando V_{ref} o la relación $(R_1 + R_2 / R_2)$ y así ser capaz de dar cualquier corriente a una carga conectada a su salida.

Sin embargo, el elemento de control sólo permite el paso de corriente en un sentido, pudiendo suministrar corriente sólo del terminal positivo al negativo. Por ejemplo, una fuente regulada electrónicamente según la disposición del circuito de la figura 6.7 no es posible (la fuente F_1 debería absorber 100 mA por el terminal positivo!).

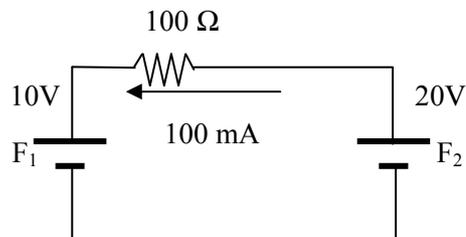


Fig. 6.7. F_1 no puede ser una fuente regulada electrónicamente.

Esta es una importante limitación y con la que se debe tener una especial cuidado a la hora de realizar los montajes!

Aparte de ésta, existen dos limitaciones más, una de ellas nos limita la tensión máxima $V_3 \text{ máx}$ que puede suministrar la fuente. Ello es debido a que de no ser así, el regulador electrónico no funcionaría tal como se ha descrito. Del diseño se sigue que la tensión V_3 satisface la relación {6.5},

$$V_3 > 0, \text{ y } V_3 < V_1$$

La segunda limitación se debe a que la potencia disipada en el elemento de control (transistor o conjunto de transistores), no puede sobrepasar un cierto valor o de lo contrario se destruye (se quema!). Por consiguiente, la fuente indica en sus especificaciones un valor máximo de potencia a disipar. Podemos resumir estas limitaciones de la siguiente forma,

- sólo puede dar corriente en un sentido (la corriente sale del terminal positivo y entra en el negativo),
- existe un valor máximo de tensión de salida ($V_{m\acute{a}x}$),
- existe una potencia máxima de salida (o lo que es equivalente una corriente de salida máxima ($I_{m\acute{a}x}$)).

De estas tres limitaciones, la primera y la segunda son debidas al diseño de la fuente, y se presentan al tratar de utilizar la fuente en condiciones que sobrepasen estas limitaciones; es decir, la fuente no puede funcionar en esas circunstancias. Sin embargo, la tercera limitación no avisa y hasta que el elemento activo no se destruye la fuente sigue funcionando, es por ello que se precisa introducir alguna modificación en el diseño para limitar la máxima corriente suministrada por la fuente. Este aspecto se discute a continuación.

6.4 FUENTE DE CORRIENTE

La forma más sencilla de limitar la corriente suministrada es utilizar un sensor de corriente, es decir, un elemento que *avise* mediante una tensión proporcional a la corriente de salida y que una vez que la corriente sea igual a un valor prefijado de antemano, la corriente de salida sea constante. En ese momento, el elemento activo deja de estar controlado por la diferencia entre la tensión de salida y la de referencia y pasa a estar controlado por la diferencia entre la salida del sensor y un valor prefijado de tensión.

¿ Qué sensor podemos emplear ?. El más sencillo consiste en una simple resistencia (ver figura 6.8)

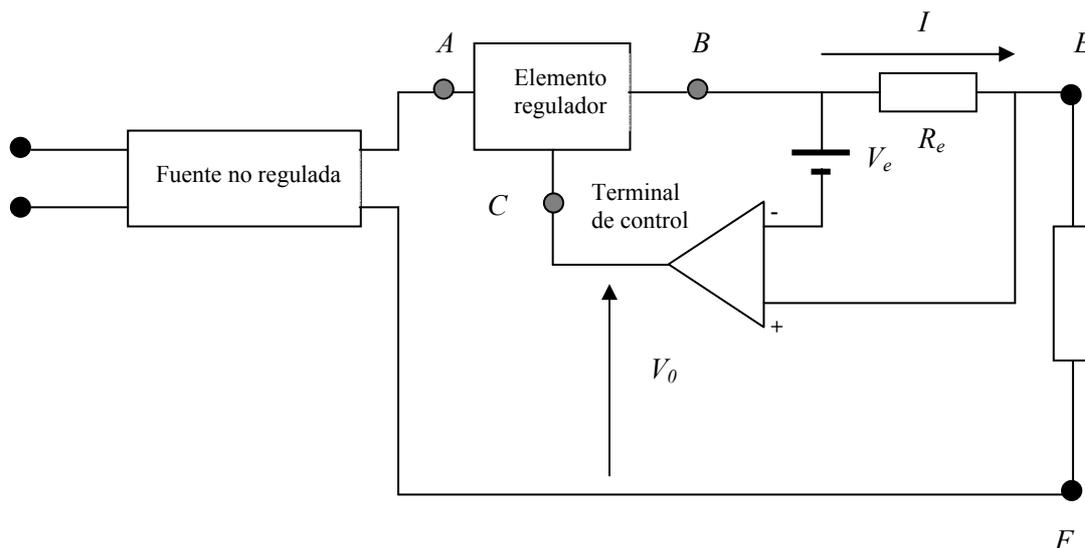


Fig. 6.8. Generador de corriente.

Veamos cómo funciona este circuito. Cuando suministra una corriente I produce una caída de tensión $V_r = I R_e$ en la resistencia *sensor*. La tensión de control en el terminal C viene dada por {6.6},

$$V_0 = K \cdot (V_e - I R_e)$$

si la ganancia K del amplificador es muy grande, entonces {6.7},

$$\frac{V_0}{K} \approx 0 = V_e - I R_e \Rightarrow I \approx \frac{V_e}{R_e}$$

es decir, que se ha logrado obtener una fuente de corriente, cuyo valor suministrado I , puede modificarse variando V_e o R_e , siendo la habitual lo primero en las fuentes de laboratorio. Para ello las fuentes disponen de un control accesible desde el exterior para limitar el valor de la corriente suministrada al circuito (ver figura 6.9).

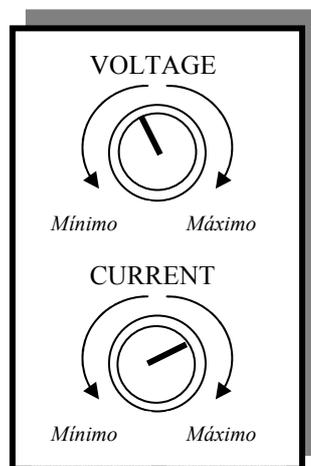


Fig. 6.9. Mandos de control de la fuente del laboratorio.

Una fuente de alimentación de laboratorio regulada electrónicamente (hoy día todas lo son), se comporta como una fuente de tensión regulada entre ciertos valores (0 y 20 V la fuente del puesto de prácticas), pasando a comportarse como una fuente de corriente cuando la corriente que le pide la carga para mantener la tensión es superior a la limitación de la fuente.

En la práctica de laboratorio se explica cómo se debe regular la fuente para cada situación (fuente de tensión y fuente de corriente).

Para compaginar esta forma de funcionamiento con la explicada anteriormente, el diseño completo de la fuente tiene la forma que se muestra en la figura 6.10, donde un conmutador electrónico realiza el cambio de un modo de funcionamiento a otro en función de la tensión de salida de los amplificadores operacionales. Nótese que este circuito no es más que uno que contiene a los dos anteriormente estudiados.

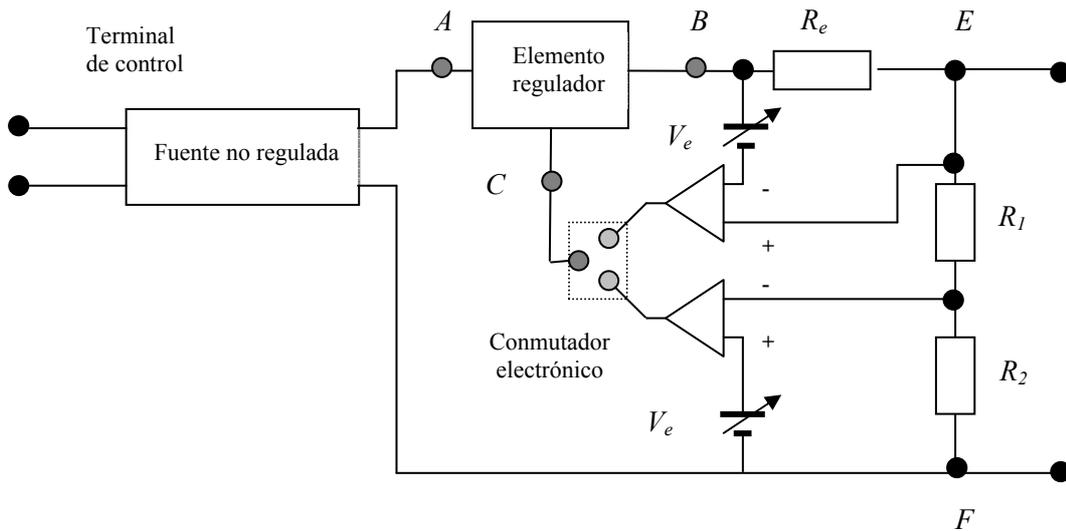


Fig. 6.10. Regulador electrónico: tensión y corriente.

Las fuentes de los laboratorios suelen incorporar un indicador (diodo *LED*) que se enciende para indicar que la fuente está operando en modo de generador de corriente. En la fuente del puesto de prácticas este indicador lleva la leyenda **OVERLOAD**.

6.5 ASOCIACIÓN DE FUENTES

Como es bien sabido, existen dos formas de asociar dos fuentes: serie y paralelo. La asociación de fuentes en serie (ver figura 6.11) satisface las siguientes propiedades,

- tensión de salida: $V_0 = V_1 + V_2$
- corriente de salida: $I_0 = I_1 = I_2$

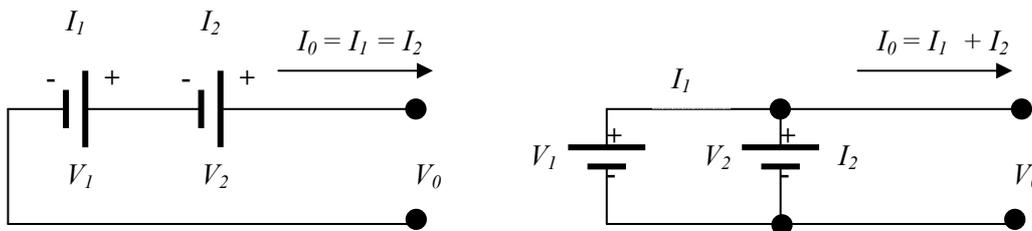


Fig. 6.11. Asociación de fuentes.

La asociación de fuentes en paralelo satisface las siguientes propiedades,

- tensión de salida: $V_0 = V_1 = V_2$
- corriente de salida: $I_0 = I_1 + I_2$

Las fuente de alimentación, por lo general, dispone de al menos dos salidas (fuente A y fuente B) que pueden conectarse en serie o en paralelo. La fuente del laboratorio dispone realmente de tres salidas independientes,

- una de tensión fija a 5 voltios,
- dos de tensión variable en el rango de 0 a 20 voltios.

(La salida de 5 voltios es de uso muy común en aplicaciones digitales, y debes emplearla para estos casos (no tomarla de las otras salidas!). Cuando se requiera alimentar un circuito con una tensión superior a 20 voltios, las fuentes independientes debes conectarlas en serie ($V_0 = V_1 + V_2$). Para ello existen dos posibilidades,

- conectarlas exteriormente (mediante conectores a través de las bornas),
- interiormente (mediante un control que aparece en el panel frontal que indica **PARALLEL**).

Para aplicaciones donde se precisa disponer las fuentes independientes en serie también puede realizarse la conexión de forma exterior (*cableando* a través de los conectores) o bien mediante el control que aparece en el frontal (**SERIES**). Se aconseja que para ambas aplicaciones (serie, paralelo), emplees la conexión interna (es más sencilla y elimina cables que pueden inducir a errores en el montaje). Asimismo, conviene saber que las fuentes independientes pueden conectarse en modo *flotante*, es decir, sin masa común, o referidas a masa (a tierra). Para ello, la fuente incluye una toma (**GND**) que va unida eléctricamente a la masa del equipo (y a la masa de la instalación eléctrica de la red). Es conveniente trabajar con tensiones referidas a la masa del equipo. Las múltiples formas de obtener tensiones (positivas, negativas, flotantes o referidas a masa) se estudian en las prácticas.

6.6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Por último vamos a considerar algunos aspectos que hacen que la fuente de alimentación regulada se aparte ligeramente del modelo ideal que se ha estudiado en este capítulo. Debido a que el regulador no es ideal, la tensión continua de salida depende –aunque en pequeña cuantía– de la corriente que la fuente está suministrando a la carga y aparece una pequeña componente de rizado. Además, la salida puede variar con las fluctuaciones de la tensión de alimentación (alimentación de la red). Por ello se emplean los siguientes parámetros para caracterizar la fuente (destacamos los más relevantes).

6.6.1 Regulación por carga

Se define como la variación relativa de la tensión de salida al pasar de vacío (sin carga) a estar cargada por una corriente (se supone la máxima) {6.8},

$$R.C. = \frac{V_{sal}(0 \text{ amperios}) - V_{sal}(I \text{ máxima})}{V_{sal}(0 \text{ amperios})} \times 100$$

6.6.2 Rizado y ruido

Es el voltaje alterno residual que aparece a la salida de la fuente. La frecuencia del rizado es múltiplo entero de la frecuencia de red y el ruido será cualquier otra componente alterna que no sea rizado. El coeficiente de rizado viene dado por {6.9},

$$C.Rizado = \frac{\text{Valor eficaz de la señal de rizado}}{\text{Valor medio de la salida (componente continua)}} \times 100$$

6.7 PROBLEMAS PROPUESTOS

Problema 6.1

Se dispone de una fuente de alimentación que está ajustada de tal forma que suministra una tensión de 10 voltios sin carga en sus bornes. Seguidamente se le conecta una resistencia de 100Ω , midiéndose en bornes de dicha resistencia una tensión de 5 voltios. Indica a qué se debe esta disminución de la tensión. Estima el valor de la limitación de corriente.

Problema 6.2

Se dispone de una fuente de alimentación con resistencia interna de 0.50Ω . Los valores de tensión e intensidad máxima ($V_{\text{máx}}$, $I_{\text{máx}}$) son 30 voltios y 1 amperio. Calcula el porcentaje máximo de variación de la tensión de salida en función de la carga.

Problema 6.3

Se quiere alimentar un circuito que consume 1.5 A a la tensión de 24 V. Para ello se dispone de fuentes de alimentación de 6 V que pueden proporcionar una corriente máxima de 0.5 A. Indica la conexión que se ha de establecer entre las fuentes (y cuántas necesitas).

Problema 6.4

Se dispone de tres fuentes de alimentación con las siguientes características técnicas,

- a) $V_{\text{salida}}: 0 - 15 \text{ V}$
 $I_{\text{máx}} : 5 \text{ A.}$
- b) $V_{\text{salida}}: 0 - 20 \text{ V}$
 $I_{\text{máx}} : 0.5 \text{ A.}$
- c) $V_{\text{salida}}: 5 \text{ V}$
 $I_{\text{máx}} : 3 \text{ A.}$

Indica cómo deben conectarse para conseguir,

- 1) $V_{\text{salida}} : 44 \text{ V, } I_{\text{máx}} : 0.1 \text{ A}$
- 2) $V_{\text{salida}} : 20 \text{ V, } I_{\text{máx}} : 3 \text{ A}$

Problema 6.5

Una fuente de alimentación tiene las siguientes características técnicas,

$V_{\text{salida}} : 0 - 20 \text{ voltios,}$
 $I_{\text{máx}}: 1 \text{ A (no regulable)}$
 $V_{\text{rizado}}: 200 \text{ mVef.}$

Se pide que calcules lo siguiente,

- a) ¿ Cuántas fuentes necesitas para alimentar un circuito a 32 V y 1.8 A de consumo?
- b) Estima el valor de la tensión de rizado en V_{pp} cuando se selecciona una tensión de salida de 18 V.
- c) ¿Se puede limitar la $I_{\text{máx}}$ al valor de 0.75 A ?.

Problema 6.6

Una fuente de alimentación presenta las siguientes características,

$V_{\text{salida}} : 0 - 40$ voltios,

$I_{\text{máx}} : 1$ A,

$V_{\text{rizado}} : \leq 10$ mVef.

Regulación por carga: $\pm 0.2 \% + 2$ mV

Si se regula a la tensión de 30 voltios y se le conecta una carga de 10Ω , calcula el valor máximo y mínimo que puede alcanzar la intensidad.

Problema 6.7

Se dispone de dos fuentes de alimentación con las siguientes características técnicas,

FUENTE A:

a) $V_{\text{máx}} : 5$ voltios,

b) $I_{\text{máx}} : 1$ amperio,

c) Regulación por carga: $0.1 \% + 5$ mV

FUENTE B:

d) $V_{\text{máx}} : 20$ voltios,

e) $I_{\text{máx}} : 0.5$ amperios,

f) Regulación por carga: $0.1 \% + 3$ mV

Se desea obtener una tensión de salida de 24 V para alimentar una carga de 12Ω ; indica el mínimo número de fuentes de cada tipo y su conexión. Sobre este circuito, indica la variación máxima de tensión que se produce en la carga debido al efecto de regulación por carga.

Problema 6.8

Explica si se pueden cortocircuitar los terminales positivo y negativo de una fuente de alimentación. Si así fuera, ¿cómo es posible que no circule una corriente infinita por los cables?

Problema 6.9

Razona cómo debe ser el valor de la impedancia interna de la fuente de alimentación (¿muy grande?, ¿muy pequeño?).

Problema 6.10

Idea una forma de medir el valor de la impedancia interna de la fuente.

Problema 6.11

Cuando una fuente de alimentación se conecta a un circuito donde hay presente señal (alterna), ésta puede introducirse por los terminales de la fuente y entonces alterar el valor de la tensión continua presente en sus bornes (sumándose a la tensión continua que suministra la fuente). Explica cuál debe ser el valor de la impedancia que presenta la fuente para la señal (se supone la fuente en modo de tensión).

CAPÍTULO 7

POLÍMETRO ANALÓGICO

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

- 7.1 INTRODUCCIÓN**
- 7.2 POLÍMETRO ANALÓGICO**
- 7.3 GALVANÓMETRO DE D'ARSONVAL**
 - 7.3.1 Corriente a fondo de escala y resistencia crítica**
 - 7.3.2 Error de calibrado**
- 7.4 SHUNT ELEMENTAL: AMPERÍMETRO**
- 7.5 VOLTÍMETRO DE CONTINUA**
 - 7.5.1 Resistencia de entrada y sensibilidad**
- 7.6 ERROR DE CARGA DEBIDO AL AMPERÍMETRO/VOLTÍMETRO**
- 7.7 ÓHMETRO SERIE**
 - 7.7.1 Error en la lectura**
- 7.8 VOLTÍMETRO DE ALTERNA**
- 7.9 PROBLEMAS PROPUESTOS**

7.1 INTRODUCCIÓN

Se entiende como medidor analógico a aquel equipo que muestra el valor de la medida efectuada dentro de un rango de valores continuos. Por ejemplo, el osciloscopio del puesto de prácticas nos muestra lecturas analógicas de las señales que observamos, o el polímetro analógico.

Un medidor digital es aquél equipo que muestra el valor de la medida en valores discretos. Por ejemplo, el polímetro digital del puesto de prácticas.

Por lo general, los equipos analógicos muestran la medida según la deflexión de una aguja o una indicación luminosa en una escala. Sin embargo, los equipos digitales emplean una pantalla para indicar la lectura. Los equipos digitales facilitan la lectura, sobre todo cuando hay de por medio cambios de escala, además, se pueden conectar a ordenadores y de esta forma automatizar las medidas. Actualmente, la instrumentación existente en los laboratorios modernos disponen de equipos completamente digitales.

En este capítulo estudiaremos el equipo básico de medidas de corrientes, tensiones y resistencias. Se estudia el polímetro analógico en tanto que su funcionamiento resulta sencillo de entender para los alumnos de este curso. Además, el alumno realizará en prácticas el montaje de un polímetro analógico.

Un acercamiento a los equipos digitales no es posible en este 1º curso ya que se precisa de conocimientos a recibir en 2º curso. A continuación pasamos a definir unos conceptos fundamentales.

7.2 POLÍMETRO ANALÓGICO

Un polímetro (poli-metro) es un equipo que permite realizar múltiples medidas (*poli* significa muchas y *metro* medir). Las múltiples posibilidades que incorpora un polímetro analógico son, por lo general,

- medida de intensidades,
- medida de tensiones,
- medida de resistencias.

Los equipos digitales suelen incorporar además más funciones, como medida de frecuencias, ganancias de transistores, temperatura...

El equipo empleado para medir la intensidad de la corriente que circula por un circuito se denomina amperímetro. El equivalente para medir tensiones es el denominado voltímetro y el óhmetro se emplea para medir resistencias. Por lo tanto, el polímetro analógico básico incorpora un amperímetro, un voltímetro y un óhmetro.

Además, el polímetro analógico que se estudia permite tanto la lectura de valores continuos como de alternos (DC y AC) para señales sinusoidales (veremos cómo se miden señales alternas no sinusoidales al final de este capítulo).

¿Cómo se realizan las medidas? La medida de resistencias, corrientes y tensiones, tanto en alterna como en continua, se efectúa con un mismo medidor básico, el

denominado galvanómetro de D'Arsonval. Según se midan tensiones, intensidades o resistencias, se modifica el circuito pero se emplea el mismo instrumento.

7.3 GALVANÓMETRO DE D'ARSONVAL

El medidor básico más ampliamente empleado en los polímetros comerciales es el de tipo D'Arsonval, es decir, de bobina móvil-imán permanente. (ver figura). Este es el mismo que emplearás en las prácticas.

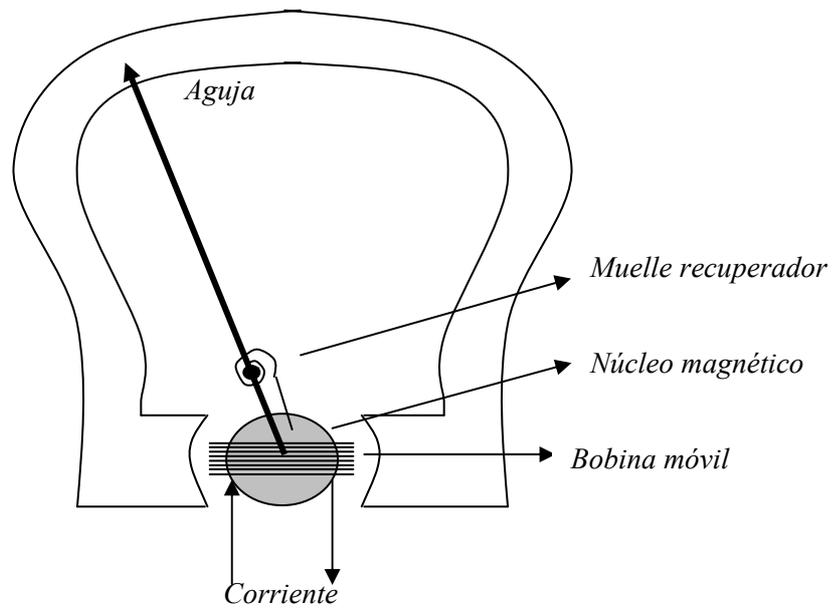


Fig. 7.1. Galvanómetro de D'Arsonval

Este medidor produce un giro en una aguja móvil proporcional –dentro de unas limitaciones- a la corriente continua que circula por el aparato. La corriente medida atraviesa una bobina que puede girar dentro de un campo magnético permanente. Cuando circula la corriente se origina un par de fuerzas que tiende a hacer girar la bobina y al que se opone una fuerza ocasionada por el resorte. Cuando los dos pares se igualan se llega a un equilibrio en el que la bobina ha girado un cierto ángulo –deflexión- proporcional a la corriente que se mide. La bobina está unida a una aguja que indica la lectura sobre una escala graduada. Un sencillo cálculo permite obtener la relación de proporcionalidad entre la corriente y el ángulo girado {7.1},

$$I = K \cdot \theta$$

donde K se denomina la constante del galvanómetro, que depende del número de espiras de la bobina, su tamaño y de la intensidad del campo magnético. De forma similar a la que ocurre en el osciloscopio, interesa que la constante del aparato, K , sea lo más pequeña posible, para obtener la máxima deflexión con valores pequeños de corriente {7.2},

$$\theta = I/K, \text{ si } K \text{ es muy pequeña, } \theta \text{ se hace muy grande}$$

7.3.1 Corriente a fondo de escala y resistencia interna

Un parámetro característico de un galvanómetro lo constituye la corriente a fondo de escala, que indica la corriente que debe circular por el aparato para que la aguja logre su máxima deflexión. El valor típico de esta corriente es de 50-100-200 μA . Este valor suele venir indicado en la carátula del galvanómetro, y si no aparece, con la ayuda de la fuente de alimentación se obtiene directamente.

El otro parámetro básico es el valor de la resistencia interna, debida a la resistencia del hilo que forma la bobina. El valor de ésta es del orden de 2 $\text{K}\Omega$, y se obtiene fácilmente a partir de la relación {7.3},

$$R_m = \frac{V_{fe}}{I_{fe}}$$

donde V_{fe} es la tensión a fondo de escala, que es la tensión en las bornas del galvanómetro cuando circula por el mismo la corriente máxima.

El modelo del galvanómetro debe incluir la resistencia interna, y cuando en un circuito exista un galvanómetro, debemos reemplazarlo por el modelo que aparece en la figura siguiente.

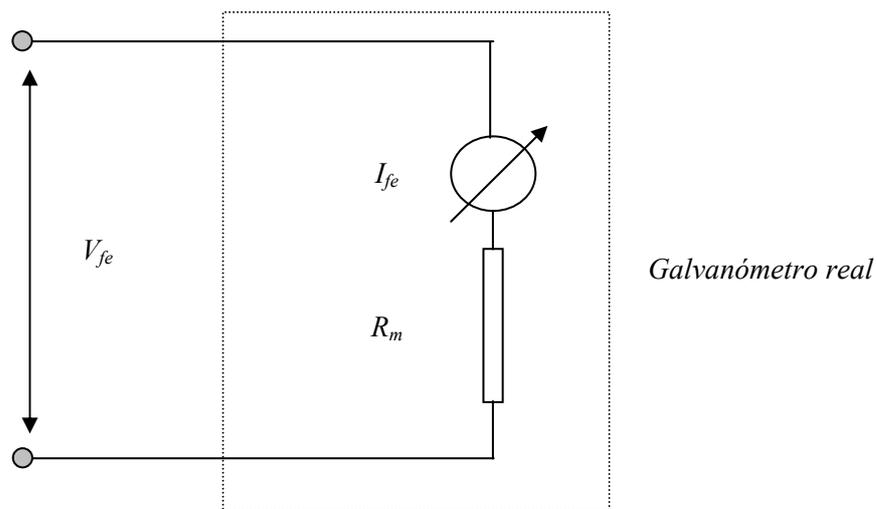


Fig. 7.2. Modelo eléctrico del galvanómetro real.

7.3.2 Error de calibrado

Hasta ahora se ha supuesto que el galvanómetro cumple exactamente la ley de deflexión, es decir, que la corriente y el ángulo desviado son exactamente proporcionales.

Sin embargo, debido a razones de índole mecánico y de no uniformidad del campo magnético, la relación de proporcionalidad se desvía del modelo ideal; por lo que se cometerá un error en la medida. Al estar la escala graduada para el caso ideal, se comete, en cada medida, un error denominado de calibrado.

Los fabricantes suelen indicar dicho error en forma de tanto por ciento del valor de la corriente a fondo de escala, indicando con ello que el error de calibrado cometido al

medir es como máximo dicho valor. Por ejemplo, si el aparato es de $100 \mu\text{A}$ a fondo de escala y el error es de $\pm 2\% I_{fe}$, ello indica que la corriente real que circula por el aparato es la corriente medida $\pm 2 \mu\text{A}$.

El error de calibrado es un error absoluto –se mantiene constante para cualquier corriente medida-, con lo que el error relativo se hace mayor a medida que se miden valores más alejados del fondo de escala. Por ello es recomendable medir lo más cerca posible del fondo de escala. Veamos con un ejemplo la importancia que tiene este error.

EJEMPLO 7.1:

Determinar entre qué valores está comprendida la corriente y el error relativo cometido cuando en un galvanómetro de $50 \mu\text{A}$ a fondo de escala y error de calibrado de $\pm 2\% I_{fe}$, el valor leído es de,

- a) $40 \mu\text{A}$.
- b) $20 \mu\text{A}$.
- c) $2 \mu\text{A}$.

SOLUCIÓN:

El error absoluto en corriente es el 2% de $50 \mu\text{A}$, es decir, $\pm 1 \mu\text{A}$. Con este dato,

- a) *la corriente real está comprendida entre 39 y $41 \mu\text{A}$. EL error relativo es de $\pm 2.5\%$*
- b) *la corriente real está comprendida entre 19 y $21 \mu\text{A}$. EL error relativo es de $\pm 5\%$*
- c) *la corriente real está comprendida entre 1 y $3 \mu\text{A}$. EL error relativo es de $\pm 50\%$!*

Los valores típicos del error de calibrado en los galvanómetros convencionales utilizados en los polímetros están comprendidos entre $\pm 1\%$ y $\pm 3\%$ del valor a fondo de escala.

7.4 SHUNT ELEMENTAL: AMPERÍMETRO

El galvanómetro tiene un valor de corriente a fondo de escala del orden de 1 mA , entonces, ¿cómo se pueden medir intensidades superiores a este valor sin que el galvanómetro se rompa?

Para ello basta colocar un *shunt* o resistencia en paralelo en bornas del galvanómetro de forma que derive parte de la corriente total. La corriente que pasa por el galvanómetro será proporcional a la corriente total, de forma que conociendo R_p ¹ y R_m (ver figura 7.3), se puede conocer la corriente que circula a partir de la deflexión de la aguja; variando el valor de R_p se pueden obtener distintas escalas, construyéndose así un medidor de corrientes o amperímetro.

¹ R_p hace referencia a que se dispone esta resistencia en paralelo con el galvanómetro.

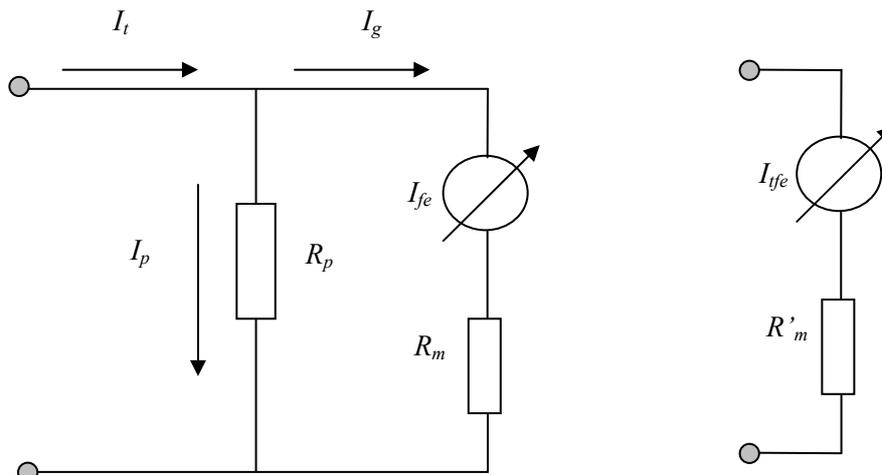


Fig. 7.3. Amperímetro a partir del galvanómetro.

A partir de la figura se entiende que {7.4},

$$I_t \cdot (R_p // R_m) = I_g \cdot R_m$$

y {7.5},

$$I_t = \frac{R_p + R_m}{R_p} \cdot I_g$$

Para conseguir deflexión a fondo de escala cuando circule una determinada corriente total, habrá que tomar R_p de forma que cumpla {7.6},

$$I_{tfe} = \frac{R_p + R_m}{R_p} \cdot I_{gfe}$$

despejando se obtiene {7.7},

$$R_p = \frac{I_{gfe}}{I_{tfe} - I_{gfe}} \cdot R_m$$

El circuito de la figura 7.3 (izquierda) es totalmente equivalente a un nuevo amperímetro de corriente a fondo de escala I_{tfe} y resistencia interna R'_m (figura de la derecha).

Cuando se requiera medir valores de corrientes muy distintos en valor se precisa disponer de varias escalas. Estas escalas se implementan fácilmente a partir de resistencias cuyo valor se obtiene de la misma forma que se explicó arriba (ver figura 7.4).

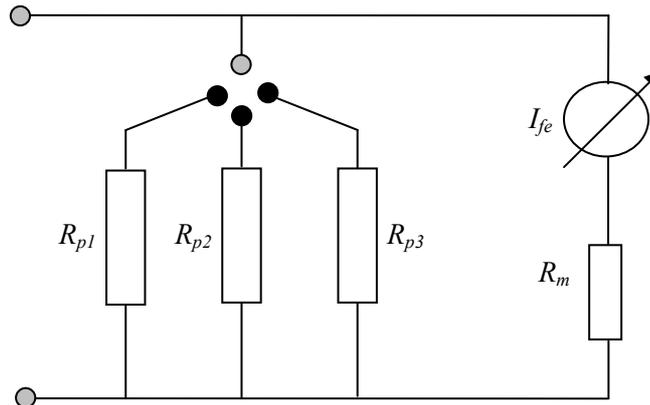


Fig. 7.4. Amperímetro con tres escalas.

7.5 VOLTÍMETRO DE CONTINUA

Se puede disponer de un voltímetro a partir del galvanómetro aprovechando el hecho de que en la resistencia interna del galvanómetro, R_m , siempre hay una caída de tensión proporcional a la corriente que circula por el mismo. Por consiguiente, puede utilizarse directamente un galvanómetro como voltímetro sin más que conectarlo en paralelo con los terminales del circuito en donde se desea realizar la medida.

Pero hay un problema, y es que de esta forma sólo se pueden medir tensiones de un valor máximo $I_{fe} \cdot R_m$, que es un valor muy pequeño (0.1 – 0.5 V). Para resolver este problema basta colocar una resistencia en serie, R_s^2 , con el galvanómetro (para distribuir la caída de tensión), y la tensión a la entrada estará relacionada con la corriente a través de {7.8},

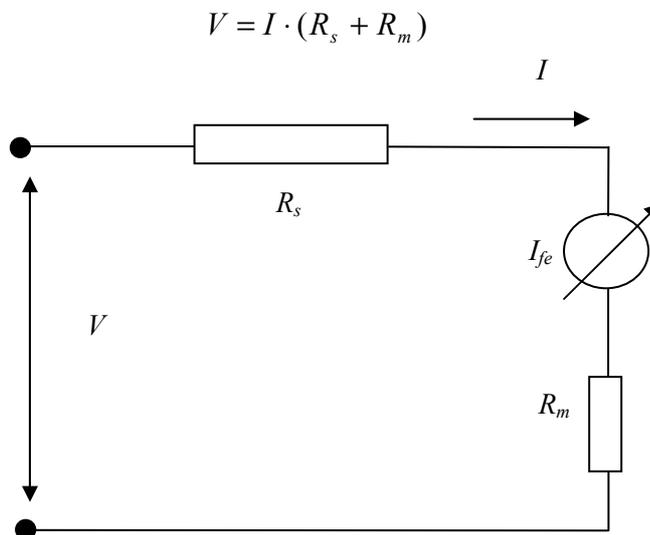


Fig. 7.5. Voltímetro a partir del galvanómetro.

El valor de la resistencia serie, R_s , que debe colocarse se obtiene a partir de {7.9}

² R_s hace referencia a que la resistencia se dispone en serie.

$$V_{fe} = I_{fe} \cdot (R_s + R_m)$$

y, entonces {7.10},

$$R_s = \frac{V_{fe}}{I_{fe}} - R_m$$

Colocando valores distintos de R_s , se realiza un voltímetro con distintas escalas (ver figura 7.6).

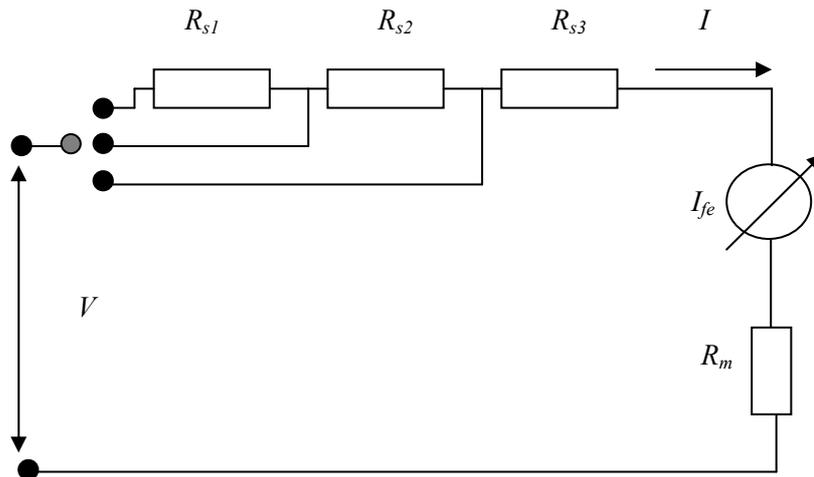


Fig. 7.6. Voltímetro con varias escalas.

7.5.1 Resistencia de entrada y sensibilidad

Un parámetro muy importante en un voltímetro es la resistencia de entrada, R_{in} , que es la resistencia vista por el circuito exterior entre terminales del voltímetro. Su valor viene dado por {7.11},

$$R_{in} = \frac{V_{fe}}{I_{fe}} = R_s + R_m$$

Como se aprecia, el valor de R_{in} es distinto para cada escala del voltímetro. El dato que suministra el fabricante es el inverso de la corriente a fondo de escala, conocido como sensibilidad, S , {7.12},

$$S = \frac{1}{I_{fe}}$$

La unidad más utilizada para la sensibilidad es el $K\Omega / \text{Voltio} = 1 / \text{mA}$, que de esta forma permite calcular la resistencia de entrada de un voltímetro para cada escala con una simple multiplicación {7.13},

$$R_{in} = S \cdot V_{fe}$$

Nótese que la sensibilidad es una característica del galvanómetro, pero se suele emplear cuando éste se utiliza como voltímetro debido a la sencillez de la expresión anterior {7.13}.

Cuando en un circuito exista un voltímetro conectado, se debe reemplazar por su modelo equivalente, que es el siguiente,

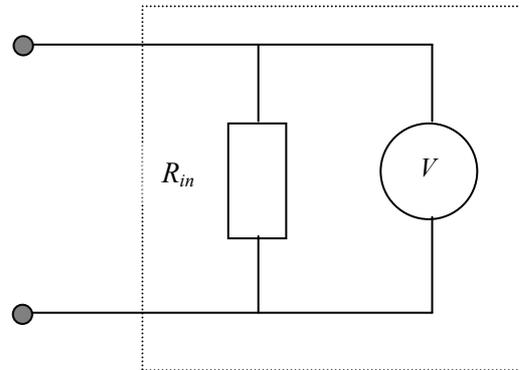


Fig. 7.7. Modelo equivalente del voltímetro.

7.6 ERROR DE CARGA DEBIDO AL AMPERÍMETRO/VOLTÍMETRO

Resulta muy sencillo calcular el error de carga debido a la presencia de un medidor (bien sea como amperímetro o como voltímetro) en un determinado circuito. No se va a deducir la expresión para cada caso pero sí indicar que para que el error de carga sea lo más pequeño posible debe ser,

- amperímetro: la resistencia R_m debe ser menor que la resistencia equivalente de Thevenin del circuito donde se mide (o sea lo más pequeña posible),
- voltímetro: la resistencia de entrada R_{in} debe ser la mayor posible en comparación con la resistencia equivalente del circuito de medida.

7.7 ÓHMETRO SERIE

Por último, es posible con un galvanómetro medir resistencias con el montaje de la figura 7.8, donde la corriente que circula está relacionada con la resistencia incógnita R_x .

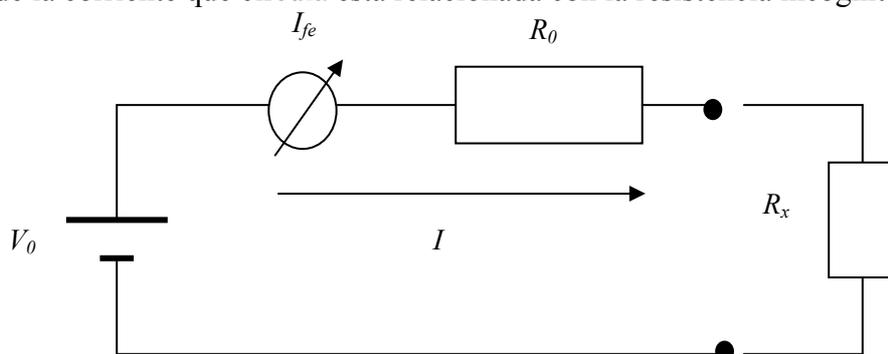


Fig. 7.8. Óhmetro serie.

La tensión continua V_0 se utiliza para alimentar el circuito, el galvanómetro para medir la corriente y la resistencia R_0 para limitar la corriente cuando R_x sea nula (0 ohmios). En este caso, circula por el galvanómetro la corriente a fondo de escala {7.14},

$$I_{fe} = \frac{V_0}{R_0}$$

La resistencia interna del medidor ha sido incluida en la resistencia serie R_0 . Cuando se mida el valor de una resistencia cualquiera, la corriente en el galvanómetro es {7.15}.

$$I = \frac{V_0}{R_0 + R_x}$$

Entonces, la deflexión de la aguja, definida como el cociente entre su desviación y la desviación máxima es {7.16},

$$D = \frac{I}{I_{fe}} = \frac{R_0}{R_0 + R_x}$$

Conocido el valor de R_0 , se determinará el de R_x a partir de la deflexión D de la aguja. En un polímetro se calibra la escala directamente en ohmios para poder leer el valor de la resistencia desconocida sin necesidad de ninguna expresión matemática. Para calibrar la escala se calcula el valor de R_x que corresponde a cada deflexión (ver tabla 7.1) y se obtiene una carátula como la que se muestra en la figura 7.9.

Tabla 7.1. Calibrado del óhmetro serie.

DEFLEXIÓN	R_x
1.00	0
0.90	$R_0 / 9$
0.75	$R_0 / 3$
0.66	$R_0 / 2$
0.50	R_0
0.33	$2R_0$
0.25	$3R_0$
0.10	$9R_0$
0.00	∞

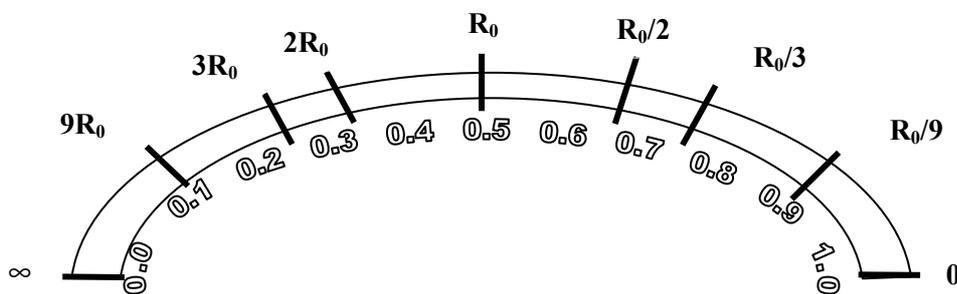


Fig. 7.9. Carátula del óhmetro.

Como se observa en esta figura la escala no es lineal y la deflexión es máxima para el mínimo valor de la resistencia (0 ohmios) y mínima para el valor máximo (∞ ohmios). La deflexión toma el valor de 0.5 cuando la resistencia que se está midiendo, R_x , es igual a

R_0 , conociéndose este valor como la resistencia a media escala del óhmetro. Nótese que para este valor (ver figura 7.8) el circuito se reduce a un divisor de tensión, y por ello la deflexión de la aguja se sitúa a la mitad de la escala.

7.7.1 Error en la lectura

En el ejemplo 7.1 quedó patente la importancia de seleccionar la escala adecuada para que la aguja se encuentre siempre lo más próxima al fondo de escala. Este resultado es válido para el caso del amperímetro y del voltímetro. Para el óhmetro, un sencillo estudio demuestra que el error es mínimo cuando más cerca está la aguja del centro de la escala; lo cual también se entiende sin más que observar cómo es la escala del óhmetro, pues para resistencias mucho mayores o menores que R_0 las divisiones consecutivas de la escala implican una gran variación relativa.

7.8 VOLTÍMETRO DE ALTERNA

Hasta ahora se ha considerado que la tensión que se mide es una tensión continua. ¿Cómo se miden las tensiones alternas empleando un galvanómetro?. Si la frecuencia de la señal es baja (de 5 a 10 Hz), el sistema móvil puede responder a dicha frecuencia por lo que se observan oscilaciones en la aguja. A medida que aumenta la frecuencia la aguja no puede seguir las variaciones de la corriente –por motivos de índole mecánica- y el valor que muestra la aguja es el valor medio (componente continua) de la corriente que circula. Por tanto, si se aplica una tensión alterna pura a un medidor de D’Arsonval, la corriente medida será cero!

Para poder medirlo que se hace es transformar la tensión alterna pura en otra tensión relacionada con la original cuyo valor medio sea distinto de cero (ver figura 7.10). Esto puede hacerse con un rectificador de media onda –con un simple diodo- o un rectificador de onda completa –puente de diodos. Entonces se mide el valor medio de la tensión rectificada (que ahora no es cero) y aplicando el factor de conversión correspondiente se calcula el valor eficaz de la tensión de entrada. Los medidores comerciales emplean el rectificador de onda completa, puesto que ofrece una mayor sensibilidad.

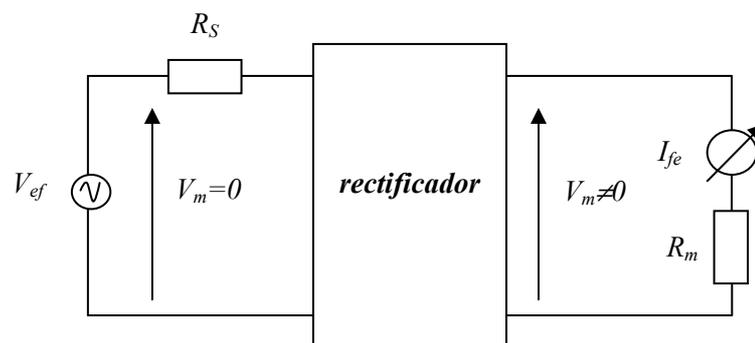


Fig. 7.10. Voltímetro de alterna.

En la figura 7.11 se muestra el voltímetro de alterna con rectificador de onda completa.

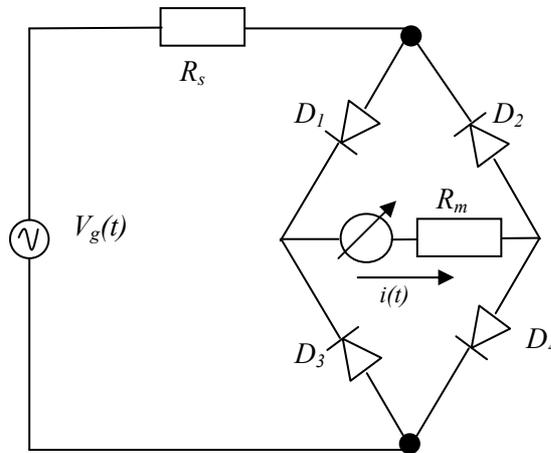


Fig. 7.11. Voltímetro de alterna: rectificador de onda completa.

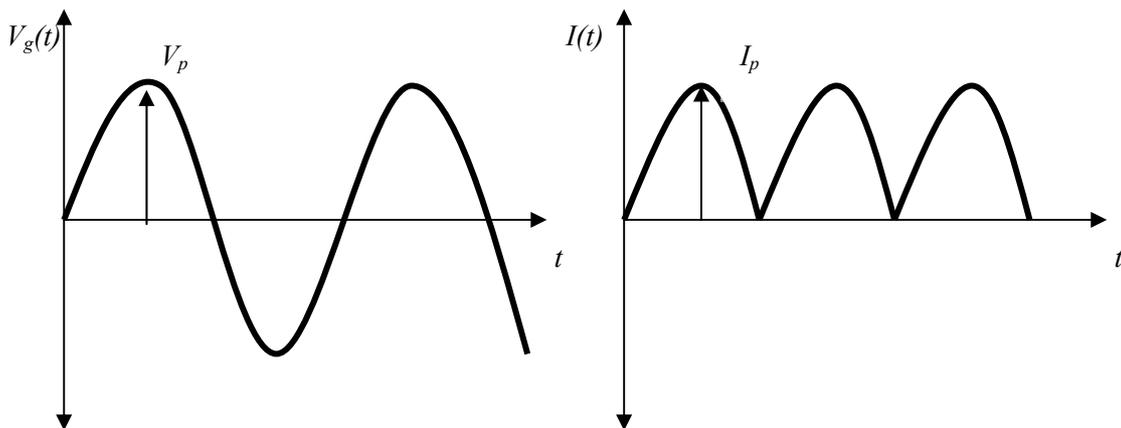


Fig. 7.12. Señal alterna rectificada (onda completa).

En esta situación, la corriente media medida I_m será el valor medio de la corriente $i(t)$, de forma que {7.17},

$$I_m = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) \cdot dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_p \text{sen}(wt) \cdot dt = \frac{2}{\pi} \cdot I_p$$

donde $I_p = V_p / (R_s + R_m)$.

Por otro lado, el valor eficaz de la tensión de entrada es {7.18},

$$\begin{aligned} V_{ef} &= \frac{V_p}{\sqrt{2}} = I_p \cdot \frac{(R_s + R_m)}{\sqrt{2}} = \left(I_m \cdot \frac{\pi}{2} \right) \cdot \frac{(R_s + R_m)}{\sqrt{2}} = \\ &= \left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \right) \cdot I_m (R_s + R_m) = 1.11 \cdot I_m (R_s + R_m) \end{aligned}$$

De donde se deduce que a partir de la corriente media medida I_m podríamos determinar de forma sencilla el valor de la tensión eficaz de la señal senoidal de entrada V_{ef} . Por este motivo, los polímetros llevan la escala calibrada directamente en voltios eficaces, aplicando internamente la expresión anterior sobre la tensión media de la señal senoidal de entrada rectificada $V_m = I_m(R_s + R_m)$.

La lectura que ofrece el voltímetro de alterna es el valor eficaz de la señal que se mide. Este resultado es sólo válido para señales senoidales pues la escala está calibrada para este caso. ¿Cómo se mide entonces la tensión para señales no senoidales ?

En este caso la lectura no indicará el valor eficaz pero se puede calcular si la señal es periódica y se conoce su variación con el tiempo. Para ello se emplea el denominado *factor de forma* F , que se define de la siguiente manera {7.19},

$$F = \frac{\text{valor eficaz de la señal}}{\text{valor medio de la señal}}$$

El factor de forma toma el valor 1 para una señal continua e infinito para una señal alterna pura. Para una señal sinusoidal rectificada de onda completa el valor de forma toma el valor de $\pi / (2\sqrt{2}) \approx 1.11$.

Una vez que se conoce el factor de forma, la relación con el valor leído viene dada por la siguiente expresión {7.20},

$$V_{ef} = 0.9 \cdot F \cdot V_{leído}$$

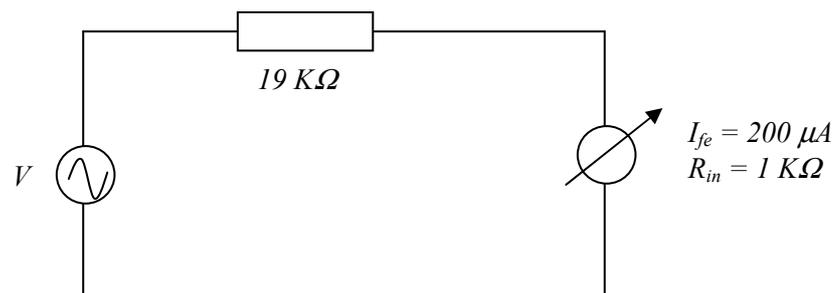
siendo F el factor de forma de la señal rectificada.

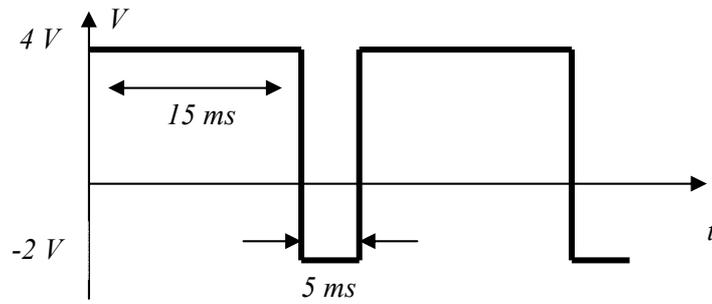
A través de esta expresión se puede calcular el valor eficaz de una señal cualquiera a partir de la tensión leída en un voltímetro de alterna con rectificación de onda completa. Si el rectificador fuera de media onda debe reemplazarse el coeficiente de 0.9 por el de 0.45.

7.9 PROBLEMAS PROPUESTOS

Problema 7.1

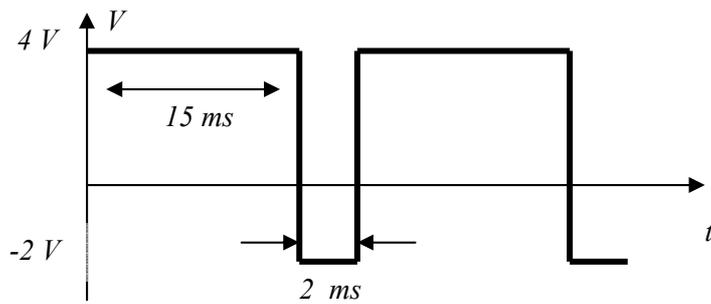
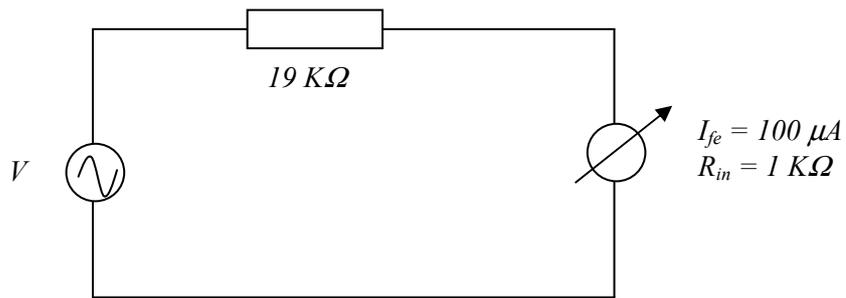
Determinar la deflexión de la aguja del galvanómetro de la figura si la tensión del generador es la que se representa en la gráfica $V-t$.





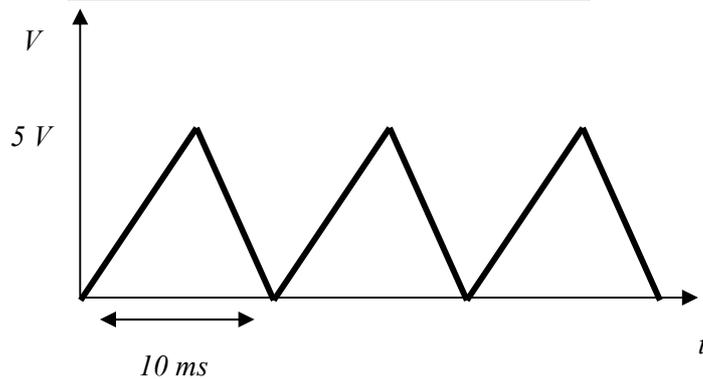
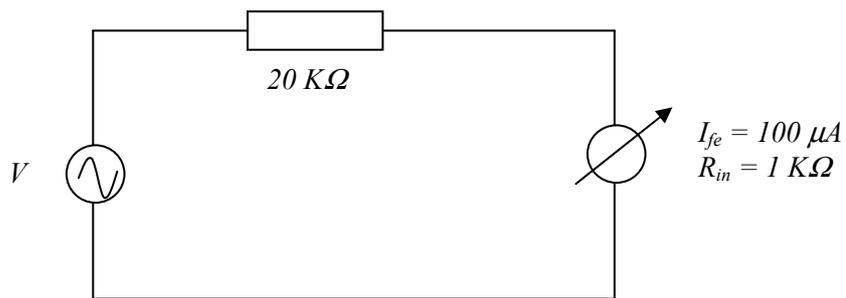
Problema 7.2

Determinar la deflexión de la aguja del galvanómetro de la figura si la tensión del generador es la que se representa en la gráfica $V-t$.



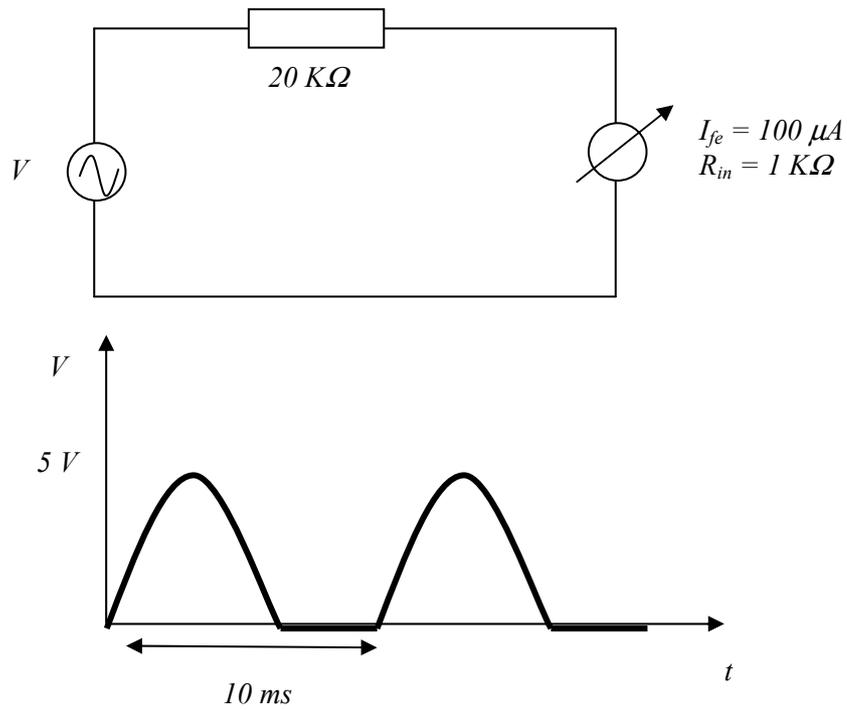
Problema 7.3

Determinar la deflexión de la aguja del galvanómetro de la figura si la tensión del generador es la que se representa en la gráfica $V-t$.



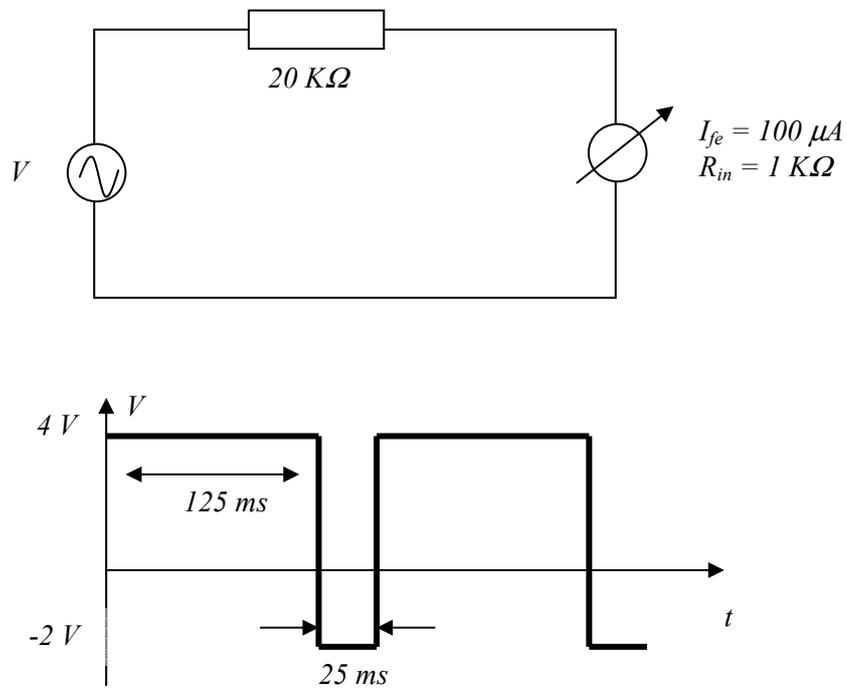
Problema 7.4

Determinar la deflexión de la aguja del galvanómetro de la figura si la tensión del generador es la que se representa en la gráfica $V-t$.



Problema 7.5

Determinar la deflexión de la aguja del galvanómetro de la figura si la tensión del generador es la que se representa en la gráfica $V-t$.



Problema 7.6

Determinar entre qué valores está comprendida la corriente y el error relativo cometido cuando en una galvanómetro de $40 \mu A$ a fondo de escala, y error de calibrado de $\pm 3\%$, el valor leído es de,

- a) $38 \mu A$
- b) $28 \mu A$
- c) $18 \mu A$
- d) $8 \mu A$
- e) $1 \mu A$

Extrae conclusiones e indica cómo afecta este error a la medida. Explica cómo se puede disminuir dicho error.

Problema 7.7

Diseña un amperímetro con un galvanómetro ($I_{fe} = 100 \mu A$, $R_m = 2 K\Omega$) para que la corriente a fondo de escala sea de,

- a) $1 mA$,
- b) $50 mA$,
- c) $1 A$.

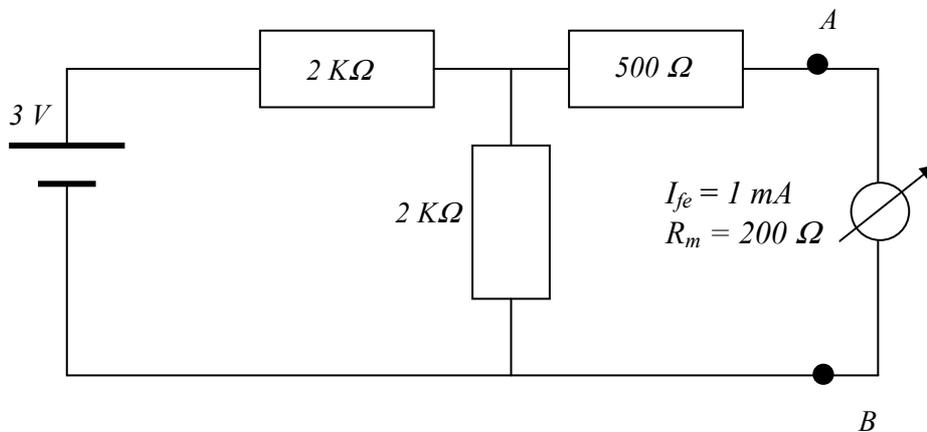
Representa el esquemático del amperímetro diseñado.

Problema 7.8

Calcula el error de medida que se comete cuando se introduce un galvanómetro en un circuito para medir corriente. A partir del resultado, indica cómo debe ser el valor de la resistencia R_m , ¿ grande ?, ¿ pequeña ?.

Problema 7.9

Determinar el error cometido al medir la corriente entre los puntos A y B del siguiente circuito.



Problema 7.10

Diseña un voltímetro ($I_{fe} = 50 \mu A$, $R_m = 2 K\Omega$) para que la tensión a fondo de escala sea de,

- d) 1 V,
- e) 50 V,
- f) 100 V.
- g) 500 V.

Representa el esquemático del voltímetro diseñado.

Problema 7.11

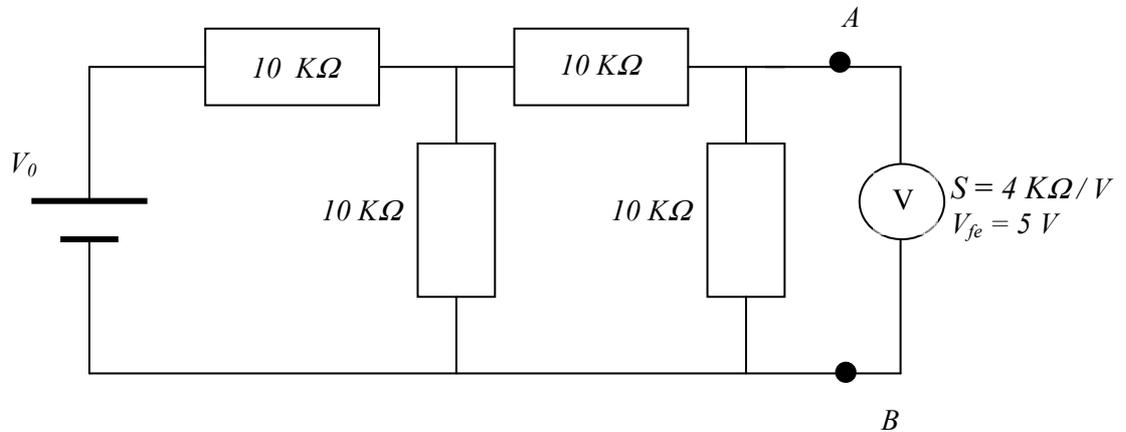
Calcular la resistencia de entrada de cada una de las escalas del voltímetro del problema anterior si $I_{fe} = 0.5 \text{ mA}$.

Problema 7.12

Determinar el error de carga en las medida con un voltímetro. A partir del resultado, indica cómo debe ser el valor de la resistencia R_{in} , ¿ grande ?, ¿ pequeña ?.

Problema 7.13

Dado el siguiente circuito, determinar el valor real de la tensión entre los puntos A y B si la lectura en el voltímetro es de 1.54 voltios.



Problema 7.14

Diseñar un óhmetro serie ($I_{fe} = 50 \mu A$, $R_m = 2 K\Omega$). Calibrar la escala para las siguientes deflexiones,

0.00	0.10	0.25	0.33	0.50	0.66	0.75	0.90	1.00
------	------	------	------	------	------	------	------	------

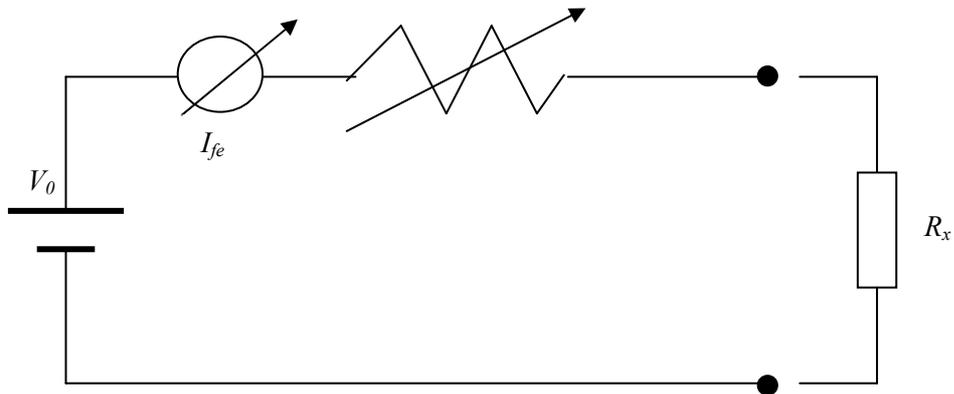
Problema 7.15

Al medir con un óhmetro se obtiene una deflexión de 0.25 y la carátula indica que la resistencia es de 50 Ω. Calcular la resistencia a mitad de escala.

Problema 7.16

En el óhmetro de la figura la resistencia a media escala es de $10\text{ K}\Omega$ y la tensión teórica de la pila es de 10 V . Determinar el valor que indica el óhmetro al medir una resistencia de $10\text{ K}\Omega$ y el error cometido si,

- a) la pila envejece a 9 V y no se ajusta la resistencia variable,
- b) la pila envejece a 9 V y se ajusta la resistencia variable,
- c) la pila envejece a 1 V y se ajusta la resistencia variable.



Problema 7.17

Indicar el valor que se lee en un voltímetro si la señal de entrada es,

$$V_m = A \text{ sen } (wt + \varphi)$$

y el voltímetro está en ,

- a) modo DC,
- b) modo AC.

Problema 7.18

Si para un voltímetro de alterna que emplea rectificador de media onda, el valor de la resistencia R_m es de 50 ohmios , el de la resistencia serie de escala R_s es de $2\text{ K}\Omega$, y la tensión leída es de 10 V_{pp} , estimar la corriente que atraviesa el galvanómetro.

Problema 7.19

Repetir el problema anterior pero para un voltímetro implementado con un rectificador de onda completo.

Problema 7.20

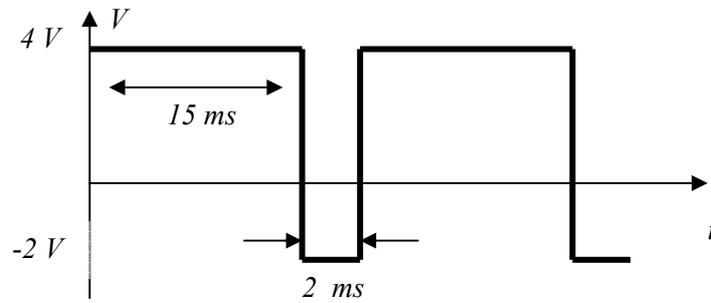
Determinar la tensión leída en un voltímetro de alterna si la tensión de entrada es una onda triangular de 10 V_{pp} .

Problema 7.21

Determinar la tensión leída en un voltímetro de alterna si la tensión de entrada es una onda triangular de 20 V_{pp} .

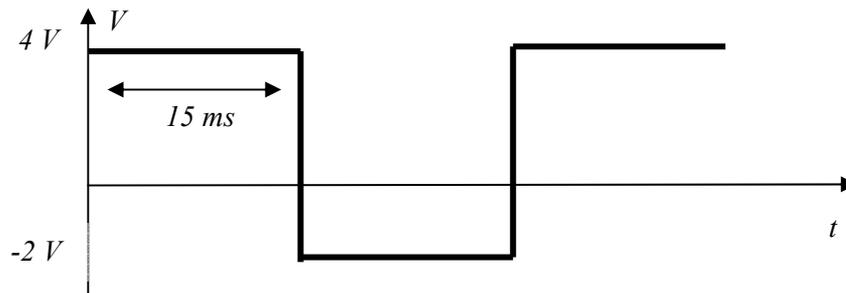
Problema 7.22

Determinar la tensión leída en un voltímetro de alterna si la tensión de entrada es la que se representa en la siguiente figura.



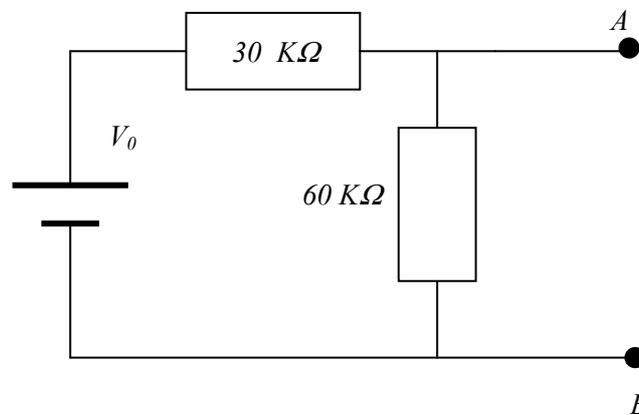
Problema 7.23

Determinar la tensión leída en un voltímetro de alterna si la tensión de entrada es la que se representa en la siguiente figura.



Problema 7.24

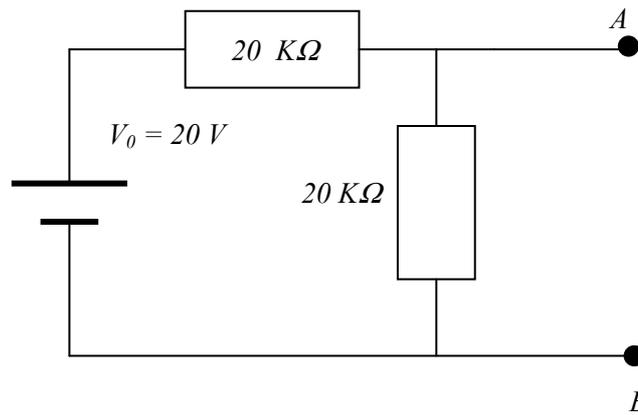
Un voltímetro de continua con una sensibilidad de $20 \text{ K}\Omega / \text{V}$, se conecta a los terminales A y B de la figura. Si la lectura es de 5 V en el rango de 5V, calcular el valor de la tensión de la pila.



Problema 7.25

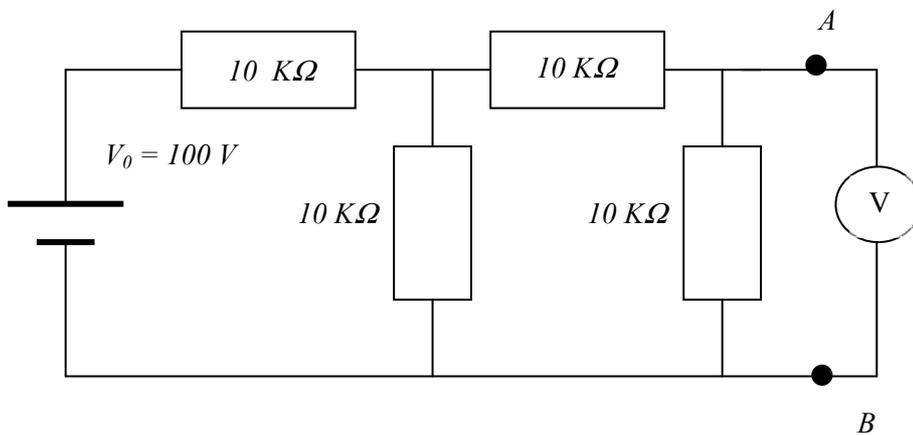
En el circuito de la figura se conecta un voltímetro de continua con sensibilidad de $1 \text{ K}\Omega / \text{V}$ a los terminales A y B. La lectura del voltímetro es de 5 V y tiene las siguientes

escalas: 1, 3, 5, 10, 30, 100 y 300V. Determinar en qué escala se encontraba el voltímetro.



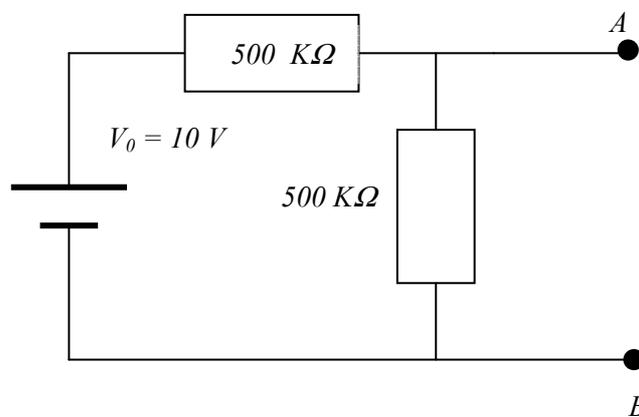
Problema 7.26

Se desea medir la tensión entre los terminales A y B con un error máximo del 5%. Determinar la resistencia mínima permisible de entrada del instrumento de medida.



Problema 7.27

Determinar la tensión que se lee entre los puntos A y B del circuito si se emplea un voltímetro con una sensibilidad de $20 \text{ K}\Omega / \text{V}$ en las escalas de 5, 15 y 50 V.



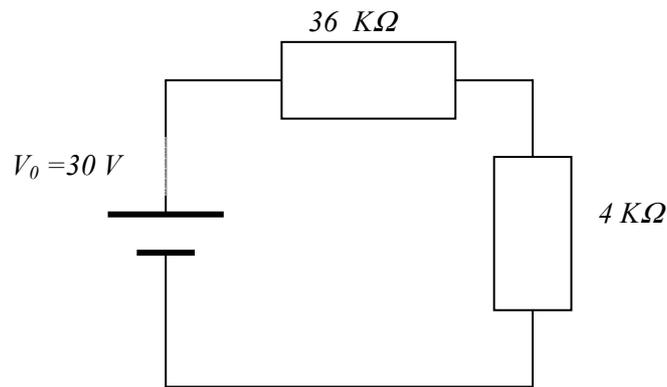
Problema 7.28

Un galvanómetro indica $I_{fe} = 1 \text{ mA}$ y $R_i = 50 \Omega$. Se dispone en paralelo con una resistencia de 1Ω ; se pide que calcules la intensidad máxima que se podrá medir con el montaje descrito y la tensión en bornes del galvanómetro a fondo de escala.

Problema 7.29

Un instrumento con $20 \text{ K}\Omega / \text{V}$ de sensibilidad en DC se conecta en paralelo con la resistencia de $4 \text{ K}\Omega$ del circuito de la figura. Se pide que calcules la lectura obtenida y el error cometido para cada una de las siguientes escalas,

- a) 3 V ,
- b) 10 V ,
- c) 30 V .



Problema 7.30

Un galvanómetro de ($I_{fe} = 1 \text{ mA}$, $R_i = 100\Omega$) se emplea en la construcción de un óhmetro que funciona con una pila de 3 V y una resistencia de ajuste R_x . Calcular los valores de la resistencia necesaria para conseguir deflexión del 20%, 30%, 40% , 50 % , 75% y 90%.

CAPÍTULO 8

PROBLEMAS RESUELTOS

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

8.1 PROBLEMAS RESUELTOS

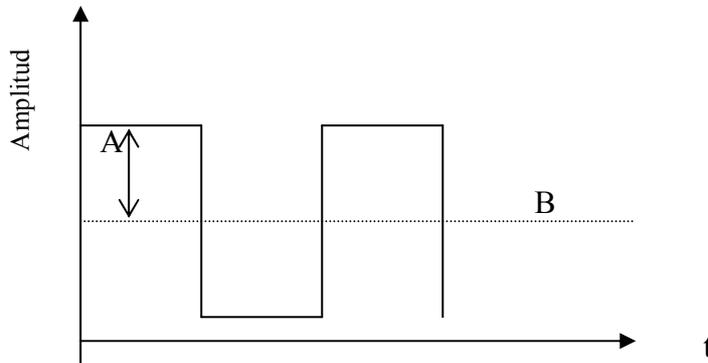
8.1 PROBLEMAS RESUELTOS

Problema 8.1

Dadas las siguientes preguntas, seleccionar la respuesta correcta.

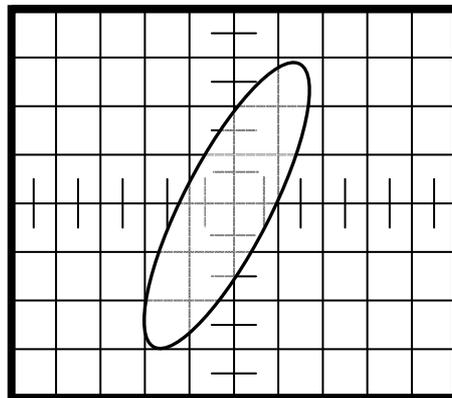
(ver soluciones al final)

8.1.1. El valor eficaz de la señal siguiente es,



- A: B
- B: $A / 2$
- C: A
- D: Ninguna es correcta

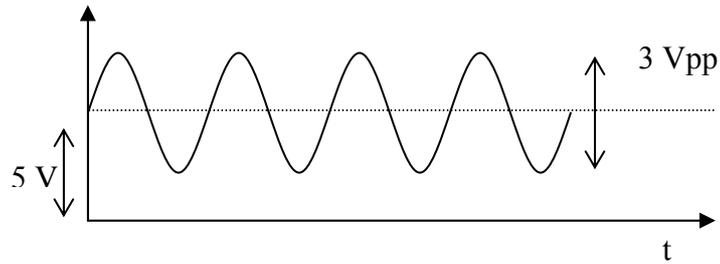
8.1.2. El desfase -en grados- entre las señales, es de



X= 1 VOLT/ DIV
Y = 2 VOLT/ DIV

- A: 37.25°
- B: 41.81°
- C: $5\pi/2^\circ$
- D: Ninguna es correcta

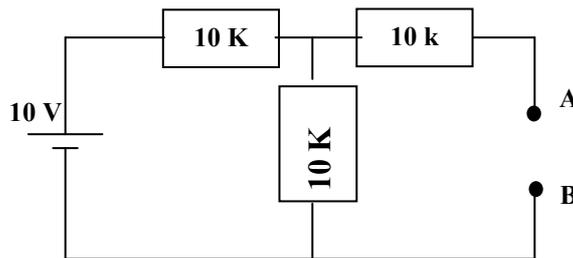
8.1.3. La lectura en un voltímetro de alterna con rectificador de onda completa al aplicar la señal de la figura ($f = 1\text{kHz}$), es



- A: 1.17
 B: 5.0 V
 C: 5.5 V

8.1.4. Se ha medido un error por carga del 2.5% en el circuito de la siguiente figura al medir la corriente entre los puntos A y B con un amperímetro. El valor de la resistencia R_m del galvanómetro es de ,

- A: INFINITA
 B: 540 Ω
 C: 125 Ω



8.1.5 Se construye un amperímetro con un galvanómetro ($50 \mu\text{A}$, $R_m = 1\text{k}\Omega$) para medir una corriente de $500 \mu\text{A}$; la resistencia que debe añadirse al circuito es de,

- A: 50 Ω
 B: 9 k Ω
 C: 111.11 Ω
 D: No es necesario añadir ninguna resistencia de derivación

SOLUCIÓN:

8.1.1. Respuesta correcta: C

Basta aplicar la expresión,

$$V_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_a^{a+T} [f(t)]^2 dt}$$

para obtener como solución la respuesta C. Nótese que el valor medio es B, que no influye en el cálculo del valor eficaz.

8.1.2. Respuesta correcta: B

El desfase lo obtenemos mediante la expresión

$$\phi = \arcsen(Y_0 / B)$$

donde Y_0 es el corte con el eje vertical y B es el punto máximo de deflexión vertical. Aplicando la expresión obtenemos ($Y_0 = 4$, $B = 6$), que la solución correcta es 41.81° .

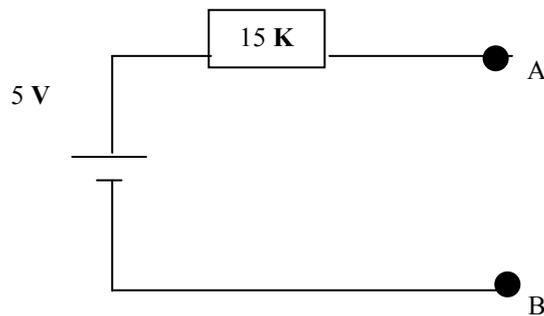
8.1.3. Respuesta correcta: B

Después de pasar la señal por el rectificador no queda modificada, por lo que el medidor responde como si sólo se hubiera aplicado la componente continua (5 V), por tanto,

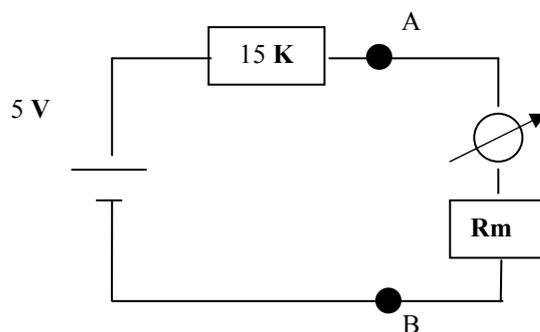
$$V_{leída} = 1.11 \cdot V_m = 1.11 \cdot 5 = 5.5 \text{ V}$$

8.1.4. Respuesta correcta: B

El equivalente Thevenin (visto de los extremos A y B) es,



El circuito con el modelo del amperímetro es,



La corriente que circula por el circuito –sin el amperímetro–, es decir, la corriente real, es I_0 ,

$$I_0 = V / R = 5 / 15 = 0.33 \text{ mA}$$

La corriente que circula cuando se pone el amperímetro, I_m ,

$$I_m = V / (R + R_m) = 5 / (15 + R_m)$$

Además, nos han dado el error cometido,

$$E = \left| \frac{I_0 - I_m}{I_0} \right| \times 100 = 2.5$$

Sustituyendo los valores y despejando R_m , se obtiene que la respuesta correcta es 540 Ω .

8.1.5. Respuesta correcta: C

Se resuelve aplicando la expresión

$$R_p = \frac{I_{gfe}}{I_{ife} - I_{gfe}} \times R_m$$

Sustituyendo los datos,

$$R_p = \frac{50}{500 - 50} \times 1 = 111.11 \Omega$$

Problema 8.2

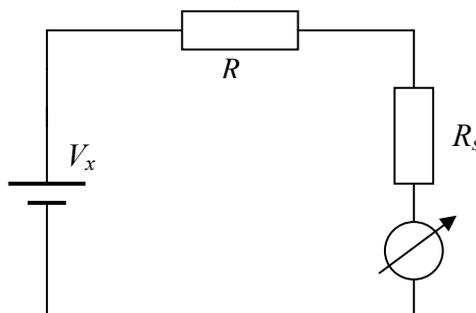
Al medir la intensidad en un circuito mediante un galvanómetro se obtienen las siguientes lecturas,

- a) en la escala de 300 μA : lectura 80 μA
- b) en la escala de 100 μA : lectura 50 μA

Suponiendo que la caída de tensión del instrumento a fondo de escala en cualquiera de los dos rangos es de 500 mV. Calcular la resistencia de salida efectiva del circuito que se mide. Calcular la tensión Thevenin de dicho circuito.

SOLUCIÓN:

Se pide la resistencia de salida efectiva del circuito al medir sobre un circuito genérico como el que se muestra a continuación,



Sabiendo que la tensión en bornes del instrumento es de 500 mV, entonces,

- en la escala de 300 μA , $R_s = 500 \text{ mV} / 300 \mu\text{A} = 1.6 \text{ K}\Omega$
- en la escala de 100 μA , $R_s = 500 \text{ mV} / 100 \mu\text{A} = 5.0 \text{ K}\Omega$

Suponemos que el instrumento marca correctamente el valor de la lectura. Además, del circuito genérico, $V_x = (R_x + R_s) \cdot I$, (relación que debe cumplirse en todo momento),

Por consiguiente,

$$(R_x + R_{s1}) \cdot I_1 = (R_x + R_{s2}) \cdot I_2$$

Despejando y sustituyendo valores,

$$R_x = \frac{-R_{s1} + R_{s2} \frac{I_2}{I_1}}{1 - \frac{I_2}{I_1}} = \frac{-1.6 + 5 \cdot 50/80}{1 - 50/80} = \frac{1.525}{0.375} = 4.06 \text{ K}\Omega$$

El valor de la tensión Thevenin del circuito es,

$$V_x = (R_x + R_{s1}) \cdot I_1 = (4.06 + 1.6) \cdot 80 = 452.8 \text{ mV}$$

Resumiendo,

$R_x = 4.06 \text{ K}\Omega$ $V_x = 452.8 \text{ mV}$
--

Problema 8.3

Dadas las siguientes preguntas, seleccionar la respuesta correcta (Verdadero/Falso).

(ver soluciones al final)

- | | |
|---|-----|
| 8.3.1. El cilindro Whenelt forma parte del generador de señales | V F |
| 8.3.2. El ancho de banda del osciloscopio es mayor en modo DC | V F |
| 8.3.3. Si se aplica una señal senoidal al canal vertical (período T), y se emplea barrido disparado (período 1.5·T) se observa señal sincronizada | V F |
| 8.3.4. Cuando se selecciona pendiente positiva, el diente de sierra se dispara con los impulsos positivos de sincronismo. | V F |
| 8.3.5. En los osciloscopios actuales nunca se precisa el modo de trabajo NORMAL | V F |
| 8.3.6. El circuito de <i>hold-off</i> se encarga de seleccionar modo <i>chopped/alternado</i> | V F |
| 8.3.7. La ley de deflexión en el galvanómetro de D'Arsonval es del tipo $I = K^2 \cdot \theta$ | V F |
| 8.3.8. Para el voltímetro, la resistencia de entrada debe ser infinita (caso ideal) | V F |
| 8.3.9. El error de lectura para el óhmetro es menor en el centro de la escala | V F |
| 8.3.10. El voltímetro de alterna indica el valor eficaz de la señal aplicada | V F |

SOLUCIÓN:

8.3.1.FALSO (osciloscopio)

8.3.2. VERDADERO

8.3.3. FALSO

8.3.4. FALSO

8.3.5. FALSO

8.3.6. FALSO

8.3.7. FALSO

8.3.8. VERDADERO

8.3.9. VERDADERO

8.3.10. FALSO

BIBLIOGRAFÍA

A continuación se presentan las fuentes bibliográficas consultadas para la elaboración de esta publicación.

- I. Esquivias, T. Rodríguez, J. Sangrador y J. Sanz, *“Introducción al Osciloscopio”*. Servicio de publicaciones de la ETSI de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, 1984.
- II. I. Esquivias y J. Sanz, *“Polímetro Analógico y Fuentes de Alimentación de Laboratorio”*. Servicio de publicaciones de la ETSI de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, 1984.
- III. M. Chaves, *“Instrumentación Básica”*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Las Palmas de G.C.