

INTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA BÁSICA: TEORÍA Y PRÁCTICA

Editorial: Servicio de Publicaciones de la ULPGC. Febrero 2006

L. Gómez, F. Tobajas

Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática., Universidad de Las Palmas de G.C.

{lgomez, [ftobajas](mailto:ftobajas@diea.ulpgc.es)}@diea.ulpgc.es

En este artículo se presenta el texto docente Instrumentación Electrónica Básica: Teoría y Práctica, editado por el Servicio de Publicaciones (Vicerrectorado de Planificación Docente y Calidad) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). El texto pretende satisfacer las necesidades docentes fundamentales de Instrumentación Electrónica Básica presente en los currículums académicos de los primeros cursos universitarios de las enseñanzas técnicas de ingeniería electrónica.

1. Objetivos

En este artículo se presenta el texto docente *Instrumentación Electrónica Básica: Teoría y Práctica*, editado por el Servicio de Publicaciones (Vicerrectorado de Planificación y Calidad) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). Esta obra se enmarca dentro de la apuesta que la ULPGC ha hecho por la elaboración y edición de materiales docentes de calidad que faciliten el proceso de enseñanza y aprendizaje estructurado y significativo de los estudiantes.

El texto pretende satisfacer las necesidades docentes fundamentales de Instrumentación Electrónica Básica presente en los currículums académicos de los primeros cursos universitarios de las enseñanzas técnicas de ingeniería electrónica. Es por ello que en el mismo se dedica una primera parte a cubrir los aspectos teóricos que se estiman necesarios para la una mejor comprensión y un mejor manejo de los equipos electrónicos básicos presentes en los puestos de prácticas de los laboratorios de los primeros cursos (osciloscopio analógico, generador de señales, fuente de alimentación y polímetro analógico). Asimismo se dedica una segunda parte a la realización de prácticas con el manejo de esta instrumentación básica para afianzar los aspectos teóricos desarrollados en la primera parte de la obra.

Conviene resaltar el hecho de que el servicio de publicaciones de la ULPGC remite los textos docentes susceptibles de ser editados, a un proceso de selección y evaluación por parte de Catedráticos de Universidad (ajenos a la ULPGC) que actúan como evaluadores externos y emiten un informe para la edición o no de la obra en cuestión en función de la calidad y utilidad docente de los contenidos de la misma.

La estructura de este artículo es la siguiente: en el apartado 2, se presenta el texto docente (contenidos de teoría, prácticas y colección de problemas); el siguiente apartado se dedica a remarcar los aspectos que inciden directamente sobre el empleo de este texto en la docencia de una asignatura de electrónica básica de primer ciclo en el área de la Ingeniería Electrónica. Finaliza el artículo con la presentación de las conclusiones más relevantes.

2. Estructura y desarrollo del libro

Esta publicación docente se ha estructurado en dos partes bien diferenciadas: TEORÍA y PRÁCTICAS. La parte correspondiente a Teoría se compone de siete capítulos y la parte destinada a las enseñanzas Prácticas se compone de tres prácticas de laboratorio.

2.1. Teoría

En este apartado se resume el contenido de cada uno de los capítulos de la parte de Teoría.

El primer capítulo, *Señales y Medidas*, se dedica a la presentación de conceptos fundamentales en Instrumentación Electrónica Básica: señales periódicas, error relativo y fuentes de error más comunes. Los capítulos segundo (*Introducción al Osciloscopio*), tercero (*Canal Vertical*) y cuarto (*Canal Horizontal*), se dedican al estudio del osciloscopio. Así, se detalla el funcionamiento de los canales vertical y horizontal, de los diversos modos de operación del equipo (modo DC, AC) y de las posibilidades que ofrecen los diversos modos de sincronismo (interior, exterior, *line*), para finalizar con el modo X-Y. Asimismo, se explica brevemente el principio básico de funcionamiento de los osciloscopios de dos canales. El capítulo quinto, *Generador de Señales*, se centra en el estudio del generador de señal. Este equipo requiere conocimientos de electrónica superior para entender completamente su funcionamiento, es por ello, que se presentan solamente 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, seleccionándose los circuitos reguladores de tensión 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.

2.1.1 Ejemplos de la parte de teoría extraídos del texto

A modo de ejemplo, a continuación se muestra algunas figuras contenidas en el texto en los capítulos dedicados al osciloscopio. Se observa en la figura 1 el cilindro Whenelt con los componentes principales asociados al mismo. En la figura 2 se muestra el funcionamiento de las placas de deflexión del osciloscopio (uno de los múltiples ejemplos que contiene el texto).

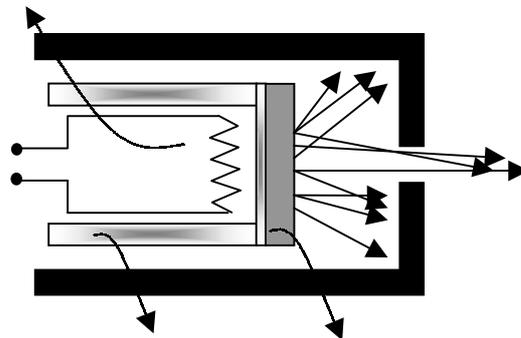


Figura 1. Filamento, cátodo y cilindro Whenelt.

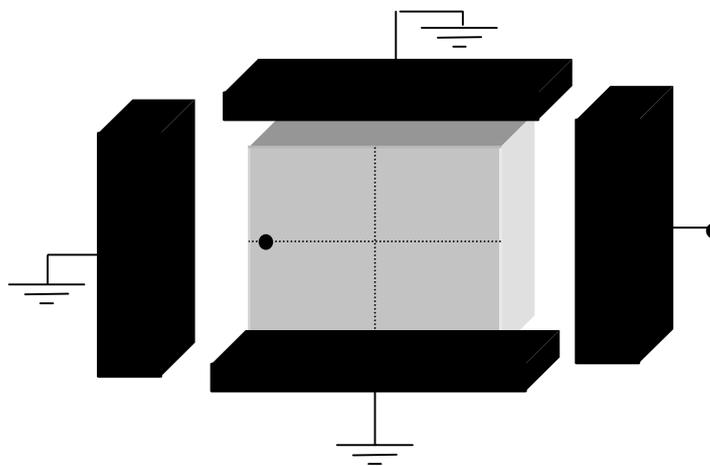


Figura 2. Impactos del haz en la pantalla (V_{pV} nula).

La figura 3 está dedicada a explicar el comportamiento del equipo con la frecuencia. Nótese la simplicidad de la figura, lo que se debe a que el texto está orientado a alumnos de primer curso que no han completado el estudio de análisis en frecuencia de circuitos. Sin embargo, permite aclarar efectos asociados a medidas prácticas en laboratorio (medidas a baja frecuencia) cuando se emplea el modo DC y el modo AC.

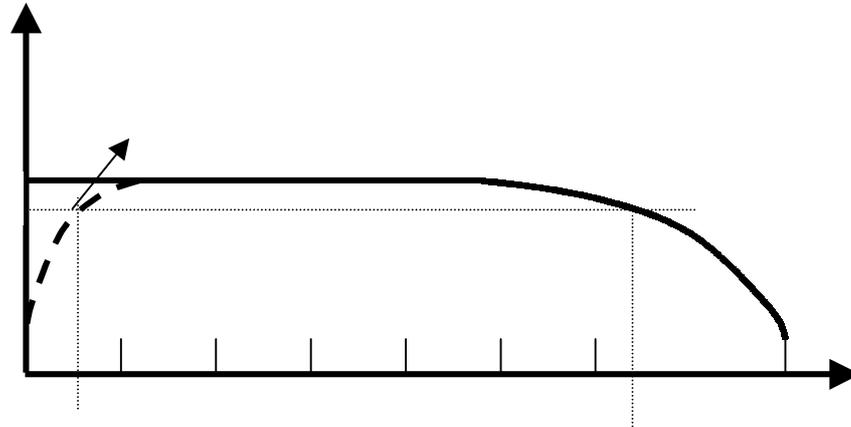


Figura 3. Ancho de banda del osciloscopio (MODOS DC y AC).

En relación al Tema 4, que está dedicado al canal horizontal, destacamos las siguientes figuras extraídas del texto.

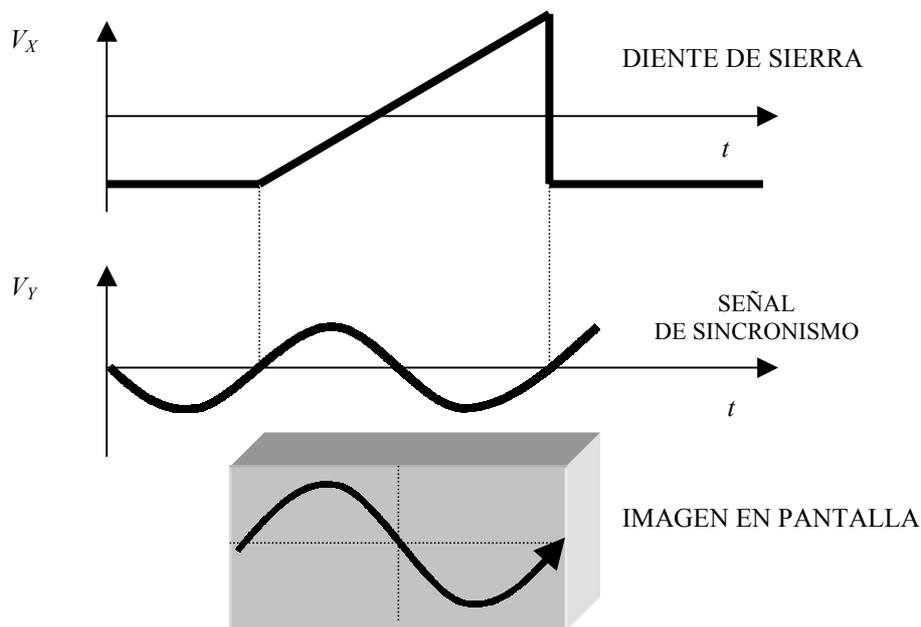


Figura 4. El diente de sierra “fotografía” la señal aplicada a las placas verticales.

La figura 4 muestra el proceso de visualización de la señal en pantalla al realizar un barrido único con la señal en diente de sierra que se muestra. Esta figura, pese a su sencillez, resulta muy eficaz a la hora de entender el concepto de barrido y sincronismo.

El concepto de disparo automático se explica en base a la figura que se recoge a continuación (figura 5). Donde queda claro el efecto que tiene sobre el circuito de disparo la presencia de un circuito de espera con un tiempo asignado T_{espera} .

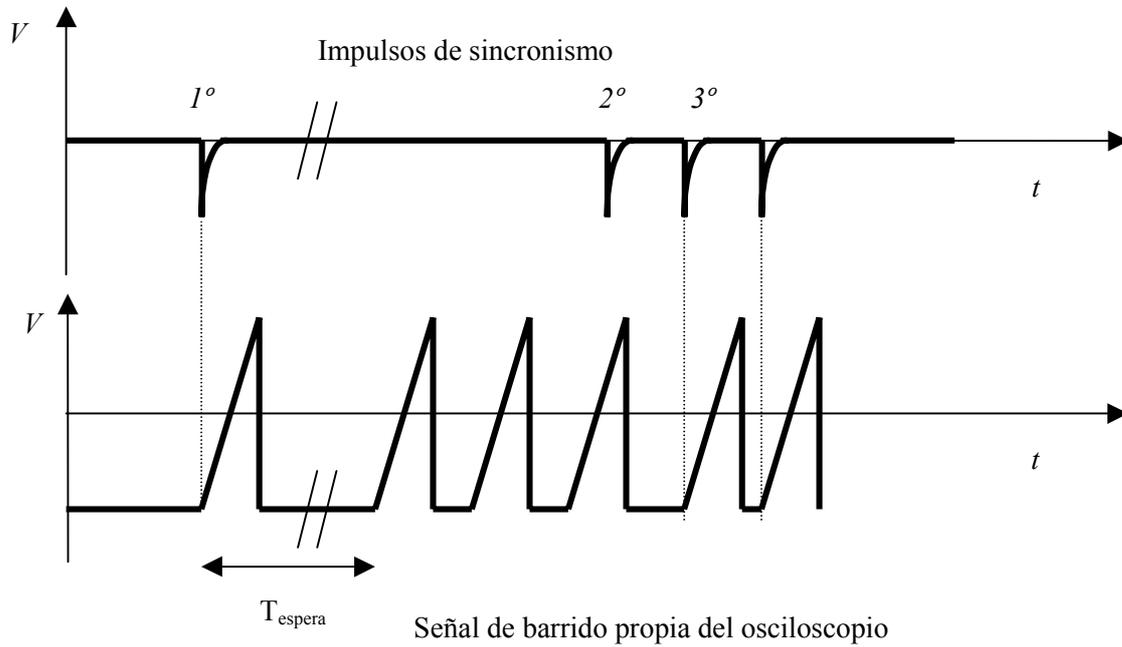


Figura 5. Generación de dientes de sierra: MODO AUTOMÁTICO.

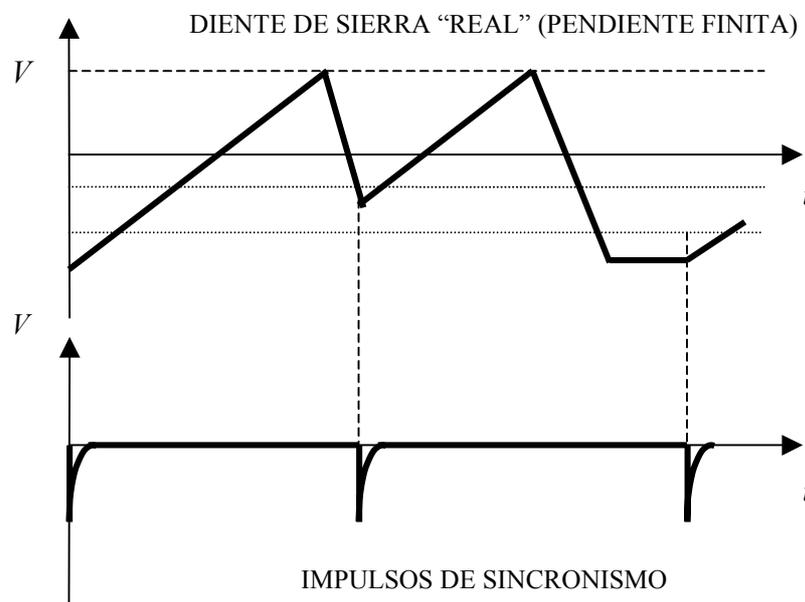


Figura 6. Disparos de sincronismo en tiempo de bajada.

El concepto –más avanzado- de *Hold-Off* se explica en base a figuras como la que se muestra en la gráfica 6, donde se aprecia el efecto que tiene el hecho que la pendiente de bajada del diente de sierra no sea infinita. Esta figura se complementa con la correspondiente de visualización de la señal en pantalla (desincronizada en este caso).

En relación al capítulo 5, dedicado al Generador de Señales, destacamos la figura 7, donde se recoge el circuito que se emplea en la mayoría de generadores de funciones para la obtención de la señal triangular.

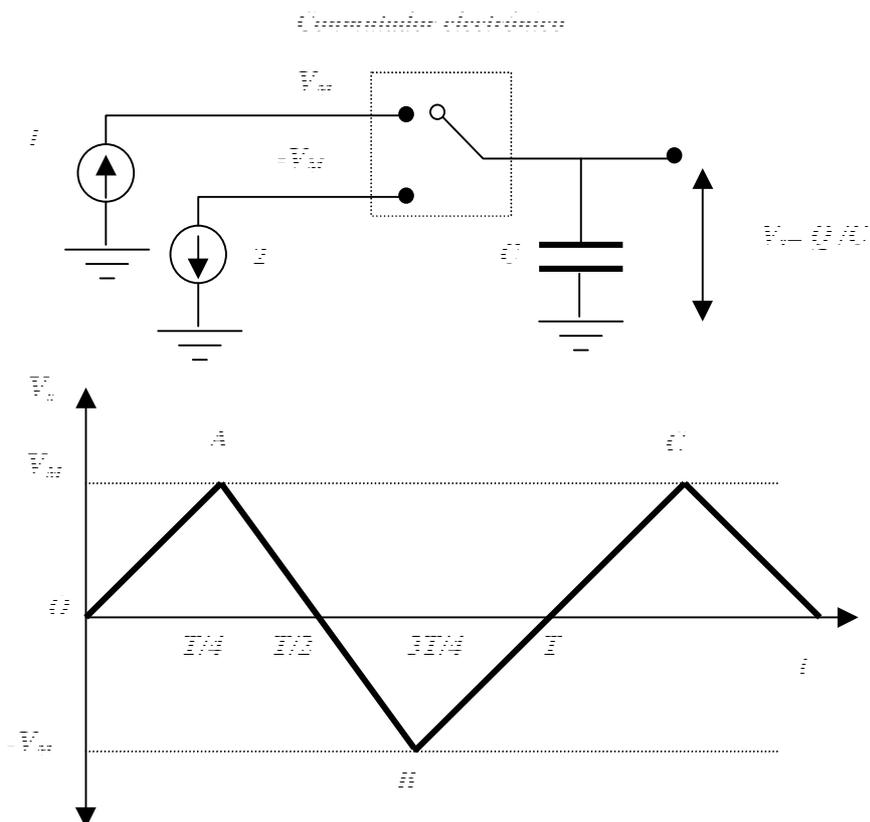


Figura 7. Circuito de generación de la señal triangular.

El conjunto de figuras contenidas en el texto se cree suficiente para abarcar los conceptos que debe tener el alumno en relación a la instrumentación básica que emplea en las primeras asignaturas prácticas de la titulación. Se ha recogido en este artículo un conjunto de las mismas que a su vez deben entenderse conjuntamente con las explicaciones y problemas resueltos que aparecen en el libro.

2.2 Prácticas

Este apartado se dedica a presentar las prácticas contenidas en el texto docente.

La primera práctica, **GENERALIDADES DEL OSCILOSCOPIO. EFECTO DE CARGA**, se dedica al estudio de los conceptos generales necesarios para la realización práctica de medidas mediante el uso del osciloscopio. Se comienza con los aspectos básicos (visualización de señales de forma de onda sinusoidal, cuadrada y triangular), se miden los parámetros característicos de las señales periódicas (amplitud, frecuencia, fase) así como los tiempos de subida y de bajada, justificándose además la

necesidad de indicar el error relativo asociado a cada medida a la hora de expresar los resultados experimentales obtenidos. A continuación se procede al estudio práctico de medidas de desfase entre señales, para lo cual se emplea, tanto el modo de la base de tiempos, como el modo X-Y (visualizando asimismo las curvas de Lissajous). Esta práctica finaliza con la comprobación del error de carga asociado a toda medida y el efecto que sobre él tiene el uso de la sonda atenuadora de baja capacidad. Ello implica el calibrado de la sonda y la realización de medidas sobre un sencillo circuito. Se menciona el hecho de que los circuitos electrónicos a montar son muy sencillos, con el afán de no desviar en ningún momento la atención del objetivo didáctico que se persigue.

La siguiente práctica, **MODOS DE SINCRONISMO. MANEJO DEL TRIGGER. MODOS CHOPPED/ALTERNADO**, se dedica a profundizar en la realización de medidas avanzadas con el osciloscopio. En esta práctica se realizan múltiples medidas empleando los diversos modos de sincronismo (interior, exterior, *line*) así como se emplea el modo NORMAL y el modo AUTO en las diversas medidas. Finaliza esta práctica con la observación de los modos de trabajo *chopped* y alternado, para completar la docencia teórica y presentar la aplicación de uno y otro modo de funcionamiento del osciloscopio. Cabe mencionar que tras la realización de estas prácticas, el alumno habrá manipulado todos los mandos del equipo entendiendo su necesidad y aplicación, lo cual es motivo de satisfacción para los dos elementos del proceso de aprendizaje.

La tercera práctica, **FUENTE DE ALIMENTACIÓN, GENERADOR DE FUNCIONES Y POLÍMETRO**, se dedica al estudio del generador de continua (fuente de alimentación), generador de señales (generador de funciones), dejando una parte final para el estudio del polímetro analógico y digital. Se aprende a limitar la corriente máxima de la fuente, a contrastar las medidas de los polímetros incorporados en la fuente con un polímetro externo y se aprende a poner las fuentes en las disposiciones de serie y paralelo. En la segunda parte de esta práctica, se estudia el generador de funciones desde el punto de vista práctico. Así, se mide la impedancia de salida del generador a diferentes frecuencias se emplea el mando de barrido *SWEEP* para entender sus aplicaciones en el estudio de circuitos electrónicos.

La parte final de esta práctica se dedica al diseño y montaje de un amperímetro analógico de varias escalas. Empleando un galvanómetro D'Arsonval, se diseña, se monta y se comprueba el funcionamiento del amperímetro en las diversas escalas, sobre un sencillo circuito de medida. Asimismo, se realizan múltiples medidas para contrastar la fiabilidad del mismo, midiendo errores relativos comparando con el polímetro digital del puesto de prácticas (realizando medidas en DC y en AC cuando procede).

2.2.1 Ejemplos de la parte de prácticas extraídos del texto

A modo de ejemplo, se muestra el contenido de algunos apartados de prácticas tal como aparecen en el texto. Así, aparece en la Práctica 1, "Generalidades del Osciloscopio", lo siguiente (extraído literalmente del texto), para la realización de la parte de la práctica dedicada a la comprobación del efecto de carga del osciloscopio y cálculo de la impedancia compleja del mismo.

"Actuando sobre el condensador variable de la sonda, ajustar hasta que la sonda esté correctamente compensada. Seguidamente se procede a realizar las medidas solicitadas. Una vez que hemos calibrado la sonda, procedemos a realizar el montaje siguiente.

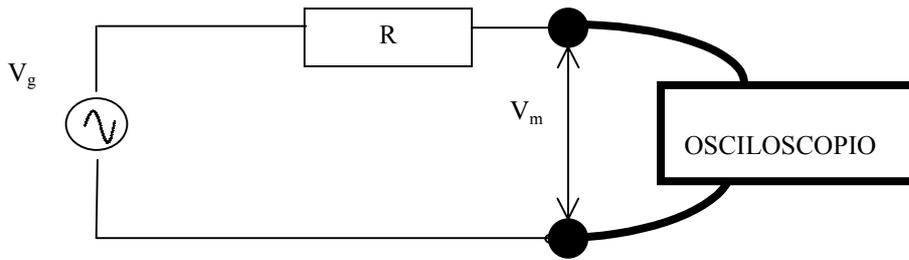


Fig. P1.8. Efecto de carga (señal alterna)

Fíjate que tomamos una SEÑAL ALTERNA del generador de funciones (señal sinusoidal de 10 V_{pp}). Sobre este circuito realizaremos las siguientes medidas, anotando el valor de V_m (tensión en voltios de pico a pico) en la tabla siguiente. Para agilizar las medidas, las realizaremos con la SONDA en la posición **x1** (que equivale a una sonda/cable normal).

MEDIDAS SONDA X1			
RESISTENCIA	F = 1 KHz	F = 100 KHZ	F = 1 MHZ
10 $K\Omega$			
100 $K\Omega$			
1 $M\Omega$			

Tabla P1.5. Comparación de resultados (sonda x1)

Repetimos las medidas pero empleando la SONDA en posición **x10**. Anotamos los resultados (tensión en voltios de pico a pico) y los multiplicamos **x10**, para compensar el valor de la atenuación (ANOTAR LOS VALORES MULTIPLICADOS POR 10).

MEDIDAS SONDA X10			
RESISTENCIA	F = 1 KHz	F = 100 KHZ	F = 1 MHZ
10 $K\Omega$			
100 $K\Omega$			
1 $M\Omega$			

Tabla P1.6. Comparación de resultados (sonda x10)

Explica qué es lo que está pasando.

Explicaciones y comentarios

Por último, calcularemos el valor de la impedancia del osciloscopio sabiendo que los parámetros del mismo son:

$$C = 30 \text{ pF}$$

$$R = 1 \text{ M}\Omega$$

Frecuencia	Valor impedancia (compleja)	Módulo de la impedancia
F = 1 KHZ		
F = 100 KHZ		
F = 1 MHZ		

Tabla P1.7. Impedancia de entrada del osciloscopio

Como se observa, se realiza un montaje sencillo –para concentrarnos sobre el efecto que deseamos comprender- y se realizan múltiples medidas, anotándose los resultados en las tablas dispuestas para tal fin y añadiendo las explicaciones pertinentes en los espacios designados. Nótese que de esta forma se facilita la elaboración de la práctica (la memoria de la misma se obtiene “en

tiempo real”), y asimismo se le facilita la labor de calificación al profesorado. El resto de las prácticas contenidas siguen este esquema presentado, estando adecuadas para la realización completa de cada una de ellas en el tiempo asignado (por lo general dos sesiones de dos horas).

2.3 Problemas resueltos

El texto se complementa con una abundante colección de problemas completamente resueltos. A lo largo de los 10 años de experiencia docente de la asignatura asociada a esta publicación, los profesores han venido realizando el correspondiente número de pruebas escritas (exámenes), donde se ha ido generando un considerable número de problemas originales. Es por ello que pareció oportuno recoger en el texto parte de dicha colección de problemas. Si bien la mayoría de los problemas son del tipo “examen”, además se incluyen problemas con dificultad creciente para cada uno de los temas que conforman la obra. Se pueden clasificar los problemas contenidos en el libro en base al siguiente esquema,

- pruebas de verdadero/falso (por lo general de tipo eminentemente teóricas),
- cuestiones teóricas de desarrollo breve (para ahondar en determinadas cuestiones),
- problemas de resolución breve (para aclarar conceptos)
- problemas de desarrollo (abarcando un tema completo o incluso varios relacionados entre sí),
- problemas propuestos (sin resolver).

A modo de ejemplo, mostramos lo siguiente,

- Problemas de resolución breve (texto íntegro)

Problema 1.9

Dada la siguiente señal, calcula su valor medio y su valor eficaz. Explica brevemente el significado físico del valor eficaz de una señal.

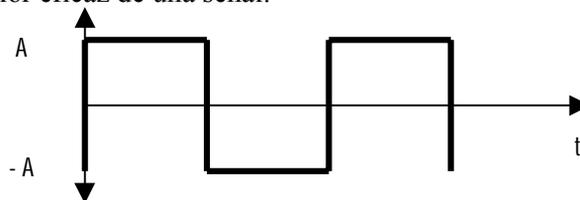


Fig. P1.9-1. Señal pulso rectangular

Solución

- *Valor Medio:* El valor medio es claramente cero, pues los semiciclos positivos se cancelan justamente con los semiciclos negativos, pero vamos a demostrarlo.

$$\begin{aligned}
 V_m &= \frac{1}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot \left[\int_0^{T/2} f(t) \cdot dt + \int_{T/2}^T f(t) \cdot dt \right] = \frac{1}{T} \cdot \left[\int_0^{T/2} A \cdot dt + \int_{T/2}^T (-A) \cdot dt \right] = \\
 &= \frac{1}{T} \cdot \left[A \int_0^{T/2} dt - A \int_{T/2}^T dt \right] = \frac{A}{T} \cdot [t_0^{T/2} - t_{T/2}^T] = \frac{A}{T} \cdot \left[\frac{T}{2} - \frac{T}{2} \right] = 0
 \end{aligned}$$

- *Valor Eficaz:*

Lo calculamos empleando la expresión del valor eficaz,

$$\begin{aligned}
 V_m &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \left[\int_0^{T/2} f(t)^2 \cdot dt + \int_{T/2}^T f(t)^2 \cdot dt \right]} = \sqrt{\frac{1}{T} \left[\int_0^{T/2} A^2 \cdot dt + \int_{T/2}^T (-A)^2 \cdot dt \right]} = \\
 V_m &= \sqrt{\frac{1}{T} \left[\int_0^{T/2} A^2 \cdot dt + \int_{T/2}^T (-A)^2 \cdot dt \right]} = \sqrt{\frac{A^2}{T} \left[\int_0^{T/2} dt + \int_{T/2}^T dt \right]} = \sqrt{\frac{A^2}{T} [t_0^{T/2} + t_{T/2}^T]} = \sqrt{\frac{A^2}{T} [t_0^{T/2} + t_{T/2}^T]} = \\
 V_m &= \sqrt{\frac{A^2}{T} [t_0^{T/2} + t_{T/2}^T]} = \sqrt{\frac{A^2}{T}} T = A
 \end{aligned}$$

3. Experiencia docente

Los autores de la obra son Profesores Titulares de Universidad del área de conocimiento de Tecnología Electrónica con docencia en la ETSIT de la ULPGC. Desde el año 1996 imparten conjuntamente la docencia (teoría y prácticas) de la asignatura Ampliación de Electrónica, asignatura troncal de 1º curso de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación. Es por ello que han elaborado esta obra que se ciñe a los descriptores de la asignatura (sin menoscabo para su empleo en otras asignatura que impartan contenidos similares). Tras la experiencia docente que avala la impartición de 10 años de esta asignatura apoyándose en esta obra didáctica –existen versiones anteriores al texto definitivo que se presenta-, se afirma que los resultados son altamente satisfactorios y prueba de ello es el alto rendimiento académico de las alumnas y alumnos que han venido cursando esta materia fundamental durante estos cursos. Asimismo, cabe mencionar que, la inclusión de un amplio conjunto de problemas completamente resueltos, ha permitido constatar que su estudio permite de forma fehaciente reforzar y profundizar en los aspectos teórico/prácticos que la obra contiene.

4. Conclusiones

Se ha pretendido reunir en un solo texto los aspectos que se consideran fundamentales para el seguimiento teórico y práctico de las enseñanzas de Instrumentación Electrónica Básica que se imparten en los primeros cursos de Ingeniería Electrónica, de tal forma que este texto se torne como una herramienta docente asequible y rigurosa que facilite, por una parte la enseñanza y por otra el aprendizaje para los potenciales usuarios (profesorado y alumnado) en este campo del conocimiento técnico.

Asimismo los autores son conscientes de que es imposible –e incluso poco indicado en el mundo académico universitario- elaborar una obra que cubra todos y cada uno de los aspectos relacionados con las enseñanzas que se tratan. Por ello, se remite al alumnado a ampliar los conocimientos a través de otros textos y otras herramientas docentes, siendo la obra presentada el punto de partida para iniciarse en estas disciplinas fundamentales.

Referencias

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

- [1] L. Gómez, F. Tobajas, *Fundamentos de Instrumentación Electrónica*. Las Palmas de Gran Canaria: Servicio de Reprografía de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (2001).
- [2] I. Esquivias, T. Rodríguez, Sangrador, J. Sanz, *Introducción al Osciloscopio*. Madrid: Servicio de publicaciones de la ETSI de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid (1984).
- [3] I. Esquivias, J. Sanz, *Polímetro Analógico y Fuentes de Alimentación de Laboratorio*. Madrid: Servicio de publicaciones de la ETSI de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid (1984).