

Un proyecto docente para la asignatura Electrónica e Instrumentación del nuevo Máster Ingeniero Industrial

Francisco Javier Azcondo, Miguel Ángel Allende
ETS I. Industriales y de Telecomunicación Dept. TEISA
Universidad de Cantabria
Santander, España
{azcondof, allendem}@unican.es

Abstract— La asignatura “Electrónica e Instrumentación” del Máster Ingeniero Industrial de la Universidad de Cantabria, que se imparte desde el curso 2011-2012, es la única del plan de estudios dedicada a la enseñanza de tecnología electrónica y, por un lado, cumple el requisito establecido por la Orden CIN/311/2009, que se refiere a la “capacidad para diseñar sistemas electrónicos y de instrumentación industrial”, y por otro aprovecha la formación previa, en muchos casos diversa y siempre multidisciplinar, para plantear unos contenidos que sirven tanto de revisión como de nuevo aprendizaje para alumnos con un bagaje en formación en electrónica diferente. Al mismo tiempo, se busca la integración de las capacidades a alcanzar por los alumnos con el resto de contenidos tecnológicos del plan de estudios, especialmente con la ingeniería de sistemas, sin dejar de lado el conocimiento del coste de las soluciones a las especificaciones de un proyecto resueltas mediante la tecnología electrónica.

Palabras clave; Electrónica, instrumentación, filtros, convertidores analógico-digiales, sensores, acondicionadores de señal.

I. INTRODUCTION

Los estudios de Ingeniero Industrial se inician en la Universidad de Cantabria con un programa de segundo ciclo de 24 de octubre de 1988, publicado en el BOE del 18 de noviembre. En este programa se incluyó la asignatura “Instrumentación” de 6 créditos. En el plan de estudios Ingeniero Industrial, de fecha de homologación 4 de diciembre de 1994, que actualmente está proceso de extinción, existen 18 créditos dedicados a asignaturas de Tecnología Electrónica. En los seis primeros, que corresponden a la asignatura “Sistemas Electrónicos” se imparten contenidos de análisis de circuitos eléctricos y electrónicos, y en la siguiente asignatura “Ampliación de Sistemas Electrónicos” se imparten los fundamentos de la electrónica digital. Las asignaturas “Electrónica Industrial” y “Ampliación de Electrónica Industrial” recogen los fundamentos de las técnicas de conversión de potencia, componentes y modelado. Se puede decir, por tanto, que en este Plan de Estudios no existe una asignatura cuyos contenidos sean directamente asimilables a los que se proponen en la asignatura “Electrónica e Instrumentación” del nuevo Máster Ingeniero Industrial.

En el nuevo Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales se incluye, dentro del módulo “Común a la Rama Industrial”, la materia de 12 créditos ECTS “Electrónica y Automática”, 6 de los cuales se dedican a la asignatura “Electrónica”, donde se estudia la aplicación de las leyes básicas de teoría de circuitos, se realiza un introducción a los semiconductores con aplicaciones en circuitos realizados con diodos, pasando posteriormente al estudio del transistor MOS y los amplificadores basados en este dispositivo, finalizando con los amplificadores operacionales y algunas de sus aplicaciones básicas como la realización de sumadores, restadores y funciones integrales y diferenciales. La asignatura “Electrónica” del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales es en la que más directamente se apoya la asignatura “Electrónica e instrumentación” del Máster Ingeniero Industrial. En el “Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales”, dentro del módulo de Selección de Tecnología Específica, que toma asignaturas de los módulos de Tecnología Específica de los diferentes grados de la familia industrial, se incluye la materia de 12 créditos ECTS “Ampliación de Electrónica y Automática”, que dedica 6 créditos a la asignatura “Ampliación de Electrónica” con contenidos de electrónica digital y de potencia, que se ampliarán en las asignaturas del módulo optativo de Electrónica y Automática del mismo plan de estudios.

El Máster Ingeniero Industrial se imparte desde el curso 2011-12, tres años antes de que se incorporen alumnos que hayan finalizado el “Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales”. Los alumnos de los que se nutre el Plan de Estudios son titulados Ingenieros Técnicos Industriales que han superado el curso de “Adaptación al Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales”, verificado por la ANECA, y que otorga el título de Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales y, por lo tanto, el acceso sin más complementos al Máster Ingeniero Industrial de la Universidad de Cantabria. En este plan de adaptación se incluye la asignatura “Ampliación de Electrónica”, circunstancia que se tiene en cuenta a la hora de diseñar la asignatura “Electrónica e Instrumentación”.

El artículo se organiza de la siguiente forma. En la sección II se explican las bases sobre las que se diseña el Máster Ingeniero Industrial. En la sección III se realiza un breve

análisis de los estudiantes que cursan el plan de estudios. En las secciones IV y V se explican los contenidos y el programa de prácticas de la asignatura, respectivamente. La sección VI se dedica a la organización de la evaluación, mientras que en la sección VII se indican las competencias que se alcanzan al cursar la asignatura, finalizando con las conclusiones.

II. PLAN DE ESTUDIOS MÁSTER INGENIERO INDUSTRIAL

Según se recoge en la memoria Verifica, el plan de estudios Máster en Ingeniería Industrial tiene como objetivo completar los estudios de "Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales" u otros grados de la familia de la Ingeniería Industrial con objeto de proporcionar una formación avanzada de carácter multidisciplinar para adquirir las atribuciones de la profesión Ingeniero Industrial. El plan de estudios forma en las técnicas de los diferentes Grados de la familia de la Ingeniería Industrial y debe conseguir un titulado con conocimientos multidisciplinarios avanzados. El título de Máster en Ingeniería Industrial está diseñado para proporcionar todas las atribuciones profesionales del Ingeniero Industrial. Se pretende que esta titulación sea de gran interés para una buena parte del tejido industrial de España, como el formado por las PYMES industriales que no pueden permitirse contratar varios titulados de las diferentes especialidades, o donde se requiere que la especialización de sus ingenieros no sea incompatible con un conocimiento de otras disciplinas necesarias para el diseño de productos y procesos industriales. Es también factible que, tanto en PYMES como en grandes empresas, este tipo de titulados puedan actuar como líderes y coordinadores de equipos multidisciplinarios, formados por varios titulados especializados cada uno en su rama de conocimiento. De esta forma, se prevé que accedan al mercado de trabajo con garantías de ocupar empleos de calidad, aportando gran valor añadido y con oportunidades en un entorno internacional.

El plan de estudios consta de 72 créditos, distribuidos en dos módulos obligatorios, cada uno de 6 asignaturas de 5 créditos ECTS y un Proyecto Fin de Máster de 12 créditos. Cada módulo se ubica en un cuatrimestre. El denominado de "Tecnología Industrial" en el primero y el módulo de "Gestión" en el segundo.

Las competencias descritas en la Orden CIN/311/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial, referentes al módulo de Tecnología Industrial se cubren por el módulo de la Memoria Verifica denominado "Tecnologías Industriales".

III. PERFIL DE LOS ESTUDIANTES

Actualmente, los alumnos que reciben esta asignatura son titulados Ingenieros Técnicos Industriales de las distintas especialidades: Electrónica Industrial, Electricidad, Mecánica y Química, que son también titulados en el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales por haber superado el Curso de Adaptación a este Grado. La formación de origen es, por tanto, diversa dentro del ámbito industrial, pero las asignaturas de "Ampliación de Electrónica" y "Ampliación de Automática" del Curso de Adaptación garantizan que los alumnos partan con los fundamentos suficientes para abordar la asignatura.

A partir del curso 2014-15, el grupo de alumnos estará formado principalmente por titulados del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, que incluye una formación más extensa de fundamentos sobre los contenidos de la asignatura "Electrónica e Instrumentación" a través de la asignatura "Electrónica".

Aunque a partir del curso 2014-15 se podrán plantear algunas modificaciones, debidas a la evolución del perfil del alumnado y a la experiencia en el desarrollo de la asignatura, al menos hasta entonces se propone incluir unos fundamentos de análisis de circuitos y conceptos de realimentación que permitan tanto revisar, o estudiar desde un punto de vista diferente, temas aprendidos en asignaturas previas, así como aprovechar esta revisión para presentar criterios de explicación y notación. De esta forma, incluso alumnos que tengan una procedencia diferente a la descrita hasta este punto, tales como graduados de otras universidades españolas o extranjeras, pueden seguir la asignatura sin encontrar "huecos" de formación previa que no estén contemplados en el programa.

IV. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

A. Antecedentes

La Electrónica es una tecnología que permite tratar la tensión y la intensidad eléctrica como señales que contienen información, en lugar de cómo energía que se transforma. El valor añadido está, por tanto, en la calidad, cantidad y velocidad de adquisición, transformación y utilidad del resultado de la información que se puede extraer de las variables eléctricas. Por supuesto, en este proceso debe considerarse el coste general que requiere adquirir y tratar la información, particularmente el coste energético.

En este sentido, los antecedentes de la utilización de las variables eléctricas para manejar información se pueden remontar a la transmisión de señal en el campo de las comunicaciones por cable y por radiofrecuencia iniciadas entre otros por Tesla, Marconi, Popov y cabe mencionar a Julio Cervera [1], a los que se les puede atribuir el invento de la radio y por Graham Bell con la invención del teléfono.

La Electrónica, tal y como hoy la conocemos, se sitúa en la aparición del diodo semiconductor (basado en los trabajos de Russel Ohl), este descubrimiento no se comunica por motivos bélicos hasta 1946, casi al mismo tiempo en que William Shockley, John Bardeen y Walter Brattain [2] construyen el transistor bipolar en los laboratorios de la compañía Bell Telephone en 1947. Este dispositivo es considerado como el punto inicial de la electrónica y por ello sus inventores recibieron el premio Nobel de Física en 1956.

La palabra operacional aparece por la capacidad de los amplificadores de realizar operaciones matemáticas. George Philbrick fue pionero en la utilización y comercialización de amplificadores operacionales, inicialmente realizados con un tubo de vacío [3].

Desde el transistor de puntas de contacto (*cat whiskers*) de 1947 hasta el transistor planar comercial de Jean Hoerni de Fairchild en 1960 (empleando técnicas fotolitográficas y utilizando los procesos de difusión por Gordon Moore y Robert Noyce), este dispositivo sufre una constante evolución. La

tecnología planar permite la integración de varios transistores en un mismo sustrato semiconductor.

El primer circuito integrado, un amplificador operacional, fue desarrollado por Jack Kilby de Texas Instruments en 1958 y posteriormente es fabricado por Noyce en Fairchild junto con las primeras familias lógicas digitales. En 2000, Kilby [4] recibe el premio Nobel de Física por ser considerado el padre de los circuitos integrados.

La aparición de los computadores digitales en los sesenta abre el camino al tratamiento digital de la información. A principios de los setenta Intel lanza el primer microprocesador (i4004) en un chip. El primer procesador dedicado al tratamiento de señal [5], es decir diseñado para realizar eficientemente el cálculo reiterado de la combinación producto - acumulación, que es la operación básica de la convolución, con éxito comercial es el TMS32010 de Texas Instruments.

En ámbito industrial, los sistemas electrónicos son la base de la mayoría de los elementos que se utilizan para la automatización, monitorización, transmisión de información y regulación de las operaciones de máquinas y procesos, siendo también la tecnología de base que permite la interacción con los operarios. Este es el aspecto sobre el que desarrollar la formación en la asignatura "Electrónica e Instrumentación" y que se trata de resumir en la Fig. 1., donde se presenta el diagrama de bloques de un sistema en el que se realiza una adquisición de información de las variables de interés traducida a variables eléctricas por medio de sensores y unos primeros circuitos acondicionadores. De la información obtenida, se selecciona la parte aprovechable, ya que toda medida tiene error [6], a la escala adecuada. Es habitual que el tratamiento de la información recogida se realice por métodos digitales y por tanto la conversión de señal analógica a digital [7] se incluye en el proceso. Una vez obtenida, la información se emplea para mostrarse al usuario, transmitirse, para compararse con una determinada referencia o predecir una evolución de la operación del sistema. En estos últimos casos, el resultado de la comparación de la información con la referencia o de la predicción con el resultado esperado se denomina error, diferente al error de medida, y es una nueva información a procesar con el objetivo de determinar las acciones necesarias, para minimizar o anular el error en unas condiciones de operación viables y lo más favorables desde el punto de vista del rendimiento del proceso. En la Fig. 1. se destacan los bloques que son objeto de estudio en la asignatura.

B. Objetivos de la asignatura

Los objetivos técnicos de la asignatura son:

- Dotar a los alumnos con capacidad de diseñar circuitos electrónicos utilizando amplificadores operacionales para extraer información de las señales eléctricas.
- Dotar a los alumnos con capacidad de diseñar algoritmos digitales materializados en circuitos electrónicos para extraer información de datos digitales previos.
- Dotar a los alumnos con los conocimientos necesarios sobre las técnicas de conversión de señales analógicas a digitales y la caracterización de este proceso.

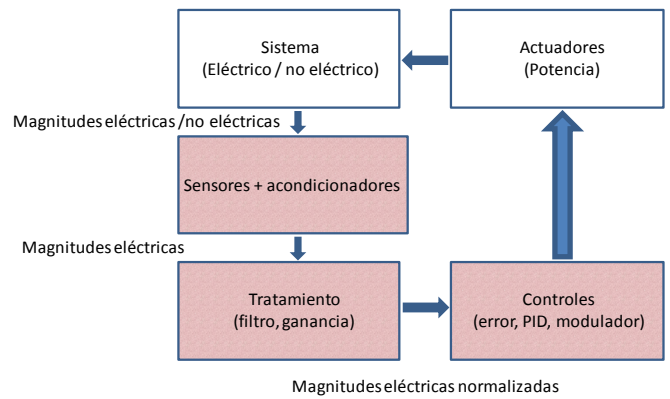


Figure 1. Diagrama de bloques de un sistema industrial

- Dotar a los alumnos con la capacidad de diseñar sistemas de sensado de variables físicas obteniendo señales eléctricas y acondicionarlas para su posterior tratamiento.

- Dotar a los alumnos con la capacidad de caracterizar un sistema de instrumentación: intervalo de operación, linealidad, precisión, exactitud, ancho de banda, efecto del muestreo, etc.

C. Descripción de la asignatura

El programa se inicia con la revisión de los conceptos que se aplican al análisis de circuitos lineales e invariantes en el tiempo (LTI), el significado del análisis en pequeña señal y el diagrama de Bode. Esto sirve para que los alumnos, que pueden tener conocimientos previos diversos, encuentren fácilmente un hilo conductor asumido por todos. Se generaliza el concepto función de transferencia de un sistema LTI a toda relación entre una perturbación de entrada (denominador) y una de salida (numerador) incluyendo tanto ganancias como inmitancias. Este inicio sirve también para indicar criterios de notación y de presentación de las expresiones de las funciones de transferencia a fin de que se evidencien sus propiedades tales como valores de ganancia constante, ubicación de polos y ceros y factores de calidad [8]. El efecto de diferentes componentes se debe también evidenciar en la expresión de las funciones de transferencia, tratando de conseguir términos en los que se observe la importancia relativa de un valor frente a otro, de forma que se puedan establecer criterios de simplificación. Se trata, por tanto, de realizar el análisis de circuitos [9] evitando resolver sistemas de ecuaciones resultantes de un análisis sistemático de nudos y mallas, simplificando el sistema con los teoremas de Thevenin y Norton y observando los efectos a bajas y a altas frecuencias.

Estos conceptos se aplican a un conjunto de circuitos pasivos de resistencias y condensadores, RC (cuadripolos), que tendrán utilidad posterior en la realización de filtros analógicos. Desde el punto de vista de seguimiento del aprendizaje, estas redes RC son enunciados que sirven para presentar ejemplos, que se resuelven en grupo y de forma individual.

A continuación se revisan la técnica de dibujo "a mano" de diagramas de Bode, atendiendo a la existencia de polos, polos invertidos, y ceros y ceros invertidos de primer orden [10] o términos de segundo orden donde se destaca el efecto del factor de calidad [11]. La utilización de polos y ceros invertidos permite realizar la construcción del diagrama de Bode desde la

zona de ganancia constante en lugar de empezar siempre a bajas frecuencias. Las funciones de transferencia a caracterizar son principalmente la ganancia en tensión con la salida en circuito abierto y la transadmitancia directa con la salida cortocircuitada, ya que son los parámetros que se utilizarán para determinar la ganancia de los circuitos realizados con amplificadores operacionales.

Se dedica un apartado a revisar la solución de ecuaciones de segundo grado, de forma que se haga evidente la relación entre las raíces y que, como primer paso, se extraiga el factor de calidad.

A fin de profundizar en el análisis de los circuitos lineales y con la idea de realizar una aproximación orientada al diseño donde se destaque la importancia relativa de los componentes, se enseña el teorema del elemento extra de Middlebrook [12] realizando ejercicios inicialmente con circuitos pasivos RC. El análisis de circuitos lineales continúa con la presentación de relaciones entre impedancias admitancias y ganancias que conducen a los teoremas de impedancia de entrada y de salida.

El primer bloque introductorio finaliza con una revisión de la realimentación y el efecto que tiene sobre la ganancia y ancho de banda de un amplificador.

A continuación se presenta un apartado dedicado a las estructuras básicas y genéricas de amplificadores de ganancia positiva y negativa, finalizando en una estructura que utiliza un amplificador operacional a partir de la cual se puede obtener a la salida una combinación lineal de un determinado número de entradas, según se indica en la Fig. 2. El análisis de estas estructuras se realiza considerando el amplificador operacional ideal y se recuerda que el análisis es en pequeña señal para presentar de forma diferenciada las condiciones de polarización. Por motivos de estrategia docente, se realiza un repaso rápido de los aprendido hasta el momento, que son los elementos que van a formar parte de los circuitos (filtros activos) que se estudian a continuación y los fundamentos de su análisis.

El capítulo de filtros se desarrolla siguiendo la lección dedicada a Filtros y Amplificadores Sintonizados de Sedra / Smith [13] y Pérez y otros [14], si bien se revisan las técnicas de análisis de circuitos y la presentación de las funciones de transferencia según lo estudiado en los temas anteriores. Inicialmente se definen los conceptos que permiten especificar la respuesta de un filtro y se indica el papel que juegan los polos y los ceros. A continuación se explica cómo dar solución a unas especificaciones dadas a través de funciones de transferencia que corresponden a filtros Butterworth y Chebyshev. El siguiente paso es dar una solución circuital a las funciones de transferencia que resulten del diseño de un filtro. Como bloques constructivos se presentan circuitos que realizan funciones bilineales utilizando redes RC y amplificadores operacionales.

A continuación se presenta la respuesta de filtros que responden a funciones bicuadráticas, cuya solución circuital se presenta con redes pasivas RLC. Estas redes se transforman en circuitos RC con amplificadores operacionales sustituyendo la inductancia por el circuito de Antoniou. Al mismo tiempo, se indica la propiedad de mantener el denominador de la función

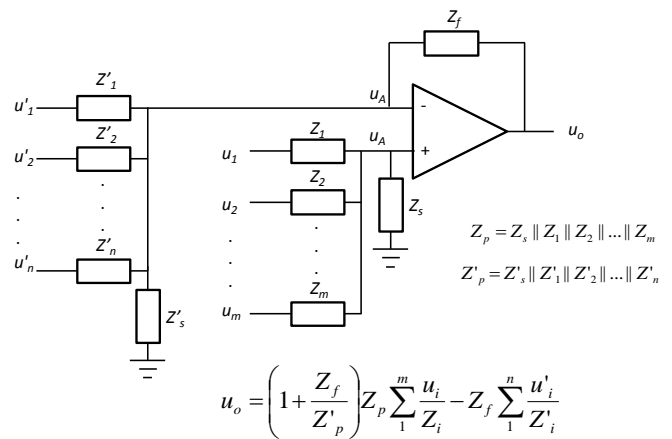


Figure 2. Estructura genérica realizada con un amplificador operacional

de transferencia de circuitos que mantienen la misma estructura para ir deduciendo los diferentes filtros. Posteriormente, se presentan otras soluciones a los filtros bicuadráticos utilizando lazos de dos integradores y los circuitos de Tow-Thomas.

Lo estudiado en la primera lección dedicada al análisis de circuitos LTI y a la realimentación es de gran utilidad para presentar el apartado dedicado a filtros bicuadráticos realizados con un amplificador llegando a deducir la estructura Sallen-Key. El tema finaliza presentando el principio de funcionamiento de los filtros de capacidades conmutadas, completando así una secuencia de materialización de filtros de menor a mayor integración.

Se considera adecuado completar la lección de circuitos que implementan funciones de transferencia con el diseño de reguladores lineales. Se presenta el caso de diseño de la acción integral (regulador tipo 1), proporcional integral (regulador tipo 2) y proporcional integral derivativa (regulador de tipo 3), mediante una técnica sistemática de obtención de la función de transferencia a través del factor k [15] y unas topologías concretas que los implementan, basadas en un amplificador operacional y redes RC. Se finaliza este bloque con la medida de funciones de transferencia utilizando un analizador de redes.

La lección sobre filtros digitales se inicia con una justificación, clasificación y estudio de la correspondencia entre semiplano negativo del dominio de Laplace y el círculo unidad en el plano z utilizando la transformación $z = e^{sT}$, que surge de forma natural a partir de las definiciones matemáticas de las transformadas de Laplace y z . Se indica el efecto del muestreo [16]. Posteriormente se presenta el diseño de filtros y controladores digitales apoyándose en [17] y el capítulo 3 de la Tesis del Dr. Ángel de Castro [18], mediante la obtención de la función de transferencia equivalente a la diseñada en el dominio de Laplace en el dominio z , según las técnicas:

- Respuesta invariante al impulso
- Equivalente ZOH
- Métodos de integración numérica
- Transformación bilineal (método de Tustin)
- Transformación bilineal con prewarping
- Ajuste de ceros y polos,

indicando las consecuencias esperadas de cada una de ellas, en términos de coincidencia de la respuesta en frecuencia con la original, expresada en el dominio de Laplace, entre otras propiedades y, en su caso, la correspondencia con el comando *c2d* de Matlab.

El tema finaliza presentando estructuras hardware compuestas por bloques sumadores, multiplicadores y registros que permiten la implementación de los filtros digitales según diferentes estrategias. Se muestran ejemplos de descripción en VHDL.

El siguiente bloque temático, para el que se utiliza principalmente el documento Tesis del Dr. Camilo Quintáns [19] y [14], está dedicado a los convertidores analógico digitales, ADCs, que se divide en dos partes. La primera está dedicada a conocer las especificaciones disponibles en este tipo de circuitos y a la caracterización de éstas, divididas en especificaciones estáticas y dinámicas [20], para posteriormente establecer los criterios de selección de la resolución y velocidad de conversión en función de la relación señal ruido comparada con la de la señal a convertir, la amplitud y componente de frecuencia más elevada de esta señal a convertir. La segunda parte está dedicada a la tecnología de convertidores ADC. Se explica con especial atención el convertidor sigma-delta estudiando los tres bloques: modulador sigma-delta, filtrado y diezmado y ecualizador, fundamentando el efecto del sobremuestreo en la resolución final, las mejoras de resolución que obtiene el filtrado y describiendo las especificaciones del diseño del ecualizador. En base a diagramas de bloques se explica el funcionamiento del convertidor ADC que utiliza la técnica de segmentación (pipeline), tras presentar someramente antecedentes, como los ADC flash, aproximaciones sucesivas y semiparalelo. La simulación de un modulador sigma-delta constituye la parte práctica de este bloque, si bien se prevé ampliarlo a una práctica de laboratorio con una tarjeta de evaluación de un ADC.

El último bloque de contenidos está dedicado a sensores y acondicionadores de señal [14] y [21] dividido a su vez en dos apartados. El primero está dedicado a sensores pasivos, resistivos, capacitivos e inductivos, incluyendo el transformador lineal diferencial (LVDT). Junto con los sensores se estudian circuitos que permiten traducir la variación de la impedancia o relación de transformación en una variable eléctrica: puente de Wheatstone, amplificador diferencial, amplificador de instrumentación, etc..., los errores a considerar [22-23] y su corrección. Se estudia también el origen de las interferencias: resistiva, capacitiva e inductiva, técnicas para mitigarlas, como la medida a tres y cuatro hilos, apantallamiento, puesta a tierra, etc... El segundo apartado está dedicado al principio de funcionamiento de algunos sensores generadores como los termopares, piezoeléctricos, piroeléctricos, fotovoltaicos y electroquímicos. Se termina el tema con una introducción a los Sistemas de Adquisición de Datos con los sistemas de instrumentación basados en el bus VXI y el software LabView [14].

Finaliza el programa con ejercicios sobre el tema y una revisión de contenidos de cara al examen.

V. PROGRAMA DE PRÁCTICAS

El objetivo es tanto alcanzar las competencias prácticas necesarias en la asignatura como ayudar en la comprensión de los contenidos teóricos, por ello el orden del programa es:

Práctica 1. Análisis y simulación de redes RC en ac.

Objetivos: Análisis y simulación de una red RC con estructura puente en T . Cada alumno debe conocer sus capacidades iniciales de análisis de circuitos y verificar su desenvolvimiento con la herramienta de simulación. Asimismo, se entrena la utilización del teorema del elemento extra.

Práctica 2. Diseño de un filtro analógico.

Objetivos: Simulación y realización de un filtro para seleccionar un tono de una señal de audio. Conocer y potenciar las capacidades de establecer especificaciones de un filtro analógico, decidir la estructura y realización con componentes discretos, y adquirir capacidades de medida de funciones de transferencia.

Práctica 3. Simulación de un filtro digital.

Objetivos: Obtención de la función de transferencia en el dominio z del filtro previamente diseñado utilizando la transformación bilineal con prewarping. Verificar el resultado con el programa Matlab y comparar la respuesta con el filtro analógico, viendo la influencia del periodo de muestreo. Conocer y potenciar las capacidades de plantear filtros y funciones de transferencia en el dominio discreto.

Práctica 4. Simulación de un modulador sigma-delta.

Objetivos: Obtener la respuesta de un modulador sigma delta ante una determinada entrada y de sus señales intermedias, error e integral del error. Tener experiencia del principio de operación del modulador sigma-delta observando el efecto de aumentar la frecuencia de muestreo en relación a la frecuencia de la señal de entrada.

Práctica 5. Transformación de una señal con un ADC.

Objetivos: Utilizando una placa de evaluación obtener el resultado de digitalizar una determinada señal y medir parámetros indicados en las hojas de datos. Adquirir competencias en la selección y evaluación de ADCs.

Práctica 6. Medida de una variable física.

Objetivos: Utilización de un sensor, típicamente un termistor (NTC) para obtener una tensión que signifique un valor de temperatura. Diseño del circuito acondicionador. Determinación del error de medida y mejora de la linealidad.

Práctica 7. Caracterizar un filtro utilizando un sistema de instrumentación VXI

Objetivos: Utilizar un entorno de programación LabView para ajustar los instrumentos virtuales necesarios (fuentes de alimentación, generador de funciones, osciloscopio, etc.) para caracterizar el comportamiento en frecuencia del filtro diseñado anteriormente (diagrama de Bode).

VI. EVALUACIÓN

El objetivo de la evaluación es determinar el grado de adquisición de competencias y de consecución de los objetivos del aprendizaje.

Como idea general, la evaluación continua constituye el 60% de la calificación final y el examen final determina el 40% restante.

Los puntos que conforman la evaluación continua son el seguimiento de las clases (20% del total) constituido por la resolución de los ejercicios de cada tema (prácticas de aula), participación en las clases y tutorías y en general la percepción de las capacidades que adquieren los alumnos en la interacción con los profesores. Lógicamente, tienen mayor peso en esta parte de la evaluación la resolución de ejercicios ya que queda constancia documental del trabajo realizado. El resto de la calificación de la evaluación continua (40% sobre el total) lo constituyen las prácticas de simulación, de realización de circuitos y de medida de laboratorio sobre las que los alumnos realizan una memoria, que se evalúa junto con la observación por parte del profesor de la evolución de la realización práctica.

El examen final está constituido por cuatro ejercicios semejantes a los que se han planteado en las prácticas de aula con contenido teórico práctico, tratando de cubrir aspectos de todo el temario.

VII. COMPETENCIAS Y RESULTADOS DEL APRENDIZAJE

Para el desarrollo de este apartado se emplean términos y métodos de clasificación inspirados en el texto [24].

Competencias genéricas

- Tener conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de: métodos matemáticos, analíticos y numéricos en la ingeniería, ingeniería eléctrica, electrónica industrial, automática, etc.

- Poseer las habilidades de aprendizaje que permitan continuar estudiando de un modo autodirigido o autónomo.

Competencias específicas

- Capacidad para diseñar sistemas electrónicos y de instrumentación industrial.

Por otro lado, los resultados esperados del aprendizaje son:

- Capacidad de resolver la adquisición de variables físicas mediante señales eléctricas y acondicionarlas para su procesado.

- Capacidad de diseñar filtros activos analógicos y digitales para procesar señales eléctricas.

- Capacidad de diseñar y caracterizar un sistema de medida electrónico.

CONCLUSIONES

El diseño de la asignatura "Electrónica e Instrumentación" está condicionado por la orden Ministerial que enuncia las capacidades a adquirir para ser Ingeniero Industrial en España a

través del "Máster Ingeniero Industrial". La motivación de los alumnos no tiene por qué estar orientada hacia esta materia, que es obligatoria, sino que en principio lo está, de forma más general, a la formación vinculada a la Ingeniería Industrial, extremo que ha de considerarse en el planteamiento de la asignatura. La utilidad de los contenidos debe ligarse, no sólo a un posible desarrollo profesional en el campo de la electrónica, sino con la relación que pueda tener con el resto de asignaturas del plan de estudios y como herramienta de capacitación tecnológica que apoye la realización del proyecto fin de carrera y en un ejercicio profesional amplio dentro de la ingeniería.

REFERENCES

- [1] Página web del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/librosapendice_1_981ff066.pdf.
- [2] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1956/
- [3] R.F. Coughlin, F.F. Driscoll. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Prentice Hall. 1991.
- [4] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2000/
- [5] Jose B. Mariño Ed. Tratamiento digital de la señal. Edicions UPC. 2003
- [6] Derek MacLachlan. "Getting Back to the Basics of Electrical Measurements." White paper. Keithley Instruments, Inc. 2010.
- [7] Robert H. Walden. "Analog-to-Digital Converter Survey and Analysis." IEEE Journal in selected areas in communications. Vol. 17, No. 4. pp. 539 - 550. April 1999.
- [8] R.D. Middlebrook. "Low-entropy expressions: the key to design-oriented analysis". Proc. of the Frontiers in education conference pp. 399-403.1991.
- [9] V. Vorperian. *Fast analytical techniques for electrical and electronic circuits*. Cambridge University Press. 2004.
- [10] R.D. Middlebrook. "Teaching design oriented analysis at the first level". Proc. of the Frontiers in education conference pp. 20-23.1993.
- [11] R.D. Middlebrook. "Methods of Design-Oriented Analysis: The Quadratic Equation Revisited". Proc. of the Frontiers in education conference pp. 95-102.1992.
- [12] R.D. Middlebrook. "Null double injection and the extra element theorem". IEEE Trans. on Education. Vol. 32. pp. 167 -180. 1989.
- [13] Sedra / Smith. *Microelectronics Circuits*. Oxford University Press. 2011
- [14] M. A. Pérez García y otros. *Instrumentación electrónica*. Thomson. 2004.
- [15] H. Dean Venable. "The k factor: a new mathematical tool for stability analysis and synthesis". Linear Technology. Reference reading #4. 1983.
- [16] Walt Kester. "What the Nyquist Criterion Means to Your Sampled Data System Design." Tutorial. Analog Devices 2009.
- [17] G.F.Franklin, J.D. Powell and M. Workman. *Digital control of dynamic systems*. Pearson Education. 3rd Ed. 2005.
- [18] Ángel de Castro. *Aplicación del control digital basado en hardware específico para convertidores de potencia conmutados*. Tesis doctoral. UPM. 2003.
- [19] Camilo Quintáns. *Estructuras avanzadas de convertidores analógico digital: Metodologías de diseño, simulación y enseñanza*. Tesis doctoral UNED. 2008.
- [20] Robert H. Walden. "Analog-to-Digital Converter Survey and Analysis". IEEE Journal in selected areas in communications. Vol. 17. No. 4. pp 539 - 550. April 1999.
- [21] R. Pallás Areny. *Sensores y acondicionadores de señal 4ª Ed*. Marcombo. 2007.
- [22] Derek MacLachlan. "Getting Back to the Basics of Electrical Measurements." White Paper. Keithley Instruments, Inc. 2010.
- [23] Dale Cigoy. "Accurate Low-Resistance Measurements Start with Identifying Sources of Error." White Paper. Keithley Instruments, Inc. 2010.
- [24] Aurelio Villa y Manuel Poblete. *Aprendizaje Basado en Competencias*. Ediciones Mensajero. 2007.