



APLICACIONES DE LA INGENIERÍA ELECTRÓNICA II

Plan de la asignatura

Código: 11618

Créditos: 6 (teoría 3, laboratorio 3)

Profesores: *Coordinadores:*

Alberto Poveda López (poveda@eel.upc.es, Ed. C4, Desp. 111, Campus Nord UPC)

Francesc Guinjoan Gispert (guinjoan@eel.upc.es, Ed. C4, Desp. 109, Campus Nord UPC)

Eduard Alarcón Cot (ealarcon@eel.upc.es, Ed. C4, Desp. 105, Campus Nord UPC)

Curso: Se puede cursar en cualquier cuatrimestre una vez cursado el primer cuatrimestre de los estudios de Ingeniería Electrónica, y como asignatura optativa en los estudios de Ingeniería de Telecomunicación.

Dedicación: 112 horas (84 no presenciales, 28 presenciales)

teoría : 28 horas (no presenciales) + 28 horas trabajo personal (no presenciales)

prácticas : 28 horas (presenciales lab.) + 28 horas trabajo personal (no presenciales)

Presentación

Introducción

La presencia masiva de circuitos conmutados de conversión de potencia en los equipos para las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC), tecnologías que constituyen el objetivo principal de la ETSETB, viene impuesta por la necesidad de una alta eficiencia energética en su alimentación, ya sea por razones de disipación en el caso de gran consumo, o de volumen y peso en el caso de equipos autónomos alimentados por baterías (e.g. terminales de telefonía móvil, ordenadores portátiles, satélites de telecomunicación en aplicaciones aeroespaciales). Es por ello que el principal objetivo de la asignatura Aplicaciones de la Ingeniería Electrónica II consiste en el análisis orientado al diseño de estos circuitos conmutados para conversión de potencia eléctrica con alto rendimiento, concretándose en los convertidores DC-DC de alta frecuencia.

Objetivos generales

Por tanto el objetivo global de la asignatura es proporcionar los conocimientos necesarios para el diseño y la realización de un convertidor conmutado de potencia. Para ello, el contenido de la asignatura tiene como objetivos parciales revisar o presentar los siguientes aspectos:

- La naturaleza específica de los circuitos de procesado de potencia, en comparación con los circuitos de procesado de señal.
- Los tipos de conversión, rangos de frecuencia, potencia y dispositivos de conmutación asociados.
- Una metodología de síntesis para convertidores conmutados.
- Las características de dispositivos de potencia utilizados en los convertidores conmutados, así como circuitos auxiliares de ayuda a la conmutación.
- Técnicas de análisis en régimen estacionario de convertidores DC-DC para sus distintos modos de funcionamiento
- Modelado de la dinámica de convertidores
- Modelado y diseño de elementos magnéticos para convertidores.

- Topologías de conversión con transformador.
- Técnicas de control de convertidores.

En cuanto a los créditos correspondientes a prácticas, el objetivo de la asignatura es triple.

- Plantear el uso de herramientas de simulación circuital genéricas (SPICE) estudiando los modelos de los conmutadores que facilitan su aplicación a los convertidores conmutados.
- Realizar verificaciones experimentales de laboratorio sobre prototipos prácticos de circuitos de conversión conmutada de potencia, para adquirir las habilidades propias a la caracterización experimental de dichos circuitos y familiarizarse tanto con sus componentes habituales como con aspectos propios de su realización.
- Diseñar, implementar y caracterizar experimentalmente un regulador de tensión conmutado utilizando tanto las herramientas de análisis por simulación y los aspectos de experimentación vistos en prácticas anteriores, como los contenidos teóricos de la asignatura.

Conocimientos previos

El contenido de AEEII sobre aplicaciones de potencia en equipos electrónicos y de comunicaciones se concreta en el estudio de los convertidores conmutados de alta frecuencia que son la base de los sistemas de alimentación de alto rendimiento para dichos equipos. Para dicho estudio, los conocimientos previos que requiere la asignatura AEEII son, según se indica en la guía docente de la ETSETB:

- conceptos de respuesta temporal y frecuencial de circuitos lineales
- estabilidad de sistemas lineales
- circuitos lineales realimentados
- conocimientos básicos de electromagnetismo y dispositivos electrónicos.

Relación con otras asignaturas

Esta asignatura se puede cursar en cualquier cuatrimestre una vez cursado el primer cuatrimestre de los estudios de Ingeniería Electrónica, y como asignatura optativa en los estudios de Ingeniería de Telecomunicación.

Temario

Teoría

Tema 0. Introducción

- 0.1 Presentación de la asignatura.
- 0.2 Introducción al procesado de potencia.
 - 0.2.1 Elementos circuitales disponibles.
 - 0.2.2 Objetivos de la conversión de potencia.

- 0.2.3 Tipos de conversión, rangos de frecuencia, potencia y dispositivos de conmutación asociados.
- 0.2.4 Ejemplo de convertidor conmutado DC-DC: el convertidor reductor.
 - ❑ Periodicidad de las formas de onda en régimen permanente y sus consecuencias.
 - ❑ Tipos de control.

Tema 1. Síntesis de convertidores conmutados

- 1.1. Síntesis de convertidores conmutados.
 - 1.1.1. Modelado de los componentes a efectos de síntesis.
 - ❑ Almacenamiento de energía y filtrado.
 - ❑ Hipótesis de bajo rizado para la red de salida.
 - ❑ Inductores y condensadores.
 - ❑ Cambio de naturaleza de los generadores.
- 1.2. Reglas de conexionado.
 - 1.2.1. Células de potencia de orden cero con un conmutador de dos posiciones.
 - ❑ Conexión tensión-corriente y conexión corriente-tensión. Análisis.
 - 1.2.2. Células de potencia de orden uno con un conmutador de dos posiciones.
 - ❑ Células tensión-tensión. Reductor. Elevador. Reductor-Elevador.
 - ❑ Formas de onda de las corrientes de entrada y de salida.
 - ❑ Células corriente-corriente.
 - 1.2.3. Células de orden superior.
 - 1.2.4. Realización del conmutador mediante dispositivos semiconductores.
 - ❑ Ejemplo de síntesis del conmutador.

Tema 2. Análisis en régimen estacionario

- 2.1. Introducción. Procedimiento general de análisis.
 - 2.1.1. Balances de carga y flujo.
 - 2.1.2. Principio de máximo rendimiento.
- 2.2. Análisis en régimen estacionario del convertidor elevador en modo de conducción continua.
 - 2.2.1. Formas de onda significativas.
 - 2.2.2. Relaciones entre valores medios de entrada y de salida.
 - ❑ Relación entrada-salida.
 - ❑ Resistencia de carga. Valor medio de la corriente de salida.
 - ❑ Valor medio de la corriente de entrada.
 - ❑ Valor medio de la corriente en el inductor.
 - 2.2.3. Evaluación de los rizados .
 - ❑ Rizado de la corriente de entrada
 - ❑ Rizados de la corriente y la tensión en la red de salida.
 - 2.2.4. Condición de cambio de modo de conducción.
- 2.3. Análisis en régimen estacionario del convertidor elevador en modo de conducción discontinua.
 - 2.3.1. Intervalo temporal de corriente nula en el conmutador.
 - 2.3.2. Formas de onda significativas
 - 2.3.3. Relaciones entre valores medios de entrada y de salida.
 - ❑ Relación entrada-salida. Influencia de la carga y la frecuencia de conmutación.
 - ❑ Valor medio de la corriente de salida.
 - ❑ Valor medio de la corriente de entrada.
 - ❑ Valor medio de la corriente en el inductor.
 - 2.3.4. Evaluación de rizados.
 - ❑ Rizado de la corriente de entrada.
 - ❑ Rizados de la corriente y la tensión en la red de salida.
- 2.4. Ejemplo de diseño: dimensionado de componentes
- 2.5. Convertidores bidireccionales.

- 2.5.1. Convertidor bidireccional elevador
- 2.5.2. Cuadrantes de operación.
- 2.5.3. Clasificación de interruptores.
- 2.6. Inclusión de pérdidas en el análisis en régimen estacionario.
 - 2.6.1. Pérdidas en conducción
 - 2.6.2. Pérdidas de conmutación.
 - 2.6.3. Pérdidas en elementos reactivos.

Tema 3. Modelado del comportamiento dinámico del convertidor. Diseño del regulador.

- 3.1. Introducción.
 - 3.1.1. Naturaleza discontinua y de tiempo discreto de las variables del convertidor.
 - 3.1.2. Necesidad de modelos promediados.
- 3.2. Método del circuito equivalente promediado
 - 3.2.1. Modelo de fuentes controladas del conmutador en modo de conducción continua.
 - 3.2.2. Ejemplo: Convertidor elevador en modo de conducción continua
 - ❑ Circuito equivalente con fuentes controladas.
 - ❑ Modelo circuital promediado con fuentes controladas.
 - 3.2.3. Estudio de la respuesta dinámica. Respuesta a variaciones de la variable de control (ciclo de trabajo).
 - ❑ Modelo en régimen estacionario.
 - ❑ Modelo incremental para cálculo de perturbaciones. Linealización.
 - ❑ Modelo dinámico de pequeña señal.
 - ❑ Funciones de transferencia de los convertidores elementales.
- 3.3. Método matricial. Promediación en el espacio de estado.
 - 3.3.1. Introducción.
 - ❑ Ecuaciones de estado del convertidor elevador.
 - 3.3.2. Promediación temporal en el espacio de estado.
 - ❑ Sistema continuo equivalente para el convertidor elevador.
 - 3.3.3. Modelo del convertidor en régimen estacionario.
 - ❑ Modelo en régimen estacionario para el convertidor elevador.
 - 3.3.4. Modelo dinámico de pequeña señal del convertidor.
 - ❑ Modelo dinámico del convertidor elevador.
 - ❑ Función de transferencia salida/entrada.
 - ❑ Otras funciones de transferencia. Admitancia de entrada.
- 3.4 Diseño del lazo de realimentación. Regulador conmutado DC-DC de un solo lazo.
 - ❑ Modelo del modulador.
 - ❑ Modelo de pequeña señal del regulador
 - ❑ Funciones de transferencia en lazo cerrado
 - ❑ Ejemplo de diseño: convertidor reductor.
 - Especificaciones de diseño. Diseño en continua.
 - Especificaciones dinámicas. Diseño del compensador y análisis de estabilidad.

Tema 4. Diseño de componentes magnéticos

- 4.1. Introducción.
- 4.2. Bases teóricas.
 - 4.2.1. Leyes de Ampère, Faraday y Lenz.
 - 4.2.2. Unidades magnéticas.
- 4.3. Características de los materiales ferromagnéticos.
 - 4.3.1. Magnetización y saturación del material.
 - 4.3.2. Clasificación. Características cuadrada y lineal.

- 4.3.3. Ciclo de histéresis.
- 4.4. Modelado de componentes magnéticos.
 - 4.4.1. Ecuaciones descriptivas de los campos eléctrico y magnético. Analogías.
 - 4.4.2. De las ecuaciones de campo a las de circuito magnético. Concepto de reluctancia.
 - 4.4.3. De las propiedades del material del núcleo a las del dispositivo.
 - 4.4.4. Entrehierros de aire en núcleos magnéticos.
 - 4.4.5. Modelado circuital equivalente de componentes magnéticos.
- 4.5. Diseño del inductor.
 - 4.5.1. Objetivos y compromisos de diseño.
 - 4.5.2. Ejemplos de procedimientos de diseño.
 - ❑ Densidad de corriente prefijada. Diseño mediante el producto de áreas.
 - ❑ Pérdidas por conducción prefijadas. Diseño mediante el parámetro geométrico Kg.
- 4.6. Diseño del transformador .
 - 4.6.1. Introducción.
 - ❑ Principio de funcionamiento.
 - ❑ Modelo del transformador real con acoplamiento perfecto. Corriente de magnetización.
 - ❑ Modelo del transformador real con acoplamiento no perfecto. Inductancias de fugas.
 - ❑ Modelo con pérdidas disipativas.
 - 4.6.2. Objetivos y compromisos de diseño.
 - 4.6.3. Ejemplos de procedimientos de diseño.
 - ❑ Densidad de corriente prefijada. Diseño mediante el producto de áreas.
 - ❑ Pérdidas por conducción prefijadas. Diseño mediante el parámetro geométrico Kg.

Tema 5. Convertidores conmutados con aislamiento galvánico

- 5.1. Introducción: ventajas e inconvenientes de los convertidores con transformador.
- 5.2. Inclusión del transformador en convertidores conmutados.
 - 5.2.1. Inclusión entre dos nodos con tensión intermedia nula.
 - ❑ Caso A: inductancia en paralelo. Convertidor Flyback.
 - ❑ Caso B: condensador en serie. Convertidor de Čuk.
 - ❑ Caso C: excitación del transformador con una tensión AC. Convertidores en puente y medio puente.
 - 5.2.2. Otros casos: el convertidor Forward.
 - ❑ Devanados y red auxiliar de desmagnetización.
 - 5.2.3. Ejemplo de análisis: el convertidor Flyback..
 - ❑ Relación de conversión y dimensionado de componentes.
 - ❑ Circuitos equivalentes desde primario y secundario.
 - ❑ Efectos de las inductancias de fugas.

Tema 6. Reguladores multilazo. Convertidores conmutados con lazo de control de corriente.

- 6.1. Introducción. Derivación del control de corriente máxima (MC2) a partir del regulador de tensión PWM clásico.
 - 6.1.1. Ecuación de control del lazo interno de corriente. El inductor como fuente de corriente controlada.
 - 6.1.2. Regulación de la tensión de salida mediante el lazo externo de tensión
- 6.2. Características. Ventajas e inconvenientes.
- 6.3. Estudio de la estabilidad del lazo de corriente.
 - 6.3.1. Análisis incremental de base geométrica. Inestabilidad intrínseca
 - 6.3.2. Adición de rampa compensadora de la inestabilidad intrínseca.

Prácticas de laboratorio

Organización y objetivos

Se propone un programa de prácticas de laboratorio de la asignatura para ser impartido en 14 sesiones de 2h semanales, dividido en tres grandes bloques que tienen como objetivo el conocimiento en primer lugar de la simulación de convertidores conmutados, en segundo lugar de su implementación y la medida de sus características, para ser aplicado finalmente al diseño, realización y caracterización experimental de un regulador conmutado de tensión.

Medios disponibles

Las prácticas se desarrollan en grupos de dos estudiantes por puesto de trabajo en el laboratorio docente de electrónica LEVI de la ETSETB, en el que se disponen de 10 puestos de trabajo dotados con los siguientes medios:

- PC Pentium II conectado a la red informática del laboratorio.
- Software de simulación Pspice (versión 8 para Windows) en red.
- Osciloscopio Hameg HM-204 (20Mhz).
- Fuente de alimentación PROMAX FAC-302 (30V/2A).
- Generador de funciones PROMAX GF-232 (15Mhz).
- Multímetro digital PROMAX MD-100.
- Prototipos específicos desarrollados para la verificación experimental del funcionamiento de un controlador PWM comercial y de un convertidor reductor en lazo abierto y en lazo cerrado.

Temario de laboratorio

Bloque1 Simulación de convertidores conmutados mediante SPICE

Práctica 1.1: Introducción a la simulación de convertidores conmutados.

1.1.1. Convertidores basados en modulación PWM a frecuencia fija y ciclo de trabajo variable.

Convertidor reductor.

- Convertidor en lazo abierto.
 - Transitorio de arranque y régimen estacionario.
 - Formas de onda temporales y espectros correspondientes.
 - Representación en el plano de estado. Ciclo límite.
 - Transitorios de carga y nuevo régimen estacionario.
 - Transitorios de línea y nuevo régimen estacionario.
- Convertidor en lazo cerrado con control proporcional de la tensión de salida.
 - Regulación de carga y línea.

1.1.2. Convertidores basados en modulación PWM a frecuencia variable y ciclo de trabajo fijo.

Convertidores resonantes.

- Distribución espectral de potencia en función del ciclo de trabajo.
- Regulación de la tensión de salida mediante la frecuencia de conmutación.
- Modelado SPICE del modulador.

Práctica 1.2: Transistor MOSFET de potencia y circuitos auxiliares.

1.2. El transistor MOSFET de potencia

1.2.1. Características estáticas.

- ☐ Características ID(VDS). Zonas de funcionamiento.
- ☐ Características ID(VGS). Tensión de umbral.
- 1.2.2. Características dinámicas.
 - ☐ Conmutación con carga resistiva.
 - Formas de onda.
 - Tiempos de conmutación.
 - Pérdidas de conducción y conmutación.
 - ☐ Conmutación con carga inductiva.
 - Sobreimpulsos de tensión. Red limitadora.
 - Trayectoria en el plano (ID,VDS). Safe Operating Area (SOA).
- 1.2.3. Circuitos de excitación. Drivers.
 - ☐ Forma de onda de VGS. Capacidad de Miller.
 - ☐ Driver en push-pull.
- 1.2.4. Redes de protección y ayuda a la conmutación. Snubbers.
 - ☐ Red de protección ON → OFF.
 - ☐ Red de protección OFF→ ON.
 - ☐ Red combinada.

Práctica 1.3: Simulación comparativa de modelos de convertidores:

- 1.3.1. Simulación del convertidor utilizando los modelos SPICE del transistor y el diodo.
 - ☐ Transitorio de arranque y régimen estacionario. Tiempo de simulación.
- 1.3.2. Simulación del convertidor utilizando interruptores ideales.
 - ☐ Transitorio de arranque y régimen estacionario. Tiempo de simulación.
- 1.3.3. Simulación del convertidor utilizando el modelo de fuentes controladas del conmutador.
 - ☐ Fuentes controladas por una señal rectangular (PWM). Modelo instantáneo.
 - Transitorio de arranque y régimen estacionario. Tiempo de simulación
 - ☐ Fuentes controladas por una señal continua de baja frecuencia. Modelo promediado.
 - Transitorio de arranque y régimen estacionario. Tiempo de simulación
 - Obtención de respuestas frecuenciales.
- 1.3.4. Comparativa entre los cuatro casos de simulación anteriores.
 - ☐ Formas de onda y tiempos de simulación.
- 1.3.5. Convertidor en lazo cerrado. Simulación con los modelos instantáneo y promediado.
 - ☐ Formas de onda y tiempos de simulación.
 - ☐ Comparativa entre ambos casos.

Bloque2 Análisis y verificación experimental de un regulador conmutado basado en un convertidor reductor

Práctica 2.1: El modulador de anchura de pulsos.

- 2.1.1. Circuito integrado modulador PWM SG3524. Bloques funcionales.
- 2.1.2. Verificación de márgenes de operación. Prestaciones.
 - ☐ Variaciones de frecuencia de conmutación y ciclo de trabajo
 - ☐ Limitación de corriente.
 - ☐ Inhibición (shut-down).
 - ☐ Modulación de anchura de pulsos: Cuadrada, sinusoidal y triangular.

Práctica 2.2: Convertidor reductor tensión-tensión .

- 2.2.1. Operación en régimen estacionario.
 - ☐ Ajustes previos: frecuencia de conmutación y ciclo de trabajo.
 - ☐ Formas de onda de tensión y rizado de la tensión de salida.
 - ☐ Característica de transferencia estática.
 - ☐ Ruido en las medidas.
 - Desacoplo de las tensiones de alimentación de los C.I.

- Impedancias de aislamiento de los instrumentos conectados al convertidor conmutado.

- ☐ Formas de onda de corriente.
- ☐ Modo de conducción discontinua.

Práctica 2.3: Regulador reductor tensión-tensión .

2.3.1. Operación en régimen estacionario.

- ☐ Ajustes previos: frecuencia de conmutación y tensión de salida.
- ☐ Regulación de carga.
- ☐ Regulación de línea.
- ☐ Forma de onda de la tensión de salida. Ruido y rizado de conmutación.
- ☐ Rendimiento energético.

Bloque3 Diseño completo de un regulador de tensión conmutado.

Objetivo: Diseño, realización y caracterización experimental de un regulador de tensión conmutado integrando los conocimientos de las clases de teoría y de las sesiones anteriores de prácticas.

Contenido: El objetivo de la última práctica de la asignatura es la aplicación de todos los conocimientos transmitidos tanto en las clases de teoría como de laboratorio al diseño completo de un regulador conmutado de tensión, al montaje del prototipo correspondiente y a la verificación experimental de sus características. Los datos de diseño prefijados son:

- ☐ Regulador de tensión elevador de 12 V a 24 V.
- ☐ Potencia 12 W
- ☐ Regulación de línea del 20%
- ☐ Rizado relativo de la tensión de salida del 5%
- ☐ Ancho de banda mayor que 100 Hz
- ☐ Datos de diseño del inductor: Núcleo en EE/20/20/5 3C8, hilo de cobre esmaltado de diámetro 0,8 mm

Basándose en los componentes tanto del convertidor como del lazo de control vistos en el Bloque 2, se pretende que los estudiantes determinen a partir de los datos de diseño anteriores los valores de la frecuencia de conmutación, del ciclo de trabajo, del inductor y del condensador de salida, así como los valores de todos los componentes del lazo de realimentación. La adecuación de la realización experimental al diseño propuesto se comprueba en el laboratorio verificando el arranque del convertidor, midiendo tanto la regulación de línea como el rizado de la tensión de salida y el ancho de banda del regulador.

Contenido de los módulos

La asignatura AEEII se organiza en diez módulos, cada uno de los cuales corresponde a una temática autocontenida compuesta de contenidos teóricos, prácticos o ambos. Tras un módulo 0 de presentación formal de la asignatura, los módulos 1-10 permiten el estudio coordinado de las temáticas presentadas anteriormente en el temario. En particular, el módulo 9 consiste en una práctica final del curso que requiere de la mayor parte de los contenidos de la asignatura para abordar el diseño completo e implementación de un convertidor conmutado.

La tabla presentada a continuación recoge la distribución de módulos, su contenido principal y el tiempo estimado de dedicación.

Módulo		Contenido	Dedicación (horas)
0. Presentación de la asignatura		Introducción a la asignatura y organización del curso Tema 0.1	0.5 + 0.5
1. Introducción a los convertidores conmutados de potencia		Tema 0.2 Práctica 1.1	2 + 2 4.5 + 4.5
2. Síntesis de topologías de conversión de potencia		Tema 1	3 + 3
3. Análisis en régimen estacionario del convertidor		Tema 2	6 + 6
4. El transistor MOSFET de potencia		Práctica 1.2	6 + 6
5. Modelado y simulación dinámica del convertidor		Tema 3 Práctica 1.3	6 + 6 4 + 4
6. Circuitos experimentales de conversión conmutada		Práctica 2.1 Práctica 2.2 Práctica 2.3	2 + 2 3 + 3 2 + 2
7. Diseño de componentes magnéticos		Tema 4	6 + 6
8. Convertidores con aislamiento galvánico		Tema 5	3 + 3
9. Diseño completo de un regulador conmutado		Práctica 3	6 + 6
10. Control avanzado de convertidores. Técnicas de control de corriente.		Tema 6	2+2

Objetivos específicos de los módulos

■ Módulo 0: Presentación de la asignatura

- Conocer a los profesores de la asignatura y los estudiantes que la cursan.
- Conocer los objetivos de la asignatura, sus contenidos básicos y su importancia en la ingeniería electrónica.
- Describir la bibliografía y la forma de utilizarla para las distintas actividades.
- Explicar la organización del curso, con énfasis en las sesiones presenciales.
- Describir el método de evaluación.
- Organizar los grupos de prácticas.
- Conocer cómo se desarrollarán las prácticas: sesiones presenciales y no presenciales, trabajo individual y cooperativo.
- Saber qué material y herramientas propias debe aportar cada grupo de prácticas.
- Revisar los aspectos básicos del uso del Campus Digital.

■ Módulo 1: Introducción a los convertidores conmutados de potencia

- Presentación de las características principales de los sistemas procesadores de potencia.

- Mostrar las formas de onda y los espectros asociados a la operación de los convertidores conmutados tanto en lazo abierto como en lazo cerrado, mediante simulación circuital SPICE.
- Presentar las diferencias entre los principios de operación de los convertidores convencionales y los convertidores resonantes (*soft-switching*).
- Introducir las peculiaridades de la simulación de convertidores conmutados a través del macromodelado SPICE del modulador PWM.
- **Módulo 2: Síntesis de topologías de conversión de potencia**
 - Presentación de una metodología de síntesis para convertidores conmutados.
 - Obtención de las topologías elementales de conversión continua-continua
- **Módulo 3: Análisis en régimen estacionario del convertidor**
 - Presentación del procedimiento de análisis clásico/geométrico del comportamiento en régimen estacionario de los convertidores conmutados.
 - Reconocimiento de las formas de onda significativas de la operación de los convertidores en modo de conducción continua.
 - Deducción de las relaciones analíticas entre las variables eléctricas de interés y las especificaciones de diseño.
 - Presentación del modo de conducción discontinua y la condición de cambio de modo.
 - Aplicación del estudio anterior al diseño de convertidores en régimen estacionario.
 - Presentación de los convertidores bidireccionales.
 - Delimitación de la utilidad de las técnicas de análisis clásico para el caso en que se consideren pérdidas en el convertidor.
- **Módulo 4: El transistor MOSFET de potencia**
 - Simular circuitos que pongan de manifiesto las características estáticas y dinámicas de los transistores MOSFET de potencia.
 - Presentar los circuitos auxiliares de ayuda a la conmutación.
- **Módulo 5: Modelado y simulación dinámica del convertidor**
 - Reconocer la naturaleza no lineal y de tiempo discreto de los convertidores conmutados.
 - Poner de manifiesto la utilidad de los modelos continuos promediados para este tipo de sistemas.
 - Presentar el método de modelado del circuito equivalente promediado como método de promediación de base circuital.

- Presentar el método matricial de la promediación en el espacio de estado, como método de modelado sistemático y general.
- Deducir las funciones de transferencia descriptivas del comportamiento dinámico en pequeña señal.
- Aplicar los modelos dinámicos lineales al diseño del lazo de realimentación de un regulador conmutado.
- Utilizar los diferentes modelos de simulación para convertidores conmutados y comparar sus características.
- **Módulo 6: Circuitos experimentales de conversión conmutada**
 - Conocer un circuito integrado de control de convertidores conmutados comercial y representativo de este tipo de circuitos.
 - Presentar los componentes que forman un regulador conmutado, y mostrar su implementación completa a través de un prototipo específico.
 - Caracterizar experimentalmente el comportamiento del regulador y evidenciar las no idealidades introducidas por la implementación.
- **Módulo 7: Diseño de componentes magnéticos**
 - Introducir los fundamentos de diseño de inductores y transformadores en convertidores conmutados DC-DC.
 - Revisar las propiedades de los materiales utilizados como núcleos magnéticos y a la inclusión de entrehierros en los mismos.
 - Proporcionar un modelo circuital equivalente de los componentes magnéticos.
 - Presentar varios procedimientos de diseño de inductores y transformadores.
- **Módulo 8: Convertidores con aislamiento galvánico**
 - Presentar las ventajas e inconvenientes de los convertidores con transformador.
 - Introducir las principales estructuras de conversión que incluyen aislamiento galvánico.
 - Analizar la influencia de la relación de conversión del transformador en el dimensionado de los componentes del convertidor.
 - Evaluar los efectos de las no idealidades del transformador en el comportamiento del convertidor.
- **Módulo 9: Diseño completo de un regulador conmutado**
 - Diseño, realización y caracterización experimental de un regulador de tensión conmutado integrando los conocimientos de las clases de teoría y de las sesiones anteriores de prácticas.
- **Módulo 10: Control avanzado de convertidores. Técnicas de control de corriente.**

- Ampliar el conocimiento de métodos de control de convertidores conmutados, presentando las técnicas de modelado, análisis y síntesis de reguladores conmutados de tensión con lazo de realimentación de corriente.
- Reconocer la inestabilidad intrínseca del control de corriente y proponer métodos para su compensación.
- Presentar otras aplicaciones significativas del control de corriente, como por ejemplo la corrección del factor de potencia.

Sesiones presenciales

La actividad asociada a los temas teóricos es de tipo no presencial, comportando un trabajo personal de estudio del material proporcionado (equivalente en cuanto a duración de tiempo a la impartición presencial de las clases) seguido de una actividad de profundización y asimilación de este material, y complementado por la realización de los problemas asignados si los hubiere, requiriendo esta segunda parte de la misma dedicación equivalente.

Por su parte, la actividad asociada a las prácticas de laboratorio consta de una dedicación presencial (mediciones y verificación de laboratorio), precedida por un trabajo personal de tipo no presencial consistente en la realización del estudio previo de la práctica, y seguida por la elaboración de un informe de resultados y conclusiones sobre la misma. Las clases de prácticas se desarrollan en grupos de dos personas y tienen una duración de dos horas.

El curso consta de otras sesiones presenciales : una sesión de introducción a la asignatura y al curso, así como la sesión presencial correspondiente al examen final (3 horas)

Materiales

Bibliografía básica

- Libro de texto

Robert W. Erickson, D. Maksimovic, *Fundamentals of Power Electronics*, 2ª ed, Kluwer Academic Publishers, 2001

- Colección de problemas resueltos

L. Martínez, A. Poveda, A. F. Sánchez, *Electrónica de Potencia (AEEII): Problemas Resueltos*, Centro de Publicaciones del Campus Nord, CPET-UPC

- Manuales de prácticas

A. Poveda, F. Guinjoan, E. Alarcón y J. Hernanz, *Electrónica de Potencia (AEEII): Prácticas de Simulación*, Centro de Publicaciones del Campus Nord, CPET-UPC

L. Martínez, A. Poveda, A. F. Sánchez, F. Guinjoan y E. Alarcón, *Electrónica de Potencia (AEEII): Análisis de un regulador Conmutado Basado en un Convertidor Reductor*, Centro de Publicaciones del Campus Nord, CPET-UPC

Bibliografía complementaria

Para profundizar en la disciplina de los circuitos conmutados para conversión de potencia eléctrica con alto rendimiento, y en particular en los convertidores DC-DC de alta frecuencia, se pueden consultar, respectivamente, los libros siguientes:

John G. Kassakian, M.F. Schlecht and George C. Verghese, *Principles of Power Electronics*, Ed. Addison-Wesley, 1991

Philip. T. Krein, *Elements of Power Electronics*, Oxford University Press , 1998

Ned Mohan, Tore M. Undeland and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Application and Design*, Ed. John Wiley and Sons , 1989

Evaluación

Con el objetivo de evaluar la asignatura Aplicaciones de la Ingeniería Electrónica II, que tiene asignados 3 créditos de teoría y 3 de laboratorio, se asigna el 50% de calificación establecida para evaluación continuada a las prácticas de laboratorio. Ello conduce a una repartición de la ponderación según un 50 % debido al examen final y un 50% a la evaluación continuada de las actividades de laboratorio.

Se subdivide asimismo el 50 % de peso de la nota asignada a las prácticas en dos segmentos de 25 %, según lo especificado a continuación:

- Prácticas Bloque 1 y Bloque 2 (10%)
- Práctica Bloque 3 (15%)
- Examen final de prácticas (25%)

El examen final de teoría, cuya ponderación del 50 % le convierte en una prueba muy relevante en el proceso de evaluación de la asignatura, se plantea como una prueba global, constituida por un número significativo de ejercicios (entorno a 10) que intentan recoger los conceptos más relevantes de la asignatura, con el objetivo de garantizar que la nota obtenida sea representativa

Programación temporal

La duración oficial del cuatrimestre es de 14 semanas. Para la asignatura Aplicaciones de la Ingeniería Electrónica II se plantean 8 horas de trabajo semanales, distribuidas entre contenidos teóricos de tipo no presencial (2h de estudio y 2h de asimilación), y una sesión presencial de laboratorio (2h), complementada por un trabajo personal no presencial asociado a dicho laboratorio (2h). En la programación temporal que se presenta en la siguiente tabla se indica la distribución de contenidos propuesta para estas 14 semanas.

Semana	CLASES DE TEORÍA	PRÁCTICAS DE LABORATORIO	
1	Tema 0	Tema 0	S I M U L A C I Ó N
2	Tema 1 (Síntesis de convertidores)	Práctica 1.1 (Introducción a la simulación de convertidores conmutados)	
3		Práctica 1.2 (El transistor MOSFET de potencia y circuitos auxiliares)	
4	Tema 2 (Análisis en régimen estacionario)		
5			
6			
7	Tema 3 (Modelos dinámicos. Diseño del regulador)	Práctica 1.3 (Simulación comparativa de modelos de convertidores)	
8	Tema 4 (Diseño de componentes magnéticos)	Práctica 2.1 (El modulador de anchura de pulsos)	M E D I D A S
9		Práctica 2.2 (Convertidor reductor tensión-tensión)	
10		Práctica 2.3 Regulador reductor tensión-tensión	
11		Tema 5 (Convertidores con transformador)	
12			
13			
14	Tema 6 (Control de corriente)		

El diagrama de programación temporal tiene en cuenta la sincronización de contenidos entre contenidos de teoría y sesiones de laboratorio, dado que ambos actos no se plantean como independientes sino que se benefician de un enriquecimiento mutuo.

En particular cabe destacar que:

Los efectos de las pérdidas de los interruptores en el análisis en régimen estacionario del convertidor estudiados en el Tema 2, se evidencian por simulación numérica en la Práctica 1.2.

Los distintos modelos del conmutador utilizados hacia la mitad de la Práctica 1.3 se tratan simultáneamente en el inicio del Tema 3 dedicado a la dinámica de convertidores

La influencia del lazo de realimentación en las prestaciones del regulador que se miden en la Práctica 2.3 se ha estudiado previamente a nivel teórico en el Tema 3.

Todas las herramientas de análisis estático y dinámico necesarias para el diseño de un regulador conmutado, así como el diseño de inductores se han estudiado previamente a la realización del Bloque 3 en el que se propone el diseño completo de un regulador conmutado tensión-tensión.