

Plan 290 Ing.Automática y Electrónica Ind.

Asignatura 44147 ELECTRONICA INDUSTRIAL I

Grupo 1

### Presentación

La asignatura aborda el Estudio y Diseño de los Convertidores Electrónicos de Potencia, en sus distintas Modalidades: CC/CC, CA/CC, CC/CA y CA/CA. La Asignatura se divide en las siguientes Partes: Exposición Teórica de cada uno de los Tipos de Convertidores; Exposición de Métodos de Diseño de los distintos Convertidores en Baja Frecuencia; Realización de Prácticas de Laboratorio utilizando el Paquete de Simulación PECADS.

### Programa Básico

#### PARTE A: ESTUDIO TEÓRICO

- Tema 1: Introducción.
- Tema 2: Convertidores de Potencia. Técnicas de Conversión.
- Tema 3: Simulación de Convertidores de Potencia.
- Tema 4: Convertidores CC/CC.
- Tema 5: Convertidores CA/CC.
- Tema 6: Convertidores CC/CA.
- Tema 7: Convertidores CA/CA.

#### PARTE B: PROBLEMAS Y DISEÑO DE EQUIPOS

- Tema 1: Introducción.
- Tema 2: Semiconductores de Potencia.
- Tema 3: Pérdidas de Potencia en Semiconductores en Baja Frecuencia.
- Tema 4: Características Térmicas de los Semiconductores de Potencia.
- Tema 5: Diseño de Montajes Convertidores: Rectificador Trifásico.
- Tema 6: Transitorios de Tensión en Semiconductores de Potencia.
- Tema 7: Transitorios de Intensidad en Semiconductores de Potencia.
- Tema 8: Apéndices.

### Objetivos

Los alumnos que cursen esta asignatura deberán tener los siguientes conocimientos previos:

- Conceptos físicos sobre electricidad y magnetismo.
- Conocimiento de fenómenos transitorios en circuitos eléctricos.
- Conocimiento sobre el funcionamiento de máquinas eléctricas.
- Conocimiento sobre sistemas de control y su aplicación en tiempo real.
- Conocimiento sobre la funcionalidad y el diseño de circuitos magnéticos.

### Programa de Teoría

#### PARTE A: ESTUDIO TEÓRICO (Texto de Referencia)

##### TEMA 1: INTRODUCCIÓN.

- 1.1 Sistemas Electrónicos de Potencia. Generalidades.
- 1.2 Convertidores Electrónicos de Potencia (Power Conditioners).
- 1.3 Control Digital de Convertidores Electrónicos.
- 1.4 Aplicaciones Industriales (Líneas de Investigación del DTE).
- 1.5 Tipos de Conversión.
- 1.6 Convertidores de Matriz de Conversión y de Modos Conmutados.
- 1.7 Función Existencial y Polo Aislado.
- 1.8 Variación de Parámetros de Control: Ejemplos Prácticos. Clasificación de Convertidores.
- 1.9 Conclusiones.

##### TEMA 2: CONVERTIDORES DE POTENCIA. TÉCNICAS DE CONVERSIÓN.

- 2.1. Introducción.
- 2.2. Clasificación de Convertidores.

- 2.3. Tipos de conversión.
- 2.4. Convertidores con Matriz de Conversión.
  - 2.4.1 Matriz de Conversión.
  - 2.4.2 Polos de Potencia.
  - 2.4.3 Funciones Existenciales.
  - 2.4.4 Representación Matemática de las Funciones Existenciales.
  - 2.4.5 Métodos de Control.
- 2.5. Convertidores de Modos Conmutados.

### TEMA 3: SIMULACIÓN DE CONVERTIDORES DE POTENCIA.

- 3.1. Introducción.
- 3.2. Convertidores de Matriz de Conversión. Generación de Funciones Existenciales.
- 3.3. Convertidores de Matriz de Conversión. Obtención de Magnitudes Dependientes y de Polos de Potencia.
- 3.4. Simulación de Convertidores de Modos Conmutados.
- 3.5. Técnicas de Discretización: Transformación Exacta, Aproximación Temporal, Operadores Discretos de Integración.
- 3.6. Herramientas y Accesorios de Simulación.
- 3.7. Simulación de Estructura Real.

### TEMA 4: CONVERTIDORES CC/CC.

- 4.1. Introducción: Fuentes Lineales, Fuentes Conmutadas, Fuentes Galvánicamente Aisladas (Tema 6).
- 4.2. Convertidores Conmutados.
- 4.3. Chopper (Buck): Estudio del Modelo Teórico, Estudio del Modelo Real, Simulación de ambos Modelos. Conducción Continua y Discontinua.
- 4.4. Elevador (Booster): Estudio del Modelo Teórico, Estudio del Modelo Real, Simulación del Modelo Real. Conducción Continua y Discontinua.
- 4.5. Reductor-Elevador (Buck-Boost): Estudio del Modelo Teórico, Estudio del Modelo Real, Simulación del Modelo Real. Conducción Continua y Discontinua.

### TEMA 5: CONVERTIDORES CA/CC.

- 5.1. Introducción.
- 5.2. Técnicas de Conversión-Control de Fase:
  - 5.2.1 Matriz de Conversión: Estudio Conceptual; Formulación de:  $V_{cc}$ , Armónicos de  $V$ , Valores de  $I$ .
  - 5.2.2 Puente Rectificador. Formulación de:  $V_{cc}$ , Armónicos de  $V$ , Valores de  $I$ , Ventajas e Inconvenientes.
  - 5.2.3 Montajes con Libre Circulación de Corriente. Formulación para el caso de  $A\#M$ .
- 5.3. Polos de Potencia. Tipos, Estudio de Funcionamiento:
  - 5.3.1 Fenómeno de Conmutación.
  - 5.3.2 Conducción Continua y Discontinua, Imposibilidad de Cierre
  - 5.3.3 Función Existencial Modificada.
- 5.4. Simulación de Convertidores CA/CC.
- 5.5. Rectificadores no Controlados: Matriz de Conversión, Montaje en Puente.
- 5.6. Rectificadores Controlados, Funcionamiento en Dos y Cuatro Cuadrantes: Matriz de Conversión, Montaje en Puente.

### TEMA 6: CONVERTIDORES CC/CA.

- 6.1. Introducción.
- 6.2. Tipos de Convertidores y Topologías.
- 6.3. Técnicas de Conversión.
- 6.4. Convertidores CC/CA de pulso único por semiciclo. Control de Ángulo de Fase.
  - 6.4.1 Inversor Monofásico-Montaje en Semipuerto.
  - 6.4.2 Inversor Monofásico-Montaje en Puente: Formulación, Descripción y Estudio de Funcionamiento, Análisis de un Montaje con Polos Reales (Transistor-Diodo).
  - 6.4.3 Inversor Trifásico, Formas de Onda, Transitorios de Conmutación.
  - 6.4.4 Fuentes Conmutadas CC/CC.
- 6.5. Convertidores CC/CA de Pulso Múltiple, Control PWM senoidal.
  - 6.5.1 Inversor Monofásico-Montaje en Semipuerto.
  - 6.5.2 Inversor Monofásico-Montaje en Puente: Formulación, Generación de Tensiones en dos y tres Niveles, Estudio de Anulación de Armónicos de Portadora.
  - 6.5.3 Inversor Trifásico, Composición Armónica en dos y tres Niveles, Comparación de Formas de Onda en dos tres y Cinco Niveles.
- 6.6. Control Adaptativo de las Funciones Existenciales. Descripción Genérica : Sliding, Banda de Histéresis, Robustez
- 6.7. Filtrado de Armónicos.
  - 6.7.1 Filtro de Salida.
  - 6.7.2 Filtro de corriente.
  - 6.7.3 Filtro de tensión. Criterios para el Dimensionado de Filtros de Tensión.
- 6.8. Filtrado con Generación de Funciones Existenciales con Control en Modo de Deslizamiento.

- 6.8.1 Introducción: Sliding, Bandas de Histéresis Fija y Adaptativa, Frecuencia de Conmutación Constante.
- 6.8.2 Filtro de Tensión. Sistema de 2º Grado
  - Ecuaciones de Estado de la Planta.
  - Bandas de Histéresis y Frecuencias de Conmutación en dos y tres Niveles.
  - Indices de Modulación y Anchura mínima de Impulsos.
  - Ejemplos de Diseño con Filtros en dos y tres Niveles en Convertidores Trifásicos.
  - Anulación de Frecuencias de Portadora. Comparación con PWM.

## TEMA 7: CONVERTIDORES CA/CA.

- 7.1. Introducción.
- 7.2. Clasificación de los Convertidores CA/CA.
- 7.3. Convertidores con Matriz de Conversión
  - 7.3.1 Convertidores Positivos y Negativos.
  - 7.3.2 Tipos de Modulación y de Convertidores.
- 7.4. Convertidores con Función de Modulación Lineal: SSFC y UFC.
  - 7.4.1 Curvas de Variación Temporal de  $a$ .
  - 7.4.2 Orden de los Armónicos referido a las Frecuencias de Entrada y de Salida.
- 7.5. Métodos de Control de Amplitud en Convertidores con Función de Modulación Lineal SSFC y UFC.
  - 7.5.1 Desfase entre Tensiones.
  - 7.5.2 Modulación No Lineal.
  - 7.5.3 Control CAM.
  - 7.5.4 Control PWM.
- 7.6. Convertidores con Función de Modulación Triangular TP y TN.
  - 7.6.1 Curvas de Variación Temporal de  $a$ .
  - 7.6.2 Orden de los Armónicos referido a la Frecuencia de Salida.
- 7.7. Métodos de Control de Amplitud en Convertidores con Función de Modulación Triangular TP y TN.
  - 7.7.1 Desfase entre Tensiones.
  - 7.7.2 Modulación No Lineal.
  - 7.7.3 Control CAM.
  - 7.7.4 Control PWM.
- 7.8. Convertidores de Conmutación Natural NCC (Naturally Commutated Cycloconverters).
  - 7.8.1 Zonas de Conducción de las Matrices de Conversión Directa e Inversa.
  - 7.8.2 Composición Armónica.

## PARTE B: PROBLEMAS Y DISEÑO DE EQUIPOS (Texto de Referencia)

### TEMA 1: INTRODUCCIÓN.

- 1.1 Componentes de los Sistemas Electrónicos de Potencia.
- 1.2 Componentes de los Convertidores de Potencia.
- 1.3 Semiconductores Electrónicos de Potencia. Panorámica General.
- 1.4 Aplicaciones Industriales.
- 1.5 Clasificación:
  - 1.5.1 Frecuencias de Funcionamiento.
  - 1.5.2 Capacidad de Bloqueo.
- 1.6 Semiconductores de Potencia y Polos de Potencia.
- 1.7 Semiconductores. Dimensionado y Protecciones.

### TEMA 2: SEMICONDUCTORES DE POTENCIA. (Texto de Consulta)

- 2.1 Introducción. Semiconductores en Baja Frecuencia.
- 2.2 Polo de Potencia.
- 2.3 Diodo:
  - 2.3.1 Unión PN en equilibrio.
  - 2.3.2 Corrientes de Conducción y de Difusión.
  - 2.3.3 Unión PN Polarizada.
  - 2.3.4 Curvas Características del Diodo.
  - 2.3.5 La unión PN en Conmutación.
  - 2.3.6 El Diodo como Polo de Potencia.
- 2.4 Transistor Bipolar de Potencia:
  - 2.4.1 Transistor Polarizado y no Polarizado.
  - 2.4.2 Triángulo de Difusión.
  - 2.4.3 Curvas Características.
  - 2.4.4 El Transistor como Polo de Potencia
- 2.5 Tiristor (SCR).
  - 2.5.1 Estructura.
  - 2.5.2 Características Estáticas.
  - 2.5.3 Procesos de Disparo y Bloqueo.
  - 2.5.4 Características dinámicas.

- 2.5.5 Características de Puerta.
- 2.5.6 Bloqueo Estático y Dinámico.
- 2.5.7 Bloqueo Natural y Forzado.
- 2.5.8 El Tiristor como Polo de Potencia

### TEMA 3: PÉRDIDAS DE POTENCIA EN SEMICONDUCTORES EN BAJA FRECUENCIA.

- 3.1 Introducción.
- 3.2 Pérdidas en Conducción Directa. Puente Trifásico.
- 3.3 Pérdidas de Bloqueo: Directo e Inverso.
- 3.4 Pérdidas de Recuperación: Diodos, Tiristores.
  - 3.4.1 Recuperación Directa.
  - 3.4.2 Recuperación Inversa.
- 3.5 Pérdidas en circuito de Puerta.
- 3.6 Comparación de Pérdidas de Conducción y Conmutación.

### TEMA 4: CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LOS SEMICONDUCTORES DE POTENCIA.

- 4.1 Capacidad Térmica.
- 4.2 Resistencia Térmica.
  - 4.2.1 Cálculos Térmicos en Régimen Permanente.
  - 4.2.2 Cálculos Térmicos en Régimen Transitorio.
  - 4.2.3 Impedancia Térmica Transitoria.
  - 4.2.4 Determinación práctica de la temperatura de la Unión en diferentes Regímenes de carga.
    - Aplicación Escalón y de un Impulso de Potencia.
    - Sobrecarga Aislada.
    - Sobrecargas Periódicas superpuestas con un funcionamiento en Régimen permanente.

### TEMA 5: DISEÑO DE MONTAJES CONVERTIDORES: RECTIFICADOR TRIFÁSICO.

- 5.1 Dimensionado del Transformador. Cálculo aproximado.
- 5.2 Pérdidas en el Cobre:
  - 5.2.1 Montaje en Puente.
  - 5.2.2 Montaje en Matriz de Conversión.
- 5.3 Fenómeno de Conmutación. Caída  $V_x$ :
  - 5.3.1 Montaje en Puente.
  - 5.3.2 Montaje en Matriz de Conversión.
- 5.4 Potencia e Impedancia de Cortocircuito en Línea.
- 5.5 Cálculo de Pérdidas de  $V_{cc}$  por Conmutación.
- 5.6 Dimensionado del Transformador. Cálculo Exacto.
- 5.7 Dimensionado de Semiconductores (Tiristores):
  - 5.7.1 Régimen Estacionario.
  - 5.7.2 Régimen Transitorio.
  - 5.7.3 Detalles de Montaje.
- 5.8 Pérdidas Globales y Rendimiento.

### TEMA 6: TRANSITORIOS DE TENSIÓN EN SEMICONDUCTORES DE POTENCIA.

- 6.1 Introducción: Transitorios de Tensión y Sobretensiones: Origen y Protecciones.
- 6.2 Origen de los Transitorios de Tensión:
  - 6.2.1 Conexión del Primario de un Transformador.
  - 6.2.2 Desconexión del Primario de un Transformador.
  - 6.2.3 Fuente de Tensión de CC Inductiva.
  - 6.2.4 Sobretensiones Cíclicas por Recuperación.
  - 6.2.5 Apertura de Interruptores.
  - 6.2.6 Transitorios de Origen desconocido.
  - 6.2.7 Efecto de Transitorios de Tensión sobre Semiconductores.
- 6.3 Origen y Supresión de Sobretensiones:
  - 6.3.1 Energía Magnetizante de los Transformadores. Ejemplo Monofásico.
  - 6.3.2 Ejemplo de Cálculo para un Transformador Trifásico.
  - 6.3.3 Sobretensiones de Conmutación.

### TEMA 7: TRANSITORIOS DE INTENSIDAD EN SEMICONDUCTORES DE POTENCIA.

- 7.1 Introducción: Transitorios de Intensidad y Sobreintensidades: Origen y Protecciones.
- 7.2 Protección contra Sobreintensidades de Defecto:
  - 7.2.1 Características Límites de los Semiconductores:
    - Concepto de  $I_2 t$ .
    - Formas de Onda (Fabricantes).
    - Concepto de  $I_2 \cdot (t)^{0,5}$ .
    - Curvas Límites  $I, t$ .
  - 7.2.2 Magnitud de los Transitorios de Intensidad en función de los Componentes del Circuito.

### 7.2.3 Fusibles Ultrarápidos:

- Corriente Presumida de defecto.
- Corriente de Limitación.

### 7.2.4 Proceso de Dimensionado (Puente trifásico).

- Selección del Fusible.
- Sobrecorriente y Limitación.
- Nivel de Protección del Fusible I2 t.
- Verificación Fusible-Semiconductor.
- Pérdidas en los Fusibles.
- Sobrecargas y Curvas de Prearco.
- Curvas de Tensión de Arco.

### 7.3 Protección contra di/dt.

### 7.4 Protección Global en Sobrecarga: Curva de Carga Límite.

## TEMA 8: APÉNDICES.

8.1 Thyristor, Silicon Controlled Rectifiers: T600, T680, T690 (Pags: 1-3, 12-14).

8.2 Thyristor, Silicon Controlled Rectifiers: Type T9G0 (Pags: 1-3, 9-10 + Radiador A9) Carpeta 82.

8.3 Fusibles: 600V URG 315-1250 A (Pags: 16-20).

## Programa Práctico

### PARTE C: PRÁCTICAS DE LABORATORIO (Manual de Referencia)

1ª: MANEJO DEL ENTORNO DEL PAQUETE PECADS'97, DE SU MANUAL DEL USUARIO, DEL TEXTO TEORICO, Y VISUALIZACION DE LAS FUNCIONES EXISTENCIALES.

2ª: SIMULACION DEL CONVERTIDOR CC/CC BUCK ( Chopper ) CON PECADS'97 UTILIZANDO CARGA L-R .

3ª: SIMULACION DE CONVERTIDORES CA/CC CON PECADS'97 P 1º PARTE: Carga R, Carga L-r, CORRIENTE CONSTANTE.

4ª: SIMULACION DE CONVERTIDORES CA/CC CON PECADS'97 P 2º PARTE: Sin Carga (corriente constante) P Isalida = 1000 A; Fenómeno de Conmutación; Funcionamiento en Cuatro Cuadrantes.

5ª: SIMULACION DE CONVERTIDORES CC/CA CON PECADS'97 P 1º PARTE: Pulso único; Control PWM; Montaje en Puente Bifásico o Trifásico.

6ª: SIMULACION DE CONVERTIDORES CC/CA CON PECADS'97 P 2º PARTE:Control PWM, Funcionamiento en 2 y 3 Niveles, Montaje en Puente Bifásico o Trifásico.

7ª: SIMULACION DE CONVERTIDORES CA/CA CON PECADS'97: Convertidores Positivos y Negativos (TP y TN). Convertidores SSFC. Convertidores UFC.

## Evaluación

Exámenes final sobre teoría. Problemas y prácticas de laboratorio.

## Bibliografía

### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA DE LA ASIGNATURA.

1ª S. LORENZO. "Electrónica de Potencia: Dimensionado y Protección de Circuitos de Potencia". E.T.S.I.I. de Madrid. 1985

2ª P. WOOD. "Switching Power Converters". 1991.

3ª F. ALDANA. "Electrónica I". E.T.S.I.I. de Madrid. 1976.

4ª J.A. GUALDA. "Electrónica Industrial: Técnicas de Potencia". 1993.

5ª TOSHIBA. "GTR Module (IGBT) - Application Notes". 1992.

6ª SEMIKRON. "Power Semiconductors". 1992.

7ª MITSUBISHI. "3rd Generation IGBT and Intelligent Power Modules - Application Manual". 1995.

8ª S. LORENZO; J.M. RUIZ; A. MARTIN. "Simulación, Control Digital y Diseño de Convertidores Electrónicos de Potencia mediante PC". Disponible en CD-Rom.1997.

9ª F. C. LEE. "Power Electronics Technology and Applications II". IEEE. 1997.

10ª M. H. RASHID. "Recent Developments in Power Electronics. Selected Readings". IEEE. 1996.

11ª J. VELASCO BALLANO; M. ORIOL VELILLA; J. OTERO ARIAS. "Sistemas Electrónicos de Potencia. Electrónica de regulación y control de potencia". Paraninfo. 1998.



## Presentación

La asignatura aborda el Estudio y Diseño de los Convertidores Electrónicos de Potencia, en sus distintas Modalidades: CC/CC, CA/CC, CC/CA y CA/CA. La Asignatura se divide en las siguientes Partes: Exposición Teórica de cada uno de los Diversos Tipos de Convertidores; Exposición de Métodos de Diseño de los distintos Convertidores en Baja Frecuencia; Realización de Prácticas de Laboratorio utilizando el Paquete de Simulación PECADS.

## Programa Básico

### PARTE A: ESTUDIO TEÓRICO

- Tema 1: Introducción.
- Tema 2: Convertidores de Potencia. Técnicas de Conversión.
- Tema 3: Simulación de Convertidores de Potencia.
- Tema 4: Convertidores CC/CC.
- Tema 5: Convertidores CA/CC.
- Tema 6: Convertidores CC/CA.
- Tema 7: Convertidores CA/CA.

### PARTE B: PROBLEMAS Y DISEÑO DE EQUIPOS

- Tema 1: Introducción.
- Tema 2: Semiconductores de Potencia.
- Tema 3: Pérdidas de Potencia en Semiconductores en Baja Frecuencia.
- Tema 4: Características Térmicas de los Semiconductores de Potencia.
- Tema 5: Diseño de Montajes Convertidores: Rectificador Trifásico.
- Tema 6: Transitorios de Tensión en Semiconductores de Potencia.
- Tema 7: Transitorios de Intensidad en Semiconductores de Potencia.
- Tema 8: Apéndices.

## Objetivos

Los alumnos que cursen esta asignatura deberán tener los siguientes conocimientos previos:

- Conceptos físicos sobre electricidad y magnetismo.
- Conocimiento de fenómenos transitorios en circuitos eléctricos.
- Conocimiento sobre el funcionamiento de máquinas eléctricas.
- Conocimiento sobre sistemas de control y su aplicación en tiempo real.
- Conocimiento sobre la funcionalidad y el diseño de circuitos magnéticos.

## Programa de Teoría

### PARTE A: ESTUDIO TEÓRICO (Texto de Referencia)

#### TEMA 1: INTRODUCCIÓN.

- 1.1 Sistemas Electrónicos de Potencia. Generalidades.
- 1.2 Convertidores Electrónicos de Potencia (Power Conditioners).
- 1.3 Control Digital de Convertidores Electrónicos.
- 1.4 Aplicaciones Industriales (Líneas de Investigación del DTE).
- 1.5 Tipos de Conversión.
- 1.6 Convertidores de Matriz de Conversión y de Modos Conmutados.
- 1.7 Función Existencial y Polo Aislado.
- 1.8 Variación de Parámetros de Control: Ejemplos Prácticos. Clasificación de Convertidores.
- 1.9 Conclusiones.

#### TEMA 2: CONVERTIDORES DE POTENCIA. TÉCNICAS DE CONVERSIÓN.

- 2.1. Introducción.
- 2.2. Clasificación de Convertidores.
- 2.3. Tipos de conversión.
- 2.4. Convertidores con Matriz de Conversión.
  - 2.4.1 Matriz de Conversión.
  - 2.4.2 Polos de Potencia.
  - 2.4.3 Funciones Existenciales.

- 2.4.4 Representación Matemática de las Funciones Existenciales.
- 2.4.5 Métodos de Control.
- 2.5. Convertidores de Modos Conmutados.

### TEMA 3: SIMULACIÓN DE CONVERTIDORES DE POTENCIA.

- 3.1. Introducción.
- 3.2. Convertidores de Matriz de Conversión. Generación de Funciones Existenciales.
- 3.3. Convertidores de Matriz de Conversión. Obtención de Magnitudes Dependientes y de Polos de Potencia.
- 3.4. Simulación de Convertidores de Modos Conmutados.
- 3.5. Técnicas de Discretización: Transformación Exacta, Aproximación Temporal, Operadores Discretos de Integración.
- 3.6. Herramientas y Accesorios de Simulación.
- 3.7. Simulación de Estructura Real.

### TEMA 4: CONVERTIDORES CC/CC.

- 4.1. Introducción: Fuentes Lineales, Fuentes Conmutadas, Fuentes Galvánicamente Aisladas (Tema 6).
- 4.2. Convertidores Conmutados.
- 4.3. Chopper (Buck): Estudio del Modelo Teórico, Estudio del Modelo Real, Simulación de ambos Modelos. Conducción Continua y Discontinua.
- 4.4. Elevador (Booster): Estudio del Modelo Teórico, Estudio del Modelo Real, Simulación del Modelo Real. Conducción Continua y Discontinua.
- 4.5. Reductor-Elevador (Buck-Boost): Estudio del Modelo Teórico, Estudio del Modelo Real, Simulación del Modelo Real. Conducción Continua y Discontinua.

### TEMA 5: CONVERTIDORES CA/CC.

- 5.1. Introducción.
- 5.2. Técnicas de Conversión-Control de Fase:
  - 5.2.1 Matriz de Conversión: Estudio Conceptual; Formulación de:  $V_{cc}$ , Armónicos de  $V$ , Valores de  $I$ .
  - 5.2.2 Puente Rectificador. Formulación de:  $V_{cc}$ , Armónicos de  $V$ , Valores de  $I$ , Ventajas e Inconvenientes.
  - 5.2.3 Montajes con Libre Circulación de Corriente. Formulación para el caso de  $A\#M$ .
- 5.3. Polos de Potencia. Tipos, Estudio de Funcionamiento:
  - 5.3.1 Fenómeno de Conmutación.
  - 5.3.2 Conducción Continua y Discontinua, Imposibilidad de Cierre
  - 5.3.3 Función Existencial Modificada.
- 5.4. Simulación de Convertidores CA/CC.
- 5.5. Rectificadores no Controlados: Matriz de Conversión, Montaje en Puente.
- 5.6. Rectificadores Controlados, Funcionamiento en Dos y Cuatro Cuadrantes: Matriz de Conversión, Montaje en Puente.

### TEMA 6: CONVERTIDORES CC/CA.

- 6.1. Introducción.
- 6.2. Tipos de Convertidores y Topologías.
- 6.3. Técnicas de Conversión.
- 6.4. Convertidores CC/CA de pulso único por semiciclo. Control de Ángulo de Fase.
  - 6.4.1 Inversor Monofásico-Montaje en Semipuerto.
  - 6.4.2 Inversor Monofásico-Montaje en Puente: Formulación, Descripción y Estudio de Funcionamiento, Análisis de un Montaje con Polos Reales (Transistor-Diodo).
  - 6.4.3 Inversor Trifásico, Formas de Onda, Transitorios de Conmutación.
  - 6.4.4 Fuentes Conmutadas CC/CC.
- 6.5. Convertidores CC/CA de Pulso Múltiple, Control PWM senoidal.
  - 6.5.1 Inversor Monofásico-Montaje en Semipuerto.
  - 6.5.2 Inversor Monofásico-Montaje en Puente: Formulación, Generación de Tensiones en dos y tres Niveles, Estudio de Anulación de Armónicos de Portadora.
  - 6.5.3 Inversor Trifásico, Composición Armónica en dos y tres Niveles, Comparación de Formas de Onda en dos tres y Cinco Niveles.
- 6.6. Control Adaptativo de las Funciones Existenciales. Descripción Genérica : Sliding, Banda de Histéresis, Robustez
- 6.7. Filtrado de Armónicos.
  - 6.7.1 Filtro de Salida.
  - 6.7.2 Filtro de corriente.
  - 6.7.3 Filtro de tensión. Criterios para el Dimensionado de Filtros de Tensión.
- 6.8. Filtrado con Generación de Funciones Existenciales con Control en Modo de Deslizamiento.
  - 6.8.1 Introducción: Sliding, Bandas de Histéresis Fija y Adaptativa, Frecuencia de Conmutación Constante.
  - 6.8.2 Filtro de Tensión. Sistema de 2º Grado
    - Ecuaciones de Estado de la Planta.
    - Bandas de Histéresis y Frecuencias de Conmutación en dos y tres Niveles.
    - Índices de Modulación y Anchura mínima de Impulsos.



- Ejemplos de Diseño con Filtros en dos y tres Niveles en Convertidores Trifásicos.
- Anulación de Frecuencias de Portadora. Comparación con PWM.

## TEMA 7: CONVERTIDORES CA/CA.

- 7.1. Introducción.
- 7.2. Clasificación de los Convertidores CA/CA.
- 7.3. Convertidores con Matriz de Conversión
  - 7.3.1 Convertidores Positivos y Negativos.
  - 7.3.2 Tipos de Modulación y de Convertidores.
- 7.4. Convertidores con Función de Modulación Lineal: SSFC y UFC.
  - 7.4.1 Curvas de Variación Temporal de  $a$ .
  - 7.4.2 Orden de los Armónicos referido a las Frecuencias de Entrada y de Salida.
- 7.5. Métodos de Control de Amplitud en Convertidores con Función de Modulación Lineal SSFC y UFC.
  - 7.5.1 Desfase entre Tensiones.
  - 7.5.2 Modulación No Lineal.
  - 7.5.3 Control CAM.
  - 7.5.4 Control PWM.
- 7.6. Convertidores con Función de Modulación Triangular TP y TN.
  - 7.6.1 Curvas de Variación Temporal de  $a$ .
  - 7.6.2 Orden de los Armónicos referido a la Frecuencia de Salida.
- 7.7. Métodos de Control de Amplitud en Convertidores con Función de Modulación Triangular TP y TN.
  - 7.7.1 Desfase entre Tensiones.
  - 7.7.2 Modulación No Lineal.
  - 7.7.3 Control CAM.
  - 7.7.4 Control PWM.
- 7.8. Convertidores de Conmutación Natural NCC (Naturally Commutated Cycloconverters).
  - 7.8.1 Zonas de Conducción de las Matrices de Conversión Directa e Inversa.
  - 7.8.2 Composición Armónica.

## PARTE B: PROBLEMAS Y DISEÑO DE EQUIPOS (Texto de Referencia)

### TEMA 1: INTRODUCCIÓN.

- 1.1 Componentes de los Sistemas Electrónicos de Potencia.
- 1.2 Componentes de los Convertidores de Potencia.
- 1.3 Semiconductores Electrónicos de Potencia. Panorámica General.
- 1.4 Aplicaciones Industriales.
- 1.5 Clasificación:
  - 1.5.1 Frecuencias de Funcionamiento.
  - 1.5.2 Capacidad de Bloqueo.
- 1.6 Semiconductores de Potencia y Polos de Potencia.
- 1.7 Semiconductores. Dimensionado y Protecciones.

### TEMA 2: SEMICONDUCTORES DE POTENCIA. (Texto de Consulta)

- 2.1 Introducción. Semiconductores en Baja Frecuencia.
- 2.2 Polo de Potencia.
- 2.3 Diodo:
  - 2.3.1 Unión PN en equilibrio.
  - 2.3.2 Corrientes de Conducción y de Difusión.
  - 2.3.3 Unión PN Polarizada.
  - 2.3.4 Curvas Características del Diodo.
  - 2.3.5 La unión PN en Conmutación.
  - 2.3.6 El Diodo como Polo de Potencia.
- 2.4 Transistor Bipolar de Potencia:
  - 2.4.1 Transistor Polarizado y no Polarizado.
  - 2.4.2 Triángulo de Difusión.
  - 2.4.3 Curvas Características.
  - 2.4.4 El Transistor como Polo de Potencia
- 2.5 Tiristor (SCR).
  - 2.5.1 Estructura.
  - 2.5.2 Características Estáticas.
  - 2.5.3 Procesos de Disparo y Bloqueo.
  - 2.5.4 Características dinámicas.
  - 2.5.5 Características de Puerta.
  - 2.5.6 Bloqueo Estático y Dinámico.
  - 2.5.7 Bloqueo Natural y Forzado.
  - 2.5.8 El Tiristor como Polo de Potencia

---

### TEMA 3: PÉRDIDAS DE POTENCIA EN SEMICONDUCTORES EN BAJA FRECUENCIA.

- 3.1 Introducción.
- 3.2 Pérdidas en Conducción Directa. Puente Trifásico.
- 3.3 Pérdidas de Bloqueo: Directo e Inverso.
- 3.4 Pérdidas de Recuperación: Diodos, Tiristores.
  - 3.4.1 Recuperación Directa.
  - 3.4.2 Recuperación Inversa.
- 3.5 Pérdidas en circuito de Puerta.
- 3.6 Comparación de Pérdidas de Conducción y Conmutación.

### TEMA 4: CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LOS SEMICONDUCTORES DE POTENCIA.

- 4.1 Capacidad Térmica.
- 4.2 Resistencia Térmica.
  - 4.2.1 Cálculos Térmicos en Régimen Permanente.
  - 4.2.2 Cálculos Térmicos en Régimen Transitorio.
  - 4.2.3 Impedancia Térmica Transitoria.
  - 4.2.4 Determinación práctica de la temperatura de la Unión en diferentes Regímenes de carga.
    - Aplicación Escalón y de un Impulso de Potencia.
    - Sobrecarga Aislada.
    - Sobrecargas Periódicas superpuestas con un funcionamiento en Régimen permanente.

### TEMA 5: DISEÑO DE MONTAJES CONVERTIDORES: RECTIFICADOR TRIFÁSICO.

- 5.1 Dimensionado del Transformador. Cálculo aproximado.
- 5.2 Pérdidas en el Cobre:
  - 5.2.1 Montaje en Puente.
  - 5.2.2 Montaje en Matriz de Conversión.
- 5.3 Fenómeno de Conmutación. Caída  $V_x$ :
  - 5.3.1 Montaje en Puente.
  - 5.3.2 Montaje en Matriz de Conversión.
- 5.4 Potencia e Impedancia de Cortocircuito en Línea.
- 5.5 Cálculo de Pérdidas de  $V_{cc}$  por Conmutación.
- 5.6 Dimensionado del Transformador. Cálculo Exacto.
- 5.7 Dimensionado de Semiconductores (Tiristores):
  - 5.7.1 Régimen Estacionario.
  - 5.7.2 Régimen Transitorio.
  - 5.7.3 Detalles de Montaje.
- 5.8 Pérdidas Globales y Rendimiento.

### TEMA 6: TRANSITORIOS DE TENSIÓN EN SEMICONDUCTORES DE POTENCIA.

- 6.1 Introducción: Transitorios de Tensión y Sobretensiones: Origen y Protecciones.
- 6.2 Origen de los Transitorios de Tensión:
  - 6.2.1 Conexión del Primario de un Transformador.
  - 6.2.2 Desconexión del Primario de un Transformador.
  - 6.2.3 Fuente de Tensión de CC Inductiva.
  - 6.2.4 Sobretensiones Cíclicas por Recuperación.
  - 6.2.5 Apertura de Interruptores.
  - 6.2.6 Transitorios de Origen desconocido.
  - 6.2.7 Efecto de Transitorios de Tensión sobre Semiconductores.
- 6.3 Origen y Supresión de Sobretensiones:
  - 6.3.1 Energía Magnetizante de los Transformadores. Ejemplo Monofásico.
  - 6.3.2 Ejemplo de Cálculo para un Transformador Trifásico.
  - 6.3.3 Sobretensiones de Conmutación.

### TEMA 7: TRANSITORIOS DE INTENSIDAD EN SEMICONDUCTORES DE POTENCIA.

- 7.1 Introducción: Transitorios de Intensidad y Sobreintensidades: Origen y Protecciones.
- 7.2 Protección contra Sobreintensidades de Defecto:
  - 7.2.1 Características Límites de los Semiconductores:
    - Concepto de  $I_2 t$ .
    - Formas de Onda (Fabricantes).
    - Concepto de  $I_2 \cdot (t)^{0,5}$ .
    - Curvas Límites  $I, t$ .
  - 7.2.2 Magnitud de los Transitorios de Intensidad en función de los Componentes del Circuito.
  - 7.2.3 Fusibles Ultrarápidos:
    - Corriente Presumida de defecto.
    - Corriente de Limitación.
  - 7.2.4 Proceso de Dimensionado (Puente trifásico).
    - Selección del Fusible.

- Sobrecorriente y Limitación.
- Nivel de Protección del Fusible I2 t.
- Verificación Fusible-Semiconductor.
- Pérdidas en los Fusibles.
- Sobrecargas y Curvas de Prearco.
- Curvas de Tensión de Arco.

7.3 Protección contra di/dt.

7.4 Protección Global en Sobrecarga: Curva de Carga Límite.

TEMA 8: APÉNDICES.

8.1 Thyristor, Silicon Controlled Rectifiers: T600, T680, T690 (Pags: 1-3, 12-14).

8.2 Thyristor, Silicon Controlled Rectifiers: Type T9G0 (Pags: 1-3, 9-10 + Radiador A9) Carpeta 82.

8.3 Fusibles: 600V URG 315-1250 A (Pags: 16-20).

---

## Programa Práctico

PARTE C: PRÁCTICAS DE LABORATORIO (Manual de Referencia)

1ª: MANEJO DEL ENTORNO DEL PAQUETE PECADS'97, DE SU MANUAL DEL USUARIO, DEL TEXTO TEORICO, Y VISUALIZACION DE LAS FUNCIONES EXISTENCIALES.

2ª: SIMULACION DEL CONVERTIDOR CC/CC BUCK ( Chopper ) CON PECADS'97 UTILIZANDO CARGA L-R .

3ª: SIMULACION DE CONVERTIDORES CA/CC CON PECADS'97 ▸ 1º PARTE: Carga R, Carga L-r, CORRIENTE CONSTANTE.

4ª: SIMULACION DE CONVERTIDORES CA/CC CON PECADS'97 ▸ 2º PARTE: Sin Carga (corriente constante) ▸ Isalida = 1000 A; Fenómeno de Conmutación; Funcionamiento en Cuatro Cuadrantes.

5ª: SIMULACION DE CONVERTIDORES CC/CA CON PECADS'97 ▸ 1º PARTE: Pulso único; Control PWM; Montaje en Puente Bifásico o Trifásico.

6ª: SIMULACION DE CONVERTIDORES CC/CA CON PECADS'97 ▸ 2º PARTE:Control PWM, Funcionamiento en 2 y 3 Niveles, Montaje en Puente Bifásico o Trifásico.

7ª: SIMULACION DE CONVERTIDORES CA/CA CON PECADS'97: Convertidores Positivos y Negativos (TP y TN). Convertidores SSFC. Convertidores UFC.

---

## Evaluación

Exámenes final sobre teoría. Problemas y prácticas de laboratorio.

---

## Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA DE LA ASIGNATURA.

1ª S. LORENZO. "Electrónica de Potencia: Dimensionado y Protección de Circuitos de Potencia". E.T.S.I.I. de Madrid. 1985

2ª P. WOOD. "Switching Power Converters". 1991.

3ª F. ALDANA. "Electrónica I". E.T.S.I.I. de Madrid. 1976.

4ª J.A. GUALDA. "Electrónica Industrial: Técnicas de Potencia". 1993.

5ª TOSHIBA. "GTR Module (IGBT) - Application Notes". 1992.

6ª SEMIKRON. "Power Semiconductors". 1992.

7ª MITSUBISHI. "3rd Generation IGBT and Intelligent Power Modules - Application Manual". 1995.

8ª S. LORENZO; J.M. RUIZ; A. MARTIN. "Simulación, Control Digital y Diseño de Convertidores Electrónicos de Potencia mediante PC". Disponible en CD-Rom.1997.

9ª F. C. LEE. "Power Electronics Technology and Applications II". IEEE. 1997.

10ª M. H. RASHID. "Recent Developments in Power Electronics. Selected Readings". IEEE. 1996.

11ª J. VELASCO BALLANO; M. ORIOL VELILLA; J. OTERO ARIAS. "Sistemas Electrónicos de Potencia. Electrónica de regulación y control de potencia". Paraninfo. 1998.

---