



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

# **ARMÓNICAS EN SISTEMAS DE BAJA TENSIÓN - EIE 541**



**Profesor: Domingo A. Ruiz Caballero Dr.Ing.**

**Laboratorio de Electrónica de Potencia - LEP**

## Objetivos del curso

### **Objetivos Generales**

Desarrollar en el alumno comprensión, conocimiento analítico y cualitativo en relación a conceptos modernos de factor de potencia y distorsión armónica.

### **3.- Objetivos Específicos**

- a) Capacitar al futuro ingeniero con conceptos modernos de factor de potencia y distorsión armónica. Así como de técnicas de corrección pasiva y activa de factor de potencia y eliminación armónica.
- b) Otorgar conocimientos sobre las causas y los efectos de las armónicas de y en diferentes dispositivos electro-electrónicos de un sistema.
- c) Dentro de la corrección activa, dominar conceptos de emulador resistivo y filtro activo.
- d) Proyecto y análisis de métodos pasivos de corrección de factor de potencia y eliminación armónica.
- e) Proyecto y análisis de métodos activos de corrección de factor de potencia y eliminación armónica.

## Contenido del curso

### **CAPÍTULO 1 FUNDAMENTO MATEMÁTICO.**

- 1.1 Funciones o Señales Periódicas
- 1.2 Funciones Pares e impares
- 1.3 Funciones Ortogonales
- 1.4 Representación de una señal por un conjunto de funciones reales (o complejas) ortogonales.
  - 1.4.1 La serie trigonométrica de Fourier
  - 1.4.2 La serie compacta de Fourier
  - 1.4.3 La serie exponencial de Fourier
- 1.5 Representación gráfica de señales
  - 1.5.1 Espectro discreto Monolateral
  - 1.5.2 Espectro discreto bilateral
- 1.6 La transformada de Fourier
- 1.7 Transformada discreta de Fourier

### **CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE SISTEMAS CON SEÑALES NO SINUSOIDALES.**

- 2.1 Definición de potencia media para señales no sinusoidales
- 2.2 Definición de valor eficaz (RMS) para señales no sinusoidales
- 2.3 Definición de Factor de Potencia para sistemas con señales no sinusoidales
  - 2.3.1 – Caso 1: Factor de Potencia de carga lineal con tensión sinusoidal.
  - 2.3.2 – Caso 2: Factor de Potencia de carga no lineal con tensión sinusoidal.

## Contenido del curso

### 2.4 Índices armónicos

- 2.4.1 Distorsión armónica total -THD
- 2.4.2 Distorsión total de Demanda - TDD
- 2.4.3 Factor de influencia telefônica- TIF
- 2.4.4 Producto VT e IT
- 2.4.5 Índice C-Message
- 2.4.6 Factor K del transformador

### 2.5 Secuencia de fase armónica

- 2.5.1 Secuencia armónica para sistemas balanceados
- 2.5.2 Secuencia armónica para sistemas no balanceados

## **CAPÍTULO 3 CAUSAS Y EFECTOS ARMÓNICOS.**

### 3.1 Fuentes Armónicas desde el punto de vista circuital

- 3.1.1 Carga no lineal tipo fuente de corriente
- 3.1.2 Carga no lineal tipo fuente de tensión

### 3.2 Fuentes armónicas desde el punto de vista de la carga

- 3.2.1 Carga no lineal conmutadas
  - 3.2.1.1 Altas y medias potencias
    - a.- Armónicos relacionados a rectificadores de 6 pulsos conectado a un transformador trifásico.
    - b.- Armónicos relacionados a rectificadores de 12 pulsos conectados a dos transformadores trifásicos.

## Contenido del curso

### 3.2.1.2 Bajas potencias

- a.- Rectificador puente completo monofásico
- b.- Rectificador puente completo trifásico
- c.- Graduador o variador de tensión

### 3.2.2 Cargas no lineales convencionales

#### 3.2.2.1 Dispositivos Ferromagnéticos

#### 3.2.2.2 Dispositivos a Arco

### 3.3 Efectos de las armónicas en el sistema y los equipos eléctricos

#### 3.3.1 Distorsión del voltaje de alimentación; efecto de la conmutación en la distorsión de tensión (Notches) en los rectificadores de potencia.

#### 3.3.2 Resonancias

##### 3.3.2.1 Resonancia paralela

##### 3.3.2.2 Resonancia serie

##### 3.3.2.2 Multiresonancia

#### 3.3.3 Efectos en motores y generados

#### 3.3.4 Efectos en transformadores

#### 3.3.5 Efectos en equipos electrónicos

#### 3.3.6 Efectos en los conductores

#### 3.3.7 Efectos en los sistemas de comunicación

#### 3.3.8 Efectos en los medidores eléctricos

#### 3.3.9 Efectos en las protecciones eléctricas

## Contenido del curso

### 3.4 Normas relativas a la corriente de línea y al factor de potencia

#### 3.4.1 Factor de potencia

#### 3.4.2 Normas en relación al contenido armónico

## **CAPÍTULO 4 SOLUCIÓN A LAS ARMÓNICAS A TRAVÉS DE FILTROS PASIVOS**

### 4.1 Tipos de Filtros Pasivos de confinamiento

#### 4.1.1 Filtros pasa altos de primer orden

#### 4.1.2 Filtros Pasa Altos amortiguado de primer Orden

#### 4.1.3 Filtros Serie resonante de segundo Orden

#### 4.1.4 Filtros Serie resonante amortiguado de segundo Orden; Conexión de varios Filtros Serie resonante de segundo Orden

#### 4.1.5 Filtros de orden superior

#### 4.1.6 Reactores de línea y trampas armónicas

### 4.2 Cálculo de filtros sintonizados

#### 4.2.1 Ajuste a las normas Chilenas

#### 4.2.2 Diseño del filtro sintonizado

##### 4.2.2.1 Algoritmo de diseño del filtro sintonizado

##### 4.2.2.2 Resumen del Algoritmo de diseño del filtro sintonizado

##### 4.2.2.3 Ejemplo de diseño

a.- Modelado de la planta.

b.- Proyecto de los filtros.

## Contenido del curso

### **CAPÍTULO 5 SOLUCIÓN A LAS ARMÓNICAS A TRAVÉS DE CIRCUITOS ACTIVOS**

1. Emulador Resistivo o Preregulador del factor de Potencia
  - 5.1.1 Emulador Resistivo utilizando el convertidor elevador (Boost converter) en conducción continua.
    - 5.1.1.1 Desarrollo del circuito trabajando como CC-CC
    - 5.1.1.2 Principio de funcionamiento como emulador resistivo en Modo de Conducción Continua
      - a.- Análisis del convertidor Boost como emulador resistivo en conducción continua
      - b.- Análisis del control por corriente media
      - c.- Ejemplo de proyecto
  - 5.1.2 Emulador resistivo ocupando el convertidor CC-CC elevador en conducción crítica.
    - 5.1.2.1 Análisis del convertidor como emulador en conducción crítica
      - a.- Calculo del ciclo de servicio
- e.- Metodología de proyecto
- 5.2 Filtro Activo Paralelo
  - 5.2.1 Filtro activo paralelo: Descripción del circuito
    - 5.2.1.1 Etapas de funcionamiento del inversor
    - 5.2.1.2 Ganancia del circuito
    - 5.2.1.5 Ondulación de la corriente en el inductor de acoplamiento
  - 5.2.2 Estrategia de control
    - 5.2.2.1 Estructura del control por corriente media en el filtro activo
    - 5.2.2.2 Obtención del modelo del circuito de potencia
  - 5.2.3 Ejemplo de Proyecto.

## Bibliografia

- 1.- ARRILLAGA J.; BRADLEY D.A.; P.S. BODGER. "*Power System Harmonics*". John Wiley & Son, 1985.
- 2.- IEEE std 519-1992. "*Recommend Practices and Requirements for Harmonics Control in Electric Power Systems*". New York, USA, 1993.
- 3.- KLOSS A. "*A Basis Guide to Power Electronics*", John Wiley & Son Ed. 1984.
- 4.- KASSAKIAN J.; SCHLECHT M.; VERGHESE G. "*Principles of Power Electronics*", Addison-Wesley Publishing Company Ed. 1991.
- 5.- CHANG G. W., RIBEIRO P.F., RANADE S.J. "*Harmonics Theory*", Tutorial Sobre armónicos del IEEE , 1999.
- 6.- KASSICK Enio. "*Harmônicas em Sistemas Industriais de Baixa Tensão*", Apuntes del curso- Circulación interna, INEP/UFSC 1997.
- 7.- PÖTTKER Fabiana. "*Correção do Fator de Potencias de Cargas Não Lineares monofasicas empregando Filtro Ativo*", Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica.
- 8.- LATTI, "*Principios de telecomunicaciones*"
- 9.- BARBI Ivo. "*Eletronica de Potencia*" INEP/UFSC 2004.
- 10.- PHIPPS James. "*A transfer function Approach to Harmonic Filter Design*" , IEEE IAM March/April 1997 pp. 68-82.



## Bibliografia

- 11.- PENG F.; AKAGI H; NABAE A. "*A new Approach to Harmonic Compensation in Power Systems – A combined System of Shunt passive and series Active Filters*". *IEEE Transactions on Industry Applications* , Nov./Dec 1990.
- 12.- PENG F.; "*Harmonic Sources and Filtering Approaches*". *IEEE Industry Applications Magazine*, Jul/Aug, 2001.
- 13.- MOHAN N.; UNDELAND T.; ROBBINS W, "*POWER ELECTRONICS: Converters, Applications and Design*", John Wiley & Son Ed. 1989.
- 14.- PENG F.; SU G.; FARQUHARSON G.; "*A series LC Filter for Harmonic Compensation of AC Drives*", *IEEE PESC* 1999.

HERRAMIENTAS DE APOYO

# Programas Pspice, Psim y Mathcad

Instalados en los Computadores del Laboratorio de  
simulación aplicado a Electrónica de Potencia.

DARC

## Calificaciones

Total de 30 sesiones de clases aproximadamente.

Habr  3 tareas a realizar con una nota, a ser entregadas los días:  
27-04, 25-05 y 22-06.

Examen: A determinar

## Consultas e información

- Lugar: Laboratorio de Electrónica de Potencia (LEP)
- Horario Atención : En cualquier momento.