

TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA APLICADA A LA CALIDAD ELÉCTRICA

Curso 2011/2012

(Código:28803082)

1.PRESENTACIÓN

La tecnología electrónica está presente de forma cada vez más intensa en la industria, las comunicaciones, la ofimática, la domótica, la electromedicina y en otros muchos ámbitos. La generación, transporte, distribución y consumo de la energía eléctrica es uno de ellos, y en el que con claridad la electrónica ha permeado su tecnología. En efecto, la electrónica de potencia ayuda hoy al tratamiento de la energía eléctrica mejorando la eficiencia de los procesos, la seguridad de suministro y la calidad de la tensión provista a los usuarios. Algunos de estos procesos, como el transporte de energía eléctrica en alta tensión (en el que se llegan a manejar, mediante convertidores con tiristores, potencia de hasta 6.000 MVA) no sería factible sin el concurso de la electrónica de potencia. Además de la calidad del suministro eléctrico, también la gestión del flujo de cargas se ve beneficiada por los convertidores y la aparataje electrónica moderna, contribuyendo así al ahorro energético.

Por otra parte, al ser la calidad de la red eléctrica consecuencia del su correcta generación y distribución así como de su uso adecuado (pues los propios usuarios pueden deteriorarla) la electrónica de potencia se ocupa, mediante distintos equipos, no solo de mejorar la calidad de la tensión suministrada al usuario sino también de minimizar las perturbaciones que este puede ocasionar en la red. Algunas instalaciones eléctricas de gran potencia llegan a constituir focos potentes de perturbaciones (como los hornos de arco, cuya potencia sobrepasa a veces las 100 MVA y son los mayores generadores de la perturbación llamada parpadeo o *flicker*) y deben recurrir forzosamente a su atenuación mediante distintos convertidores electrónicos (como los convertidores estáticos de energía reactiva, o *STATCOM*, empleados a veces en la corrección de los hornos de arco).

La asignatura se propone en primer lugar conocer las perturbaciones más comunes de la red eléctrica, sus causas y sus consecuencias. En segundo lugar, repasar y actualizar los distintos interruptores y convertidores electrónicos disponibles para la gestión de la energía eléctrica. En tercer lugar revisar las funciones y aplicaciones más notables que los dispositivos anteriores implementan en la generación, transporte, distribución de la energía eléctrica, en la minimización de las perturbaciones y en el control y acondicionamiento de las cargas.

2.CONTEXTUALIZACIÓN

En relación con los títulos oficiales y condiciones de acceso y admisión a este Máster en Investigación, esta asignatura viene a completar y ampliar los conocimientos adquiridos por los alumnos durante sus estudios de grado referidos a la Ingeniería Eléctrica y a la Tecnología Electrónica en relación con lo que



tradicionalmente se ha denominado Redes Eléctricas y Electrónica de Potencia (o Electrónica Industrial), y también completa ciertos aspectos relacionados con la aplicación de los interruptores estáticos y los convertidores electrónicos de potencia al control de la red eléctrica y de sus cargas, a la mejora de la calidad de aquella y a la minimización de las perturbaciones ocasionadas por estas.

Esta asignatura forma parte del Módulo II que corresponde a los contenidos específicos optativos de los itinerarios de *Ingeniería Eléctrica y Electrónica* y de *Energías Renovables*. Junto a las demás asignaturas incluidas en los mismos itinerarios, constituye la oferta de contenidos específicos que permiten al estudiante particularizar o diseñar a conveniencia su formación investigadora. Teniendo en cuenta la lógica relación que hay entre los contenidos de las asignaturas que forman cada especialidad, cada itinerario se ha definido como una materia que está compuesta por seis asignaturas, de 5 ECTS cada una, de las que el estudiante debe elegir y cursar cuatro.

3.REQUISITOS PREVIOS RECOMENDABLES

Los conocimientos previos genéricos para cursar esta asignatura corresponden a los fundamentos de la Ingeniería Eléctrica (los que se refieren a la teoría y análisis de circuitos, al cálculo y explotación de redes eléctricas y a la tecnología eléctrica) y de la Electrónica (los que se refieren a los componentes electrónicos básicos y a los circuitos electrónicos fundamentales: analógicos, digitales y de potencia). Para obtener un buen rendimiento en su estudio es recomendable que, además, el alumno haya cursado asignaturas específicas tales como:

- Electrónica de potencia, o bien Electrónica industrial.
- Alimentación electrónica de equipos y cargas críticas.
- Automática y control industrial
- Sistemas y métodos en electrónica de potencia
- Líneas y redes eléctricas

que le hayan proporcionado, entre otros, conocimientos sobre

- Componentes y circuitos electrónicos de potencia.
- Análisis y representación del sistema eléctrico: elementos del sistema (generadores, transformadores, líneas de transporte y cargas), representación del sistema mediante el diagramas unifilar y cálculo en valores por unidad.
- Análisis en estado normal de la red: control de cargas.
- Análisis en estado perturbado de la red: tipos de perturbaciones.

4.RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Conforme a la orientación formativa que introduce el EEES y a partir de los contenidos de la asignatura, los resultados del aprendizaje esperados que debe alcanzar el estudiante son:

- Identificar las perturbaciones más frecuentes de la red eléctrica de corriente alterna en 50 Hz y de las normas que las definen.
- Localizar el origen de las perturbaciones y los medios de prevención ordinarios para reducir la frecuencia de aparición y su intensidad.
- Analizar el impacto que las perturbaciones tienen en el tiempo que la red muestra una calidad suficiente de alimentación, es decir en la seguridad de suministro.
- Comparar y profundizar en las consecuencias que tales perturbaciones tienen en las cargas críticas, tanto por razón de exigencia de calidad de los parámetros eléctricos de alimentación, como por exigencia de seguridad de suministro.



- Analizar y sintetizar los equipos electrónicos de potencia destinados a mejorar la calidad de la red eléctrica incluyendo al menos: filtros pasivos; estabilizadores de tomas, tanto en variante lenta con tiristores como rápida con IGBT; compensadores estáticos de reactiva con tiristores en control de fase; filtros activos de tensión y de corriente en alta frecuencia; acondicionadores universales basados en los filtros antedichos.
- Desarrollar el método general de identificación de un problema de calidad de la red, diagnóstico del origen y de sus consecuencias, análisis de sus soluciones y comparación técnico-económica de ellas. Optimización del binomio prestaciones-coste de la solución.
- Aplicar el método anterior a la resolución de un problema concreto de calidad de red y reflexionar sobre la idoneidad de la solución adoptada.
- Relacionar y comparar estos contenidos con otros aspectos relacionados con la distribución eléctrica, los equipos electrónicos de potencia y las cargas críticas, tales como la generación, emisión y consecuencias del ruido eléctrico conducido y emitido, la optimización del flujo de cargas y el telecontrol de líneas y cargas críticas.

5.CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

El contenido de la asignatura se ha dividido en cuatro temas, que se desarrollan a continuación. Se indica para cada contenido el capítulo o sección del Texto base *Electrónica de Potencia* ... donde debe prepararse:

TEMA 1. Equipos electrónicos de potencia relacionados con corriente y tensión alternas

Objetivos particulares: Conocer las distintas familias de equipos electrónicos de potencia relacionados con la tensión alterna y adquirir nociones de diseño. Adquirir criterios de cuantificación de la potencia manejada por el equipo, de manera que se pueda realizar una primera evaluación de su coste.

Contenido:

- 1.1 Interruptores y conmutadores estáticos de corriente alterna: Texto base 9.1; 9.2; 9.5; 9.6; 9.8; Problema P 9-2; 20.1
- 1.2. Estabilizadores de corriente alterna: Capítulo 11 entero; 20.4. 1.3. Inversores. Capítulos 15, 16 y 17 enteros excepto 17.3.1 y 17.3.2.
- 1.4. Sistemas de alimentación ininterrumpida: 20.14.
- 1.5. Acondicionadores de línea basados en filtros de tensión y de corriente en alta frecuencia: 20.15.

Desarrollo: Estudio de los equipos anteriores en la bibliografía reseñada en el apartado 2.4 comparando sus funciones.

Bibliografía Adicional: -J. Carpio, M. Castro, S. Martínez, J. Peire and F. Aldana, "Multiprimary Winding Inverter with Low Harmonic Content", *Proc. ESA Sessions at 16th Annual IEEE PESC, Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 24-28 June, 1985*, pp. 61-67.
 -F. Barrero, S. Martínez, F. Yeves, F. Mur and P. Martínez, "Active Power Filters for Line Conditioning: A Critical Evaluation", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 15, nº 1, January, 2000, pp. 319-325.

TEMA 2. Cómputo de la potencia manejada por los equipos electrónicos de potencia aplicados a la calidad eléctrica.

Objetivos particulares: La mejora de la calidad de la red eléctrica y la reducción de sus distintas perturbaciones puede realizarse a menudo mediante distintos equipos electrónicos de potencia. Encontrar la solución más adecuada desde un punto de vista técnico y económico exige un preconocimiento mínimo de la potencia manejada por los distintos subconjuntos que constituyen cada equipo, de modo que se pueda obtener una valoración de principio de su coste económico.



El objetivo de este segundo tema es conseguir una valoración de la potencia manejada por cada subconjunto importante de los distintos equipos electrónicos de potencia aplicados a la calidad eléctrica que sirva de base a una posterior valoración económica y técnica de soluciones alternativas.

Contenido:

- 2.1. Potencia construida de transformadores y bobinas: 8.5 entero (no entra la potencia construida de las bobinas).
- 2.2. Valoración técnico-económica de condensadores de potencia: Artículo "Active Power Filters ..." de la bibliografía adicional.
- 2.3. Evaluación técnico-económica de semiconductores de potencia: Artículo "Active Power Filters ..." de la bibliografía adicional.

Desarrollo: Estudio de los conceptos auxiliares aportados para la comparación técnico-económica de equipos y aplicación a ejemplos del tema 1. Apoyo en la bibliografía reseñada en el apartado 2.4.

Bibliografía Adicional: -F. Barrero, S. Martínez, F. Yeves, F. Mur and P. Martínez, "Universal and Reconfigurable to UPS Active Power Filter for Line Conditioner", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 18, nº 1, January, 2003, pp. 283-290.

TEMA 3. Aplicación de equipos electrónicos de potencia a la gestión y mejora de la red eléctrica.

Objetivos particulares: El objeto de este tema es la aplicación de los equipos electrónicos de potencia a la gestión de sistemas eléctricos de CA no perturbados y a la mejora de su calidad y seguridad.

Contenido:

3.1. Mejoras en la estabilidad de la tensión: Se considera ya cubierto por el Capítulo 11 (concretamente por los apartados 11.6 y 11.7) y por 20.4.

3.2. Mejoras en la seguridad de alimentación. Nociones de fiabilidad de un sistema de alimentación eléctrica: 19.1; Problemas P 19-1 y P 19-2.

3.3. Sistemas de alimentación de corriente alterna uni- y multi-modulares. Se considera cubierto por 20.14.

Desarrollo: Estudio de las mejoras aportadas a la calidad eléctrica por los equipos electrónicos de potencia comparando las eficiencias de cada solución. Apoyo en la bibliografía reseñada en el apartado 2.4.

Bibliografía Adicional: -J. C. Campo, J. Vaquero, M. A. Pérez and S. Martínez, "Dual-Tap Chopping Stabilizer With Mixed Semiratural Switching . Analysis and Synthesis", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 20, nº 3, July, 2005, pp. 2315-2326.

TEMA 4. Aplicación de equipos electrónicos de potencia a la reducción de perturbaciones de la red eléctrica.

Objetivos particulares: Revisar las perturbaciones más comunes en la red eléctrica y su reducción mediante equipos electrónicos de potencia.

Contenido:

- 4.1. Reducción de microcortes. Filtros.
- 4.2. Reducción de cortes largos. Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) y acondicionadores de línea universales reconvertibles a SAI.
- 4.3. Reducción de variaciones lentas de tensión. Estabilizadores.
- 4.4. Reducción de armónicos de corriente. Filtros pasivos y



activos de intensidad.

4.5. Reducción de armónicos de tensión. Filtros pasivos y activos de tensión.

4.6 Reducción de sobretensiones transitorias de tensión.

4.7 Reducción de inestabilidades.

El contenido de todo el Tema 4 se considera ya cubierto por el Capítulo 11, 20.4, 20.14 y 20.15.

Desarrollo: Estudio de los equipos reductores de perturbaciones comparando la eficiencia técnica de las mejoras y el coste económico global. Apoyo en la bibliografía reseñada en el apartado 2.4.

Bibliografía Adicional: -J. Vaquero, J. C. Campo, S. Monteso, S. Martinez and M. A. Pérez, "Analysis of Fast Onload Multitap-Changing Clamped-Hard-Switching AC Stabilizers", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 21, nº 2, April, 2006, pp. 825-861.

-J. Vaquero, J. C. Campo, S. Monteso, S. Martinez and M. A. Pérez, "Synthesis of Fast Onload Multitap-Changing Clamped-Hard-Switching AC Stabilizers", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 21, nº 2, April, 2006, pp. 862-872.

-S. Martínez, J. C. Campo, J. A. Jardini, J. Vaquero, A. Ibarzábal and P. M. Martínez, "Feasibility of Electronic Tap-Changing Stabilizers for Medium Voltage Lines – Precedents and New Configurations", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 24, nº 3, July, 2009, pp. 1490-1503.

6.EQUIPO DOCENTE

- [RAFAEL GUIRADO TORRES](#)

7.METODOLOGÍA

La asignatura *Tecnología electrónica aplicada a la calidad eléctrica* se impartirá a distancia siguiendo el modelo educativo propio de la UNED. Desde el punto de vista metodológico tiene las siguientes características generales:

- Como se ha dicho, es una asignatura "a distancia" según modelo metodológico implantado en la UNED. Al efecto se dispondrá de los recursos incorporados al *Curso virtual* de la asignatura al que se tendrá acceso a través del portal de enseñanza virtual *UNED-e* y de su espacio específico disponible en el servidor en Internet del DIEEC.
- Dado que las actividades síncronas son reducidas, la planificación de su seguimiento y estudio permite su adaptación a estudiantes con diversas circunstancias personales y laborales. No obstante, en este sentido, suele ser aconsejable que, en la medida de sus posibilidades, cada estudiante establezca un modelo propio de estudio y seguimiento lo más regular y constante posible.
- Tiene un carácter teórico y práctico, por lo que compaginará planteamientos teóricos en equipos y sistemas electrónicos con la resolución de ejercicios de aplicación.

Es conveniente que el alumno estudie cada tema siguiendo el orden dado a los contenidos, ya que en algunos casos un determinado tema se apoya en los anteriores.



Ejercicio Teórico-Práctico

Se realizará un Ejercicio Teórico-Práctico obligatorio que tendrá un peso del 40% en la nota final. Habrá de obtenerse un mínimo de 3 puntos sobre 10 en este ejercicio para aprobar la asignatura.

El Ejercicio Teórico-Práctico consistirá en la redacción de un trabajo de 6 páginas **a mano y firmado** sobre los contenidos de un CD que se enviará al domicilio de cada alumno a principios de curso, resumiendo uno de estos cuatro temas, a elección del alumno y sin necesidad de confirmación por el profesor:

- Estabilizadores de c.a. por pasos con intensidad compartida.
- Necesidad y utilización de los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI).
- Fiabilidad de un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
- Transmisión de c.c. en alta tensión.

El trabajo se enviará a un profesor del equipo docente por correo ordinario a ETSII de la UNED, C/ Juan del Rosal 12, 28015 Madrid, por fax al 91 3986028 o, escaneado, por correo electrónico a un profesor del equipo docente.

El CD que se enviará a los alumnos, antes aludido, contiene los artículos:

Artículos *Fiabilidad en un sistema de alimentación ininterrumpida (I y II)*
Artículos *Transmisión en c.c. en alta tensión (I y II)*
Artículo *Multiprimary Winding Inverter with Low Harmonic Content*
Artículo *Estabilizadores de c.a. por pasos con intensidad compartida*
Artículo *Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)-Estado actual y tendencias tecnológicas*
Artículo *Necesidad y utilización de los SAI*
Artículo *Sistemas de alimentación ininterrumpida-Guía de instalación de un SAI de 3 a 40 kVA*
Artículo *Sistemas de alimentación ininterrumpida-Panorámica actualizada*
Artículo *Survey of active filters for harmonic compensation*
Artículo *Active power filters for line conditioning: A critical evaluation*
Artículo *Universal and reconfigurable to UPS active power filter for line conditioning*
Artículo *Power Quality Engineering*
Artículo *Voltage Sags in Three-Phase Systems*
Artículo *Power Acceptability*
Artículo *Compatibility saves money*

Este ejercicio tendrá un peso del 40% en la nota final. La nota particular de este ejercicio deberá ser de 3 sobre 10 al menos. El trabajo debe recibirse antes de realizar la Prueba Presencial de la convocatoria a la que el alumno se presente, ordinaria o extraordinaria. Se guardará la nota de este ejercicio obtenida en la convocatoria ordinaria para la extraordinaria si, habiéndose aprobado el ejercicio, no se hubiera aprobado la asignatura.

Puede observarse que la Bibliografía Adicional y los artículos del CD no entran en la Prueba Presencial, y que para la redacción del Ejercicio Teórico-Práctico solo se necesitan algunos artículos del CD. Sobre el material que no entra ni en la Prueba Presencial ni en el Ejercicio Teórico-Práctico, los alumnos y los tutores pueden hacer también consultas al equipo docente, de modo que se adquiriera una formación lo más completa posible del núcleo de los contenidos de la asignatura y de los contenidos periféricos que más interesen a cada uno.

Es muy importante cuidar la redacción del ejercicio, su corrección ortográfica y gramatical, y a la utilización adecuada de los conceptos técnicos y de las unidades y sus símbolos en las soluciones numéricas. Téngase en cuenta que el Espacio Europeo de Educación Superior exige demostrar, y nosotros evaluar, que además de dominar los contenidos de la asignatura el alumno es capaz de utilizarlos correctamente en



documentos técnicos escritos.

8.BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Comentarios y anexos:

La bibliografía básica para el seguimiento de la asignatura, que será confirmada, y complementada en su caso, a través del *Curso Virtual* de la misma al inicio del curso académico, es la siguiente:

- *Electrónica de potencia – Componentes, topologías y equipos*. S. Martínez y J. A. Gualda. Ed. Thomson, 2006.

Este libro es uno de los más completos en lengua española sobre temas relacionados con la electrónica de potencia, cubriendo diversas aplicaciones avanzadas tales como estabilizadores de tomas rápidos y acondicionadores de red de alta frecuencia.

- Documentos electrónicos que se enviarán en un CD, consistentes en distintos artículos para la preparación de los temas 1º a 4º. Sobre los artículos atinentes a los temas 1º y 2º se realizará el resumen pedido para el ejercicio 1º de evaluación.

9.BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Comentarios y anexos:

Existe una gran cantidad de libros en el mercado y en las bibliotecas universitarias que pueden ser consultados por los estudiantes como bibliografía complementaria para preparar la asignatura y profundizar en aquellos temas concretos que deseen.

A modo de ejemplo y sin ser exhaustivos se indican los siguientes:

- *Uninterruptible power supplies and active filters*. A. Emadi, A. Nasiri, S. B. Bekiarov, CRL Press, 2005.
- *Sistemas de energía eléctrica*. F. Barrero, Madrid, Thomson - Paraninfo, 2004.
- *Perturbaciones armónicas*. E. Félice, Madrid, Thomson - Paraninfo, 2001.
- *Electrical Power Systems Quality*. Mc Graw Hill, 1996.
- Cuadro mural sobre *Los armónicos en las redes eléctricas*, J. L. Hernández (IES La Laguna), M. A. Castro, J. Carpio y A. Colmenar (UNED), abril, 2009.

10.RECURSOS DE APOYO AL ESTUDIO

Curso virtual

La plataforma aLF de e-Learning de la UNED proporcionará el adecuado interfaz de interacción entre el alumno y sus profesores. aLF es una plataforma de e-Learning y colaboración que permite impartir y recibir formación, gestionar y compartir documentos, crear y participar en comunidades temáticas, así como realizar proyectos con participación permanente. Se ofrecerán las herramientas necesarias para que tanto el equipo docente como los estudiantes encuentren la manera de compaginar el trabajo individual y el aprendizaje cooperativo.

Otros

El equipo docente pondrá a disposición de los alumnos, a través de la herramienta de comunicación, recursos adicionales si lo considera oportuno para mejorar el rendimiento del curso.

11.TUTORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO



La tutorización de los alumnos se llevará a cabo, como se ha dicho, a través de la plataforma de e-Learning aLF, o bien directamente por correo electrónico con el equipo docente:

Salvador Martínez García: smartine@ieec.uned.es

José Carpio Ibáñez: jcarpio@ieec.uned.es

Excepcionalmente podrá utilizarse el teléfono en horario de guardia durante los períodos lectivos:

Salvador Martínez García: 91 398 6481, martes de 16 a 20 horas.

José Carpio Ibáñez: 91 398 6474, lunes de 16 a 20 horas.

12.EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

Conforme al espíritu del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), el proceso de evaluación es continuo a lo largo del curso y está de acuerdo con la carga de trabajo, la organización del contenido y el calendario dados en la Guía de la Asignatura.

Esta evaluación se arbitrará alrededor de la realización del Ejercicio Teórico-Práctico descrito en la sección Metodología, con un peso de 40% en la nota final. Habrá de obtenerse un mínimo de 3 puntos sobre 10 en este ejercicio.

También existe una Prueba Presencial con dos convocatorias (ordinaria y extraordinaria en septiembre). La duración será de 2 horas y su estructura será fijada por el Equipo Docente de la asignatura y se comunicará por los medios habilitados. Su peso será de 60% en la nota final. Habrá de obtenerse un mínimo de 3 puntos sobre 10 en esta prueba.

Por tanto, la nota de la asignatura será la suma de las notas del Ejercicio Teórico-Práctico y de la Prueba Presencial afectadas, respectivamente, por los factores 0,4 y 0,6. Es obligatorio, como se ha dicho, obtener al menos 3 puntos sobre 10 en cada una de ellas para aprobar la asignatura.

13.COLABORADORES DOCENTES

Véase equipo docente.

