

# **SIMULADOR DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA PARA LA APLICACIÓN EN CURSOS EN INTERNET Y APLICACIONES MULTIMEDIA**

*Enrique Romero Cadaval<sup>1</sup>, María Isabel Milanés Montero<sup>2</sup>, Antonio Rodríguez Zambrano*

*Universidad de Extremadura  
<sup>1</sup>eromero@unex.es, <sup>2</sup>milanes@unex.es*

## **RESUMEN**

Se presenta un simulador de circuitos básicos de electrónica de potencia desarrollado para su utilización en cursos impartidos a distancia impartidos a través de Internet y en la elaboración de material multimedia o como herramienta visual de apoyo a la docencia presencial. Se describen los principios básicos de diseño, de funcionamiento y de utilización. Este simulador permite su utilización como simulador propiamente dicho y como generador dinámico de gráficas de formas de onda para su integración completa con el resto del material del curso.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El aprendizaje de la electrónica de potencia suele resultar complejo a los alumnos, ya que el análisis de los distintos convertidores se realiza sobre el estudio de las formas de onda de tensión y corriente. En una clase presencial el profesor puede explicar sobre dichas formas de onda el funcionamiento del convertidor y cómo varía dicho funcionamiento al cambiar el valor de los distintos parámetros que en él influyen. Si se utiliza como elemento principal de desarrollo de la explicación la pizarra ésta acabará llena de formas de onda, al igual que los apuntes que suelen tomar los alumnos.

Esta dificultad resulta aún mayor si se trata de un curso que se imparte a distancia, total o parcialmente.

Es interesante en este caso disponer de alguna herramienta que facilite la representación de las distintas formas de onda. En muchos casos los profesores utilizamos simuladores de carácter general o específicos de electrónica de potencia, pero al no estar pensados para su aplicación docente no hacen fácil su integración completa en el curso y deben tratarse como actividades paralelas al mismo. Además muchos de ellos precisan de su instalación en el ordenador en el que el alumno seguirá el curso.

En este contexto surge la idea de crear una herramienta didáctica para la utilización en materias técnicas, sobre todo para la aplicación en cursos a distancia. Esta herramienta se ajusta las exigencias propias de la electrónica de potencia como una de las principales materias de evaluación de dicha herramienta.

## **2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SIMULADOR**

Los objetivos básicos con los que se acomete el desarrollo del simulador y que delimitarán el ámbito de aplicación del mismo son:

- Tratar los convertidores básicos ideales de la electrónica de potencia.
- Utilización sencilla en cursos a distancia.

- Permitir el mayor grado de dirección por parte del profesor o de la persona que elabore los contenidos del curso.
- Integración en la tecnología propia de estos cursos de forma que no sea necesario ninguna actuación por parte del alumno: instalación de programa de simulación.

Así se obtiene un simulador modular de distintos convertidores electrónicos de potencia, desarrollado en Java, para poder integrarse como APPLET en páginas HTML.

Cada módulo convertidor, que corresponde a una clase de Java, responde a una misma estructura:

- una parte común en todos los módulos encargada de la relación con el entorno, tomando los parámetros de simulación y generando las formas de onda y controlando la interacción con el alumno.
- una parte específica del módulo de simulación concreto, formada por las expresiones que rigen el comportamiento del convertidor en cada una de las situaciones posibles de funcionamiento, y las condiciones que determinan la topología del convertidor en cada momento y por tanto el conjunto de expresiones de aplicación en dicho instante. La simulación del convertidor conlleva la linealización de las expresiones diferenciales que expresan el comportamiento del mismo en cada momento.

El alumno para seguir el curso no precisa más que de un navegador que disponga de la máquina virtual de Java, evitando la instalación de cualquier programa adicional mucho de los cuales precisan de una licencia específica de uso.

### **2.1. Modo “simulador”**

En este modo el módulo de simulación se comporta como un simulador más, permitiendo al usuario cambiar los distintos parámetros que intervienen en la simulación, decidiendo que formas de onda desea visualizar y controlando el inicio de la simulación.

Es un modo interactivo en el que el alumno puede profundizar en el funcionamiento del convertidor, contrastando cómo influyen en el comportamiento del mismo los distintos parámetros. El módulo puede ser utilizado como una herramienta de trabajo personal, si se proponen al alumno determinadas preguntas dirigidas del tipo “¿qué pasará si ...?” que el alumno debe contestar con la ayuda del simulador.

### **2.2. Modo “visualizador”**

Para una integración perfecta con los materiales del curso el simulador presenta una forma de funcionamiento como visualizador.

En esta forma de funcionamiento el simulador se comporta como una imagen presentando las formas de onda indicadas. Las formas de onda representadas son controladas por la persona que elabora los contenidos por medio de parámetros definidos en la página HTML que contiene el APPLET. Así si una vez elaborado el contenido, se desea cambiar la gráfica incluida en el mismo, no es necesario volver a generarla sino que basta con cambiar el parámetro traspasado al simulador en la página HTML.

La imagen se comporta como un enlace al simulador: si se pulsa sobre la imagen se iniciará el módulo en modo “simulador” con los parámetros por defecto utilizados en la creación de la imagen. Así el alumno podrá obtener de nuevo las formas de onda que se presentaban en la gráfica contenida en el curso, y podrá interactuar con el circuito cambiando

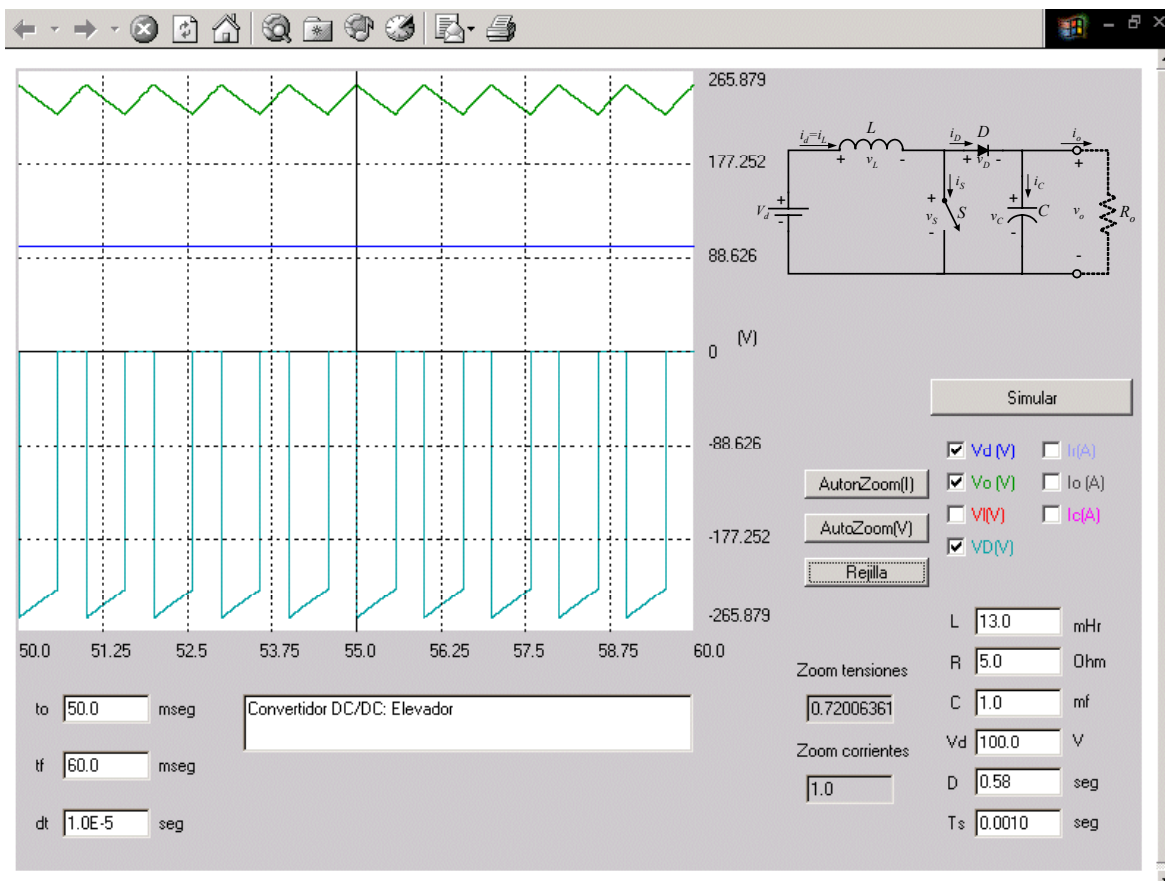


Figura 1. Módulo de simulación del convertidor elevador en modo “simulación”

determinados parámetros y observando el funcionamiento del mismo. Podrá así utilizar el módulo como ayuda en la respuestas de las preguntas de autoevaluación o de evaluación.

### 3. EJEMPLO: MODULO DE SIMULACIÓN DEL CONVERTIDOR ELEVADOR

Para ilustrar las posibilidades de aplicación de los simuladores propuestos, se presenta a continuación de forma general el módulo de simulación del convertidor elevador, ya que la descripción del resto de módulos sería muy extensa.

#### 3.1. Modo “simulador”

El aspecto del módulo en modo “simulador” se presenta en la Figura 1.

Como se puede observar se compone de varias zonas:

- Representación gráfica.
- Control de la simulación. El tiempo de inicio y final de representación gráfica (to y tf) y el intervalo de tiempo utilizado en la resolución numérica de la simulación (dt).
- Opciones de visualización. Pueden escogerse las formas de onda que serán visualizadas, la opción de “autozoom” de corriente y tensiones y la opción de visualizar la rejilla.
- Parámetros de simulación. Aquí podrán variarse los distintos parámetros del convertidor utilizados en la simulación.



### Primera aproximación: Tensión de salida constante

Para obtener la expresión principal que gobierna el funcionamiento del convertidor, utilizaremos en primer lugar las condiciones impuestas por el elemento inductivo que, tal y como se ha comentado anteriormente, en el régimen permanente presentará una tensión media nula.

La tensión aplicada al elemento inductivo será  $V_d$  para la topología **ON** del convertidor (interruptor cerrado), correspondiente a la Figura 5(a), y  $(V_d - V_o)$  para la topología **OFF** (interruptor abierto), indicada en la Figura 5(b).

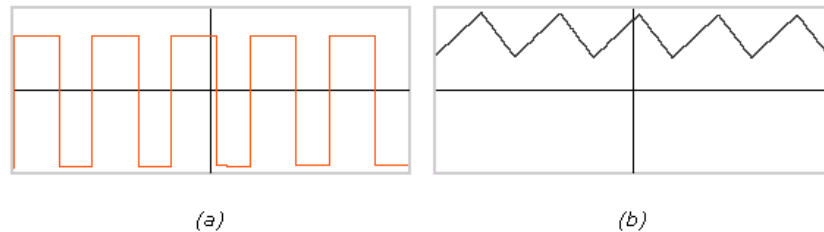


Figura 6. Tensión y corriente asociadas al elemento inductivo en comportamiento continuo.

Como el valor medio de dicha tensión es nulo en el régimen permanente, debe ocurrir que la tensión  $(V_d - V_o)$  sea negativa, pudiéndose anticipar que la tensión de salida será más elevada que la de entrada, y resultando la forma de onda de tensión en el inductor que se muestra en la Figura 6(a).

Dado que el valor medio debe ser nulo las áreas positivas y negativas serán iguales para anular la suma total, por lo que es posible obtener las expresiones (2).

$$\left. \begin{aligned} V_d t_{on} &= (V_o - V_d) t_{off} \\ t_{on} + t_{off} &= T \end{aligned} \right\} V_d T = V_o t_{off} \Rightarrow V_o = V_d \frac{T}{t_{off}} \quad (2)$$

Figura 2. Módulo de simulación del convertidor elevador en modo “visualización” integrado dos veces en una página del curso.

## 3.1. Modo “visualizador”

### 5.1.1. Descripción

El aspecto del módulo en modo “visualizador” dependerá de las opciones de visualización indicadas en la página HTML. En la Figura 2 se muestra una imagen de ejemplo en la que aparece integrado con el texto que conforma el curso y como puede comprobarse se parece en todos los sentidos a una imagen convencional, pudiéndose ser impresa con el resto del contenido al igual que éstas para facilitar el aprendizaje del alumno.

En este modo sólo se muestra la zona de representación gráfica, pudiéndose ocultar si se estima oportuno los valores de los ejes de representación. En cualquier caso no es un entorno interactivo (ya que se presentan las formas de onda únicamente para el caso indicado por la persona que elaboro el contenido), salvo por el hecho de que pulsando sobre la imagen se inicia el módulo en modo “simulador” tal y como se ha descrito anteriormente.

El módulo puede utilizarse tantas veces como se quiera en una única página HTML, cada una de las veces con sus propias opciones de representación y parámetros de simulación, para generar gráficas distintas. Así en la página de la Figura 2, se utiliza una vez para representar la tensión en la bobina y otra para representar la corriente por la misma.

```

elevator.htm - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ayuda
<HTML>
<HEAD>
<META HTTP-EQUIV="Content-Type" CONTENT="text/html; charset=windows-1252">
<TITLE>PRIMERA APROXIMACIÓN: TENSIÓN DE SALIDA CONSTANTE</TITLE>
</HEAD>
<BODY>

<B><I><FONT FACE="verdana" COLOR="#800000"><P ALIGN="JUSTIFY"><A NAME="_Toc21931082">Primera apro:
</B></I></FONT><FONT FACE="verdana" SIZE=2><P>Para obtener la expresi&oacute;n principal que gobi:
<P>La tensi&oacute;n aplicada al elemento inductivo ser&aacute; <I><SUB>d</I></SUB> para la topoi
<P ALIGN="CENTER"><CENTER><TABLE CELLSPACING=0 BORDER=0 CELLPADDING=4 WIDTH=576>
<TR><TD WIDTH="50%" VALIGN="TOP">
<B><I><FONT FACE="verdana" SIZE=2><P ALIGN="CENTER">

<applet code=elevador WIDTH=273 HEIGHT=115>
<PARAM NAME=VISUALIZADOR VALUE=1>
<PARAM NAME=CHVL VALUE=1>
<PARAM NAME=R VALUE=5>
<PARAM NAME=D VALUE=0.58>
<PARAM NAME=C VALUE=1.5>
<PARAM NAME=V VALUE=1.00>
<PARAM NAME=L VALUE=1>
<PARAM NAME=Ts VALUE=0.001>
<PARAM NAME=TI VALUE=195>
<PARAM NAME=TF VALUE=200>
<PARAM NAME=DT VALUE=1e-5>
<PARAM NAME=ZT VALUE=0.1>
<PARAM NAME=ZC VALUE=1>
<PARAM NAME=AZT VALUE=1>
<PARAM NAME=AZC VALUE=1>
<PARAM NAME=REJ VALUE=0>
<PARAM NAME=DATOS VALUE=0>
</applet>

</P>
</B><P ALIGN="CENTER">(a)</I></FONT></TD>
<TD WIDTH="50%" VALIGN="TOP">
<B><I><FONT FACE="verdana" SIZE=2><P ALIGN="CENTER">
<applet code=elevador WIDTH=273 HEIGHT=115>
<PARAM NAME=VISUALIZADOR VALUE=1>
<PARAM NAME=CHIL VALUE=1>

```

Figura 3. Utilización del módulo de simulación del convertidor elevador como imagen en una página HTML.

### 5.1.1. Documentación de uso

Para la utilización del módulo en modo visualización, cada uno de ellos dispone de una documentación de uso en la que se relacionan los distintos parámetros y opciones que pueden utilizarse desde la página HTML.

En la Figura 3 se muestra el contenido de la página HTML encargado de generar la gráfica de la tensión en la bobina presentada en la Figura 2.

En el caso del convertidor continua/continua elevador la documentación de uso se resume en la Tabla 1.

## 4. SITUACION ACTUAL

Actualmente se encuentran desarrollados los siguientes módulos:

- Rectificador no controlado monofásico de media onda con: carga R-L, carga R-C y carga R-L-E.
- Rectificador no controlado monofásico de doble onda con: carga R-L, carga R-C y carga R-L-E.
- Rectificador no controlado trifásico de seis pulsos: carga I, carga R-L y carga R-C.
- Rectificador controlado monofásico de media onda con: carga R, carga R-L, carga R-C y carga R-L-E.
- Rectificador controlado monofásico de doble onda con: carga R, carga R-L, carga R-C.

Nombre del parámetro	Descripción	Valor por defecto
<b>VISUALIZADOR</b>	1: activado (módulo en modo “visualizador”). 0: desactivado (módulo en modo “simulación”).	<b>0</b>
<b>TI</b>	valor en mseg del tiempo inicial de representación gráfica.	<b>0</b>
<b>TF</b>	valor en mseg del tiempo final de representación gráfica.	<b>80</b>
<b>DT</b>	valor en seg del diferencial de tiempo para la simulación.	<b>1e-5</b>
<b>ZT</b>	valor del zoom manual de tensiones.	<b>1</b>
<b>ZC</b>	valor del zoom manual de corrientes.	<b>1</b>
<b>AZT</b>	1: zoom automático de tensiones. 0: zoom manual de tensiones.	<b>1</b>
<b>AZC</b>	1: zoom automático de corrientes. 0: zoom manual de corrientes.	<b>1</b>
<b>REJ</b>	1: rejilla activada. 0: rejilla desactivada.	<b>0</b>
<b>DATOS</b>	1: mostrar datos en visualizador. 0: no mostrar datos.	<b>0</b>
<b>OFFSETX</b>	valor del margen que queremos dejar horizontalmente en el visualizador.	<b>2</b>
<b>OFFSEY</b>	valor del margen que queremos dejar verticalmente en el visualizador.	<b>2</b>
<b>DISCONTVERT</b>	valor que nos va a marcar el grado de discontinuidad de las rectas verticales de la rejilla en modo visualización.	<b>250</b>
<b>DISCONTHOR</b>	valor que nos va a marcar el grado de discontinuidad de las rectas horizontales de la rejilla en modo visualización.	<b>300</b>
<b>R</b>	valor de la resistencia R en $\Omega$ .	<b>5</b>
<b>C</b>	valor del condensador C en mF.	<b>1</b>
<b>L</b>	valor de la bobina L mH.	<b>13</b>
<b>Vd</b>	valor de la tensión de alimentación en V.	<b>100</b>
<b>D</b>	valor del factor de servicio.	<b>0.58</b>
<b>Ts</b>	valor del periodo de conmutación en seg.	<b>1e-3</b>
<b>CHVdin</b>	1: visualizar la tensión de entrada (Vd). 0: no visualizar la tensión de entrada (Vd).	<b>0</b>
<b>CHVO</b>	1: visualizar la tensión de salida (Vo). 0: no visualizar la tensión de salida (Vo).	<b>0</b>
<b>CHVD</b>	1: visualizar la tensión del diodo (VD). 0: no visualizar la tensión del diodo (VD).	<b>0</b>
<b>CHVL</b>	1: visualizar la tensión en la bobina (VL). 0: no visualizar la tensión en la bobina (VL).	<b>0</b>
<b>CHIR</b>	1: visualizar la corriente que pasa por la resistencia (IR). 0: no visualizar la corriente que pasa por la resistencia (IR).	<b>0</b>
<b>CHIL</b>	1: visualizar la corriente de la bobina (IL). 0: no visualizar la corriente de la bobina (IL).	<b>0</b>
<b>CHIC</b>	1: visualizar la corriente del condensador (IC). 0: no visualizar la corriente del condensador (IC).	<b>0</b>
<b>CHId</b>	1: visualizar la corriente de entrada (Id). 0: no visualizar la corriente de entrada (Id).	<b>0</b>

Tabla 1. Relación de parámetros que es posible utilizar desde una página HTML para controlar el módulo del control elevador en modo “visualización” o para iniciarlo en modo “simulación” con unos determinados valores.

- Rectificador controlado trifásico de media onda con: carga I, carga R-L, carga R-C.
- Convertidor continua/continua reductor.
- Convertidor continua/continua elevador.
- Convertidor continua/continua elevador/reductor.
- Convertidor continua/continua

Los módulos desarrollados se utilizan como herramienta visual de apoyo en las asignaturas de Electrónica de Potencia y Sistemas Electrónicos de Potencia, además de encontrarse publicados en Internet a disposición de los alumnos. También se están utilizando para la elaboración de contenidos multimedia de electrónica de potencia.

Utilizando la estructura propuesta para los distintos módulos de simulación, actualmente se encuentran en fase de desarrollo los módulos correspondientes a inversores, cicloconvertidores y rectificadores síncronos.

De igual forma se está planificando en este momento, la integración en esta arquitectura de simulación de sistemas más complejos formados por varios convertidores y receptores, como los sistemas de alimentación ininterrumpida y los sistemas de control de motores de continua y de alterna.

Además se están aplicando los módulos para la realización de los ejercicios de evaluación automática de los alumnos de cursos a distancia, ya que las posibilidades de orientación y de automatización que presentan estos módulos a través de los parámetros definidos en las páginas HTML que los contienen los hacen especialmente indicados para estas actividades.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Johann W. Kolar y Uwe Drofenik. *“Interactive Power Electronics Seminar”*. <http://www.ipes.ethz.ch>.
- [2] E. Romero, P. Murillo, *“Módulos de simulación de convertidores electrónicos desarrollados en Java para su aplicación docente”*. IX Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, Vigo, Julio 2001.
- [3] J.Poch Garcia; E. Barrabés Vera; D. Juher Barrot; J. Ripoll Missé. *“Proyecto ACME”*. IX Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Vigo. Julio 2001.