

## **EL MODELADO ORIENTADO A OBJETO COMO AYUDA EN EL APRENDIZAJE DEL COMPORTAMIENTO DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS**

J. M. FLORES<sup>1</sup>, F. J. VÁZQUEZ<sup>2</sup>, A. MORENO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Electrotecnia y Electrónica. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Córdoba. 14071-Córdoba. España.*

<sup>2</sup>*Departamento de Informática y Análisis Numérico. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Córdoba. 14071-Córdoba. España.*

*El modelado orientado a objeto se presenta como una alternativa más a los sistemas de modelado y simulación de circuitos electrónicos y, además, como una vía de introducción de una novedosa metodología didáctica enseñanza basada en el descubrimiento y que involucra al alumno/a en todo el proceso de enseñanza–aprendizaje.*

### **1. Introducción**

Las personas que ejercemos la docencia en las materias relacionadas con la electrónica estamos adoptando el hábito de emplear de forma profusa las herramientas y entornos de simulación de circuitos electrónicos. Éstos permiten experimentar, con un mínimo de infraestructura, con una gran variedad de configuraciones de circuitos, obtener resultados de gran fiabilidad y efectuar análisis y ensayos más o menos complejos. Entornos tales como PSPICE o ELECTRONIC WORKBENCH ofrecen, además, completas librerías de modelos de componentes facilitadas, incluso, por los propios fabricantes.

No acaban aquí las posibilidades. Otros entornos ofrecen conjuntamente herramientas de modelado y simulación. Éstos son los entornos de modelado y simulación de sistemas continuos, de entre los que cabe destacar MATLAB y SIMULINK. El problema se plantea cuando tratamos de modelar y simular sistemas electrónicos, de comportamiento fundamentalmente discreto, con una herramienta orientada a comportamiento continuo. Para salvar este escollo las empresas canadienses Hydro–Québec y TEQSIM International desarrollaron el *Power System Blockset* para SIMULINK en el año 1998. En ésta se ofrecen modelos de algunas máquinas eléctricas y diversos dispositivos electrónicos de potencia.

Ambas posibilidades de simulación y modelado de sistemas son muy atractivas para el alumnado ya que les permite practicar por sus propios medios o fuera de la jornada lectiva, lo que favorece el proceso de autoaprendizaje y refuerza los conceptos asimilados.

### **2. Enseñanza del comportamiento de los dispositivos electrónicos**

La asimilación del comportamiento de los dispositivos electrónicos plantea serias dificultades al alumnado de primer curso. En primer lugar se les plantea éste desde el punto de vista físico, como desplazamiento de portadores por un cristal y a través de uniones PN. En segundo lugar se traduce el dispositivo a sus modelos eléctricos a fin de estudiar su comportamiento como elemento de circuito.

Tomemos por caso el dispositivo electrónico de construcción más simple: el diodo de unión. En su modelo de comportamiento más simplificado actúa como un interruptor ideal controlado por la polaridad de la tensión entre ánodo y cátodo y por el sentido de la corriente que lo atraviesa [1]. Desde este modelo, pasando por el de pequeña o gran señal, al modelo de fuente de corriente empleado por PSPICE [2] ofrecen una variedad de conductas que, bien entendidas, facilitan la asimilación del comportamiento real del dispositivo.

Pero, ¿podemos plasmar esta evolución del modelo empleando los entornos y herramientas de modelado citadas anteriormente?

La respuesta, al igual que las posibilidades de modelado y simulación vistas, es doble y distinta:

- Los entornos específicos sólo permiten modificar determinados parámetros del modelo, quedando el código inaccesible al modelador. No nos son útiles para nuestros propósitos.
- Los entornos enfocados a sistemas continuos permiten la definición del modelo, pero portan el lastre de la asignación de causalidad que lleva asociada la sintaxis de programación. La causalidad se plasma en el hecho de necesitar dos expresiones distintas según queramos determinar la corriente que atraviesa el dispositivo en función de la tensión aplicada o el valor de la tensión en bornes cuando el dispositivo es atravesado por determinada corriente. Es decir, el número de ecuaciones crece exponencialmente conforme aumentamos linealmente la complejidad de nuestro experimento. No se adaptan a nuestros fines.

¿Deberemos resignarnos a la disociación entre la impartición teórica de conceptos y su puesta en práctica mediante experimentos de laboratorio o de simulación?

### **3. Una tercera vía**

En el año 1978, el sueco Hilding Elmqvist planteó, como parte de su tesis doctoral en Física, las bases del modelado orientado a objeto. Esta filosofía y metodología de modelado, evolucionada de la programación orientada a objeto, presenta las siguientes características [3]:

- Acausalidad. Resuelve en primer lugar el problema de la asignación de causalidad incorporando el tratamiento simbólico de las ecuaciones, lo que permite confeccionar modelos genéricos en base a declaraciones no a asignaciones.
- Encapsulado del conocimiento. El modelo mantiene la interfaz externa, independientemente de la complejidad interna del mismo. Cada modelo de componente se resuelve en sí mismo
- Conexionado topológico por/a una red. Es esta interfaz la que se relaciona con las de otros objetos a fin de conformar las ecuaciones de los nodos que establecen la relación de variables entre los componentes.

- Reutilización constante de los modelos por medio de la herencia, características de componentes padre que pasan a componentes hijo, o por agregación simple o múltiple en estructuras jerárquicas.

Estas características se traducen en modelos totalmente funcionales, independientemente de la complejidad de su estructura interna, listos para experimentar y obtener resultados de simulación.

El paradigma del modelado orientado a objeto y la incorporación del alumno/a al proceso de definición y confección de modelos de los componentes electrónicos a estudiar encaja perfectamente en el nuevo método didáctico basado en el descubrimiento. El alumno o la alumna aprende por el procedimiento de ensayo y error, y este procedimiento:

- favorece el autoaprendizaje,
- motiva la participación activa del alumno/a,
- facilita la asimilación de conocimientos,
- predispone al *feed-back*.

#### 4. Evolución del modelo de un diodo de unión

En función del grado de interés o la predisposición del alumnado al aprendizaje del lenguaje de modelado, podremos ahondar, en mayor o menor medida, en su conocimiento y estudio. Como elemento básico del proceso de definición y confección de los modelos que el alumno/a debería llevar a cabo es la codificación del cuerpo del modelo del componente, desde su implementación más básica a la más compleja, incorporando a cada paso nuevos elementos que completen el código y, por tanto, el comportamiento del modelo.

El docente podrá tutelar el proceso estableciendo la definición genérica de las variables involucradas en los puertos de conexión de los objetos, variables de flujo y de esfuerzo (corriente y tensión respectivamente) y las relaciones entre éstas en la declaración del tipo abstracto de componente eléctrico de dos terminales (corriente entrante –  $i$  – y saliente y diferencia de potencial –  $v$  –).

De menos a más el cuerpo del modelo podría evolucionar de la forma siguiente. En la Figura 1 el caso más simple [4].

<b>Estamentos</b>	<b>si</b> ( $v > 0$ <b>y</b> $i \geq 0$ ) $\Rightarrow v = 0$
<b>Continuos</b>	<b>si</b> ( $v < 0$ <b>o</b> $i < 0$ ) $\Rightarrow i = 0$

**Figura 1:** *El diodo como interruptor ideal*

El diodo como modelo de señal [4] precisa la declaración de un nivel inferior de herencia: el interruptor, en la Figura 2.

<b>estamentos</b>	<b>si</b> (no abierto) $\Rightarrow 0 = v - V_{\text{cerrado}} - R_{\text{cerrado}} * i$
<b>continuos</b>	<b>si</b> (abierto) $\Rightarrow 0 = v - R_{\text{abierto}} * i$

**Figura 2:** *Modelo del interruptor*

La asignación de valor a la variable lógica ‘abierto’ es el cuerpo del modelo de diodo, Figura 3. Podemos añadir retardos para incorporar los tiempos de recuperación [4].

<b>Estamentos</b>	<b>cuando</b> $(v > V_d \text{ y } i \geq 0) \Rightarrow \text{abierto} \leftarrow \text{FALSO}$ <b>retardo</b> $t_{rf}$
<b>Discretos</b>	<b>cuando</b> $(v < V_d \text{ o } i < 0) \Rightarrow \text{abierto} \leftarrow \text{VERDADERO}$ <b>retardo</b> $t_{rr}$

**Figura 3:** El modelo de señal, con retardos, del diodo

La diferencia entre modelos de pequeña y gran señal estriba en la asignación inicial de valor a los parámetros  $V_{\text{cerrado}}$ ,  $R_{\text{cerrado}}$  y  $R_{\text{abierto}}$ , teniendo como restricción el no adjudicar valores nulos a las resistencias para evitar la división por cero.

El modelo completo, Figura 4, basado en el empleado por PSPICE no tiene comportamiento discreto [1, 2, 3].

<b>estamentos</b>	$v_{PN} = v - R_S * i$
<b>continuos</b>	$i_D = i_S * (\exp(v / (\eta * V_T)) - 1)$
	$C_T = \tau * v * \exp(v / (\eta * V_T)) / (\eta * V_T)$
	<b>si</b> $(v < f_{CAP} * V_J) \Rightarrow C_D = C_{J0} / (1 - (v / V_J))^m$
	<b>resto</b> $\Rightarrow C_D = C_{J0} * (1 - f_{CAP} * (1 + m) + m * v / V_J) / (1 - f_{CAP})^{m+1}$
	$v_{PN}' = (i - i_D) / (C_T + C_D)$

**Figura 4:** Modelo completo del diodo

## 5. Conclusiones

El empleo de cualquiera de los entornos de modelado orientado a objeto (EcosimPro, en nuestro caso) en la enseñanza del comportamiento de los componentes electrónicos supone la adopción de una innovadora metodología didáctica que, lejos de aparcarse los conceptos físicos, involucra al alumno/a en la asimilación de los mismos. Este proceso de aprendizaje potencia la participación del alumnado y lo motiva al conseguir éxitos parciales con los resultados de la simulación de los modelos confeccionados por ellos mismos. Un ejemplo completo para una librería eléctrica [4] puede encontrarse en la página <http://www.nautilo.org/buscasp/respublica.asp>.

## Referencias

- [1] F.E. Cellier. *Continuous system modeling*. Springer-Verlag (1991).
- [2] G. González Díaz. *Modelos de dispositivos activos PSICE*. Dpto. de Física Aplicada III, Universidad Complutense de Madrid (1995).
- [3] Empresarios Agrupados International. *Manuales de EcosimPro v3.1*. <http://www.ecosimpro.com/download/manuals/htm> (2000).
- [4] J. M. Flores Arias. *Modelado orientado a objeto de sistemas físicos eléctricos y electrónicos*. Escuela Politécnica Superior, UCO (2001).