

PSPICE COMO COMPLEMENTO A UNA FORMACIÓN BÁSICA EN ELECTRÓNICA

Carpeño A. , López S. , Arriaga J.

Universidad Politécnica de Madrid
E.U.I.T. Telecomunicación
Dpto. Sistemas Electrónicos y de Control
Crtra de Valencia Km 7 28031 Madrid

Tfno: (91) 336 78 27
Fax: (91) 336 78 01
e-mail: acruiz@sec.upm.es

RESUMEN

Este trabajo presenta un plan de integración del programa de análisis de circuitos electrónicos PSPICE, en las distintas etapas de aprendizaje de la electrónica que forman el curriculum de un ingeniero electrónico. Se hace especial énfasis en la etapa de formación básica, en la que se utilizará PSPICE para analizar el funcionamiento de dispositivos electrónicos y sus aplicaciones en circuitos sencillos

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se aborda la elaboración de los contenidos que deben constituir el curriculum de un ingeniero electrónico, es necesario contemplar una opción que desde hace algunos años ha ido tomando cada vez mayor interés, se trata de la utilización de una herramienta software que permita el análisis de circuitos electrónicos con un ordenador. En este sentido, PSPICE es un potente paquete software que resuelve circuitos eléctricos y electrónicos de forma muy eficiente, tanto en la precisión de los cálculos, como en la velocidad a la que los realiza.

Las primeras versiones de PSPICE requerían de ordenadores muy potentes sólo al alcance de grandes empresas y centros de investigación. Sin embargo, el intenso desarrollo experimentado en el campo de los ordenadores, más concretamente con la aparición del PC y todos sus descendientes, ha traído consigo la aparición de versiones de PSPICE con muchas prestaciones y que no necesitan una computadora con muchos requerimientos hardware. No obstante también podemos encontrar, hoy día, versiones del programa muy potentes, las cuales, a su vez, necesitan un buen ordenador, ya sea una "Workstation" o un PC con un microprocesador avanzado, mucha memoria e incluso coprocesador matemático. En nuestro

caso concreto, la aplicación de PSPICE para la docencia de la electrónica, utilizaremos la *Versión de Evaluación 5.0*, por dos razones fundamentalmente: en primer lugar, aún teniendo limitaciones en el tamaño de los circuitos que es capaz de analizar y en la velocidad de cálculo, está lo suficientemente capacitado para los circuitos que vamos a tratar, en segundo lugar no requiere de un ordenador muy potente (es suficiente un 286, con 1MByte de RAM y sin coprocesador), en último lugar es una versión con licencia para realizar copias, con las ventajas que esto supone, ya que se puede disponer de varios puestos de trabajo sin una gran inversión en software y, por otra parte, el alumno puede llevarse una copia del programa para trabajar fuera del centro.

Hay varios motivos que nos llevan a la inclusión de PSPICE entre los conocimientos que un ingeniero electrónico debe adquirir durante sus estudios, entre ellos se pueden enumerar como más importantes los siguientes:

- ◆ Es indiscutible que la electrónica es una disciplina eminentemente práctica y su aprendizaje es difícil de concebir sin una dedicación lo suficiente amplia a la realización de circuitos reales y a su prueba en un laboratorio. Si bien este método de trabajo se revela como indispensable, también es cierto que requiere de un equipamiento de los laboratorios bastante completa, lo cual repercute en un gran desembolso de dinero para que el alumno disponga del material necesario durante todo el tiempo que estime oportuno. Este último contratiempo puede ser fácilmente solucionado, combinando el trabajo con circuitos reales en un laboratorio y la simulación de circuitos con PSPICE. Para esto último podemos aprovechar la existencia de ordenadores en las aulas de informática, de las que cada vez más centros disponen. Además resulta muy enriquecedor para el alumno la comparación entre los resultados obtenidos de forma experimental en el laboratorio y los resultados del análisis con PSPICE del mismo circuito.
- ◆ Otro factor importante consiste en que debido a que PSPICE se ejecuta en un ordenador, podremos tener a nuestra disposición todas las aplicaciones que deseemos, sin más que cargarlas en el disco duro, como pueden ser: procesadores de texto, hojas de cálculo, bases de datos, etc., que nos pueden servir en un momento dado para procesar los datos obtenidos con PSPICE.
- ◆ En algunas ocasiones en el proceso de diseño de un circuito hay cálculos teóricos que son tediosos de realizar de forma manual, una herramienta como PSPICE nos puede servir como ayuda para efectuar estos cálculos. Hay una ventaja añadida en este sentido, pues en el diseño de circuitos el ingeniero realiza una serie de cálculos aproximados, que suponen una aproximación al funcionamiento real del circuito, sin embargo existen factores de segundo orden en un circuito real y que son difícilmente tratables de forma manual, PSPICE nos puede servir para observar el funcionamiento real del circuito, sin necesidad de haberlo montado.
- ◆ Con fines didácticos las posibilidades que nos permite este programa de realizar análisis paramétricos de tensiones y corrientes en función, ya sea del valor de un determinado dispositivo del circuito, como de las tolerancias de los componentes o de

la temperatura, resultan muy enriquecedoras para el estudiante, ya que puede observar el efecto que producen esas variaciones sobre el comportamiento eléctrico del circuito, algo difícil de ver en un laboratorio.

- ♦ En último lugar, pero no por ello menos importante, es que no debemos olvidar que PSPICE es una herramienta esencial de diseño de circuitos electrónicos, en aquellas empresas que se dedican a esta labor. Pues previamente a la realización del prototipo real, es costumbre simular el funcionamiento del circuito diseñado con el fin de detectar errores en el diseño. Conseguiremos, de esta forma, preparar al alumno para afrontar este método de trabajo.

Sin embargo unido a todas estas ventajas también tiene PSPICE algunos inconvenientes. No hay que perder de vista el hecho de que PSPICE es un paquete software profesional, y esto implica que para un estudiante que comienza a estudiar electrónica, puede resultar de difícil manejo. Esto puede provocar un desaprovechamiento de la verdadera capacidad del programa si no se guía al alumno de una manera adecuada. Además nos encontramos con que la documentación que proporciona el distribuidor está dirigida principalmente a personas instruidas en el análisis y diseño de circuitos electrónicos, esto es un inconveniente para que utilicen el programa aquellas personas que están comenzando a aprender electrónica. Este hecho nos obliga a generar una documentación que cumpla unos mínimos requisitos didácticos por lo menos para las etapas de aprendizaje de los conceptos básicos que se barajan en electrónica.

2. INTEGRACIÓN DE PSPICE EN LAS DISTINTAS ETAPAS DE APRENDIZAJE DE LA ELECTRÓNICA

Hemos creído conveniente adaptar la utilización de PSPICE dentro de tres etapas de aprendizaje diferenciadas, aprovechando la circunstancia de que esta división existe de hecho en muchos programas de formación de ingenieros electrónicos. Estas tres etapas son:

a) *Formación inicial*: en esta primera etapa el estudiante tendrá como base una formación básica en análisis de circuitos. El objetivo que se perseguirá en esta parte consistirá en el aprendizaje del funcionamiento eléctrico de los siguientes dispositivos electrónicos: resistencias, condensadores, bobinas, diodos, transistores bipolares y unipolares, entendiéndolos como dispositivos reales, con todos los parámetros que caracterizan su comportamiento. Como aplicación práctica se abordará el estudio de circuitos rectificadores y de etapas amplificadoras básicas.

b) *Estudio de circuitos electrónicos clásicos*: en esta segunda etapa el alumno se dedicará al diseño de circuitos típicos teniendo en cuenta todos los parámetros de interés. Se estudiará el amplificador diferencial, filtros, osciladores, puertas TTL, etc.

c) *Estudio de circuitos electrónicos avanzados*: como última etapa de aprendizaje de la electrónica se puede considerar el estudio de circuitos de aplicación específica. Multiplexores analógicos, Sample & Hold, DAC's y ADC's.

En cada una de estas tres etapas, se puede adaptar la utilización de PSPICE en el desarrollo del cuatrimestre. Habrá que buscar en todo caso, cuales son los recursos que ofrece el programa más idóneos en cada ocasión. A continuación intentaremos describir un proyecto dirigido a este último fin.

PSPICE en la formación inicial: cuando se empieza a tomar contacto con los conceptos más básicos de la electrónica, lo primero que se detecta es un cambio radical en la metodología de trabajo. Hay un factor que al alumno le cuesta comprender de una manera especial es, que la electrónica no es una ciencia exacta, sino que por el contrario las soluciones que hay que buscar cuando se analiza un circuito deben ser aproximadas. Resulta obvio que la complejidad del estudio de los componentes electrónicos, no puede presentarse de golpe, hay que intentar abstraerse de algunos factores de segundo orden y centrarse en aquello que resulte de mayor interés.

Esta metodología de trabajo se ve facilitada en gran medida con PSPICE, pues podemos realizar de forma sencilla curvas de transferencia, observar el comportamiento frente a variaciones de algún factor, etc. Algunas de estas cosas son difíciles de mostrar en las clases de teoría. Debido a la falta de experiencia que todavía tiene el alumno en esta etapa, es necesario entregarle un material bastante elaborado, como pueden ser ejercicios guiados (en el apartado 4 se desarrolla uno de estos ejercicios ejemplo), de forma que indicándole claramente las acciones que debe realizar, se le muestre aquello que el profesor considere más ilustrativo. Con el fin de evitar que el alumno tenga que aprenderse la sintaxis de PSPICE para definir la topología del circuito, le serán entregados los ficheros ".cir" con el circuito ya hecho. De esta forma la resolución de los ejercicios consistirá tan sólo en el manejo de la herramienta PROBE, como si de un osciloscopio se tratase. Por último reseñar que para suplir los manuales que se suministran con el programa, sería necesario editar unos apuntes donde se expliquen aquellos recursos de PSPICE que sean fundamentales para realizar los ejercicios.

PSPICE para el estudio de circuitos electrónicos clásicos: en el diseño de circuitos amplificadores PSPICE puede servir de gran ayuda, pues permite analizar la respuesta en frecuencia del amplificador por medio del análisis AC, entre otras cosas. En la fase de diseño del circuito es necesario contrastar los resultados teóricos, con los resultados experimentales y PSPICE nos ofrecerá una gran agilidad a la hora de efectuar las distintas rectificaciones que vayan surgiendo sobre la marcha, con el fin de obtener los requisitos especificados. Una vez que en la simulación se cumplan los requisitos de funcionamiento, se podrá montar el circuito y probarlo en el laboratorio.

Al mismo tiempo que el alumno profundiza en sus conocimientos de electrónica, irá aumentando sus conocimientos sobre PSPICE. Podrá aprender la sintaxis de definición de circuitos y así, construir sus propios circuitos, algo bastante útil si hay que hacer modificaciones al mismo por requerimientos del diseño. La labor del profesor no irá orientada tanto a la elaboración de ejercicios guiados, como a la generación de unos apuntes descriptivos de aquellas utilidades de PSPICE que no se hayan tratado en la etapa anterior. Otra función a realizar por el profesor consistirá en la orientación al alumno en aquellos problemas que le puedan surgir.

PSPICE para el estudio de circuitos electrónicos avanzados: el primer inconveniente que nos encontramos radica en las limitaciones de la versión de evaluación (en cuanto al máximo número de transistores en el circuito). Será necesario, por tanto, usar una versión del programa más potente (una versión que no sea la de evaluación). Todo lo aprendido hasta ahora es útil, sin embargo será interesante que el alumno comience a utilizar los manuales del programa, donde podrá encontrar mayor información que en los apuntes y profundizar, de esta manera, en aquellas utilidades del programa que no se le hayan explicado con anterioridad. La utilización de subcircuitos le será prácticamente indispensable para el análisis de circuitos complejos como los que se le van a explicar en las clases teóricas. También le sacará un mayor rendimiento a las librerías que se suministran con el programa, pues podrá incluir circuitos complicados que ya han sido modelados por el fabricante.

3. EXPERIENCIAS REALIZADAS EN LA E.U.I.T. TELECOMUNICACIÓN

El plan diseñado para la etapa de formación básica, ha sido experimentado en la E.U.I.T. de Telecomunicación, en la asignatura "Fundamentos de Electrónica", asignatura cuatrimestral del primer curso de carrera en las titulaciones: Ing. Tec. de Sistemas Electrónicos, Ing. Tec. en Telemática, Ing. Tec. en Imagen y Sonido e Ing. Tec. de Sistemas de Telecomunicación. La experiencia ha sido realizada en los cursos 92/93 y 93/94 de la forma que se describe a continuación.

Durante el curso 92/93 se les proporcionó a los alumnos, en dos diskettes, la versión de evaluación 5.0 de PSPICE para que lo instalasen en el ordenador de su casa. De igual forma se instaló el programa en el centro de cálculo de la Escuela para que tuviesen acceso a él aquellos alumnos que no dispusiesen de ordenador. Como documentación de apoyo para el alumno se publicó el texto "PSPICE para estudiantes de electrónica". Este libro, a modo de "Tutorial", explicaba el manejo del programa. Junto a todo esto, algunos de los profesores que impartíamos la asignatura, hicimos una sesión de demostración analizando algunos circuitos de interés. A partir de entonces se les fue recomendando el análisis con PSPICE de algunos de los circuitos estudiados en clase.

En una encuesta realizada al final del cuatrimestre en colaboración con el GATE, pudimos observar que el principal problema para el seguimiento de la experiencia por parte de los alumnos, radicaba en la falta de tiempo para dedicar al estudio del programa (de los 700 alumnos matriculados, aproximadamente 250 alumnos secundaron la experiencia, los cuales profundizaron en distinta medida en el estudio del programa). Sin embargo, a la mayoría de los alumnos les había parecido muy interesante la utilización del programa para asentar sus conocimientos sobre electrónica, pero el abandono del mismo lo achacaban a su complejidad de manejo.

Analizando cual era la parte del programa que mayores problemas les causaba, llegamos a la conclusión de que la definición del circuito según la sintaxis particular de PSPICE era lo que presentaba mayor dificultad para ellos, incluso disponiendo del libro de texto que les explicaba como hacerlo. Para solventar este problema decidimos rectificar la experiencia para el curso 93/94. Durante este último curso hemos decidido centrar la atención

del alumno en aquello que nos parecía, a todas luces, más importante: el análisis del circuito y la realización de medidas sobre los parámetros eléctricos más característicos. De forma que el alumno pudiese sacar conclusiones y establecer comparaciones con lo que se le había explicado en la clase teórica. Persiguiendo este último objetivo, entregamos el siguiente material para que voluntariamente, aquellos alumnos que estuviesen interesados, lo adquiriesen y trabajasen con él:

a) Dos diskettes con PSPICE Versión de Evaluación 5.0

b) Un diskette con los ficheros ".cir" que contenían la definición de los circuitos que se iban a analizar durante el curso. Lógicamente estos circuitos eran aplicaciones sencillas de los diferentes dispositivos que se estudiaban en la asignatura: circuitos RC, estudio de las características de componentes pasivos (tolerancias, coeficientes de temperatura, etc.), circuitos de aplicación con diodos, caracterización de transistores, circuitos amplificadores de pequeña señal y de potencia.

c) El documento "Breve guía para iniciarse en el uso de PSPICE", donde se les presentaba una somera descripción de PSPICE, haciendo un especial énfasis en la explicación de la opción PROBE, pues era la parte del programa con la que más iban a trabajar.

d) El documento "Ejercicios para realizar con PSPICE", donde podían encontrar una serie de ejercicios guía, en los cuales se analizaban en profundidad los circuitos que se les habían dado en el diskette.

No obstante aquellos alumnos que quisiesen profundizar algo más (definirse sus propios circuitos) seguían teniendo a su disposición el libro "PSPICE para estudiantes de electrónica".

Esta última experiencia ha finalizado en el mes de Febrero de 1994 y, de nuevo, hemos realizado una encuesta entre aquellos alumnos que han participado en la misma, la cual ha sido realizada, como la anterior, en colaboración con el GATE. Analizando los datos obtenidos en esta encuesta, hemos llegado a la conclusión de que por lo general la experiencia de la utilización de PSPICE como herramienta para el estudio de la electrónica ha sido satisfactoria para el alumno, pues han valorado positivamente su trabajo con el programa. Sin embargo en su opinión hay algunos detalles que se podrían mejorar, aconsejan la reforma algunos de los ejercicios que les han parecido complicados de realizar y que se habiliten más ordenadores, en la medida de lo posible, para que puedan trabajar en la escuela aquellos alumnos que no disponen de ordenador en casa.

Una última reflexión sobre estas experiencias nos lleva a que la utilización de una herramienta para el análisis de circuitos por ordenador, como complemento en la formación del alumno que comienza a estudiar electrónica, ha sido realmente positiva. Tenemos la intención de repetir estas experiencias en años posteriores, mejorando en aquellos aspectos que han causado problemas en estos cursos pasados.

4. EJEMPLO DE EJERCICIO PARA REALIZAR CON PSPICE

Uno de los posibles circuitos que se les puede entregar a los alumnos, que están en la etapa de formación básica, para que lo resuelvan, podría ser el de la figura 1. Se trata de un circuito regulador de tensión con un diodo zener 1N757. Sobre este circuito el alumno puede experimentar una serie de conceptos que le han sido explicados en las clases de teoría. A lo largo del ejercicio se le irá indicando que es lo que debe observar, que sea más representativo. Junto al trabajo con PSPICE propiamente dicho, realizará una serie de cálculos manuales, aplicando el método de análisis que ya conoce.

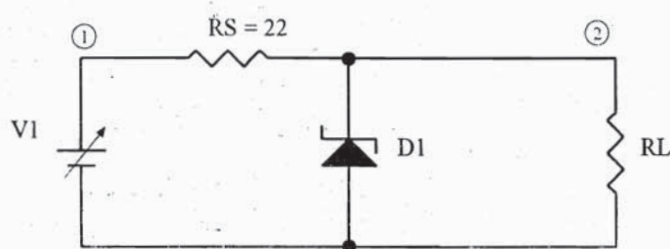


Figura 1. Circuito regulador con diodo zener.

La información que proporciona el fabricante respecto al diodo de la figura es básicamente la siguiente:

Tensión zener nominal: $V_Z = 9,1$ Voltios (medidos para $I_{Zmin} = 20$ mA)

Resistencia zener máxima: $r_Z = 10 \Omega$

Máxima corriente zener en continua: $I_{ZM} = 50$ mA

La tensión de entrada del circuito (V_1) varía entre 12 y 14 voltios. Una de las primeras cosas que el alumno puede observar con PSPICE, es la máxima carga con la cual el circuito es capaz de regular la tensión de salida. Si el alumno realiza el cálculo teórico del valor mínimo de R_L para el cual la tensión de salida se mantiene próxima a 9.1 voltios obtendrá lo siguiente:

$$R_{Lmin} = \frac{V_Z}{I_{Lmax}} = \frac{V_Z}{\frac{V_{1min} - V_Z}{R_s} - I_{Zmin}} = \frac{9,1}{\frac{12 - 9,1}{22} - 0,02} = 80\Omega \quad [1]$$

Para poder observar el efecto que produce la variación de la carga sobre la tensión de salida, se propondría al alumno el análisis con PSPICE del circuito. El fichero que contiene la definición del circuito se le entregaría, siendo su contenido el que se muestra a continuación:

CIRCUITO REGULADOR CON EL ZENER DIN757

* DESCRIPCION DEL CIRCUITO

```
VI 1 0
RS 1 2 22
RL 2 0 RCARGA 1
D1 0 2 DIN757
.MODEL RCARGA RES
.MODEL DIN757 D(Is=0.05u Rs=5 Bv=8.67 Ibv=0.05u)
```

* DEFINICION DEL ANALISIS A REALIZAR

```
.DC LIN VI 12 14 .1
+ RES RCARGA(R) LIST 50 80 100
```

Analizando este circuito se obtendrá una representación en pantalla del valor de la tensión regulada (tensión en la resistencia carga) en función de la tensión de entrada (tensión V_I) para tres valores de R_L : 50, 80 y 100 Ohmios. Una posible pregunta que se puede hacer es que se identifique cada una de las curvas con el valor de resistencia de carga adecuada. Las curvas representadas por PSPICE se muestran en la figura 2, en las cuales han sido colocadas unas etiquetas identificativas con el valor de R_L asociado a cada curva. Se observa que para 100Ω y para 80Ω , el circuito regula correctamente y en cambio para un valor de 50Ω no regula para tensiones de entrada inferiores a 13 voltios. Además para 80Ω y con 12 voltios de tensión de entrada la tensión en la carga es de 9,1 voltios, por lo que se confirman los cálculos teóricos.

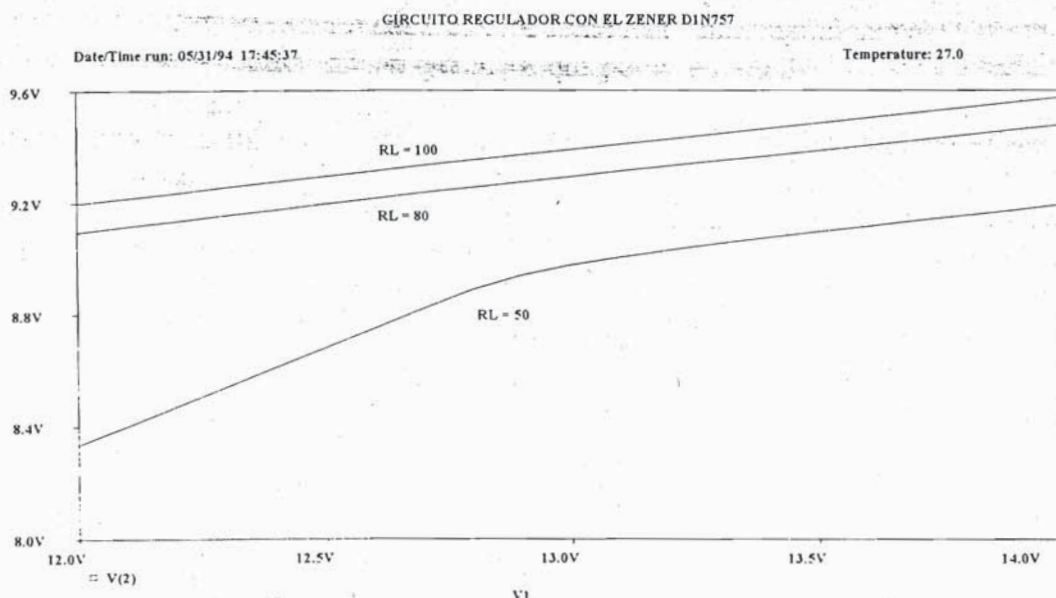


Figura 2. Curvas de transferencia del circuito regulador obtenida con PSPICE

Sobre este mismo circuito se puede plantear la comprobación de la información que da el fabricante del diodo zener, visualizando para ello la variación de la tensión en el zener en función de la corriente por el mismo. En la figura 3 se muestra esta curva obtenida con el

programa. Pudiendo apreciar que para una corriente de 20 mA la tensión es efectivamente de 9,1 voltios aproximadamente. Además por la pendiente de la curva se puede calcular que la resistencia zener en la zona más lineal del codo es de aproximadamente 6Ω .

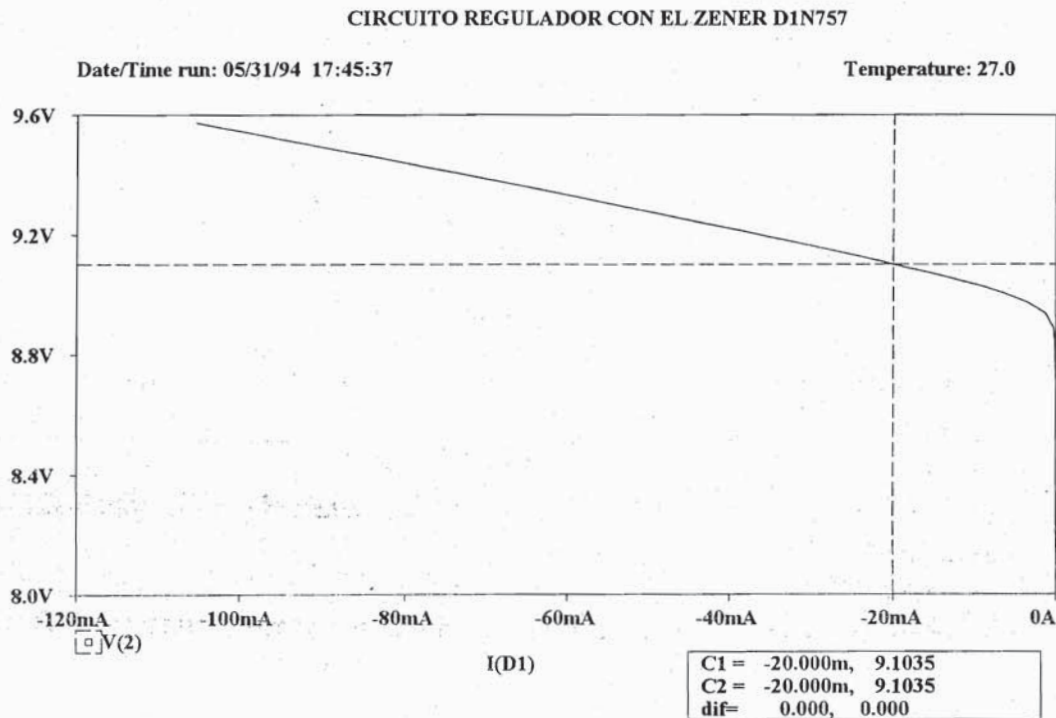


Figura 3. Representación de la curva tensión-corriente en un zener obtenida con PSPICE

Una de las soluciones para que el circuito regulador sea capaz de regular la tensión de entrada para cargas mayores consiste en interponer entre el zener y la carga un seguidor de emisor, el circuito correspondiente se muestra en la figura 4.

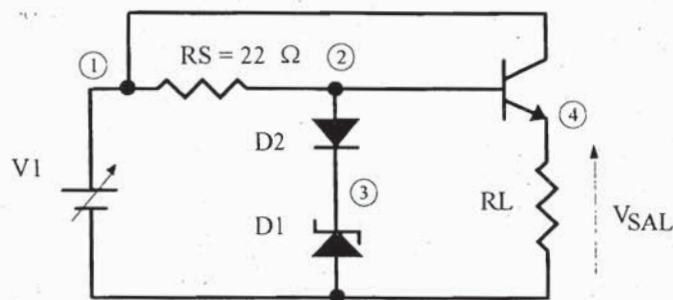


Figura 4. Circuito regulador mejorado.

Con este circuito podemos obtener una regulación correcta para cargas aún mayores que con el circuito anterior, ya que la resistencia de carga se ve aumentada en un factor β

vista desde la base del transistor. El contenido del fichero de definición de este nuevo circuito con la sintaxis de PSPICE es el siguiente:

CIRCUITO REGULADOR CON EL ZENER D1N757 MEJORADO

* DESCRIPCION DEL CIRCUITO

```
V1 1 0
RS 1 2 22
RL 4 0 RCARGA 1
D1 0 3 D1N757
D2 2 3 D1N4009
Q1 1 2 4 Q2N3903
.MODEL RCARGA RES
.MODEL D1N757 D(Is=0.05u Rs=5 Bv=8.67 Ibv=0.05u)
.MODEL D1N4009 D(Is=0.1p Rs=0.1 CJO=2p Tt=3n Bv=60 Ibv=0.1p)
.MODEL Q2N3903 NPN(Is=6.734f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=335.2 Ne=1.208
+ Ise=6.734f Ikf=60.26m Xtb=1.5 Br=.8073 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=1
+ Cjc=3.638p Mjc=.3085 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=4.493p Mje=.2593 Vje=.75
+ Tr=243.9n Tf=300.8p Itf=.4 Vtf=4 Xtf=2 Rb=10)
```

* DEFINICION DEL ANÁLISIS A REALIZAR

```
.DC LIN V1 12 14 .1
+ RES RCARGA(R) LIST 50 80 100
```

Si analizamos este circuito con el programa obtendremos la tensión de salida en función de la tensión de entrada, para los valores de resistencia de carga del circuito anterior. Podremos visualizar en la pantalla del ordenador la gráfica que se muestra en la figura 5. Donde puede observarse que en este caso para cualquiera de los tres valores de carga el circuito regula la tensión de forma correcta. El valor límite de la resistencia de carga que provoca un mal funcionamiento del circuito, vendrá dado en este caso por el valor máximo de la corriente de colector que pueda soportar el transistor (para el 2N3903 es de 200mA).

Con este sencillo circuito puede apreciarse la utilidad que nos proporciona PSPICE como herramienta para simular el funcionamiento de circuitos electrónicos, de la misma forma que podríamos haberlo realizado en un laboratorio con instrumentos convencionales, sin embargo queda patente la comodidad y la claridad con la que hemos podido ir analizando la tensión de salida con diferentes valores de algunos componentes del circuito. Además siempre puede el alumno modificar el fichero de definición, de forma que pueda estudiar algún otro aspecto del mismo que le resulte interesante. Este tipo de ejercicios, basados en circuitos cuyo funcionamiento se ha explicado en clase, formarían parte del material de estudio a entregar al alumno al principio de curso.

CIRCUITO REGULADOR CON EL ZENER D1N757 MEJORADO

Date/Time run: 06/01/94 18:20:09

Temperature: 27.0

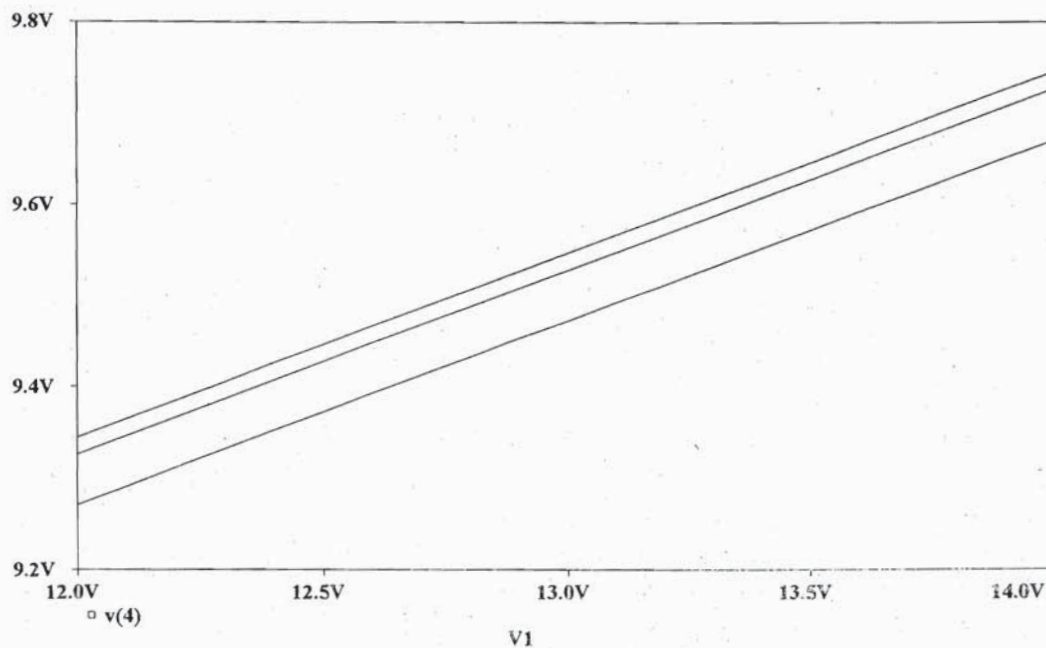


Figura 4. Curvas de transferencia del nuevo circuito regulador obtenida con PSPICE

En el transcurso de estos años se han ido desarrollando una amplia colección de ejercicios guiados que permiten al alumno experimentar con los fenómenos más significativos de la electrónica. Así por ejemplo se han desarrollado ejercicios que permiten estudiar:

- Carga y descarga en un circuito RC.
- Curva característica del diodo.
- Circuito doblador de tensión.
- Circuito rectificador.
- Puente rectificador con filtro.
- Características del diodo zener.
- Regulador con carga.
- Curvas características estáticas del transistor bipolar.
- Polarización del transistor bipolar. Zonas de trabajo.
- Circuito con transistor pnp.
- Etapa amplificadora en emisor común.
- Etapa amplificadora en colector común.
- Etapa amplificadora en base común.
- Etapa darlington.
- Curvas características de un JFET.
- Amplificador cascodo. Estudio comparativo con el emisor común.
- Etapa de salida en clase A y AB.
- Amplificador multietapa.

- Oscilador con cristal.
- Curvas características del MOST.
- Inversor CMOS.

5. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] J. Arriaga. "Pspice para estudiantes de electrónica". Dpto. de publicaciones de la E.U.I.T de Telecomunicación. 1992
- [2] J. Arriaga y A. Carpeño. "Breve guía para iniciarse en el uso de Pspice". Publicación interna. 1993
- [3] J. Arriaga y A. Carpeño. "Ejercicios para realizar con PSPICE". Publicación interna. 1993
- [4] "Manual de PSPICE versión 5.0". MicroSim Corporation. Julio 1991.