

MATERIAL INFORMÁTICO PARA LA RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS BÁSICOS DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA

P. DÍAZ

Departamento de Tecnología Electrónica. E.T.S.I.I. Universidad Politécnica de Cartagena. España.
pedro.diaz@upct.es

Mediante una hoja de cálculo, se pueden resolver circuitos elementales de Electrónica, ofreciendo datos típicos, como tensiones, corrientes o potencias, u otros de menor uso – desfases/retrasos, curvas/gráficos, avisos de rebasamiento de valores importantes, etc. – Al no utilizar código de otras aplicaciones, puede funcionar en cualquier sistema operativo para PC, PDA o teléfono móvil que posea una suite ofimática con hoja de cálculo.

1. Introducción

Dado el tiempo limitado que existe para la impartición de docencia de asignaturas técnicas, tanto a nivel de teórico como práctico, el alumnado suele demandar algunas fuentes adicionales de ejemplos – más prácticos que teóricos – de similar complejidad a los resueltos en clase. Con el ánimo de afianzar esos conocimientos y afrontar la prueba de evaluación con seguridad de superación de la misma.

Con esta idea, nació hace un tiempo la motivación de encontrar alguna opción viable. Para abordar una posible solución separé el problema en dos partes:

- a) Estudio del entorno: personas a las que iría dirigido, conocimientos que poseerían en el momento de usarlas, herramientas de las que podrían disponer o necesitar, etc.
- b) Buscar aplicaciones que pudiesen solucionar el problema: Simuladores de circuitos/herramientas de Laboratorio (Orcad-Pspice y sus derivados, EWB, Multisim, Protel y derivados, Labview, MatLab, etc.), Herramientas de autor (Neobook, Lams, Squeak, etc.), Programas matemáticos (Derive, MathCad, etc.).

Después de realizar la primera tarea y valorando lo positivo y no tan bueno de la segunda, me definí por una parte de la *suite* que casi cualquier ordenador de hoy en día posee. Concretamente por de la hoja de cálculo del paquete Office[®] de Microsoft[®]. La razones fueron, entre otras:

- a) Estaba disponible para casi cualquier ordenador, tipo PC o similar.
- b) Existía suficiente documentación sobre su funcionamiento.
- c) El lenguaje de trabajo era sencillo.
- d) Se podía distribuir sin problemas de compiladores o librerías asociadas.
- e) Podían contener y generar gráficos de varios tipos.
- f) Se podían definir fórmulas y ecuaciones bajo demanda.

Lo cierto y verdad es que ayudaron algunas cuestiones personales: Tenía un teléfono móvil con el sistema operativo Symbian[®], en mi caso Nokia[®], el cual venía instalado el programa QuickOffice[®], que supuestamente funcionaría con la hoja de cálculo que realizase. Así mismo, adquirí una PDA que disponía del Office Mobile[®], que al igual que el anterior visualizaría los ficheros de Excel[®] [1] sin problemas. Antes de ponerme manos a la obra consulté y comprobé si esta suposición sería cierta.

Siendo estos resultados positivos, comencé a desarrollar los diferentes programas/hojas de cálculo que más adelante detallaré.

2. Marco docente

Las asignaturas que hacen uso de los recursos docentes presentados en este artículo son: *Electrónica analógica* (Segundo curso, primer cuatrimestre) en los estudios de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica Industrial, y *Circuitos integrados analógicos no lineales* (Tercer curso, primer cuatrimestre), en la misma especialidad.

El plan de estudios de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica Industrial tiene una duración de tres años, con un total de 225 créditos. La asignatura de Electrónica analógica tiene asignadas semanalmente 2 horas de teoría y 2 horas de prácticas (6 créditos totales), la asignatura de *Circuitos integrados analógicos no lineales* tiene asignadas semanalmente 2 horas de teoría y 1 de prácticas (4.5 créditos totales).

3. Programas desarrollados

Los programas que se han realizado fueron fraguándose al compás de la impartición de la docencia. Por ello, la forma de presentar los datos varía sustancialmente de unos a otros. El total de ellos versa sobre los siguientes temas:

- g) Filtros pasivos RC [2].
- h) Fuentes de alimentación mediante diodo Zener.
- i) Transistores Bipolares.
- j) Transistores JFET.
- k) Transistores MOS.
- l) Otras implementaciones (fuentes reguladas [3], filtros activos [4], etc.).

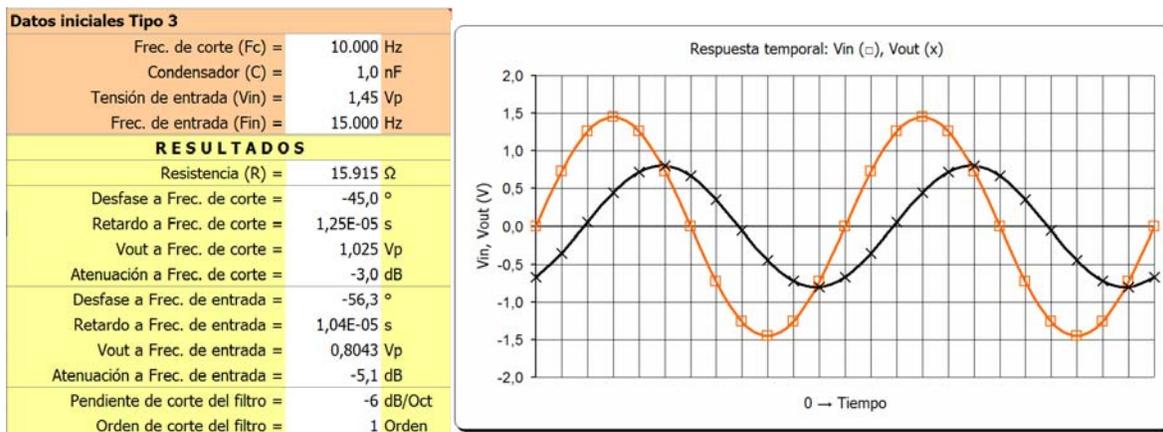


Figura 1. Datos de entrada, resultados y gráficos filtro paso bajo RC.

3.1. Filtros pasivos RC

Los filtros pasivos son un tema que aparece en cualquier libro de texto relacionado con la enseñanza de la Electrónica, pero al alumnado suele costarle trabajo la observación del cambio de valores de la

tensión de salida o la fase entrada/salida, así como la comprensión o construcción del diagrama de Bode tanto en amplitud como en fase, sobre todo cuando implementan la práctica en el Laboratorio.

Se han realizado tres modelos de cálculo. El más sencillo, dando los datos de Resistencia y Condensador, se ofrece la frecuencia de corte del mismo. Hasta el más completo, donde muestra valores de tensiones, desfases, retardos, etc. entre las señales de entrada y salida. Así mismo, se muestran los valores temporales de las señales de entrada y salida en estas circunstancias (Fig. 1). Igualmente, se disponen de los diagramas aproximados de Bode en amplitud lineal y en fase.

Los datos mostrados en la figura anterior, tanto numéricos como gráficos, son idénticos a los calculados en clase, es decir, las fórmulas implementadas en Excel[®], son iguales a las que utilizo en la resolución manual del ejercicio, y la gráfica está generada con los valores matemáticos de una senoide.

Con esta premisa, el alumnado puede resolver el problema manualmente y comprobar los datos con el programa citado. A la vez que le permite experimentar con los valores cuanto desee, observando las modificaciones que se realizan en el circuito con la pulsación de unas pocas teclas. Esta tarea sería muy tediosa de realizar con cálculos tradicionales. Igualmente, puede proponerse así mismo cualquier supuesto con los datos que se le ocurran, teniendo así la posibilidad de contar con infinidad de ejercicios para resolver y plantearse, de cara al asentamiento de conocimientos y posterior evaluación de la asignatura.

Los ejercicios realizados corresponden a filtros paso bajos, paso altos.

En cada ejemplo propuesto, el alumnado dispone de las fórmulas más importantes para la resolución del ejercicio en la propia pantalla y, existe una hoja especial en cada bloque de ejercicios con los datos de componentes típicos (resistencias, condensadores, diodos rectificadores, zener, etc.), es decir, a nivel de documentación y formulación son programas autocontenidos.

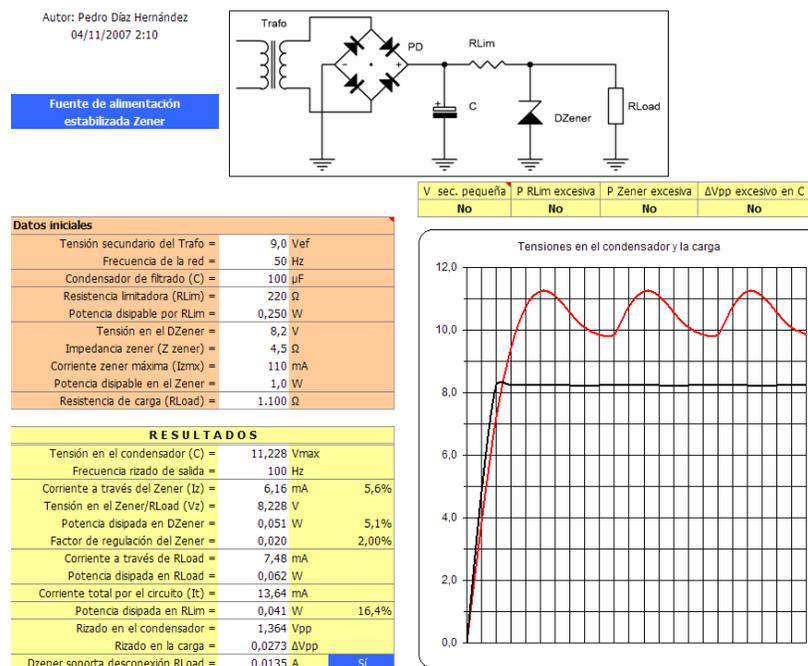


Figura 2. Circuito estabilizador mediante diodo zener.

3.2. Fuentes de alimentación mediante diodo Zener

En esta ocasión, el alumnado cuenta con tres tipos de ejercicios. Circuitos con zener en corriente continua y fuentes de alimentación completas, tanto para el caso de cálculo o síntesis como de diseño de circuitos (Fig. 2). Al igual que en el resto de programas, el alumnado cuenta con gráficos, valores normalizados, tablas de componentes, ecuaciones características, etc., para facilitarle la tarea en la resolución de los problemas que se planteen.

Para el circuito que se muestra (Fig. 2), se indican los datos principales de funcionamiento del circuito (condensador, zener y carga), así como las gráficas de las tensiones en el condensador y la salida del circuito. Igualmente, se muestran indicación del posible rebasamiento de valores típicos (falta de tensión del trafo, potencias excesivas en la resistencia de polarización o zener y rizado muy alto). De los dos gráficos que se muestran en la figura 2, el esquema es una imagen, pero la curva de las tensiones del condensador y la curva de salida del circuito son adaptables a los datos del ejercicio, es decir, se regeneran con los datos concretos del problema.

3.3. Transistores Bipolares

En este apartado, los alumnos/as cuentan con diferentes polarizaciones/configuraciones (colector, base, divisor resistivo, NPN, PNP, etc.). Al igual que los casos anteriores, disponen de ejemplos de síntesis y de diseño, obteniéndose multitud de datos que, normalmente no se realizan en clase.

Los casos que se presentan están en c.c. y c.a. Figuras 3, 4, 5 y 6.

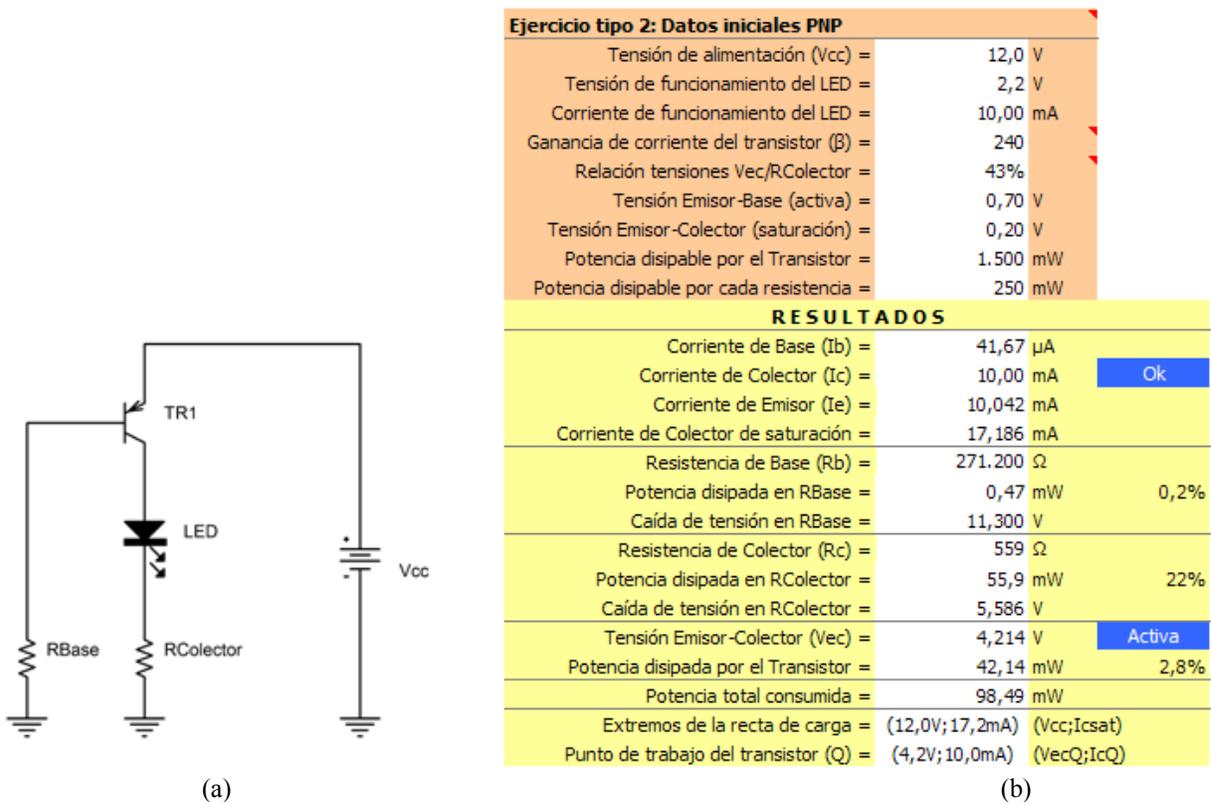
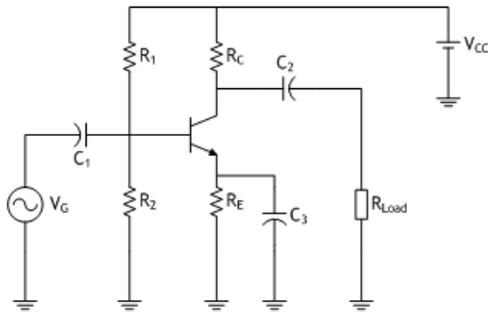


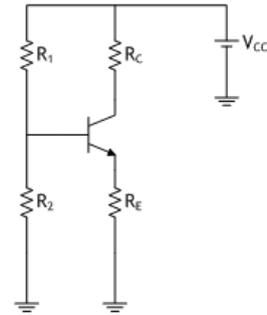
Figura 3. Ejemplo de diseño de polarización de base en c.c. Circuito PNP (a), datos entrada/resultados (b)



| DATOS INICIALES - Emisor común - Pol. Emisor - NPN | |
|--|----------|
| Tensión de alimentación (Vcc) = | 23,0 V |
| Resistencia de polarización (R1) = | 6.000 Ω |
| Resistencia de polarización (R2) = | 2.200 Ω |
| Resistencia de colector (Rc) = | 70 Ω |
| Resistencia de emisor (Re) = | 330 Ω |
| Ganancia de corriente del transistor (β) = | 220 |
| Tensión Base-Emisor (activa) = | 0,70 V |
| Tensión Colector-Emisor (saturación) = | 0,20 V |
| Potencia disipable por el Transistor = | 1.500 mW |
| Potencia disipable por cada resistencia = | 250 mW |
| Tensión térmica (VT) = | 25,84 mV |
| Resistencia de carga (RLoad) = | 70,0 Ω |

Autor: Pedro Díaz Hernández
28/04/2008 13:02

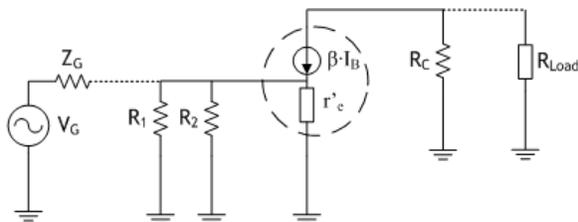
(a)



| RESULTADOS en corriente continua | |
|--|------------------------------|
| Tensión Thevenin en R1-R2 (Vth) = | 6,17 V |
| Resistencia Thevenin en R1-R2 (Rth) = | 1.610 Ω |
| Corriente de base (Ib) = | 73,393 μA |
| Corriente de colector (Ic) = | 16,147 mA Ok |
| Corriente de emisor (Ie) = | 16,220 mA |
| Corriente colector de saturación (Ic(sat)) = | 56,787 mA |
| Caída de tensión (Rc) = | 1,13 V 4,9% |
| Tensión Colector-Emisor (Vce) = | 16,52 V Activa |
| Caída de tensión (Re) = | 5,35 V 23,3% |
| Potencia disipada en Rc = | 18,25 mW 7,3% |
| Potencia disipada en el Transistor = | 266,70 mW 17,8% |
| Potencia disipada en Re = | 86,82 mW 34,7% |
| Potencia total consumida = | 438,78 mW |
| Extremos de la recta de carga = | (23,0V;56,8mA) (Vcc;Ic(sat)) |
| Punto de trabajo del transistor (Q) = | (16,5V;16,1mA) (VceQ;IcQ) |
| Relación (R1/Ib) = | 39 Ok |

(b)

Figura 4. Síntesis de polarización de puente 4R en c.a. Circuito NPN con datos de entrada (a), resultados en c.c. (b)



| RESULTADOS en corriente alterna (Modelo en 'R') | |
|---|-------------------------------|
| Resistencia del modelo de emisor (r'e) = | 1,59 Ω |
| Impedancia de entrada del transistor Zin(TR) = | 352,07 Ω |
| Impedancia de entrada del circuito Zin(CIR) = | 288,89 Ω |
| Impedancia de salida del circuito Zout(CIR) = | 70 Ω |
| Ganancia de tensión del circuito (Av) = | -21,87 |
| Extremos de la recta de carga = | (17,1V;488,1mA) (Vce,Ic(sat)) |
| Máxima tensión de salida sin distorsión (Mpp) = | 1,13 Vpp |
| Tensión máxima de entrada al circuito (VG) = | 0,0517 Vpp |
| Potencia de pico-pico en la carga PLoad(pp) = | 2,281 mW |

$$r'_e = \frac{V_T}{I_E}$$

$$Z_{in(TR)} = (\beta + 1)r'_e$$

$$Z_{in(CIR)} = R_1 // R_2 // Z_{in(TR)}$$

$$Z_{Out} = R_C$$

$$A_v = - \left(\frac{\beta}{\beta + 1} \right) \frac{r_C}{r'_e}$$

$$V_{CE} = V_{CEq} + (I_{Cq} r_C)$$

$$I_{C(sat)} = I_{Cq} + \frac{V_{CEq}}{r_C}$$

$$M_{pp} = 2V_{CEq} = 2I_{Cq} r_C$$

Figura 5. Síntesis de polarización de puente 4R en c.a. resultados mediante modelo "R" o "T"

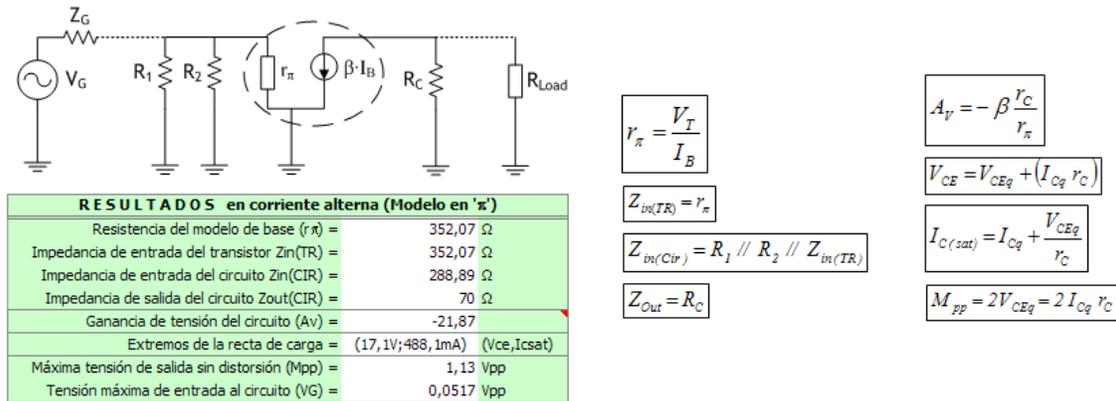


Figura 6. Síntesis de polarización de puente 4R en c.a. resultados mediante modelo “π”

3.4. Transistores JFET

En este bloque de ejercicios se han realizado modelos para diferentes configuraciones (autopolarización, divisor de tensión, canal N, canal P, etc.). Como en casos anteriores, se dispone de multitud de datos sobre la polarización seleccionada. Figura 7.

3.5. Transistores MOS

La disposición de diferentes modelos de circuitos con MOS son más útiles si cabe que en casos anteriores, dado que, al ser dispositivos cuadráticos, la intuición de valores adecuados, puntos de trabajo, etc. no son fáciles de predecir.

3.6. Otras implementaciones

La filosofía descrita con anterioridad se puede utilizar para otros circuitos de mayor complejidad, como son fuentes reguladas o filtros activos con operacionales.

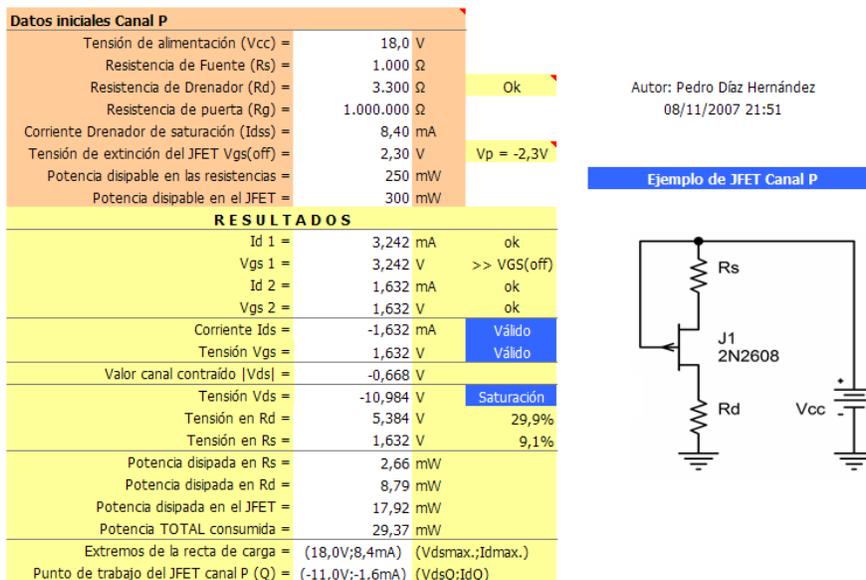


Figura 7. Circuito FET de autopolarización, canal P.

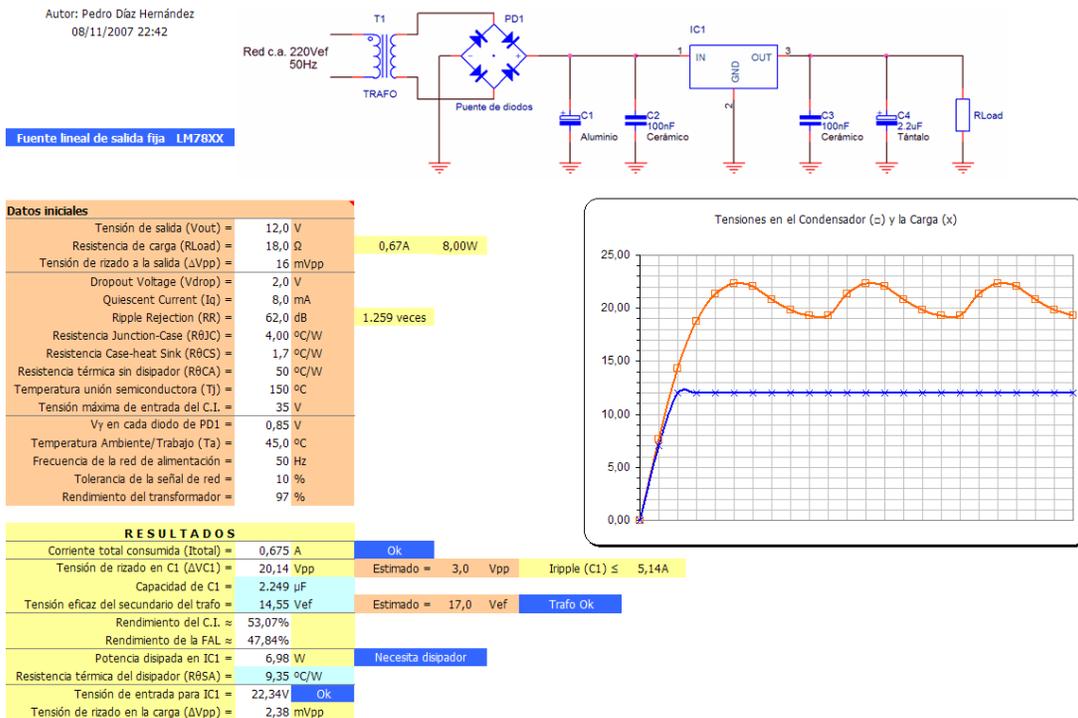


Figura 8. Fuente regulada con tensión fija.

Para el apartado de fuentes de alimentación, se han implementado fuentes de tensión fija y variable (Fig. 8), además de fuentes de corriente. Algunas de ellas cuentan con gráficos en los puntos más importantes del circuito.

En el caso de los filtros activos (Bessel y Butterworth), los programas ofrecen la función de transferencia de los mismos, disponiéndose para los tipos paso alto y paso bajo. Éstos datos son fácilmente implementables en PSpice o MatLab, comprobando con ello su funcionamiento con anterioridad al cálculo completo de sus valores más importantes.

4. Evaluación de resultados

Como toda innovación que se realice, docente en el caso que nos ocupa, debe ser evaluada su idoneidad, aceptación por parte del alumnado, relación esfuerzo realizado/utilidad por parte de los destinatarios, etc.

Tratando de ser objetivos en este apartado y, siendo conscientes de la dificultad del mismo, he optado por incluir el número de accesos a la página Web por parte de los alumnos en cada uno de los apartados en los que separé la Asignatura en el entorno Moodle. (Ver apartado de conclusiones).

Por diversos motivos, éste es el único parámetro del que dispongo, ya que no he realizado encuesta alguna o similar a alumnado sobre el uso, opiniones o similar sobre la utilidad de este recurso docente. Por supuesto he realizado preguntas a título personal sobre la utilidad de los mismos, pero como es sabido, esta objetividad es dudosa, cuando la pregunta la realiza el Profesor directamente.

En la tabla adjunta, se muestran los datos citados anteriormente para la Asignatura de **Electrónica Analógica**, de Segundo Curso ITI en Electrónica Industrial. Los datos mostrados corresponden entre el 30 de Abril de 2007 y el 28 de Abril de 2008, Tabla 1.

| Actividad | Nº de accesos | Utilización |
|---------------------------|---------------|-------------|
| Apuntes de Teoría | 180 | 29.22% |
| Exámenes | 148 | 24.02% |
| Prácticas de Laboratorio | 102 | 16.55% |
| Programa de la Asignatura | 36 | 5.84% |
| Software | 150 | 24.35% |
| Total | 616 | 100.0% |

Tabla 1. Datos de utilización de la Asignatura de Electrónica Analógica

Realizando el mismo proceso para la Asignatura de **Circuitos Integrados Analógicos No Lineales**, de Tercer Curso de ITI en Electrónica Industrial, los resultados son los siguientes, Tabla 2.

| Actividad | Nº de accesos | Utilización |
|-----------------------|---------------|-------------|
| Amplif. Operacionales | 76 | 15.67% |
| Fuentes reguladas | 57 | 11.75% |
| Filtros activos | 123 | 25.36% |
| Software | 82 | 16.90% |
| Exámenes | 147 | 30.30% |
| Total | 485 | 100.0% |

Tabla 2. Datos de utilización de la Asignatura de C.I. Analógicos No Lineales

Como puede observarse, el número de accesos es variado, tanto en su número, variedad de temas, porcentaje de los mismos, importancia de cada apartado, etc.

Para la Asignatura de Segundo Curso lo más importante son los apuntes de teoría y, a partes iguales, los programas de software (2º puesto) y los exámenes. Mientras que para la Asignatura de Tercer Curso, lo más importante son los exámenes, los apuntes de filtros activos con amplificadores operacionales y los programas de software realizados (3º puesto).

En cuanto al número de accesos es menor en el caso de Segundo Curso, con 123 matriculados y un ratio de 5 accesos/alumno. Sin embargo, para Tercer Curso con 72 matriculados, el ratio de accesos/alumno es de 6.73.

Aunque los resultados no son muy satisfactorios, parece lógico que por parte del alumnado, una de las cosas más importantes sean los exámenes. Aunque si el software realizado está entre las dos o tres primeras opciones de las cinco disponibles podemos dar por bien empleado, desde mi punto de vista, el esfuerzo realizado en la realización de estos programas típicos en Electrónica Analógica.

5. Conclusiones

Con estos programas se ha tratado de aportar una solución a la necesidad de disponer, por parte del alumnado, de una gran variedad de ejemplos de circuitos tanto para Electrónica Básica como para montajes más complejos. La solución descrita, elimina la dependencia del sistema operativo y plataforma sobre la que trabajarles, dado que no utilizan código adicional al de una hoja de cálculo elemental. La solución propuesta aporta un valor añadido al de las soluciones numéricas de los problemas planteados. La mayoría de los ejemplos propuestos indican al diseñador si se han superado los valores descritos en el propio enunciado, haciendo especial hincapié en las potencias disipadas por los componentes.

Con lo cual, el alumnado:

- Puede disponer de ejercicios propuestos ilimitados, Comprobando sus cálculos teóricos en cualquier momento.
- Posee una herramienta válida para cualquier ordenador y sistema operativo, pudiendo trabajar con estas herramientas en el PC, móvil, PDA, etc.
- Dispone tanto de datos numéricos como gráficos de la evolución de las señales.
- No necesita de compiladores especiales o librerías ligadas al hardware o S.O.
- Dispone del código fuente de los programas para su revisión/modificación/traslado.
- El programa indica/avisa de sobrepasamiento de valores importantes.

5.1. Desarrollos futuros

Dada la buena acogida por parte de los alumnos/as, parece lógico que se deba seguir aumentando este tipo de ejercicios, tanto con mayor número de casos supuestos (circuitos típicos), como por la variedad de los mismos.

En este sentido, se tiene previsto incluir circuitos de corriente alterna con amplificadores convencionales de audio (clase A, B o Push-pull, etc.).

Con este abanico de posibilidades, el alumnado contará con una oferta suficientemente amplia para encontrar solución a casi cualquier circuito de los estudiados en teoría; pudiendo comprobar en cualquier momento la validez de los datos obtenidos de la manera tradicional (cálculos a mano).

5.2. Disponibilidad de los programas

Desde hace algunos años, el Departamento de Tecnología Electrónica de la UPCT, dispone de un servidor en que pueden encontrarse gran variedad de documentos, informes, trabajos, etc. sobre la docencia e investigación que realizamos. Este servidor está manejado con el *front end* Moodle.

Para poder acceder a esta información, cualquier persona debe *darse de alta*, en la asignatura que le interese, siendo válidos cualquier *Login* y *Password*. En realidad, no se comprueba si esa persona está o no matriculada en alguna asignatura en la UPCT. Nos interesa poder realimentar información con estas personas mediante e-mail, sobre cambios de clase, exámenes, fechas importantes, etc.

Con objeto de que toda persona que lo desee pueda disponer de los programas aquí citados se ha habilitado un alumno genérico con el *Login: alumno* y *Password: alumno*, para las asignaturas citadas con anterioridad, titulación *ITI Electrónica Industrial*. La dirección es, <http://auladte.upct.es>, nótese que no dispone de la famosa *www.tal.cual*.

Referencias

- [1] S. Travería, C. Prats. *Office 2000 Professional. Fácil y rápido*. Editorial Inforbook's (1.999), ISBN: 84-95318-12-1.
- [2] P. Díaz. *Guía docente. Electrónica analógica: Análisis y diseño*. Editorial Morpi, S.L., Cartagena (2007).
- [3] P. Díaz. *Guía docente. Fuentes de alimentación reguladas*. Editorial Morpi, S.L., Cartagena (2007).
- [4] P. Díaz. *Guía docente. Filtros activos utilizando amplificadores operacionales*. Editorial Morpi, S.L., Cartagena (2007).