

Estudio y utilización del principio de superposición con ORCAD

Por José Luis Calvo Rolle

Escuela Universitaria
Politécnica,
Universidad de La
Coruña

La simulación se ha vuelto imprescindible en casi todas las áreas de conocimiento, y ni que decir tiene su importancia en temas relacionados con la electrónica y la electricidad. Son múltiples los teoremas en las citadas áreas que ayudan a la resolución de problemas de forma analítica, lo cual no es óbice para que desarrollemos su estudio mediante técnicas de simulación. Uno de estos teoremas es el que se aborda en este documento, y se trata del principio de superposición.

Principio de superposición

El principio de superposición establece que la respuesta (sea corriente o tensión), en cualquier punto de un circuito lineal que tenga más de una fuente independiente, se puede obtener como la suma de las respuestas causadas por las fuentes independientes separadas que actúan de forma individual.

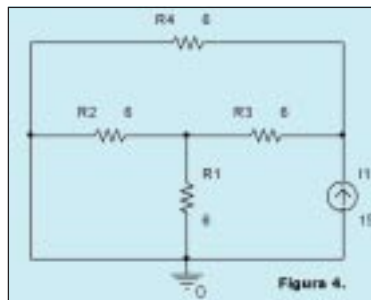
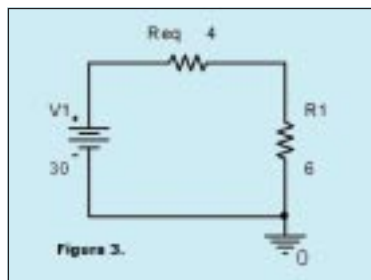
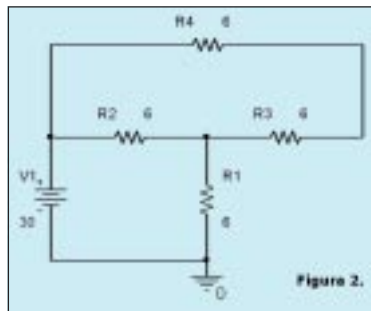
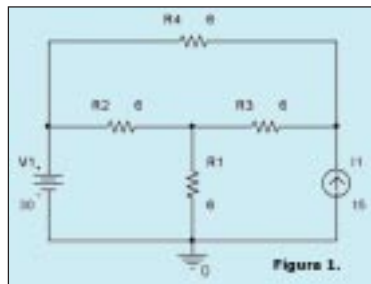
Siempre que se calcule una magnitud respecto a una determinada fuente se deberán sustituir todas las demás fuentes de voltaje por cortocircuitos, y todas las demás fuente de corriente por circuitos abiertos. ¿Cómo se realizará esto con el programa OrCAD?. Se explicará mediante un sencillo ejemplo, que en primer lugar se resolverá de forma analítica y después simulando el circuito. El circuito empleado en la explicación se muestra en la figura 1.

En el se pretenderá calcular utilizando el principio de superposición por ejemplo la corriente a través de la resistencia R1.

Resolución analítica

Se comienza calculando la corriente por R1 debida a la fuente V1, para lo cual será necesario sustituir la fuente de corriente I1 por un circuito abierto, de este modo el circuito ante esta modificación quedaría tal y como se muestra en la figura 2.

Para este circuito las resistencias R3 y R4 se encuentran en serie, y a su vez la equivalente está en paralelo con R2. Realizando el cálculo de la resistencia equivalente Req se tiene que su valor es de 4 ohmios. El circuito se puede reducir al esquema que aparece en la figura 3.



Con el circuito de esta forma se puede calcular sencillamente la corriente que fluye por la resistencia R1, debida a la fuente de tensión V1, tan solo con aplicar la ley de ohm:

$$I_{R1} = \frac{30}{4+6} = 3,1$$

Se calcula ahora la corriente por la misma resistencia debida a la fuente I1, será necesario para ello sustituir la fuente de tensión V1 por un cortocircuito. Con este cambio el circuito resultante es el que se ilustra en la figura 4.

La forma más sencilla de averiguar la corriente por R1 de este circuito es, calcular la resistencia equivalente total, obteniendo a continuación la tensión que existe en bornes para esa corriente. Se puede sustituir después la fuente de corriente por una de tensión cuyo valor es el calculado previamente, tras lo cual el cálculo de la corriente se hace de igual forma que para el caso en que se calculaba la corriente debida a la fuente V1. Para calcular la resistencia equivalente en el circuito de la figura 4, se observa que R2 está en paralelo con R1, a su vez la resultante está en serie con R3, y todo esto se encuentra en paralelo con R4. Se tiene por tanto una resistencia equivalente Req2 de un valor igual a 3,6 ohmios. El circuito resultante es el de la figura 5.

Si se calcula la tensión en bornes de la resistencia equivalente Req2 se tiene un valor de:

$$V_{eq} = I_1 \times R_{eq1} = 15 \times 3,6 = 54V$$

Se puede entonces modificar el circuito de la figura 4 sustituyendo la fuente de corriente I1 por una fuente de tensión Veq, y haciendo el paralelo de las resistencias R1 y R2, cuyo valor es de 3 ohmios. El nuevo esquema se puede observar en la figura 6.

La corriente a través del paralelo de las resistencias R1//R2, que se encuentra en serie con la resistencia R3 es la siguiente:

$$I_{R1+R2} = \frac{34}{3+6} = 6,1$$

Teniendo en cuenta que el valor de las resistencias R1 y R2 es igual, la corriente se repartirá entre ambas a partes iguales. Se tiene de esta manera, que el valor de la corriente a través de R1 debida a la fuente de intensidad I1 es de:

$$I''_{R1} = 3,1$$

Si se suman los datos obtenidos por separado, se tiene el valor que tendrá la corriente a través de la resistencia R1:

$$I'_{R1} + I''_{R1} = 3 + 3 = 6,1$$

La obtención de este valor simulando el circuito en el OrCAD, es inmediato, pero puede ser útil en algunos casos la aplicación del principio de superposición con el programa. Para ello habrá que utilizar la misma metodología que de forma analítica, evitando los cálculos gracias a la simulación. Con el aumento de la complejidad del circuito, resolverlo de forma analítica no sería tan fácil, y en esos casos este software servirá de gran ayuda.

Resolución mediante la simulación del circuito

Para calcular la corriente debida a la fuente V1 se necesita sustituir la fuente I1 por un circuito abierto, en este caso bastaría con borrarla, pero si hubiese una resistencia en serie con la fuente, el programa emitiría un error diciendo que existe un terminal suelto, por tanto se realizará el procedimiento de una forma genérica, para ello se sustituirá la fuente de corriente I1 por una resistencia de un valor muy grande (un Tera por ejemplo) como se muestra en la figura 7.

Tras haber creado un perfil de simulación para un análisis en continua simple, se simula, y desde el

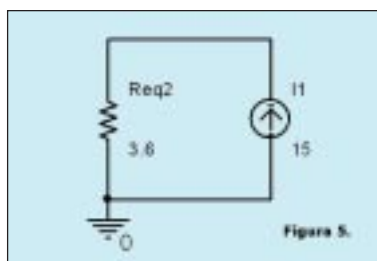


Figura 5.

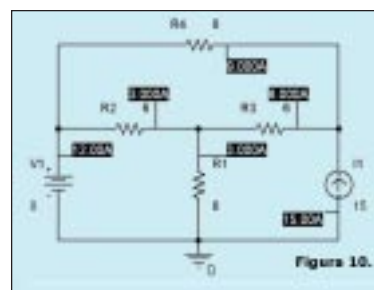


Figura 10.

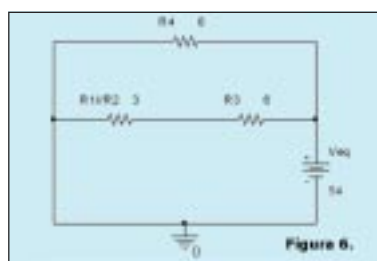


Figura 6.

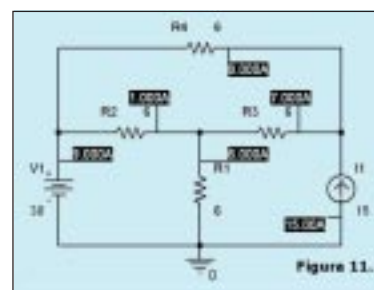


Figura 11.

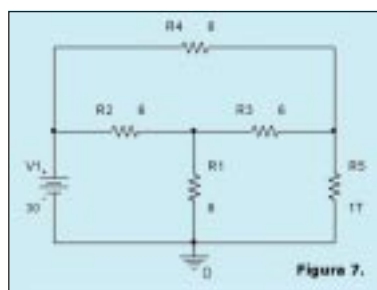


Figura 7.

editor de esquemas se visualizan las etiquetas de corriente (figura 8).

Como se puede comprobar la corriente a través de R1 efectivamente es de 3 Amperios. El siguiente paso es calcular la intensidad debida a la fuente I1, para ello sería necesario sustituir la fuente de tensión por un cortocircuito, pero no será necesario, simplemente bastará con igualar a cero el potencial de la fuente de tensión V1, de esa forma ya no tendrá ningún efecto sobre el circuito. Quedaría el circuito como se ilustra en la figura 9

Sobre el perfil ya existente se procede a la simulación. Una vez concluida se visualizan las etiquetas de corriente (figura 10), que como se había deducido analíticamente a través de la resistencia R1 fluyen 3 Amperios.

Por separado obteníamos 3 y 3 amperios, se suman las cantidades dando como resultado 6 amperios. Para comprobar dicho resultado se ponen las dos fuentes con sus valores y se simula de nuevo, comprobando así que se cumple el principio de superposición (figura 11).

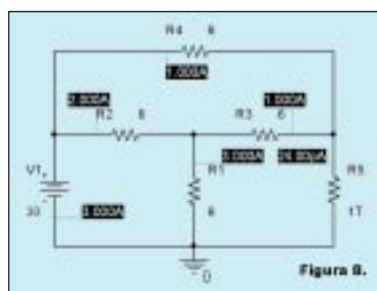


Figura 8.

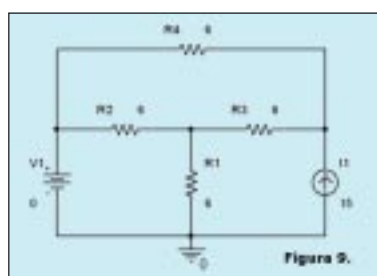


Figura 9.

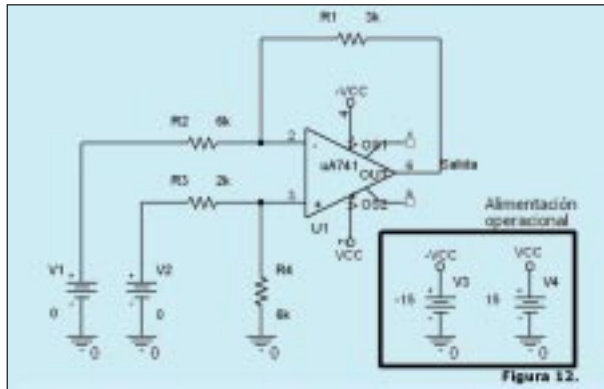


Figura 12.

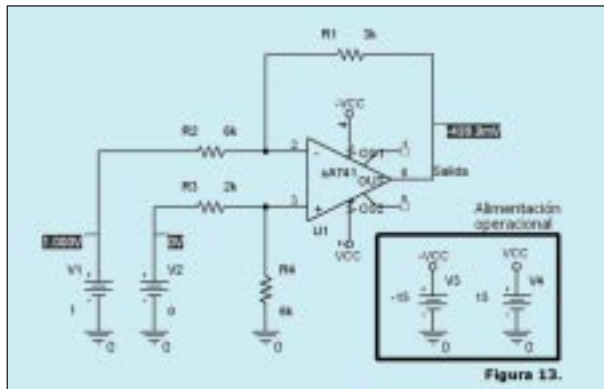


Figura 13.

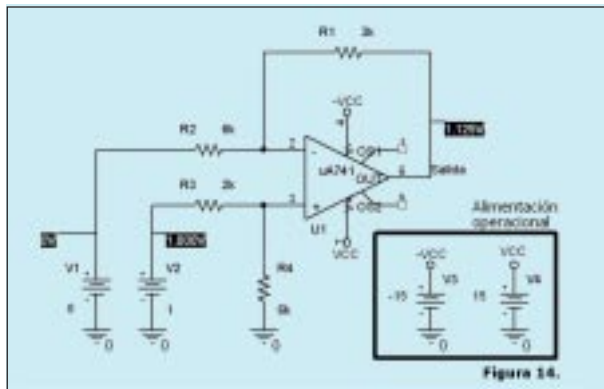


Figura 14.

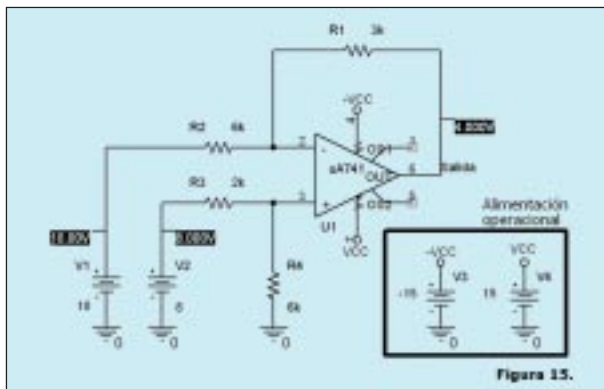


Figura 15.

Obtención de expresiones con el principio de superposición

Una posible aplicación de este principio es obtener una ecuación general de un parámetro en una determinada parte del circuito. Se realizará la explicación mediante un ejemplo sencillo (figura 12). En este se pretende obtener una expresión de la tensión de salida del amplificador operacional, en función de las dos fuentes de tensión continua (V1 y V2) dispuestas a las entradas inversora y no inversora respectivamente.

Lo que se hará es determinar la ganancia con respecto a cada entrada, aplicando superposición. Para realizarlo se le dará un valor a la entrada V1, y V2 se mantendrá a cero voltios. Tras simular se lee la salida y se divide por la entrada V1 se obtiene la ganancia con respecto a ella G1. El paso siguiente es hacer lo contrario, poner V1 a cero voltios y V2 a un valor, por el cual se dividirá la lectura resultante para obtener la ganancia G2 con respecto a la segunda entrada, así tenemos:

$$V_{\text{salida}} = G1xV1 + G2xV2$$

Será conveniente para obtener las ganancias de forma sencilla que las entradas aplicadas sean múltiplos de 10 (0.1, 1, 10, 100, etc.).

Aplicando entonces a la entrada V1, 1 voltio y la V2 poniéndola a

ceros, se crea un perfil para un análisis en continua simple y se procede a la simulación. Visualizando las etiquetas de tensión en el esquema se obtiene (figura 13):

$$G1 = \frac{V_{\text{salida}}}{V1} = \frac{-0.5}{1} = -0.5$$

A la salida se tienen aproximadamente -0.5 voltios por tanto la ganancia con respecto a V1 será:

$$G2 = \frac{V_{\text{salida}}}{V2} = \frac{1.125}{1} = 1.125$$

Aplicando ahora 1 voltio en V2 y 0 en V1 se obtiene el siguiente resultado tras la simulación (figura 14).

En este caso la salida es de 1 voltio por tanto la ganancia con respecto a V2 será:

$$V_{\text{salida}} = -0.5xV1 + 1.125V2$$

Se puede confeccionar ya la expresión de la tensión de salida en función de las dos entradas al circuito, quedando esta:

$$V_{\text{salida}} = -0.5xV1 + 1.125V2$$

Así por ejemplo si se pone 10 voltios en V1 y 8 en V2 la V_{salida} según la expresión anterior es igual a 4 voltios, introduciendo los valores en el esquema y simulando se comprueba que se cumple (figura 15).

Se le propone al lector a continuación un ejemplo cuya resolución se puede llevar a cabo aplicando el procedimiento explicado en este

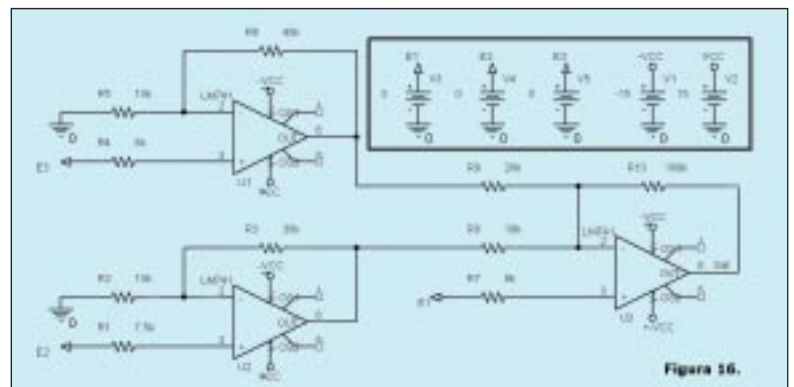


Figura 16.

documento, el esquema es el de la figura 16.

Es necesario tener cuidado cuando se apliquen valores a las entradas, para obtener las ganancias individuales y posteriormente la función. Lo que ocurre en este caso es que las ganancias son muy grandes, y si se aplica 1 voltio a alguna de las entradas, la salida para una alimentación del operacional entre +15 y -15, dará valores próximos a estos por estar saturado el amplificador. La mejor solución a este problema es

aplicar 0.1 voltios en lugar de 1 a las entradas, teniendo en cuenta entonces que el valor de la salida es la ganancia dividida por 10. Aclarado este matiz, si se dan valores a las entradas se obtiene la siguiente expresión de la tensión de salida en función de las de entrada:

$$V_{\text{sal}} = 20 \times E1 - 40 \times E2 - 45 \times E3$$

de esta forma si se aplica 0.2 voltios a E1, 1 a E2 y -1 a E3, la lectura de la tensión a la salida sería de aproximadamente 9 voltios.

Referencias

- [1].- Edición y simulación de circuitos con OrCAD.
Editorial RAMA. Octubre 2003.
Autor: José Luis Calvo Rolle
- [2].- Fundamentos de tecnología electrónica: teoría, problemas resueltos y simulaciones por ordenador.
Editorial Copy Belén. 2001.
Autor: Alberto José Leira Rejas.