

Modelado funcional para Spice del C.I. TCA785

Ignacio Bravo¹, Raúl Piñero, Marta Marrón¹, Miguel A Sotelo¹, Emilio Bueno¹

Departamento de
Electrónica de la
Universidad de Alcalá
E-mail:
{ibravo,marta,sotelo}
@depeca.alcala.es

El TCA785 es un circuito integrado de control de fase desarrollado por Siemens y posterior al TCA 780 y TCA 780D. Debido a las características de las señales que es capaz de proporcionar es ideal para controlar el disparo de los dispositivos de potencia. Aunque su uso es muy variado y abarca un amplio número de aplicaciones dentro del mundo de la electrónica, sus características hacen de él un candidato inmejorable para formar parte del bloque de control de un sistema de potencia; en concreto formaría el enlace entre el núcleo del bloque de control y la parte de potencia, generando las señales oportunas en función de unas consignas de entrada.

La posibilidad de simular cualquier comportamiento eléctrico bajo un soporte informático, brinda la oportunidad de reducir los errores de diseño en un porcentaje muy elevado. El solo hecho de garantizar en cierta medida el buen funcionamiento del bloque de control hace plantearse hasta qué punto es factible modelar, partiendo de los pocos datos que suelen facilitar los fabricantes, el comportamiento del circuito integrado y en qué medida puede ser fiable. A este respecto y teniendo siempre presente que el objetivo del diseñador es modelar el comportamiento

del C.I. para su uso mediante el simulador Pspice [1], éste debe plantearse que tipo de modelado cubrirá sus necesidades y que inconvenientes presentará.

Necesidad de modelar el C.I. 785

Debido a las limitaciones de la versión de evaluación para PSpice la complejidad que introducen modelos muy precisos puede provocar la incapacidad de cálculo en PSpice para analizar un circuito. En esas ocasiones es necesario simplificar el modelo con el objetivo de lograr una simulación completa. La simplificación del modelo se consigue de diversas formas pero la más generalizada y útil es por medio del diseño mediante subcircuitos.

Un subcircuito contiene todos los componentes que en conjunto responden al comportamiento de un dispositivo. El contenido de estos subcircuitos puede ser de dos tipos: Estructurales o de Comportamiento.

Modelos Estructurales

Los subcircuitos están formados por componentes definidos en PSPICE. Para este tipo de modelado es necesario conocer el contenido circuital del componente o circuito a modelar. El diseñador es quien, se-

gún su criterio, debe estimar el grado de complejidad del modelo a realizar en función del objetivo a conseguir. Es importante recordar que esta complejidad marca el grado de fiabilidad de la posterior simulación.

Modelos de Comportamiento

Definen un componente o circuito mediante su función de transferencia independientemente de su constitución interna; en este caso, la precisión dependerá de la reproducción de las características del componente o circuito a diseñar.

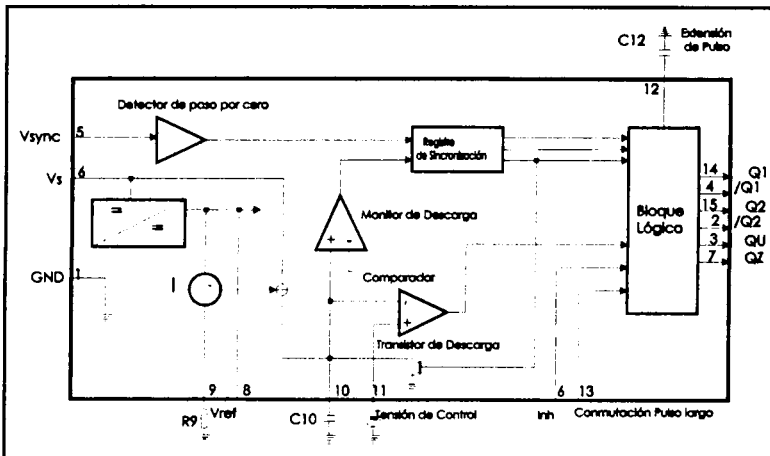
Utilizando un subcircuito, se podría proponer un modelo de dispositivo más simple que el original, adaptado a las condiciones del circuito del que forma parte y que por consiguiente, dada su simplicidad, no supere los límites de cálculo de PSPICE. Los modelos obtenidos mediante subcircuitos también pueden requerir tiempos de simulación elevados o incluso imposibilitar al simulador para su análisis, todo depende de la complejidad del modelo; sin embargo, si lo que se pretende es realizar un modelado sencillo, pero ajustado al funcionamiento del diseño, por necesidad se deben eliminar parámetros.

La filosofía que se ha de seguir para eliminar los parámetros innecesarios en una simulación específica es total responsabilidad del diseñador; no obstante, se pueden definir dos clases de parámetros que ayudan a tomar una decisión; estos tipos son:

Parámetros Observables

Son todos aquellos parámetros que aún no siendo regulados por la acción de un circuito o conjunto de componentes dentro de un subcircuito, se pueden controlar por medio de la observación en el resultado de la simulación. Estos parámetros no ayudan a definir a otro parámetro y pueden por tanto, no ser necesariamente implementados en el subcircuito, ya que con un simple vistazo a la simulación se puede deducir si

Figura 1. Diagrama de bloques del C.I. TCA785



un parámetro observable en concreto cumple las especificaciones de funcionamiento.

• *Parámetros no Observables*

Son todos aquellos parámetros que definen o intervienen de algún modo en la construcción de otro parámetro y rigen el comportamiento del subcircuito. Esta situación hace que normalmente sea imposible eliminarlos. La calificación de no observables, aunque no siempre ajustada a la realidad, se produce por la necesidad de acceso a nudos y mallas internas del subcircuito para poder observar uno de estos parámetros.

Se puede asegurar por tanto que con el modelado mediante subcircuitos se está acotando la exactitud del mismo, reduciéndolo a una garantía de comportamiento funcional de pines hacia fuera. Por otra parte su sencillez permite realizar simulaciones funcionales de circuitos mucho más complejos con las versiones de Pspice menos potentes. Todo esto sugiere pensar que el desarrollo del modelo puede ser muy útil en el diseño de futuros trabajos.

Descripción funcional del C.I. TCA785.

La información más valiosa para realizar el modelado la ofrece el diagrama de bloques de la figura 1, ya que con él, se puede realizar una descripción funcional bastante detallada y en base a ella construir los elementos que formen parte del modelo.

El circuito integrado está formado básicamente por un generador de diente de sierra, un comparador, un elemento de sincronización con una señal exterior y un bloque generador de señales de salida. La alimentación del integrado la realiza un convertidor DC/DC cuya entrada se corresponde con el pin 16; además, genera una tensión de referencia, V_{REF} , que se ofrece por el pin 8. El generador I es una fuente de corriente interna

configurable por medio de R_9 y que junto a C_{10} fuerza una tensión que evoluciona en rampa en sus extremos (véase su expresión en la ecuación 1).

paso por cero. La otra señal procede de un monitor de descarga que prepara al registro de sincronización para efectuar una descarga en el

$$I = \frac{V_{REF} \cdot K}{R_9} \quad \phi(s) = \frac{V_{11} \cdot R_9 \cdot C_{10}}{V_{REF} \cdot K} \quad V_{PICO} = \frac{V_{REF} \cdot K \cdot T_{RED}}{2 \cdot R_9 \cdot C_{10}} \quad t_p(\mu s) \approx \frac{C_{12}(pF)}{2} + 30$$

Para obtener una señal en diente de sierra es necesario descargar C_{10} en determinados momentos; esta función es realizada por el transistor de descarga cuando entra en saturación por medio del registro de sincronización que determina el momento exacto de la descarga. Este último registro es capaz de decidir el instante de carga y descarga de C_{10} en virtud de dos señales de sincronización. Una de estas señales procede de un detector de paso por cero que informa del instante en el que la señal de baja frecuencia (suele ser la frecuencia de red) aplicada al pin 5 hace su

momento oportuno. El valor de la expresión que toma la tensión de pico en C_{10} justo antes del inicio de la descarga es expuesta en la ecuación 1.

El comparador fija un nivel de salida cada vez que la tensión en rampa supera la tensión existente en el pin 11 (tensión de control) y es usado como entrada al bloque lógico generador de señales de salida. El nivel ofrecido por el comparador en combinación con las señales de salida del registro de sincronización activan las señales de salida del bloque lógico, de tal forma que presentan

Ecuación 1. Valor del generador de corriente interno, del ángulo de disparo, de la tensión de pico de la señal de rampa y de la relación entre C_{12} y la anchura del pulso

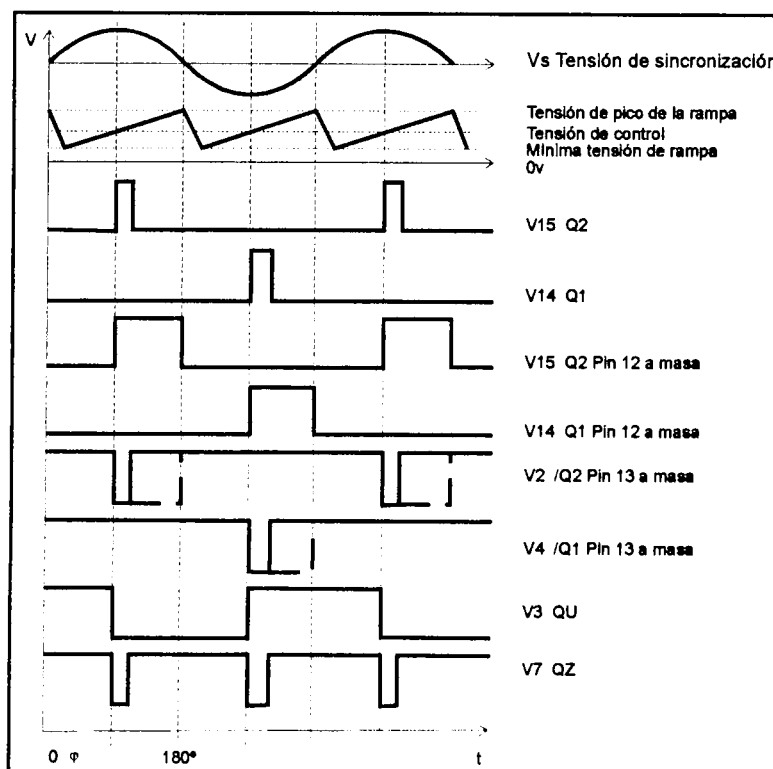


Figura 2. Diagrama de tiempos del C.I. TCA785

un desfase j en función del valor de R_9 , C_{10} y V_{11} respecto del paso por cero de la señal de sincronismo (ob-sérvese el valor de su expresión en la ecuación 1).

El bloque lógico genera un total de seis señales pulsatorias con posibilidad de manipular el ancho del pulso en cinco de ellas. Dependiendo de la capacidad que se conecte al pin 12 se puede alargar, hasta un máximo de $(180^\circ - \varphi)$, o acortar, hasta un mínimo por defecto, la duración del pulso generado por las salidas Q1, Q2 y QZ (véase la ecuación 1). Por el contrario, el pin 13 solo ofrece dos posibilidades a las salidas /Q2 y /Q1; estas son, alargar el pulso $(180^\circ - \varphi)$ conectándolo a masa, ó dejar un mínimo ancho de pulso establecido por defecto, dejándolo al aire. Así mismo, cabe reseñar como un detalle de importancia el desfase de 180° entre las salidas Q1 y Q2 y por relación, manifiesto también en sus imágenes negadas, /Q1 y /Q2. La expresión de los valores que toman

tanto QU como QZ quedan reflejados de forma más clara presentando su evolución de forma gráfica en el siguiente diagrama temporal de la figura 2, al que además, se unen las señales más significativas que ayudan a aclarar aún más los aspectos de sincronización del dispositivo TCA 785.

Modelado del C.I. TCA 785

El siguiente paso en el modelado estructural es proponer un circuito que recoja toda la funcionalidad del C.I. real y que sea de constitución simple (con el menor número posible de elementos y nudos); para tal fin se hará uso del circuito presentado en la figura 3.

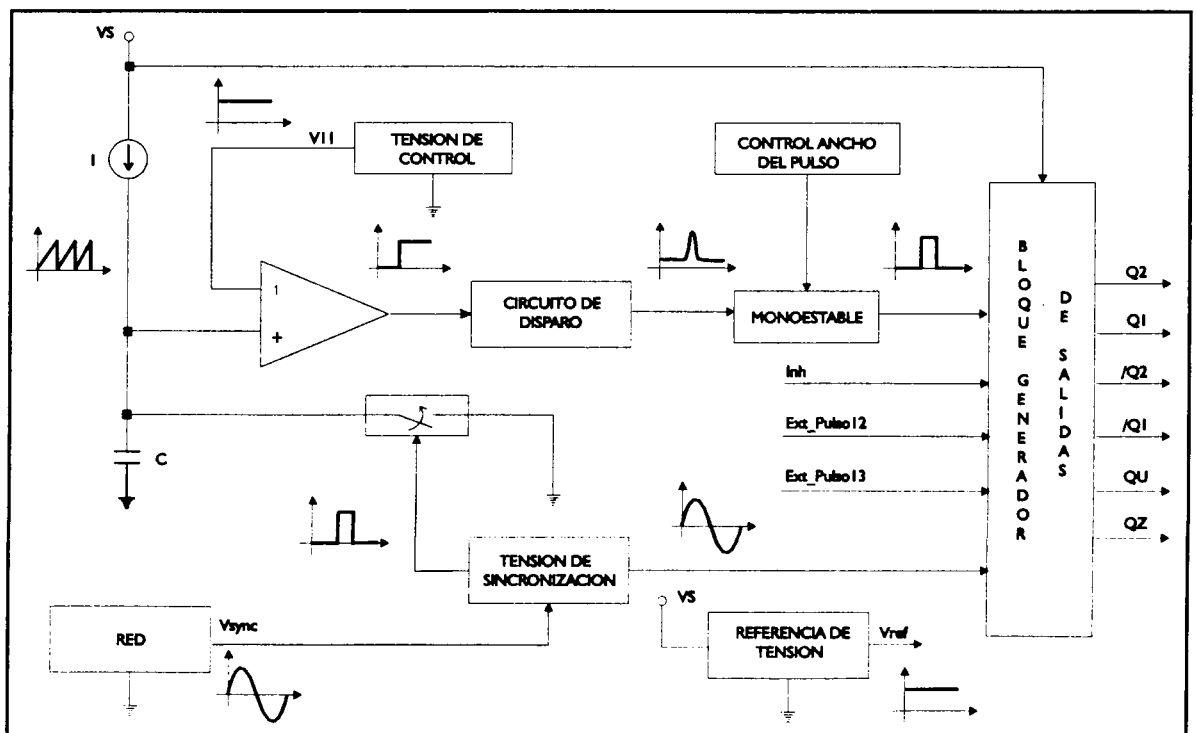
Teniendo en cuenta el objetivo a conseguir, se define la función de cada bloque formando circuitos independientes. De esta forma se logra reducir la complejidad del circuito a un número de circuitos más o menos

elementales. La exactitud de cada uno de estos circuitos y su ajuste mediante, como no, simulación, definirán la calidad del resultado final. Por otra parte y según la definición del fabricante, el ángulo de disparo j es función de tres posibles variables, C_{10} , R_9 y V_{11} (véase la ecuación 1) La posibilidad de controlar el ángulo por medio de las tres variables a la vez existe, sin embargo es obvio pensar que interesa realizar el control de j por medio de la variación de una de ellas, dejando las otras fijas. A la variable que ejerza el control se le exige:

1. La menor sensibilidad sobre j para permitir una mayor exactitud sobre el control del ángulo de disparo final y enmascarar posibles errores introducidos por las variables.
2. La mayor independencia frente a cambios de otras magnitudes.

Para un incremento unitario de las variables, el incremento mayor de φ corresponde a una variación en C_{10} .

Figura 3. Diagrama de bloques para el modelado del C.I. TCA785



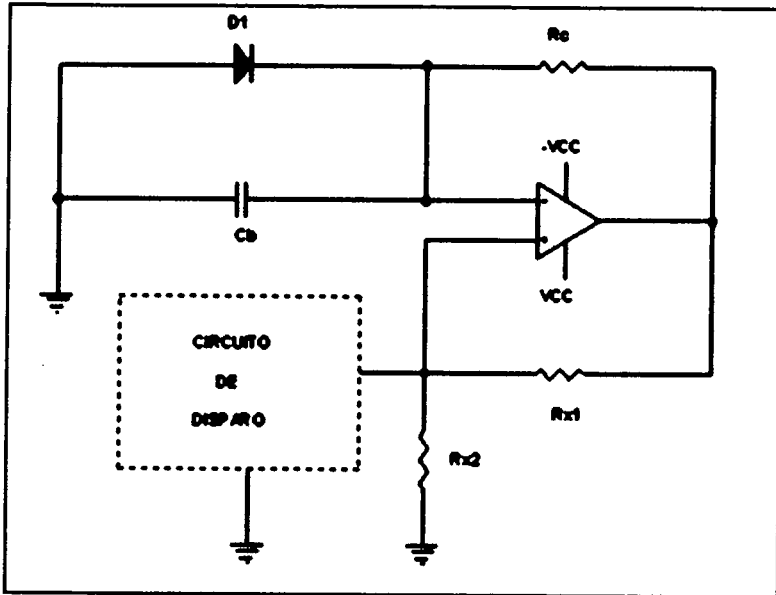


Figura 4. Circuito Monostable

Circuito de disparo

El circuito de disparo utilizado como base para su implementación en Pspice es el mostrado en la figura 5. Al circuito se le ha unido el equivalente Thévenin del monoestable visto desde los puntos A y B hacia la derecha. El parámetro destacado en el circuito de disparo corresponde al mínimo valor de tensión de disparo (V_{disp}) que produce un cambio en la salida del monoestable. Tras el análisis del circuito, se obtiene que $V_{disp} > V_A + V_d$. La condición debe cumplirse al menos el tiempo necesario para que el cambio de estado en la salida asegure que V^+ es mayor que V^- ; esto dependerá directamente de C_{disp} , R_{x3} y la velocidad de operación. Por otra parte la pendiente de V_{disp} debe ser constante y grande para asegurar un pico de corriente capaz de poner en directo a D_s .

Según esto y lo enunciado en (1) la variable C_{10} se descarta por ofrecer la mayor sensibilidad; por otro lado R_9 introduce errores en el ángulo de disparo debido a su dependencia de factores como la temperatura, tolerancia, etc y aunque presenta la menor sensibilidad, su dependencia de terceras magnitudes incumple lo enunciado en (2) provocando su descarte para ejercer el control. Finalmente, desde este punto de vista, y apoyándose en el hecho de la gran estabilidad que se puede conseguir en una tensión o corriente de control (depende del circuito que la provoque) unido a su mediana sensibilidad se confirma V_{11} como la variable idónea. El futuro subcircuito se construirá en base a obtener un control del ángulo por medio de la tensión V_{11} , es decir, el subcircuito no admitirá cambios en R_9 y C_{10} durante el tiempo de simulación de cualquier circuito en el que esté incluido.

monoestable como son el tiempo metaestable, T_{MET} , el tiempo de recuperación, T_{REC} , y la frecuencia de trabajo máxima, f_{MAX} , se exponen en la ecuación 2.

Circuito de disparo y monoestable para el subcircuito TCA785

Los circuitos de disparo y monoest-

$$T_{MET} = 0,69 \cdot R_C \cdot C_b \quad T_{REC} = R_C \cdot C_b \cdot \ln \left(1 + \frac{R_{x1}}{R_{x1} + R_{x2}} \right) \quad f_{max} = \frac{1}{T_{REC} + T_{MET}}$$

Ecuación 2. Valor del tiempo metaestable, del tiempo de recuperación y de la frecuencia máxima

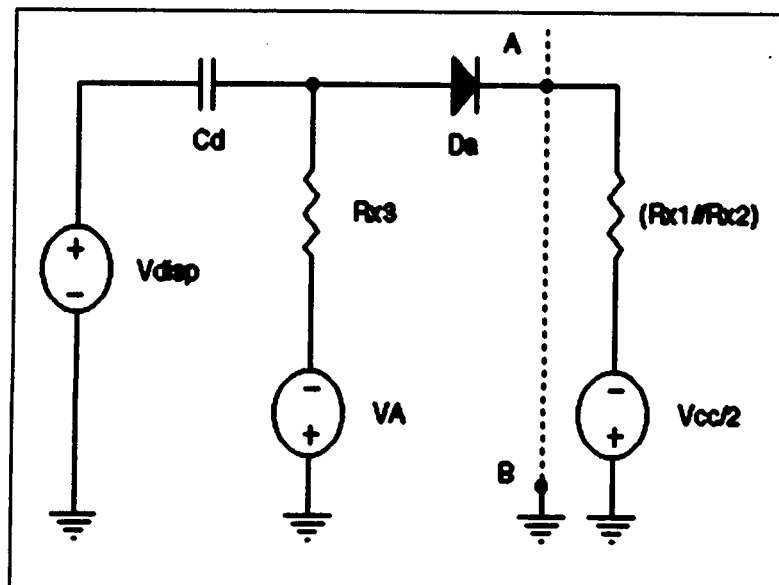


Figura 5. Circuito de disparo

Circuito monoestable

El circuito monoestable que se va a implementar para Pspice es el presentado en la figura 4. El valor de los parámetros más destacados del

table son caracterizados mediante elementos de PSpice y expuestos en un solo esquema en la figura 6. La sustitución del diodo D_1 por el interruptor S_b evita introducir el tiempo de recuperación, ya que la descarga de C_b es instantánea y controlada, eliminando el error que introduce este tiempo en el ángulo de disparo y dando mayores posibilidades de respuesta frente a la frecuencia.

La vinculación del valor de los elementos del circuito con los aspectos funcionales propios de C.I. TCA785 es el paso siguiente. De esta forma y sabiendo que $T_{MET} = t_p$, se puede calcular el valor de C_b según la expresión presentada en la ecuación 3. R_c toma un valor fijo e igual a 100W; elegida con un valor bajo por la conveniencia de evitar la influencia de R_{OFF} (resistencia que ofrece el interruptor cuando esta abierto) sobre el valor final de T_{MET} . Así, de esta forma la única variable pasaría a ser C_{12} cumpliendo con lo dictado por el fabricante y que asegura una extensión del ancho del pulso con la variación de la capacidad conectada al pin 12 del C.I. El valor de la capacidad C_{12} será introducido como un argumento en el subcircuito y debe darse siempre expresado en picofaradios.

El valor de V_A debe ser calculado de forma que el diodo D_a quede en el límite entre la conducción y el corte cuando en el nudo 55 este presente el estado estable. Sabiendo

que R_{x1} es igual R_{x2} para cumplir la expresión de T_{MET} y que el estado estable gira entorno a -1v, se deduce que el valor de V_A debe aproximarse a 0,5v.

El generador Ec1 sirve de enlace funcional entre el generador de rampa y el circuito de disparo ajustándose al elemento comparador especificado en el diagrama de bloques de la figura 3. Su misión consiste en ofrecer un pulso en el momento en el que la tensión en el nudo 51 y perteneciente al generador de diente de sierra supera a la tensión de entrada V_{11} . Su valor se define en Pspice mediante su función de transferencia representada en la figura 7, donde se puede observar que también depende de un factor Q. Este factor compensa tanto las variaciones de tensión de pico que puede alcanzar V_{rampa} como las variaciones de tiempo de la misma y que puede provocar, si la velocidad con que E_{c1} alcance su valor máximo es lenta, la extinción del pulso necesario para entrar en el estado metaestable. Su valor depende de C_a y R_g , ambos argumentos de entrada del subcircuito (véase la ecuación 3).

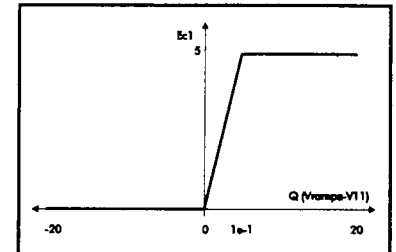


Figura 7. Función de transferencia de E_{c1}

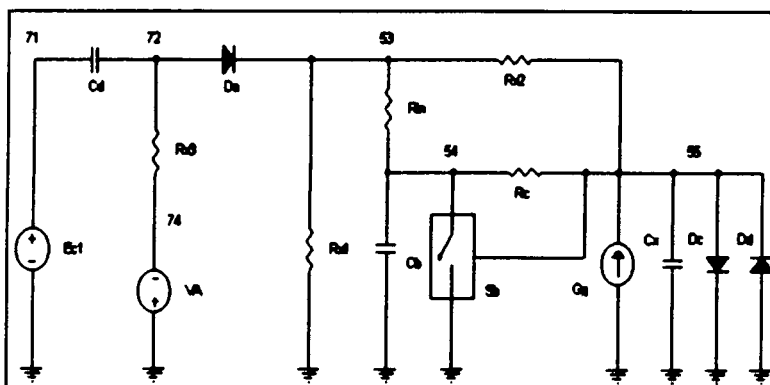
Circuito generador de diente de sierra para el subcircuito TCA785

El circuito mostrado en la figura 8 es el utilizado para generar la señal de diente de sierra identificada en el diagrama de bloques de la figura 3. El valor del generador de corriente, G_1 toma el valor de la expresión presentada en la ecuación 1, y que lo relaciona con la operatividad del C.I. Por otro lado el generador E_c definido mediante su función de transferencia y presentada en la figura 9, consigue descargar C_a cada vez que V_{SYNC} pase por cero. Haciendo que el modelo del interruptor responda con $V_{ON} = 1v$, se define un intervalo de 40ms para el cierre del

Ecuación 3. Expresión del valor del generador E_{c1} y del factor de compensación Q

Figura 6. Circuito monostable de disparo para PSpice

$$C_b(\text{pF}) = \left(\frac{C_{12}(\text{pF})}{2} + 30 \right) \cdot \left(\frac{10^{-6}}{0,69 \cdot R_c} \right) \quad Q = 500 \cdot \frac{32 \cdot R_g \cdot C_a}{V_{REF} \cdot K}$$



mismo, durante este tiempo el condensador debe haberse descargado completamente. Existe también un tiempo de transición entre cierre y apertura de 30ms en el que la resistencia ofrecida por el interruptor sigue una ley de variación exponencial.

Señales de entrada al subcircuito TCA785

El subcircuito no tendrá el mismo número de entradas que el C.I. real. Solo las entradas que ofrecen

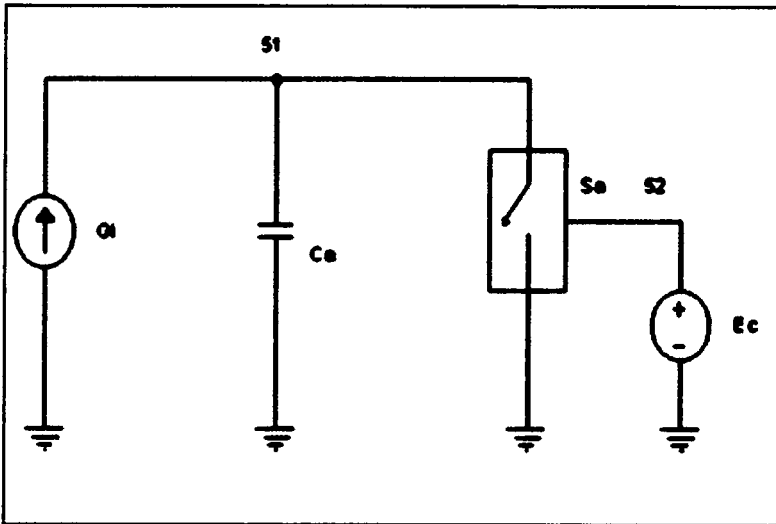


Figura 8. Circuito generador de diente de sierra para Pspice

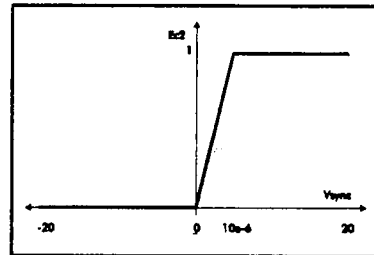


Figura 11. Función de transferencia del generador E_{c2}

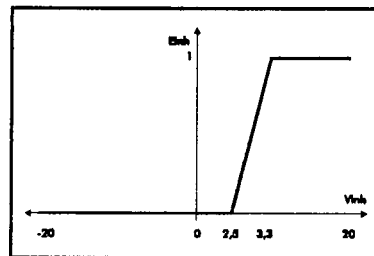


Figura 12. Función de transferencia del generador E_{inh}

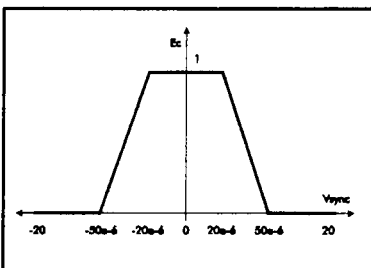


Figura 9. Función de transferencia de E_c3

función de transferencia. EL generador de control E_{c3} (véase la figura 10) informa del nivel existente en la salida del circuito monoestable al bloque generador de salidas por medio de dos niveles, 1v en el momento que D_c está en directo y -1v cuando es D_d el que lo está; también regenera la señal de salida del monoestable enmascarando los defectos y convirtiéndola en una señal cuadrada.

La función del generador de control E_{c2} (véase la figura 11) es dar testimonio del semiciclo de red que está activo. En cada ciclo se pueden diferenciar dos niveles distintos, uno para el positivo y otro para el negativo, cada uno de ellos sincronizará por medio del bloque generador de salidas el pulso correspondiente al semiciclo activo (recordemos que la salidas Q1 y Q2 están desfasadas 180° una de la otra).

Finalmente se define el generador de control E_{inh} (véase la Figura 12) para habilitar o deshabilitar todas las señales de salida. La señal de entrada V_{inh} será la llave para esta operación.

Señales de salida

El simulador PSPICE ofrece la posibilidad de definir generadores por medio de una expresión matemática. Aprovechando esta cualidad se definen seis generadores que conforman el bloque generador de salidas y que se corresponden con las seis salidas reales del C.I. TCA 785. Cada generador ofrece una salida que es función de los generadores de control, señales de entrada, y determinados argumentos, limitando el nivel ofrecido a los rangos permitidos por el fabricante (véase la figura 13).

Subcircuito TCA 785

De todo lo anterior se deduce que el código fuente para la creación

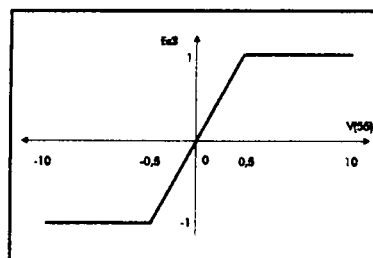


Figura 10. Función de transferencia del generador E_{c1}

formación para la evolución del comportamiento externo son consideradas como tales en el subcircuito. Las entradas V_{inh} , V_{SYNC} , V_{11} y V_5 ofrecen los datos necesarios para una simulación funcional del subcircuito. Cuando se diseñe un circuito en el que se incluya el subcircuito TCA785 los nudos definidos para las entradas tomarán el valor definido en el esquema general (son tratados como argumentos de entrada).

Generadores de control

Su función dentro del subcircuito es ofrecer la información necesaria para poder generar los distintos tipos de señales de salida del C.I. TCA785. Están definidos mediante su

Figura 13. Valor de los generadores de salida

Salida	Función
E_{Q1}	$(V_s - 2.5) \cdot E_{inh} \cdot \left[\left(\frac{2 - ((1 - E_{c2}) \cdot (1 + E_{c3})) \cdot (1 - E_{xt13})}{2} \right) + \left(\frac{(5 - ((1 - E_{c2}) \cdot E_{c1})) \cdot E_{xt13}}{5} \right) \right]$
E_{Q2}	$(V_s - 2.5) \cdot E_{inh} \cdot \left[\left(\frac{2 - (E_{c2} \cdot (1 + E_{c3})) \cdot (1 - E_{xt13})}{2} \right) + \left(\frac{(5 - (E_{c2} \cdot E_{c1})) \cdot E_{xt13}}{5} \right) \right]$
E_{Q1}	$(1 - E_{c2}) \cdot (V_s - 2.5) \cdot E_{inh} \cdot \left[\left(\frac{E_{c3} + 1}{2} \right) \cdot (1 - E_{xt12}) + \left(\frac{E_{c1}}{5} \cdot E_{xt12} \right) \right]$
E_{Q2}	$E_{c2} \cdot (V_s - 2.5) \cdot E_{inh} \cdot \left[\left(\frac{E_{c3} + 1}{2} \right) \cdot (1 - E_{xt12}) + \left(\frac{E_{c1}}{5} \cdot E_{xt12} \right) \right]$
E_{QU}	$(V_s - 2.5) \cdot E_{inh} \cdot \left[1 - \left(\frac{1 + E_{c3}}{2} \right) \right]$
E_{QZ}	$(V_s - 2.5) \cdot E_{inh} \cdot \left[\left(\frac{(1 - E_{c2}) \cdot (5 - E_{c1})}{5} \right) + \left(\frac{E_{c2} \cdot E_{c1}}{5} \right) \right]$

in del subcircuito es el indicado en el cuadro 1.

Aplicación del TCA 785: Simulación de un rectificador trifásico semicontrolado mediante el uso del C.I. TCA785.

Se pretende simular un "arranque lento" [3] del rectificador trifásico semicontrolado [2] mostrado en la figura 17. Para tal fin se usa un generador de control (V5) que produce una variación lineal de tensión con el tiempo. En los instantes iniciales su valor es máximo e igual a 8.5v, al transcurrir 200ms su valor será de 1v. El resultado puede observarse en la figura 14; la forma de onda esta tomada en extremos de la carga; el

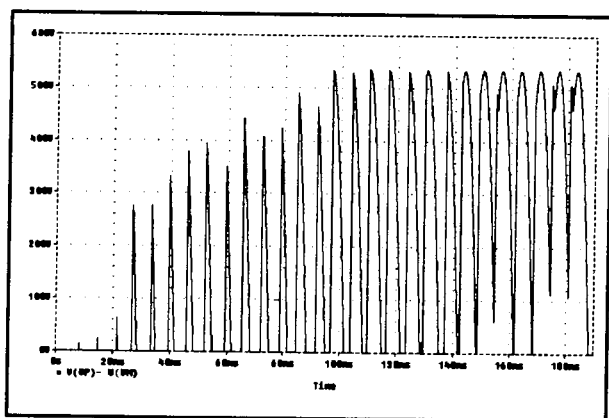


Figura 14. Evolución de la tensión en la carga durante el arranque del sistema

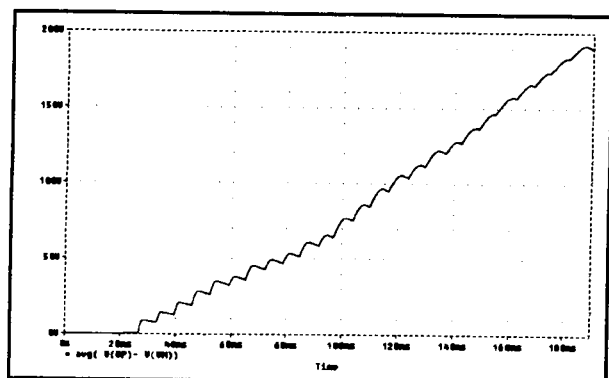


Figura 15. Evolución de la tensión media en la carga durante el arranque del sistema

Figura 16. Señal de sincronización, de rampa, pulsos de disparo y control

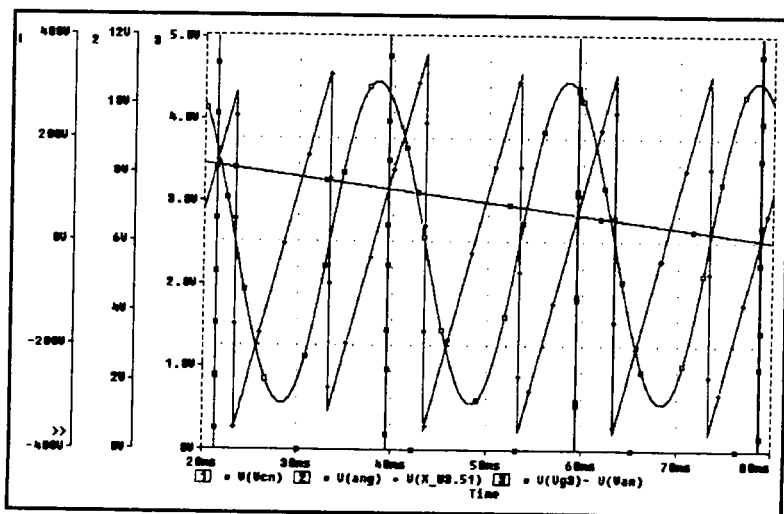


Figura 15. Evolución de la tensión media en la carga durante el arranque del sistema

Cuadro 1

```

SUBCKT TCA785 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 100
+PARAMS: Cb=2000, Ca=500pF, Ri=200K, Ext 12=0, Ext 13=0
Ca 51 100 (Ca) IC=0
Cb 54 100 { ((Cb/2)+30)*1E-6}/69) IC=0
Cd 71 72 150nF
Cx 55 100 300nF IC=1
Rc 54 55 100
Rx1 53 100 200
Rx2 53 55 200
Rx3 72 74 100
Rin 53 54 1MEG
Rf1 65 100 1K
Rf2 66 100 1K
Rf3 67 100 1K
Rf4 68 100 1K
Da 72 53 IDEAL
Dc 55 100 IDEAL
Dd 100 55 IDEAL
Sa 51 100 52 100 SWITCH1
Sb 54 100 55 100 SWITCH2
VA 74 100 SIN(-0.5 0 0 0 0 0)
Gi 100 51 VALUE={ (3.41/Ri) }
Ec 52 100 TABLE {V(66)}=(-20,1) (-50E-6,1) (-20E-6,0) (20E-6,0) (50E-6,1) (20,1)
Ec2 69 100 TABLE {V(66)}=(-20,0) (0,0) (10E-6,1) (20,1)
Ec1 71 100 TABLE { (V(51)-V(67))*500*((2*Ri*Ca*15)/3.41)}=(-20,0) (0,0)
+(1E-1,5) (20,5)
Einh 70 100 TABLE {V(65)}=(-20,0) (2.5,0) (3.3,1) (20,1)
Ec3 75 0 TABLE {V(55)}=(-10,-1) (-0.5,-1) (0.5,1) (10,1)
Gσ 100 55 53 54 200
Eq15 59 100 VALUE=(V(69)* (V(68)-2.5)*V(70)* (((V(75)+1)/2)*
+(1-Ext12))+((V(71)/5)*Ext12))
Eq14 60 100 VALUE=( (1-V(69))* (V(68)-2.5)*V(70)* (((V(75)+1)*
+(1-Ext12)/2))+((V(71)/5)*Ext12))
Eq2 61 100 VALUE=( (V(68)-2.5)*V(70)* (((1-((V(69)/2)*(V(75)+1)))* (1-Ext13))+
+((1-(V(69)*(V(71)/5)))*Ext13))
Eq4 62 100 VALUE=( (V(68)-2.5)*V(70)* (((1-(((1-V(69))/2)*(V(75)+1)))*
+(1-Ext13))+((1-((1-(69))* (V(71)/5)))*Ext13))
Equ 64 100 VALUE=( (1-((V(75)+1)/2))* (V(68)-2.5)*V(70) )
Eqz 63 100 VALUE=( (V(68)-2.5)*V(70)* (((1-V(69))*
+(1-(V(71)/5)))+(V(69)*V(71)/5))
.MODEL SWITCH1 VSWITCH (RON=1E-2 ROFF=1E10
+VON=0 VOFF=1)
.MODEL SWITCH2 VSWITCH (RON=1E-3 ROFF=1E5
+VON=-1 VOFF=1)
.MODEL IDEAL D
.ENDS

```

ángulo de disparo va disminuyendo con el tiempo lo que provoca que la tensión media evolucione hacia un valor máximo de forma lineal (véase la figura 15).

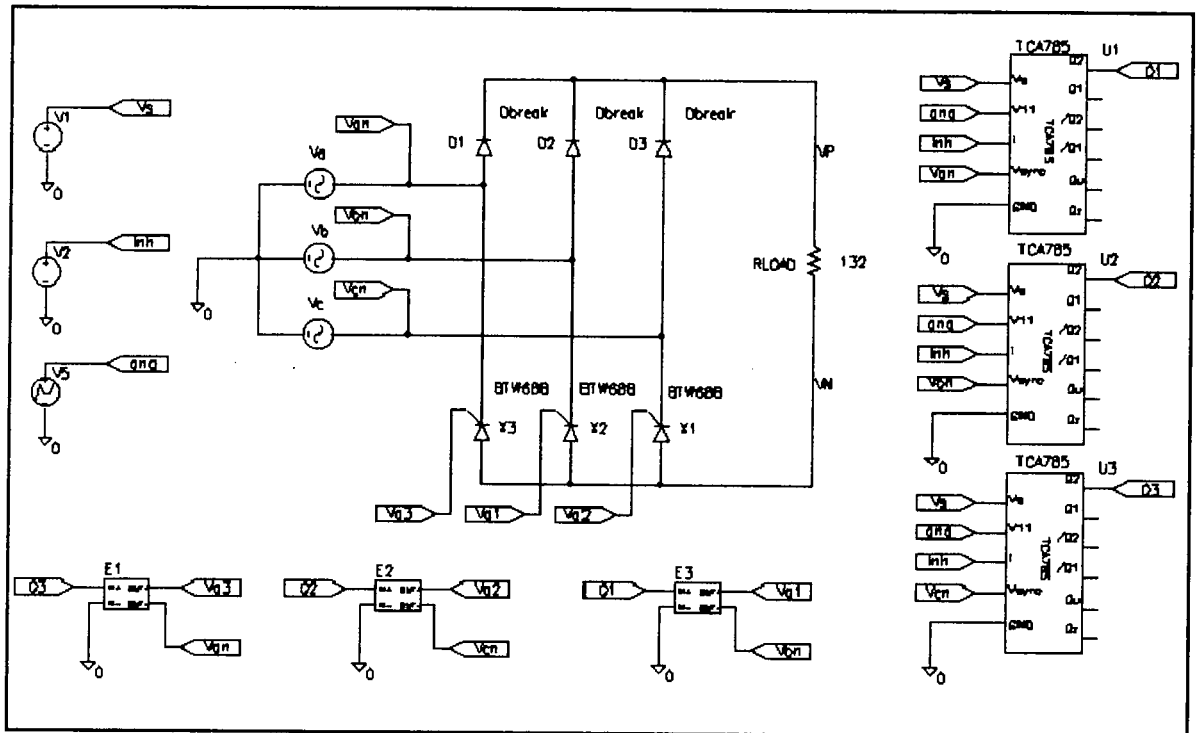
Para comprender de una forma más clara el funcionamiento del sistema, la figura 16 presenta cuatro señales que definen el comporta-

miento del circuito integrado U3 (compruébese sobre el esquema); las cuatro señales son: la señal de sincronización que se corresponde con la tensión de fase V_{cn} , la tensión de rampa que genera internamente el integrado cada semiciclo de la señal de sincronización; la tensión de control $V(\text{ang})$ y los pulsos de disparo

generados por el integrado $(V(g3)-V_{an})$.

Los pulsos de disparo solo tienen aparición en los instantes en los que la tensión de rampa coincide con la tensión de control para los semiciclos positivos de la señal de sincronización. Al disminuir progresivamente el nivel de la tensión de control, el án-

Figura 17. Circuito Pspice para la simulación transitoria de un rectificador trifásico semicontrolado con generación de señales de control mediante el C.L. TCA785



gulo de disparo por semiciclo de la señal de sincronización también lo hace. Para poder simular el circuito con ciertas garantías de éxito en la versión menos potente de Pspice (versión de evaluación) es necesario disminuir la precisión relativa de la simulación (RELTOL=0.1); esto provoca algunas imprecisiones en los cálculos del simulador como puede observarse en la evolución no unifor-

me de la señal de rampa pero que no afecta de manera decisiva en la funcionalidad del circuito. □

Referencias

[1] Pspice, simulación y análisis de circuitos analógicos asistida por ordenador; E. García Breijjo, J. Ibáñez Civera, L. Gil Sánchez. Ed. Paraninfo 1995.

[2] Power Electronic Control of AC motors; Murphy, Turnball. Ed. Pergamon Press, 1995
 [3] Power Electronics; Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robins. Ed. Wiley, 1995
 [4] Rectificador trifásico semicontrolado; Raúl Piñero. Trabajo Final Carrera. Escuela Politécnica. Univ Alcalá, 1997

ELECTRÓNICA VILOGA S.A.
Componentes Electrónicos

Teléfonos: (91) 501 14 79
 551 83 81
 Fax: (91) 501 14 79
 C/ Bustos.9 - 28038 Madrid

Ref. N.º 58045

ELECTRONICA OHMIO
 Luis Avellán Ronda

Ab El Hamet, 4 y 6
 (esquina C/ Portugal)
 Tel (965) 22 90 65
 03003 ALICANTE

Ref. N.º 58046