

CIRCUITO DE EXCITACION DE MOTORES PASO A PASO DE ALTO RENDIMIENTO

Ings. María Ines Vaila, José Luis Herrada

Laboratorio de Electrónica Industrial Control e Instrumentación, (LEICI)  
Universidad Nacional de La Plata. ARGENTINA.

**RESUMEN**

En el presente trabajo se propone un circuito de accionamiento de motores paso a paso, con cuatro bobinas distribuidas de a pares, y con seis bornes accesibles. Este circuito presenta la ventaja de un rápido establecimiento de la corriente en las bobinas, tanto en el flanco de subida como de bajada con un máximo rendimiento, lo que permite aumentar la velocidad en este tipo de motores.

**INTRODUCCION**

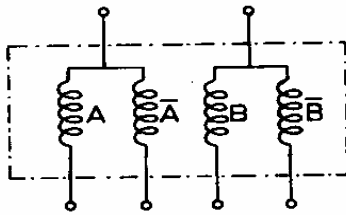
Los motores paso a paso son dispositivos electromagnéticos destinados a transformar una señal eléctrica en movimiento mecánico, la excitación necesaria consiste en un tren de impulsos de amplitud fija, que lo hace idoneo para ser usado dentro de sistemas digitales. Otra ventaja es que es un posicionador por excelencia, ya que cada pulso lo adelanta o atraza una posición fija respecto de la actual, y lo mantiene en ella hasta que llega otro pulso. La resolución obtenida con estos motores aumenta con el número de polos y varía entre 72 y 90 grados, referencia [1].

El motor paso a paso basa su funcionamiento en la existencia de un campo magnético, generado por la circulación de una corriente en el circuito eléctrico, cuya amplitud es constante y su dirección variable. Para que exista movimiento, se tiene

que cambiar la orientación del campo. Para controlar la orientación del campo, el motor está asociado a una etapa excitadora, que deja o no pasar la corriente por las diferentes bobinas del mismo. Esta corriente, al circular por las bobinas generan un campo magnético que provoca la alineación de las piezas polares, cada pulso de corriente genera un cambio de dirección en el campo, y por consiguiente un giro del motor.

La figura 1a muestra el conjunto de bobinas de excitación de un motor paso a paso. Existen diferentes tipos de bobinados pero la mayoría de los motores presentan cuatro bobinas distribuidas de a pares, y con solo seis bornes accesibles, motivo por el cual se desea analizar la excitación de este tipo de motor. La figura 1b muestra la secuencia de excitación para que gire en uno u otro sentido.

Una buena excitación debe permitir un rápido establecimiento de la nueva posición del campo, o sea un rápido establecimiento y una rápida extinción de la corriente en las bobinas que correspondan. Existen una gran variedad de circuitos de excitación, todos ellos tratan de mejorar la constante de tiempo. La forma trivial de hacerlo, es aumentar la resistencia del circuito eléctrico, conjuntamente con la tensión de alimentación, de tal forma de mantener la corriente nominal, esto trae aparejado una considerable pérdida de potencia, debido a que la corriente circula por la resistencia, y si se quiere que las constantes de tiempo mejoren apreciablemente, debe ser grande. Otro circuito de excitación, que permite mejorar las constantes de tiempo sin una excesiva pérdida de potencia es el descrito en la referencia [2], este tiene el inconveniente de no poder ser usado con motores que contengan las bobinas distribuidas de a pares, necesitando los ocho bornes accesibles. En la referencia [3] se presenta un circuito de excitación para este tipo de motor, en él, el rápido establecimiento de la corriente se logra alimentando al motor con una tensión superior a la nominal, y con un circuito que sensa la corriente se controla esta dentro de ciertos límites, conectando y desconectando la bobina de la fuente. Al ser un circuito altamente inductivo, la interrupción de la corriente genera un salto de tensión, el cual está limitado por un diodo zener, que cumple con el objetivo de provocar una rápida extinción de la corriente. La desventaja en este circuito es la excesiva disipación que se produce sobre el zener. En este trabajo se propone un circuito que se basa también en el uso de una fuente conmutada, pero aumenta el rendimiento utilizando en lugar de un zener, un circuito que se comporta como tal cuando se desea una rápida extinción de la corriente, (desconexión de la bobina) y como un diodo rueda libre cuando está actuando el control de corriente. De esta forma el número de conmutaciones disminuye, así como también la potencia disipada en cada una de ellas.



(a)

SENTIDO POSITIVO	SENTIDO NEGATIVO
AB	AB
$\bar{A}B$	$A\bar{B}$
$A\bar{B}$	$\bar{A}\bar{B}$
$A\bar{B}$	$\bar{A}\bar{B}$

(b)

fig. 1 a) bobinados de un motor de dos fases.  
b) secuencias de giro.

### CIRCUITO PROPUESTO

El circuito que se propone para excitar a un motor paso a paso, se divide en dos partes, una de control que forma la secuencia y le da el sentido y la velocidad de giro, fig. 2, y la otra de potencia que maneja la corriente, fig. 3.

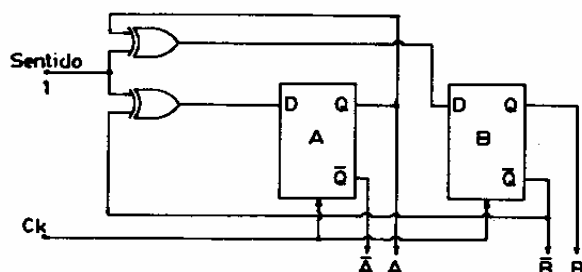


fig. 2 circuito de control, encargado de generar la secuencia.

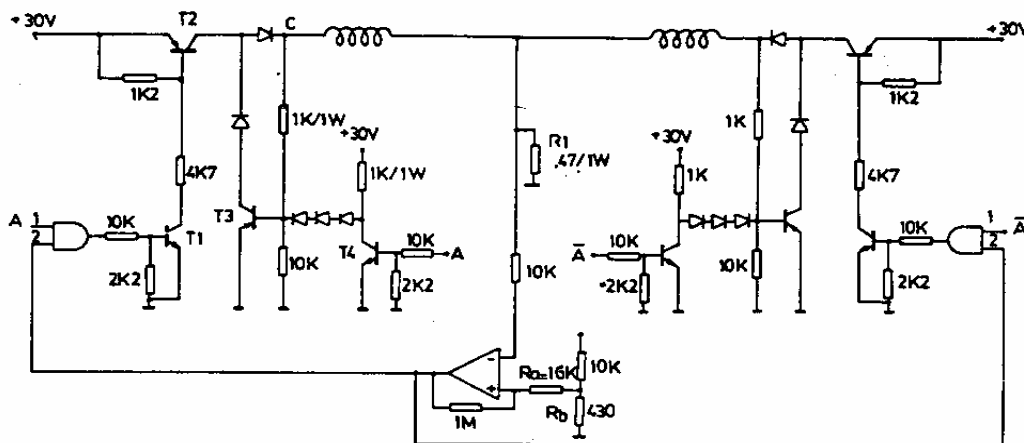


fig. 3 Circuito de potencia, encargado de manejar y controlar la corriente.

La etapa secuenciadora está implementada con dos "flip-flop" y compuertas OR exclusivas, el clock le da la velocidad y el nivel de la pata 1 el sentido de giro.

La etapa de potencia debido a la simetría del motor está compuesta por dos partes iguales correspondientes a los dos pares de bobinas, (A y B), estas a su vez divididas en dos mitades correspondientes a las bobinas en contrafase (A y  $\bar{A}$ ), (B y  $\bar{B}$ ), en la figura 3 se representa solo un par de ellas, el A, siendo el B idéntico. En este circuito el transistor T2 actúa como llave permitiendo o no el paso de la corriente a la bobina, según sea el estado de ésta en el circuito, el sensado de la misma se lleva a cabo por medio de la resistencia R1 y el amplificador operacional, que actúa como comparador con histéresis.

Cuando se desea establecer corriente sobre la bobina A, se debe cerrar el transistor de paso T2, éste está comandado por el transistor T1 y la compuerta AND, esta compuerta presenta un estado de habilitación a T2, cuando su salida tiene un nivel alto, lo cual se produce sólo cuando las dos entradas están en nivel alto. El nivel

alto de la pata 1 indica que se quiere excitar la bobina, y el nivel alto de la pata 2 condiciona esta excitación a que esa bobina presente una corriente menor a la establecida como límite superior. Cuando se habilita la bobina, como la fuente es mucho mayor que la nominal, la corriente aumenta rápidamente, con lo cual se soluciona el problema del rápido establecimiento de ésta. El inconveniente es que con este valor de tensión, la corriente también sería muy superior a la nominal, por lo cual se debe controlar, para ello está la resistencia R1 y el amplificador operacional que sensan la corriente y actúan a través de la compuerta AND, sobre el transistor T2, cortándolo o saturándolo según corresponda de tal forma de mantener la corriente dentro del límite establecido. Las resistencias Ra y Rb ajustan el ciclo de histéresis y la corriente media respectivamente. El operacional y la resistencia R1 son comunes a las fases A y  $\bar{A}$ , esto es posible ya que cuando una conduce el otro no, o sea cuando la pata 1 de la compuerta AND de una fase está en alto, la pata 1 de la otra compuerta está baja, actuando sólo

sobre la que está excitada.

Al ser un circuito inductivo se debe poner un diodo de rueda libre para evitar la sobretensión al cortarse la corriente. La introducción de un diodo de rueda libre provoca una lenta caída de la corriente de acuerdo a las constantes de tiempo puestas en juego, lo cual se opone al objetivo de velocidad. Para extinguir la corriente rápidamente se debe provocar un salto de tensión, cuanto mayor sea éste, mayor será la rapidez de extinción, ( $V=L \cdot di/dt$ ). La solución sería colocar un diodo zener en serie con el diodo de rueda libre, como lo recomienda el circuito propuesto en la referencia [3], éste tiene el inconveniente de actuar cada vez que se interrumpe la corriente, disipando la energía almacenada en la bobina sobre el zener, independientemente si esta interrupción de corriente es debida a un cambio de posición del motor, (cambio de excitación en las bobinas), o a que actuó el circuito de sensado de corriente, en cuyo caso no se quiere una interrupción abrupta de la misma, pudiendo evitarse la mayor disipación de potencia. Para ello se ha implementado un circuito

compuesto por T3-D1 y T4, que dependiendo de la señal de control A se comporta como diodo rueda libre presentando una tensión nula cuando actúa el control de corriente, y una tensión inversa cuando se desea una rápida extinción de la corriente. Se toma una tensión inversa igual a la de entrada, (30Volts), permisible para el motor, y con la cual se obtiene las mismas velocidades en ambos flancos, el de subida y el de bajada.

Cuando la fase A está en alto, (lo que implica que se desea que exista una circulación de corriente en esta fase), T4 está saturado y al interrumpirse la corriente, obviamente por haber actuado el sensado de corriente sobre el transistor T2, el punto C disminuye su tensión debido a la inductancia, cuando intenta bajar por debajo de los -2V el transistor T3 se satura, dando un camino a la corriente de la bobina. Cuando se desea interrumpir la corriente sobre esta bobina, la señal A proveniente del secuenciador baja, con lo cual también lo hace la pata 1 de la compuerta AND y el transistor T2 se corta, como la señal A también excita a T4 éste también está cortado y para que conduzca T3 debe alcanzarse una tensión en el punto C de -30V.

#### RESULTADOS EXPERIMENTALES

El circuito presentado fue probado en el accionamiento de un motor paso a paso cuyos valores nominales son  $V=5\text{Volts}$ ,  $I=1.4\text{Amp}$ , y grados por paso=2.

La corriente en el circuito así propuesto puede verse en la figura 4, en ella se observa que los flancos son abruptos, y la corriente se mantiene entre dos valores bien definidos, correspondientes a 1.2A y 1.8A, los cuales se ajustan con las resistencias  $R_a$  y  $R_b$ , también se observa que la constante de tiempo en los flancos de bajada cuando oscila entre estos valores, es menor que cuando se desexcita la bobina, disminuyendo esto el número de conmutaciones por pulso de excitación, este cambio en a constante de tiempo lo produce el circuito de excitación como ya se mencionó en el trabajo, haciendo actuar al zener con una tensión de 2V o 30V como se puede observar en la figura 5 la cual muestra la tensión en el punto C de la figura 3 que corresponde a la tensión sobre la bobina, y sobre el zener.

#### CONCLUSION

Se ha presentado aquí un circuito de accionamiento para motores paso a paso de alto rendimiento. Una fuente de tensión mayor que la nominal en combinación con un circuito de control de corriente permitió obtener un rápido establecimiento de la corriente nominal. En tanto la rápida extinción de la misma se consiguió con un zener programable que aplica una tensión inversa a la bobina solo en el instante de apagado. En cambio cuando acciona el control de corriente esta tensión es nula, disminuyéndose las pérdidas del circuito de potencia elevando así su rendimiento.

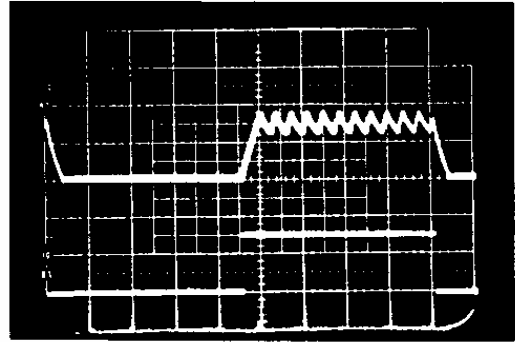


fig. 4  
trazo superior, corriente en la bobina A.  
(1A/div-1ms/div)  
trazo inferior, señal de habilitación, A.  
(10V/div-1ms/div)

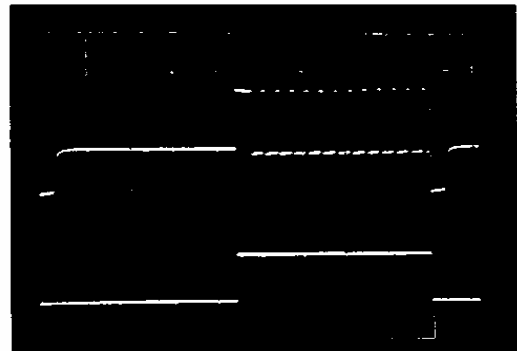


fig. 5  
trazo superior, tensión sobre la bobina A  
(20V/div-1ms/div)  
trazo inferior, señal de habilitación, A  
(10V/div-1ms/div)

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la valiosa colaboración prestada por el Director del laboratorio Ing. Carlos F. Christian-sen, como así también al Sr. Sergio Rodríguez.

#### REFERENCIAS

- [1] Anguio Usategui J.M. Aviles Gonzalez R "Curso de Robótica" Paraninfo Madrid 1984.
- [2] Jufer M. "moteurs pas a pas, commande et réglage" Mesures-Regulation-Automatisme Septiembre 1977.
- [3] De la Colina, O. Maristany, C. Martínez, - A. "Dispositivo de control de motores paso a paso de alto rendimiento" Revista Tele-gráfica-Electrónica Diciembre 1984. pag. 1771-1772.

MARIA INES VALLA



Se graduó en Ingeniería en Telecomunicaciones en la Universidad Nacional de La Plata en 1980. Desde su graduación trabaja en el Laboratorio de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación (LEICI) en el Dto. de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería UNLP en temas de control de potencia, especialmente convertidores estáticos CC-CA. Actualmente es Jefa de Trabajos Prácticos del Dto. de Electrotecnia, Fac. de Ingeniería e Investigadora Asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (CONICET).

JOSE LUIS HERRADA



Se graduó como Ingeniero Electrónico en la Universidad Nacional de La Plata en 1955. Desde su graduación trabajó en el Laboratorio de Electrónica Industrial Control e Instrumentación. (LEICI) en el Dto. de Electrotecnia, Fac. de Ingeniería UNLP en temas de control de potencia. Actualmente es Ayudante Diplomado en el Dto. de Electrotecnia y Becario de estudios de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. (CICpBA).