

# CIRCUITO PARA LA EXCITACIÓN DE INVERSORES TRIFÁSICOS MEDIANTE MODULACIÓN PWM SINUSOIDAL

Emilio J. Bueno / Miguel Á. Sotelo / Ignacio Bravo / Eduardo Sebastián /  
/ Carlos J. García / Francisco Gómez  
Departamento de Electrónica  
Universidad de Alcalá  
email: emilio@depeca.alcala.es

En el presente artículo se describe un circuito que realiza la generación de señales PWM para excitar máquinas trifásicas de corriente alterna, sistemas de alimentación ininterrumpida y otros dispositivos de potencia que requieren modulación en anchura de pulsos para realizar un control eficiente de potencia.

## Introducción

La mayoría de las cargas trifásicas requieren una alimentación de tensión y frecuencia variables, incluyendo un control eficiente y rápido. Por ejemplo, en la excitación de un motor de inducción trifásico la velocidad del rotor se controla por la frecuencia de alimentación y el flujo de la máquina se controla por la amplitud de la tensión. Los requerimientos de potencia de este tipo de aplicaciones van desde los cientos de vatios hasta varios megawattios. En general, la potencia se toma desde una fuente DC y se convierte en una señal trifásica AC usando un convertidor electrónico de potencia DC-AC, también denominado *inversor* [Mohan, 1995].

Esta conversión de potencia se realiza mediante técnicas de conmutación para reducir las pérdidas de conducción de los dispositivos electrónicos de potencia de los inversores. Los semiconductores de potencia efectúan temporalmente y a alta velocidad conexiones a los dos terminales DC del inversor trifásico y las tres fases de la carga AC (figura 1). El flujo de potencia en cada fase de la carga es controlado por el ciclo de trabajo de las respectivas señales que excitan a cada uno de los dispositivos. Las formas de onda sinusoidal deseadas en las corrientes de la fase de la carga se obtienen variando los ciclos de trabajo sinusoidales con el tiempo, es decir, empleando técnicas de modulación en anchura de pulsos (PWM) [Bueno, 1999].

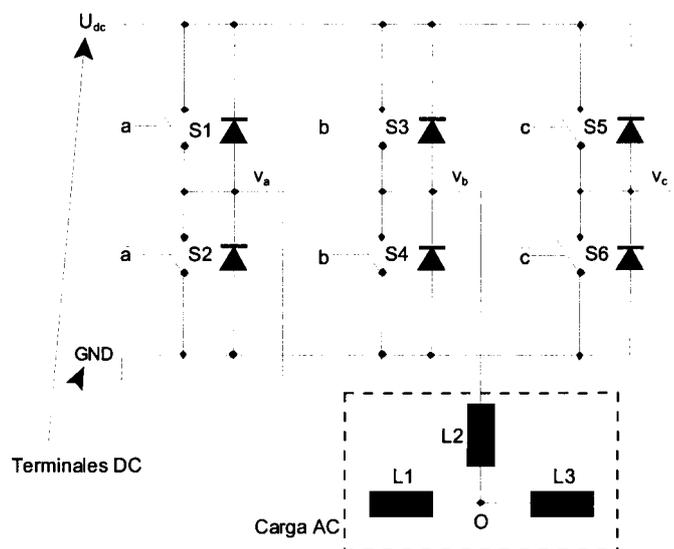


Figura 1. Puente trifásico con carga trifásica.

La operación en modo conmutado del inversor asegura una eficiencia de conversión de potencia alta. Las pérdidas de los conmutadores son cero cuando están en estado de corte y relativamente bajas, cuando están en estado de conducción. Hay pérdidas de conmutación que ocurren en las transiciones entre los dos estados y son proporcionales a la frecuencia de conmutación.

En la generación de señales PWM, cuanto mayor es la frecuencia de conmutación, menores son los efectos no deseados de rizado en el flujo de potencia que se entrega a la carga. Por otro lado, un aumento considerable en la frecuencia de conmutación implica unas elevadas pérdidas de potencia en los dispositivos electrónicos de potencia del inversor, por lo que es necesario llegar a una solución de compromiso. Los valores típicos de frecuencia de conmutación están entre las unidades y decenas de Khz.

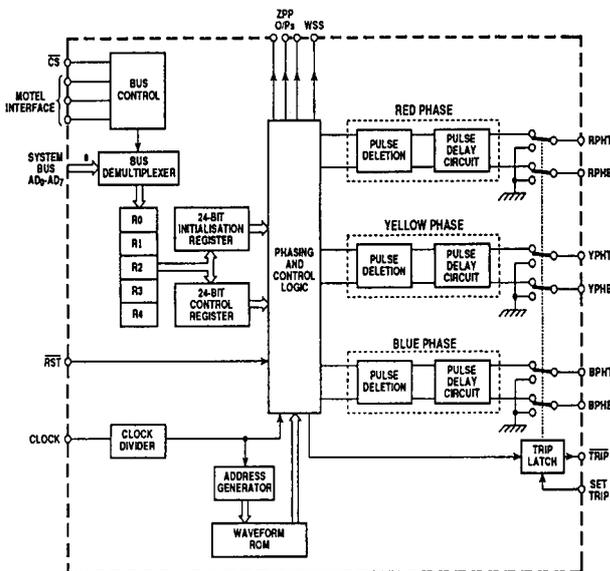
En la actualidad, los convertidores electrónicos de potencia trifásicos controlados por PWM tienen una gran variedad de aplicaciones, como son fuentes de alimentación DC-AC, circuitos excitadores de máquinas de corriente alterna, ...

En función de la técnica de modulación PWM se va a controlar tanto la frecuencia como la magnitud de la señal que entrega el convertidor a la carga. La técnica más usada ha sido la denominada *modulación PWM sinusoidal* [Mohan, 1995], que consiste en comparar una señal triangular de alta frecuencia (*señal portadora*) con señales sinusoidales de baja frecuencia (*señal moduladora*).

En este artículo se presenta un circuito integrado de control, el MA828 de Gec Plessey [Gec Plesey, 1995], que genera las señales PWM (modulación sinusoidal asíncrona) para inversores trifásicos VSI [Mohan, 1995]. Tiene seis salidas TTL de PWM que controlan los seis interruptores de dichos convertidores (*figura 1*).

### Características del MA828

El MA828, cuyo diagrama de bloques se muestra en la *figura 2*, tiene un bus de datos/direcciones multiplexado de 8 bits, lo cual permite que se pueda programar fácilmente desde cualquier microprocesador / microcontrolador ( $\mu P/\mu C$ ). La precisión de las señales PWM generadas permiten



máxima eficiencia en los dispositivos de potencia. El MA828 lee la onda senoidal directamente de una ROM interna, precisando la programación desde el  $\mu P/\mu C$  sólo cuando se pretende modificar los parámetros de operación.

La frecuencia de la onda portadora triangular es seleccionable (hasta 24 Khz, asumiendo que la máxima frecuencia de reloj que se puede utilizar es de 12,5 Mhz). Con un reloj de 12,5 Mhz, son posibles rangos de la frecuencia de la onda senoidal (frecuencia moduladora) de hasta 4 Khz, con una resolución de 12 bits que es suficientemente precisa. La secuencia de fase de las salidas PWM puede ser también cambiada para permitir, por ejemplo, el giro del motor en ambos sentidos.

*Figura 2. Diagrama de bloques interno del MA828.*

Las salidas de pulsos PWM pueden ser eliminadas definiendo una mínima anchura de pulso permisible (el MA828 elimina todos los pulsos que tengan un tiempo más pequeño que el definido

como mínimo permisible), pudiendo además definir un tiempo de retardo sin necesidad de circuitería externa.

La onda almacenada en ROM interna tiene una opción de sobremodulación para poder manejar motores de inducción con frenado rápido. Además se puede realizar el frenado imponiendo una velocidad rotacional de 0 Hz. Este evento se denomina “frenado por inyección DC”, en el cual el motor intenta girar al contrario de su sentido de rotación debido al “flujo” creado por la aplicación de continua.

Existe una entrada (*Trip Input*) que puede hacer cesar los pulsos PWM obviando las señales procedentes del  $\mu P/\mu C$  en el supuesto caso de una emergencia o un fallo.

La salida WSS (*Waveform Sampling Synchronisation*) puede ser utilizada conjuntamente con las señales de ZPP (*Zero Phase Pulse*) para proporcionar realimentación de la velocidad rotacional actual del rotor de un motor. Estas señales son particularmente utilizadas para sistemas de control por compensación del deslizamiento [Bueno, 1999].

### Control del MA828

El MA828 se controla mediante la carga de datos dentro de sus dos registros de 24 bits vía interface con un  $\mu P/\mu C$ . Estos registros son el *registro de inicialización* y el *registro de control*.

El *registro de inicialización* se escribe antes de comenzar a excitar la carga (es decir, antes de activar las salidas PWM). Para modificarlo es necesario que el MA828 esté reseteado y así las salidas PWM deshabilitadas. El *registro de control* se utiliza para controlar las salidas PWM (y, por tanto, la carga) durante la operación parada/marcha, velocidad, directo/inverso, etc... Este registro se debe escribir después de programar el registro de inicialización.

Como el bus de direcciones y datos del MA828 es de 8 bits y los registros son de 24 bits, primero se grabarán las tres primeras secuencias de 8 bits en los registros temporales R0, R1 y R2, antes de ser transferidos a los registros de 24 bits. La transferencia de un dato desde un registro temporal a uno de los dos registros de 24 bits se consigue por una instrucción de escritura en un registro ficticio. Escribiendo en el registro ficticio R3 los datos de R0, R1 y R2 se vuelcan al registro de control, mientras que si se escribe en el registro R4, los datos de R0, R1 y R2 se vuelcan al registro de inicialización.

**Tabla 1. Direccionamiento de los registros del MA828.**

AD2	AD1	AD0	Registro	Comentario
0	0	0	R0	Registro temporal R0
0	0	1	R1	Registro temporal R1
0	1	0	R2	Registro temporal R2
0	1	1	R3	Para transferir al reg. control
1	0	0	R4	Para transferir al reg. inicialización

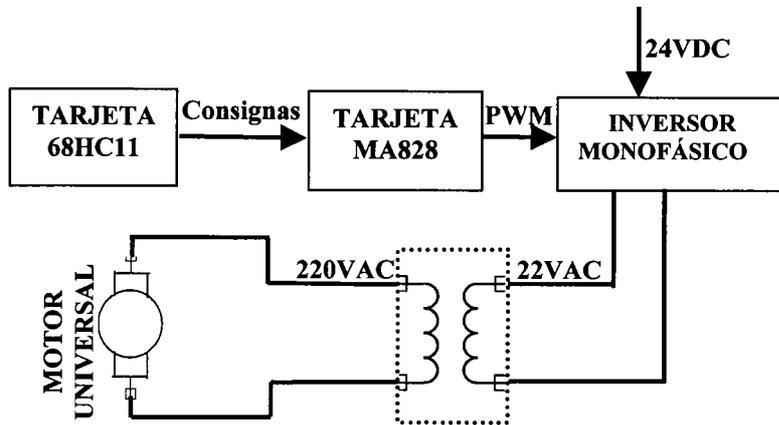
Los parámetros que se pueden programar en el registro de control y en el registro de inicialización son entre otros:

- frecuencia de la señal portadora,
- rangos de la frecuencia moduladora, señal senoidal,
- tiempos muertos,
- amplitud de la senoide, y
- sobremodulación.

A continuación se describen dos aplicaciones basadas en el circuito integrado MA828 de Gec Plesey. En la primera de ellas se controla un motor universal, y en la segunda de ellas se controla un motor de inducción [Gómez, 1997] [García Benito, 1997].

### Excitación de un motor universal mediante inversor monofásico.

Con el sistema desarrollado, que se muestra en la *figura 3*, se pretende excitar un motor universal mediante un inversor monofásico

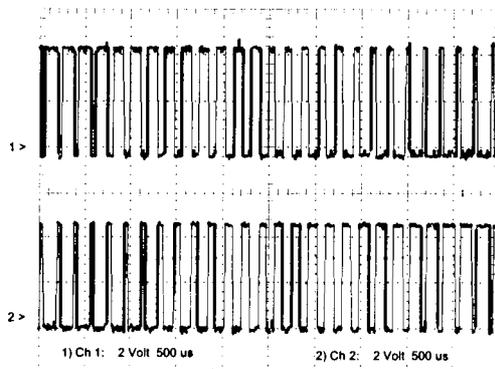


El inversor monofásico se controla con las señales PWM generadas por el circuito integrado MA828. En esta aplicación se ha elegido el microcontrolador MC68HC11E1 de Motorola, sencillo de programar y muy común en una gran variedad de aplicaciones.

La salida del inversor monofásico es una señal alterna que se pasa a través de un transformador para elevarla antes de aplicarla al motor universal.

**Figura 3.** Diagrama de bloques del sistema de excitación de un motor universal mediante un inversor monofásico.

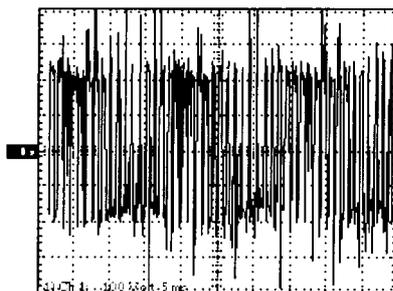
En la *figura 4* se observan las señales procedentes del MA828 para atacar a los transistores del inversor. En la parte superior se muestra la señal RPHT (*Red Phase Top*) obtenida del MA828 y en la parte inferior de la figura la RPHB (*Red Phase Bottom*). La primera ataca a una diagonal del puente en H de la tarjeta inversora, y la segunda a la otra diagonal, realizando así una conmutación bipolar [Mohan, 1995].



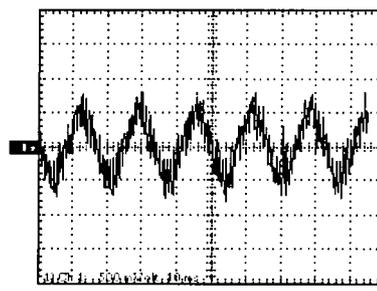
**Figura 4.** Señales PWM.

Una vez generadas las señales PWM, en la *figura 5*, *figura 6* y *figura 7* se muestran los resultados obtenidos bajo las siguientes condiciones de ensayo del MA828:

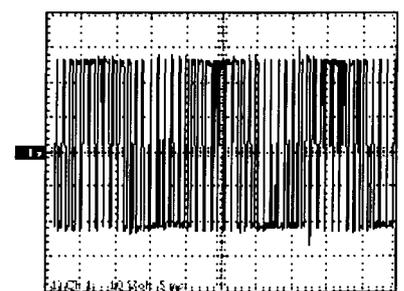
- ◆ Amplitud señal triangular: 150V.
- ◆ Frecuencia de señal senoidal: 50Hz.
- ◆ Sobremodulación: OFF.



**Figura 5.** Tensión en el motor.



**Figura 6.** Corriente por el motor.



**Figura 7.** Tensión en el transformador

## Control de velocidad de un motor de inducción trifásico.

La figura 8 muestra el diagrama de bloques del sistema de excitación de un motor de inducción mediante un inversor VSI que se controla con el circuito integrado MA828, el cuál se programa con el microcontrolador 8051 (figura 9). Las consignas deseadas por el usuario se introducen por un teclado matricial y se visualizan en un LCD.

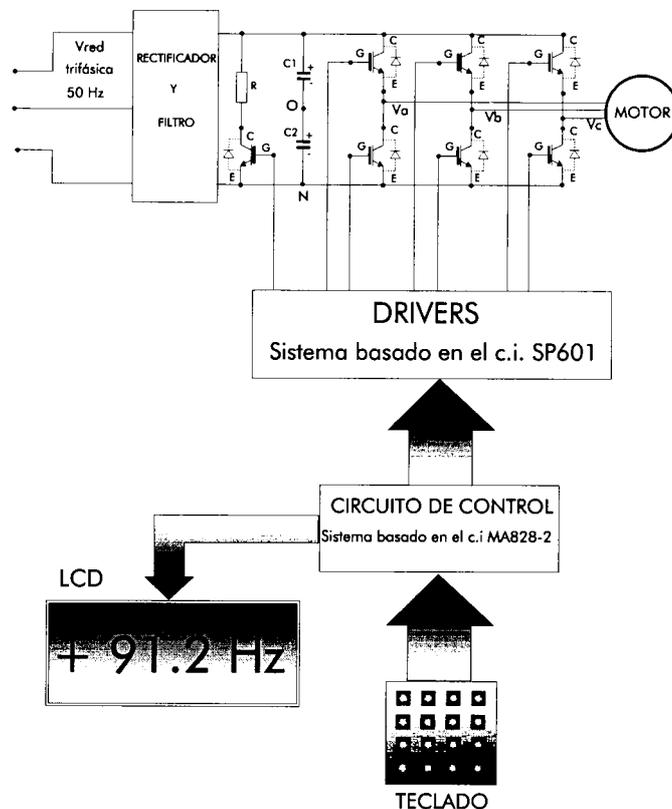


Figura 8. Diagrama de bloques del sistema.

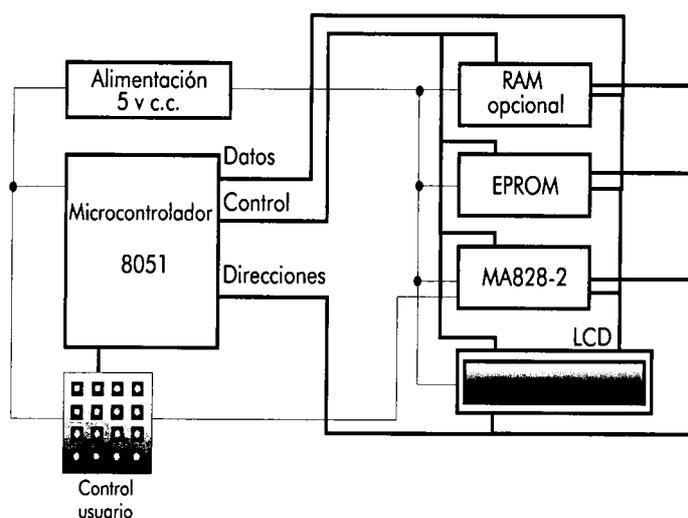


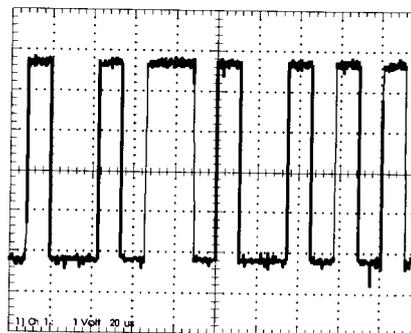
Figura 9. Diagrama de bloques de la placa de control.

El sistema tiene 4 pulsadores con las siguientes funciones:

- S1: Resetea el  $\mu\text{C}$  8051 y por tanto el sistema de forma manual.
- S2: Efectúa petición de interrupción hardware al  $\mu\text{C}$  8051. Cada vez que se pulse se ordena un decremento de la velocidad del motor.
- S3: Efectúa petición de interrupción hardware al  $\mu\text{C}$  8051. Cada vez que se pulse se ordena un aumento de la velocidad del motor.
- S4: Da la opción de resetear manualmente el MA828 y, por tanto, de poner todas las salidas de éste a cero.

Dos muestras de las señales PWM, una en el pin 13 y otra en el pin 20, señales que corresponden respectivamente al PWM RPHB (*Red Phase Bottom*) y RPHT (*Red Phase Top*) y que son totalmente complementarias, se representan en la *figura 4*.

En la *figura 10* se ha representado la onda denominada WSS (*Waveform Sampling Synchronisation*) del pin 21 del MA828. Esta salida proporciona una onda cuadrada, su frecuencia es 1.536 veces más grande que la de la fundamental de la senoide almacenada en ROM. Cada pulso sucesivo de WSS corresponde con una lectura en ROM del MA828. Aunque en esta aplicación se realiza un control en lazo abierto, esta señal se puede utilizar en conjunción con la señal ZPP para realizar un control de velocidad del motor y formar parte de un sistema de control en lazo cerrado por compensación de la velocidad de deslizamiento.



*Figura 10. Señal WSS.*

### Conclusiones

El circuito integrado MA828 de Gec Plessey permite realizar la excitación y control de convertidores DC/AC de forma sencilla mediante modulación PWM sinusoidal. Al sistema de excitación únicamente es necesario añadirle un  $\mu\text{P}/\mu\text{C}$  de bajas prestaciones para configurar los distintos parámetros como la frecuencia de señal portadora, rangos de la señal moduladora, etc... Para demostrar las posibilidades de este circuito integrado en el presente artículo se han mostrado dos posibles aplicaciones.

### Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo con la colaboración desinteresada de la empresa Anatron, S.A.

### Bibliografía

- [Mohan *et al.*, 1995] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins. "Power Electronics. Converters, Applications, and Design". Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. 1995.
- [Hart, 1997] Daniel W. Hart. "Introduction to Power Electronics". Ed. Prentice Hall. 1997.
- [Gec Plessey, 1995] "Smart Power" Products Handbook. Gec Plessey Semiconductors. Noviembre 1995.
- [Bueno, 1999] Emilio José Bueno Peña. "Controladores de motores de inducción". T.F.C. Escuela Politécnica. Universidad de Alcalá. 1999
- [Gómez, 1997] Francisco Gómez Escribano. "Control de velocidad de un motor de inducción trifásico". T.F.C. Escuela Politécnica. Universidad de Alcalá. 1997.
- [García, 1997] Carlos José García Benito. "Simulación de inversor trifásico PWM-VSI para control de velocidad de un motor asíncrono". T.F.C. Escuela Politécnica. Universidad de Alcalá. 1997.