

Inversor de Tensión controlado mediante DSP de aplicación Docente en Electrónica de Potencia y Control

M. Lamich, D. Pérez, A. Arias, V. Sala, C. Jaen, E. Aldabas

Departamento Ingeniería Electrónica UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE CATALUNYA

En el siguiente artículo se presenta un equipo docente destinado al aprendizaje de la electrónica de potencia aplicada al control de motores, evitando los riesgos de un equipo industrial. Como segunda faceta cabe destacar el aleccionamiento en la programación de arquitecturas digitales avanzadas como son los DSP (Digital Signal Processor). Finalmente se fomentan otras actitudes como la sostenibilidad y el reciclaje de los recursos

1. Introducción

En muchos centros docentes se ha optado por utilizar sistemas industriales reales, con el inconveniente de que los alumnos no pueden acceder a visualizar lo que ocurre en las diferentes partes del sistema, dado el peligro existente de una descarga eléctrica. El hecho de utilizar sistemas industriales también implica un gran coste económico, ya que en muchos casos, además del elevado precio de los equipos industriales, es necesario el acondicionamiento de las instalaciones para el consumo de los equipos y la necesidad de instrumentos de medida capaces de adquirir señal a alta tensión. En el presente trabajo presentamos un equipo completo que resuelve los problemas anteriores ya que es capaz de funcionar a baja tensión, utilizando un motor trifásico de inducción modificado para el funcionamiento a baja tensión, cuyo comportamiento es muy similar al de cualquier motor trifásico de inducción. Finalmente, el sistema provee de la potencia suficiente para poder acoplar al motor cargas tales como otros motores que realicen la función de freno.

El equipo, por la forma en que ha sido concebido y desarrollado, además de servir para el aprendizaje de disciplinas electrónicas, fomenta otras actitudes como la sostenibilidad y el reciclaje de los recursos, haciendo especial hincapié en que en la actualidad, estos temas tienen una relevancia igual o mayor que cualquiera de las disciplinas técnicas que les son impartidas.

2. Descripción general

Las diferentes partes que integran el sistema son:

- Módulo de control.
- Puente inversor.
- Fuente de alimentación.
- Motor.

2.1 Módulo de Control.

El control del puente se realiza mediante el “kit” de desarrollo DSK2812 de Texas Instruments [1]. Un perfecto exponente de la tecnología más actual en lo referente al procesado de señal con el que el alumno será instruido en la programación de sistemas digitales avanzados. Las características más reseñables del equipo son:

- CPU 32 bits con zócalo que permite un rápido intercambio
- Frecuencia de Reloj: 150 MHz.
- 3 Timers 32 bits
- Periféricos específicos para el control de motores: 2 “Event Manager”
- ADC de 12 bits y 16 canales.

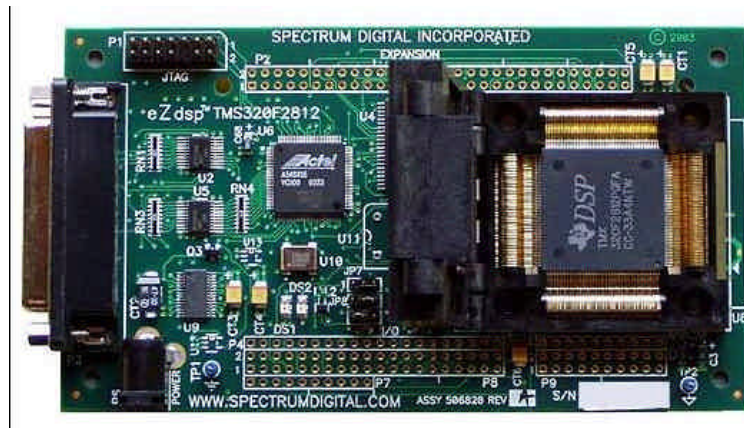


Figura 1. TMS320C2812 de Texas Instruments

2.2 Puente Inversor

El puente inversor se puede describir como un sistema simple pero robusto, ya que proporciona un total aislamiento galvánico entre la parte de control y la de potencia como en cualquier sistema industrial [2]. En el diseño, se ha priorizado la mínima longitud de pistas y se ha implementado de manera que el positivo del bus de continua esté ubicado en una de las caras de la placa y el negativo en la otra, minimizando los efectos de las perturbaciones. También lleva incorporadas algunas de las protecciones que proporciona el “driver” de control. Este es controlable mediante pulsos TTL (provenientes de un DSP, un PC, uC, etc.) e implementa la adaptación de los niveles de tensión de salida del DSP (3.3V) a los 5V necesarios para la etapa de opto acopladores que realiza el aislamiento. La parte de potencia está integrada principalmente por el puente de transistores MOSFET y por el “driver” (IR2132) [3] cuyas características principales son:

- Voffset : 600V max.
- Io: +/- 200/420 mA.
- Vout: 10 – 20V.
- Ton/off : 675/425 ns.
- Dead time typ: 0.8 μ s.

En esta versión el puente está configurado para funcionar a baja tensión, pero gracias a la versatilidad del diseño, permite su utilización a tensión de red con sólo cambiar los transistores (MOSFET o IGBT's) y los componentes de las bombas de carga. También tiene implementado un rectificador que permite conectarlo directamente a la red. En la Figura 2 se aprecia uno de los puentes inversores utilizados para esta aplicación, con el rectificador sin montar y un filtro RC conectado a la salida.

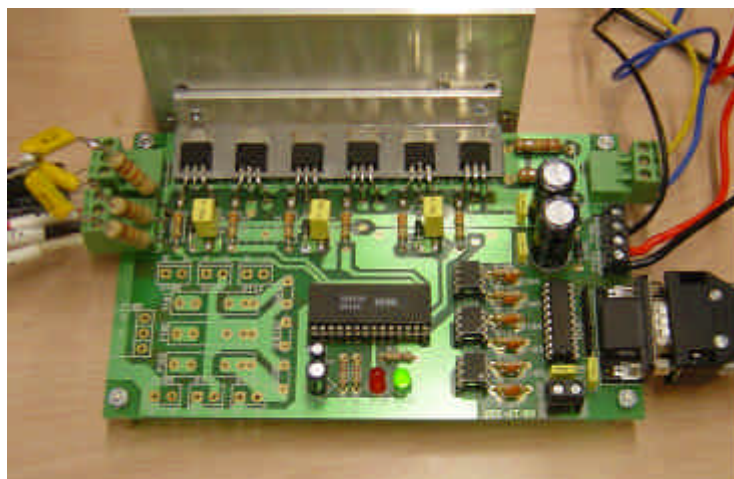


Figura 2. Puente inversor

2.3 Fuente de Alimentación

La fuente de alimentación es donde se pone de manifiesto la vertiente más sostenible del equipo, ya que para suministrar la energía necesaria al bus de continua y a los componentes de la parte de potencia se han utilizado fuentes de PC recicladas y modificadas a tal efecto [4]. Las fuentes utilizadas son del tipo AT (fuentes de ordenadores obsoletos como los i386, i486 y Pentium I) formadas por un rectificador de tensión y un convertidor DC-DC tipo flyback, pero con multitud de configuraciones debido al gran número de fabricantes, a la calidad y a la potencia del equipo [5].

Las tensiones de salida de una fuente de este tipo suelen ser $\pm 12\text{Vdc}$ y $\pm 5\text{Vdc}$, de manera que con las tensiones de $\pm 12\text{V}$ y la masa se puede alimentar el bus de continua y la circuitería de la parte de potencia. Habitualmente, la corriente de salida de la toma de $+12\text{V}$ es capaz de proporcionar entre 8 y 12A, pero la toma de -12V sólo es capaz de proporcionar entre 0.5 y 0.8A, corriente insuficiente para esta aplicación. Este problema se ha resuelto modificando la etapa de salida de la fuente de alimentación de -12V a imagen y semejanza de la etapa de salida de $+12\text{V}$, ya que hasta la salida del transformador del convertidor donde se desdoblan son el mismo circuito como se muestra en la Figura 3.

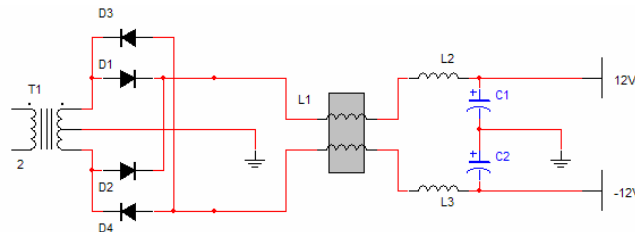


Figura 3. Etapa de salida de la fuente de alimentación

Las fuentes de alimentación AT normalmente incorporan una realimentación de la tensión de salida referida a la salida de $+5\text{V}$, que en los PC's es la que tiene un consumo más acusado; este sistema de realimentación modifica el ciclo de trabajo del convertidor DC-DC. Dado que para el sistema realizado no se utiliza la tensión de salida de $+5\text{V}$ es necesario modificar este sistema para que la realimentación se realice a partir de la toma de $+12\text{V}$. En la Figura 4 se puede observar el sistema que incorpora inicialmente la fuente, mientras que en la Figura 5 se puede apreciar como queda el circuito una vez modificado.

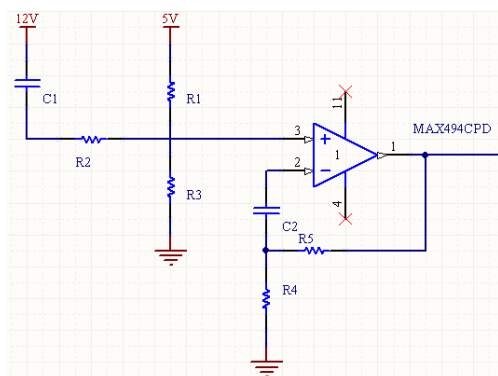


Figura 4. Esquema del sistema de realimentación habitual

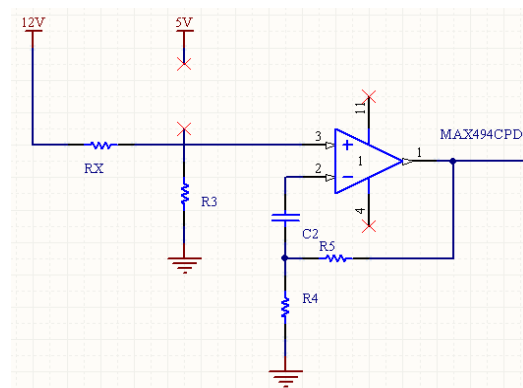


Figura 5. Modificación propuesta para el sistema de realimentación de la Figura 4

Una vez realizadas las modificaciones propuestas, la fuente es capaz de alimentar el sistema y provee de algunas ventajas respecto a una fuente conmutada comercial ya que normalmente incorporan protecciones de cortocircuito y de salto brusco de carga.

2.4 Motor de Inducción Trifásico

La elección del motor a utilizar está condicionada por la necesidad de que el motor sea trifásico (para utilizar todo el potencial del sistema), que funcione a baja tensión y que su comportamiento sea lo más similar posible al de un motor normal del mismo tipo.

El motor utilizado para la presente aplicación es un motor trifásico de inducción mostrado en la Figura 1; realizado a partir de un motor monofásico de funcionamiento a tensión de red y bobinado expresamente para su funcionamiento a baja tensión [6].



Figura 6. Aspecto del motor utilizado.

Las características del motor son: conexión en estrella, 12VRMS, 6A, 60Hz, 2 pares de polos, $V_{nom} = 1350$ rpm.

3. Aplicación Didáctica del Sistema

Para probar el correcto funcionamiento del sistema se ha implementado un control V/f en lazo abierto y como punto de partida se ha tomado la aplicación PMSM31 de Texas Instruments [7]. Para crear la aplicación se ha utilizado la primera de las 4 variantes del programa, la modulación vectorial trifásica en lazo abierto, que tiene como parámetros principales de entrada la frecuencia que se desea para la envolvente de la tensión de salida y la amplitud; mientras que como salida tiene las 6 señales de las unidades PWM. Se han añadido una rampa de aceleración para la tensión de salida y una función que relaciona la amplitud y la frecuencia de entrada mediante un único parámetro de entrada, quedando una aplicación tal y como se muestra en el diagrama de la Figura 7.

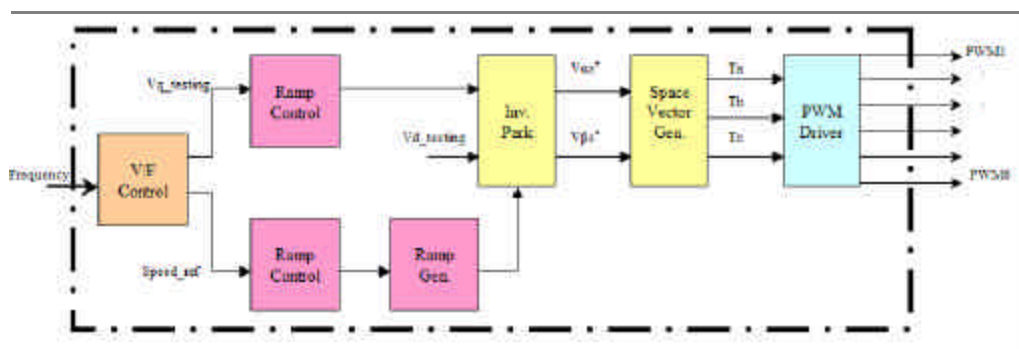


Figura 7. Diagrama de flujo de la aplicación

4. Resultados Experimentales

El resultado obtenido con la aplicación diseñada, con el motor incorporado y visualizando la envolvente de la tensión de salida mediante un filtro RC se puede apreciar en la Figura 8. En la figura 9 se muestra el equipo utilizado para realizar los ensayos y el instrumental empleado para realizar la adquisición de los resultados.

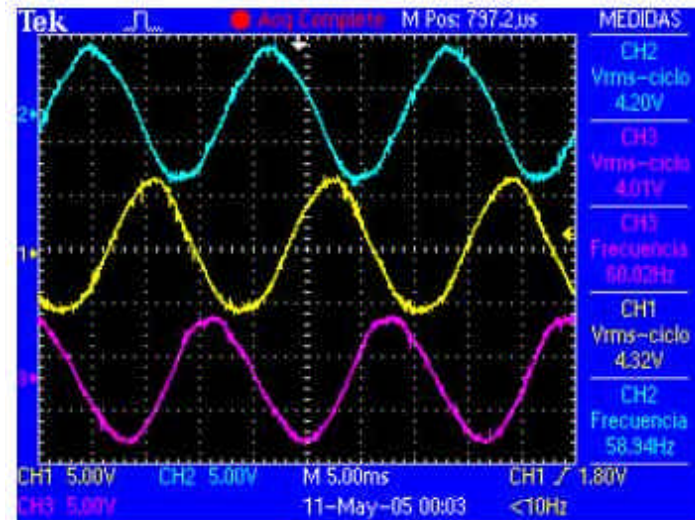


Figura 8. Tension filtrada en bornes del motor.

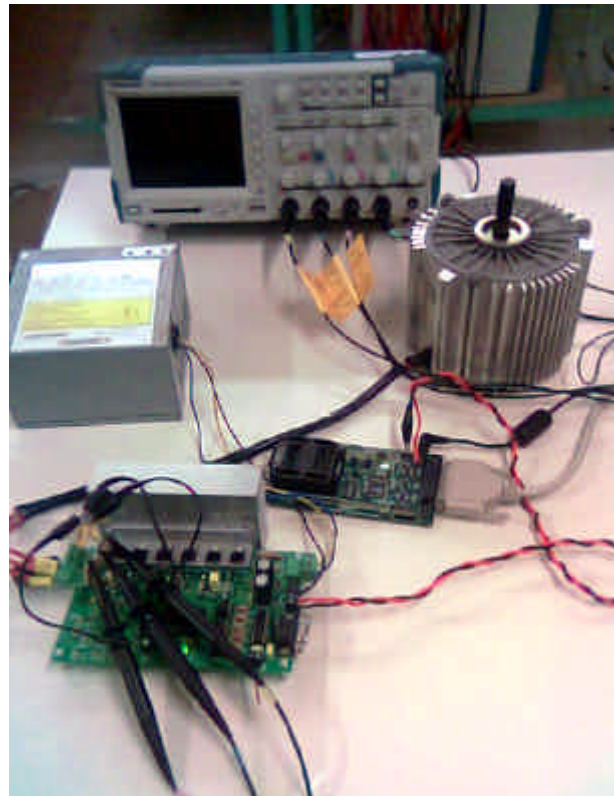


Figura 9. Equipo completo

El sistema formado por el inversor y el DSP es lo suficientemente versátil como para ser usado por todo tipo de motores. Actualmente ya se realiza el control de motores de corriente continua [8].

Como líneas de optimización previstas, cabe decir que para que el sistema sea más similar a un equipo real es necesario proveerlo de un módulo de sensado. Este módulo ha de permitir leer las corrientes de salida y los encoders o resolvers de los motores. De esta manera se podrían implementar controles más complejos, de velocidad, par, posición etc, y utilizar motores brushless trifásicos, cuya aplicación en la industria está muy extendida en la actualidad.

También esta prevista la construcción de pequeñas bancadas para poder realizar pares de carga.

5. Conclusiones

Se ha diseñado e implementado un equipo docente, cuyo comportamiento es comparable al de un sistema real utilizado en la industria. El equipo esta formado por un inversor de potencia de baja tensión y un Procesador Digital de Señal. El sistema es lo suficientemente versátil como para poder realizar el control de distintos tipos de motores, de corriente continua, trifásicos de inducción y síncronos de imanes permanentes. De esta manera se dota a las asignaturas de Electrónica de Potencia y de Control de una nueva herramienta de estudio experimental. Además, se provee a las asignaturas de Programación de Dispositivos Digitales de una nueva y sofisticada herramienta de enfocada a aplicaciones reales que se pueden encontrar en la industria.

6.- Agradecimientos.

Los autores de este artículo desean expresar su agradecimiento a las siguientes empresas por su apoyo en el desarrollo del equipo docente mostrado:

- Texas Instruments
- Alexmar S.A.
- Doga S.A.

7. Referencias

- [1] www.spectrumdigital.com
- [2] Mohan N., Undeland T.M., Robbins W.P.”Power electronics: Converters, Applications, and Design”,1995, Ed. JWS.
- [3] “IR2130/2132(J)(S)&(PbF)” Data sheet No. PD60019 Rev.P, International Rectifier , 2004.
- [4] J.Waagebaert. “Modificaciones en fuente de alimentación de PC para salidas no estándar.”. Elector nº 279, páginas 34 a 39. Ed. Lar Press, 2003.
- [5] Manual de Referencia PC Hardware. Craig Zacker / John Rourke. Mc Graw Hill ISBN 8448132610. Año 2001.
- [6] www.e-alexmar.com
- [7] “Digital Motor Control 1-Day Workshop, Student Guide”. Texas Instruments. 2004.
- [8] www.doga.es