

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROL DE POSICIÓN DE LAZO
ABIERTO PARA UN MOTOR TRIFÁSICO

JAIME EDUARDO FAJARDO ROJAS
DANIEL VELÁSQUEZ JARAMILLO

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
ÁREA DE MECATRÓNICA
MEDELLÍN
2007

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROL DE POSICIÓN DE LAZO
ABIERTO PARA UN MOTOR TRIFÁSICO

JAIME EDUARDO FAJARDO ROJAS
DANIEL VELÁSQUEZ JARAMILLO

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Asesor:

Alejandro Velásquez

Ingeniero Mecánico –MSc Mechatronics

Coasesor:

Alejandro Ruiz

Tecnólogo en electrónica

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
ÁREA DE MECATRÓNICA
MEDELLÍN

2007

DEDICATORIA

Se lo dedico a mis padres que hicieron de mí la persona que soy, gracias por su esfuerzo, su amor y su ejemplo; también a mi novia, gracias por su comprensión y su cariño y a mis amigos que siempre estuvieron ahí apoyándome cuando los necesité.

Daniel Velásquez Jaramillo

Este trabajo lo dedico a mi padre quien me enseñó el valor de la bondad y ha estado a mi lado apoyando todas mis ideas y proyectos por locos que parezcan, a mi madre pues desde pequeño estuvo a mi lado enseñándome y guiándome, al pingo que me va a sacar de pobre y a mi novia y su familia, quienes estuvieron los últimos meses pendientes de mi.

Jaime Eduardo Fajardo Rojas

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Coasesor Alejandro Ruiz y a todos los que con el trabajan en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad, Milton y Lucho, cuya dedicación hicieron posible la realización de este proyecto. Adicionalmente al Ingeniero Iván Arango quien siempre estuvo dispuesto a resolver nuestras dudas.

A todos los profesores que influyeron en nuestra educación como ingenieros y al personal de los laboratorios de la Universidad que colaboraron en la elaboración de los diferentes proyectos a través de la carrera.

A todos nuestros compañeros y amigos con los cuales compartimos el proceso de formarnos como profesionales.

A todas nuestras familias en especial a nuestros padres que siempre estuvieron ahí apoyándonos en todos los momentos de nuestras carreras.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| 0 PROLOGO..... | 14 |
| 0.1 INTRODUCCIÓN..... | 14 |
| 0.2 JUSTIFICACIÓN | 15 |
| 0.3 OBJETIVO GENERAL..... | 15 |
| 0.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 0.4.1 Objetivo 1 | 16 |
| 0.4.2 Objetivo 2 | 16 |
| 0.4.3 Objetivo 3 | 16 |
| 0.4.4 Objetivo 4 | 16 |
| 0.4.5 Objetivo 5 | 16 |
| 1 TEORÍA SOBRE CONTROL DE MOTORES | 17 |
| 1.1 OBJETIVO..... | 17 |
| 1.2 MOTORES ASÍNCRONOS | 17 |
| 1.3 SISTEMAS DE CONTROL..... | 22 |
| 1.3.1 Clasificación de los sistemas de control | 22 |
| 1.3.2 Elementos del sistema de control..... | 23 |
| 1.3.3 Variable controlada..... | 23 |
| 1.3.4 Comparador..... | 23 |
| 1.3.5 Controlador..... | 24 |
| 1.4 CONTROLADORES..... | 24 |
| 1.4.1 Control Todo-Nada | 24 |
| 1.4.2 Controlador proporcional - P..... | 25 |
| 1.4.3 Controlador proporcional integral - PI..... | 25 |
| 1.4.4 Controlador proporcional derivativo - PD..... | 25 |
| 1.4.5 Controlador proporcional integral derivativo - PID | 26 |
| 1.5 ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 26 |
| 1.6 PWM..... | 27 |

| | | |
|-------|--|----|
| 1.7 | COMPONENTES ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL..... | 28 |
| 1.7.1 | Microcontrolador..... | 28 |
| 1.7.2 | MAX232..... | 28 |
| 1.7.3 | Encoder incremental..... | 29 |
| 1.8 | PARAMETRIZACIÓN DEL MOTOR..... | 30 |
| 2 | HARDWARE DE CONTROL..... | 33 |
| 2.1 | OBJETIVO..... | 33 |
| 2.2 | TARJETA DE CONTROL..... | 33 |
| 2.3 | TARJETA DE POTENCIA..... | 36 |
| 3 | DESARROLLO DEL INVERSOR..... | 39 |
| 3.1 | OBJETIVO..... | 39 |
| 3.2 | PUENTE HEXAFÁSICO..... | 39 |
| 3.3 | TARJETA DE AMPLIFICACIÓN DE SEÑAL..... | 41 |
| 4.1 | OBJETIVO..... | 43 |
| 4.2 | DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL..... | 43 |
| 4.2.1 | Programa para verificación de comunicación serial y encoder..... | 43 |
| 4.2.2 | Programa de control de secuencias..... | 46 |
| 4.2.3 | Programa definitivo..... | 51 |
| 5 | ENSAYOS Y PRUEBAS..... | 56 |
| 5.1 | OBJETIVO..... | 56 |
| 5.2 | PRUEBA 1..... | 56 |
| 5.3 | PRUEBA 2..... | 57 |
| 5.4 | PRUEBA 3..... | 57 |
| 5.5 | PRUEBA 4..... | 59 |
| 5.6 | PRUEBA 5..... | 59 |
| 5.7 | PRUEBA 6..... | 60 |
| 5.8 | PRUEBA 7..... | 62 |
| 5.9 | PRUEBA 8..... | 63 |
| 5.10 | PRUEBA 9..... | 64 |
| 5.11 | PRUEBA DE CONTROL DE POSICIÓN..... | 67 |

| | | |
|---|--|----|
| 6 | CONCLUSIONES..... | 68 |
| 7 | PROPUESTAS PARA NUEVOS PROYECTOS..... | 73 |
| 8 | BIBLIOGRAFÍA..... | 74 |
| | ANEXO 1. FICHA TECNICA MOTOR NERI..... | 79 |
| | ANEXO 2. DATASHEET 18F4431..... | 82 |
| | ANEXO 3. DATASHEET MAX 232..... | 86 |
| | ANEXO 4. DATASHEET IRFP250B..... | 87 |
| | ANEXO 5. DATASHEET IRF840..... | 88 |
| | ANEXO 6. DATASHEET TIP122..... | 89 |
| | ANEXO 7. DATASHEET 4N25..... | 90 |
| | ANEXO 8. DATASHEET IR2110..... | 91 |
| | ANEXO 9. DATASHEET 26LS32..... | 92 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | pág. |
|--|------|
| Ilustración 1. Principio de funcionamiento de un motor asíncrono..... | 18 |
| Ilustración 2. Motor trifásico | 19 |
| Ilustración 3. Rotor jaula de ardilla..... | 21 |
| Ilustración 4. Rotor bobinado | 21 |
| Ilustración 5. Sistema de lazo abierto | 22 |
| Ilustración 6. Sistema de lazo cerrado | 23 |
| Ilustración 7. Representación de señales A, B y Z del Encoder | 29 |
| Ilustración 8. Diagrama de corte para la base del motor..... | 30 |
| Ilustración 9. Pruebas en HR Bobinados | 31 |
| Ilustración 10. Montaje de fuentes en serie | 32 |
| Ilustración 11. Plano esquemático de la tarjeta de control..... | 34 |
| Ilustración 12. Tarjeta de control..... | 36 |
| Ilustración 13. Tarjeta de potencia (a. Circuito esquemático b. Tarjeta ensamblada) | 37 |
| Ilustración 14. Tarjeta de potencia secundaria (a. Montaje en protoboard, b. Circuito esquemático) | 38 |
| Ilustración 15. Ensamble de tarjeta de potencia primaria y secundaria | 38 |
| Ilustración 16. Plano esquemático del puente hexafásico | 40 |
| Ilustración 17. Arreglo para tarjeta de amplificación | 41 |
| Ilustración 18. Tarjeta de amplificación..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 19. Plano de la tarjeta de amplificación realizado en EAGLE..... | 42 |
| Ilustración 20. Software PRUSOFA5 | 44 |
| Ilustración 21. Software de prueba 1 | 44 |
| Ilustración 22. Software de prueba 2 | 45 |
| Ilustración 23. Modelo de control de un motor por medio de puente hexafásico ... | 46 |
| Ilustración 24. Programa Control secuencia 1 | 47 |
| Ilustración 25. Programa Control secuencia 2 | 48 |
| Ilustración 26. Programa Control_Absoluto | 49 |
| Ilustración 27. Programa Control_PIC | 50 |
| Ilustración 28. Programa de inicio..... | 51 |
| Ilustración 29. Programa para control de dirección..... | 53 |
| Ilustración 30. Programa para control de posición absoluto | 54 |
| Ilustración 31. Programa control de posición relativo..... | 55 |
| Ilustración 32. Montaje para pruebas..... | 56 |
| Ilustración 33. Mosfets con resistencias entre la base y el emisor | 57 |
| Ilustración 34. Resistencias de 1W en la base de los Mosfets | 58 |
| Ilustración 35. Resistencias en la tarjeta de amplificación | 58 |
| Ilustración 36. Resistencias en Mosfets de alta | 59 |
| Ilustración 37. Mosfets para corriente y para voltaje..... | 60 |
| Ilustración 38. Tarjeta para puente hexafásico con integrados IR2110 | 61 |
| Ilustración 39. Montaje de mosfets | 61 |
| Ilustración 40. Montaje para pruebas con bombillos..... | 61 |
| Ilustración 41. Montaje para pruebas con motor..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 42. Motor Parker SM231B | 63 |
| Ilustración 43. Montaje motor reductor..... | 65 |
| Ilustración 44. Resistencias de potencia..... | 65 |
| Ilustración 45. Resistencias con disipación..... | 66 |
| Ilustración 46. Montaje final | 66 |
| Ilustración 47. Integrado FSAM30SH60A | 73 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Parámetros del motor..... | 30 |
| Tabla 2. Secuencia de pruebas del motor (conexión delta) | 31 |
| Tabla 3. Secuencia de giro horario | 47 |
| Tabla 4. Secuencia de giro anti-horario | 47 |
| Tabla 5. Prueba en el sentido de giro horario | 67 |
| Tabla 6. Prueba en el sentido de giro antihorario | 67 |

0 PROLOGO

0.1 INTRODUCCIÓN

El control es una parte fundamental en los procesos industriales. La temperatura, la presión, el caudal, la corriente, la velocidad, la conductividad, la humedad, entre otras, son variables que deben ser controladas para asegurar el éxito de los procesos dentro de una empresa.

En el pasado el control de dichas variables era realizado manualmente mediante elementos de medición como manómetros, termómetros, rotámetros, tacómetros, etc.

Hoy en día la búsqueda de eficiencia, diferenciación y bajos costos de producción han llevado a las empresas a buscar sistemas mas precisos, en donde los procesos sean controlados de forma automática.

Las exigencias de los procesos productivos se han incrementando a través del tiempo lo que ha forzado la implementación de controles automáticos para integrarlos a dispositivos como válvulas manuales y en general a todo aparato que funcione de forma manual

El laboratorio de mecatrónica de la Universidad EAFIT, con la participación del tecnólogo Alejandro Ruiz y los ingenieros Mauricio Hincapié e Iván Darío Arango, ha venido desarrollando investigaciones relacionadas con servoválvulas.

En el año 1999 el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT diseño y construyó un grupo de servoválvulas para el laboratorio de operaciones unitarias de dicha institución, Las servoválvulas fabricadas para ese entonces fueron

enmarcadas para operar con motores trifásicos y ser gobernadas con un *software* y un controlador proporcional retroalimentado por un sensor de flujo.

El prototipo inicial presentó algunos inconvenientes entre los que se destacaron la desalineación del eje de transmisión, recalentamiento, pérdida de potencia y un sistema de control poco eficiente.

A partir del último inconveniente mencionado, surgió la idea de desarrollar un control de posición para motores trifásicos, mediante el cual se podrán controlar diferentes dispositivos.

0.2 JUSTIFICACIÓN

El proyecto pretende desarrollar un sistema de control para motores trifásicos el cual se podrá convertir en una alternativa para operar mecanismos que utilizan principios de rotación y que en la actualidad son manipulados de forma manual.

Dispositivos como las servoválvulas operan bajo principios similares al que se pretende desarrollar, pero en la industria nacional no son muy empleadas debido a sus costos elevados y poca disponibilidad de repuestos.

El sistema de control a desarrollar se podrá acoplar a aparatos manuales mediante un mecanismo simple de transmisión, proporcionando a las empresas una alternativa económicamente viable para automatizar sus procesos productivos.

0.3 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir el *hardware* y el *software* que permitan controlar la posición de un motor trifásico.

0.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

0.4.1 Objetivo 1

Recopilar y depurar bibliografía relacionada con el control de posición y funcionamiento de motores trifásicos y parametrizar el motor a emplear.

0.4.2 Objetivo 2

Desarrollar o seleccionar el *hardware* electrónico para sensar las variables y las tarjetas de adquisición de datos que permitan controlar la posición de un motor trifásico.

0.4.3 Objetivo 3

Desarrollar o seleccionar el inversor que se empleará para controlar la posición del motor trifásico.

0.4.4 Objetivo 4

Desarrollar el *software* que permita controlar la posición del motor trifásico.

0.4.5 Objetivo 5

Construir un prototipo funcional del dispositivo.

1 TEORÍA SOBRE CONTROL DE MOTORES

1.1 OBJETIVO

Recopilar y depurar bibliografía relacionada con el control de posición y funcionamiento de motores trifásicos y parametrizar el motor a emplear.

1.2 MOTORES ASÍNCRONOS

Los motores asíncronos son máquinas rotativas de flujo variable y sin colector¹. El campo inductor está generado por corriente alterna. Generalmente, el inductor está en el estator y el inducido en el rotor.

Son motores que se caracterizan por ser mecánicamente sencillos de construir, lo cual los hace muy robustos y sencillos, apenas requieren mantenimiento, son baratos y, en el caso de motores trifásicos, no necesitan arrancadores (arrancan por sí solos al conectarles la red trifásica de alimentación) y no se ven sometidos a vibraciones por efecto de la transformación de energía eléctrica en mecánica, ya

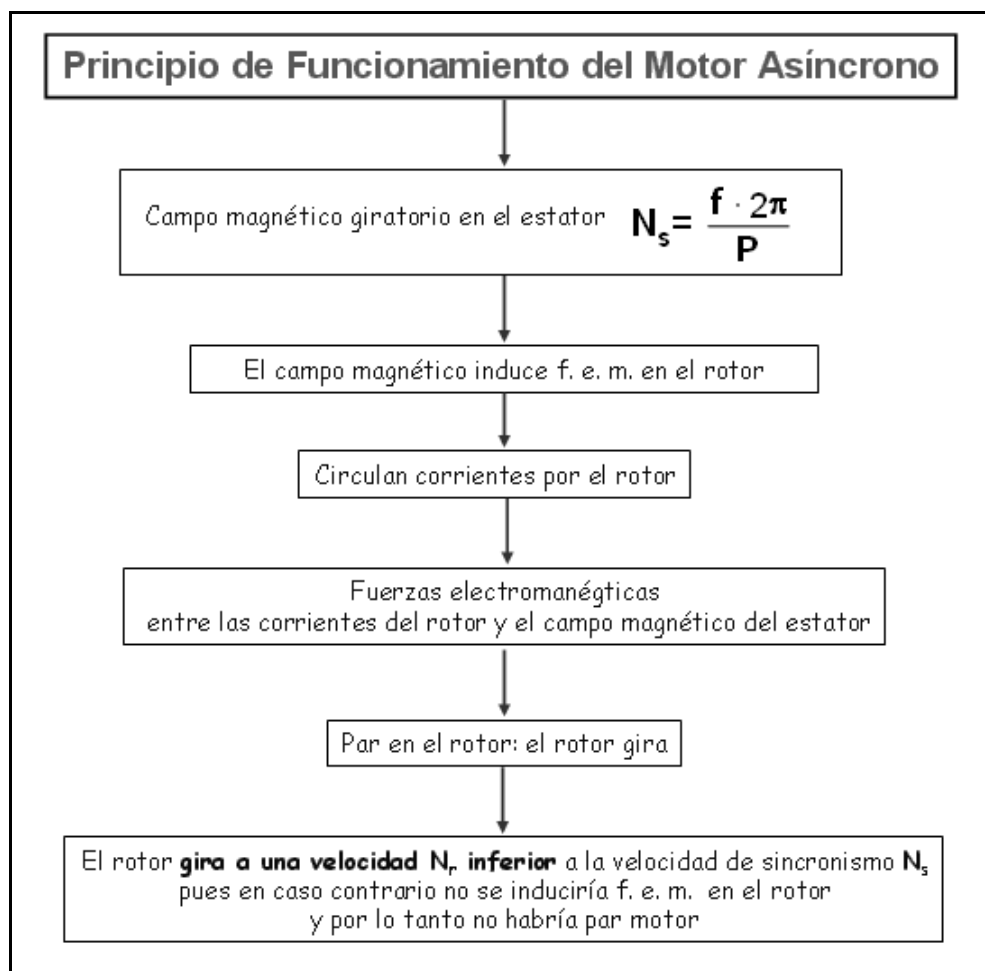
¹ En electricidad, frecuentemente es necesario establecer una conexión eléctrica entre una parte fija y una parte rotatoria en un dispositivo. Es el caso de los motores o generadores eléctricos, donde hay que establecer una conexión de la parte fija de la máquina con las bobinas del rotor.

Para realizar esta conexión se fijan en el eje de giro dos anillos, generalmente de cobre, aislados eléctricamente de dicho eje y conectados a los terminales de la bobina rotatoria. Enfrente de dichos anillos se disponen unos bloques de carbón que, mediante unos resortes, hacen presión sobre ellos estableciendo el contacto eléctrico necesario. Estos bloques de carbón se denominan escobillas y los anillos rotatorios reciben el nombre de colector.

que la potencia instantánea absorbida por una carga trifásica es constante e igual a la potencia activa.

Como inconvenientes, se puede mencionar que son motores con bajos pares de arranque, que presentan una zona inestable de funcionamiento y que el control de velocidad en amplios rangos es complejo. (UPM@², 2007).

Ilustración 1. Principio de funcionamiento de un motor asíncrono



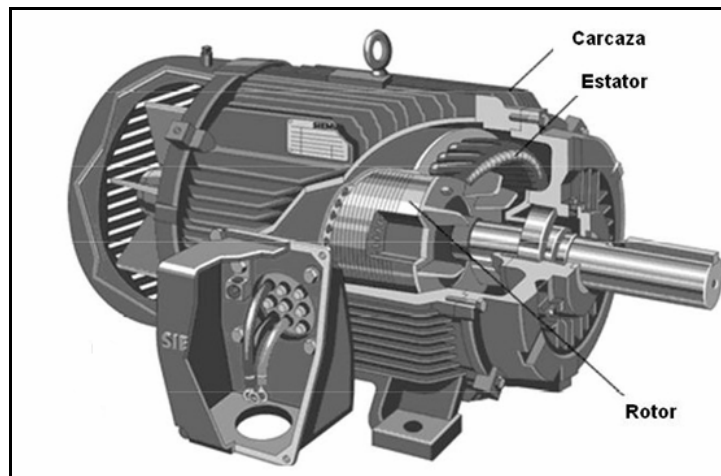
Endrino@, 2007

² @, símbolo para citar referencia extraídas desde Internet.

Los motores asíncronos se pueden clasificar así:

- Monofásicos: tienen un sólo devanado en el estator. Se utilizan en aplicaciones tanto en el hogar como en la industria (bombas, ventiladores, lavadoras, electrodomésticos en general, pequeñas máquinas-herramientas, etc.)
 - Bifásicos: tienen dos devanados en el estator. Estos devanados están desfasados $\pi/(2P)$, siendo P el número de pares de polos de la máquina, en el espacio. Se suelen utilizar en aplicaciones de control de posición.
 - Trifásicos: tienen tres devanados en el estator. Estos devanados están desfasados $2\cdot\pi/(3P)$, siendo P el número de pares de polos de la máquina, en el espacio. Se suelen utilizar en aplicaciones industriales: máquinas-herramientas (tornos, fresadoras, cepilladoras, etc.), grúas, bombas, compresores, ventiladores, etc (UPM@, 2007).
-
- Motor Trifásico

Ilustración 2. Motor trifásico



Endrino@, 2007

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor y un estator en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° . Cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas, se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor.

Entonces se da el *efecto Laplace* (ó efecto motor): todo conductor por el que circula una corriente eléctrica, inmerso en un campo magnético experimenta una fuerza que lo tiende a poner en movimiento. Simultáneamente se da el *efecto Faraday* (ó efecto generador): en todo conductor que se mueva en el seno de un campo magnético se induce una tensión.

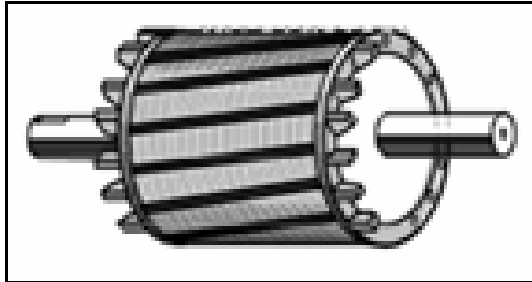
El campo magnético giratorio gira a una velocidad denominada de sincronismo. Sin embargo el rotor gira algo más despacio, a una velocidad cercana a la de sincronismo. El hecho de que el rotor gire más despacio que el campo magnético originado por el estator, se debe a que si el rotor girase a la velocidad de sincronismo, esto es, a la misma velocidad que el campo magnético giratorio, el campo magnético dejaría de ser variable con respecto al rotor, con lo que no aparecería ninguna corriente inducida en el rotor, y por consiguiente no aparecería un par de fuerzas que lo impulsaran a moverse (Wikipedia@, 2007).

- Tipos de motores trifásicos

El motor de jaula de ardilla consta de un rotor constituido por una serie de conductores metálicos (normalmente de aluminio) dispuestos paralelamente unos a otros, y cortocircuitados en sus extremos por unos anillos metálicos; esto es lo que forma la llamada 'jaula de ardilla' por su similitud gráfica con una jaula de ardilla. Esta 'jaula' se rellena de material, normalmente chapa apilada. De esta manera, se consigue un sistema n-fásico de conductores (siendo n el número de conductores) situado en el interior del campo magnético giratorio creado por el

estator, con lo cual se tiene un sistema físico muy eficaz, simple, y muy robusto (básicamente, no requiere mantenimiento).

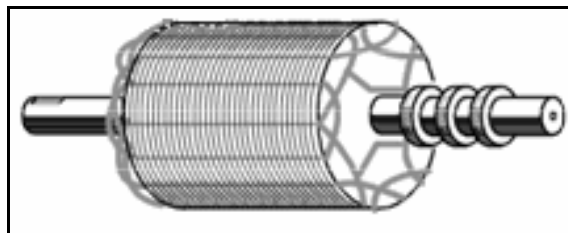
Ilustración 3. Rotor jaula de ardilla



Endrino@, 2007

El motor de rotor bobinado tiene un rotor constituido en vez de por una jaula, por una serie de conductores bobinados sobre él, en una serie de ranuras situadas sobre su superficie. De esta forma se tiene un bobinado en el interior del campo magnético del estator, del mismo número de polos (ha de ser construido con mucho cuidado), y por tanto movimiento. Es mucho más complicado de fabricar y mantener que el de jaula de ardilla, pero permite el acceso al mismo desde el exterior a través de unos anillos que son los que cortocircuitan los bobinados, lo que tiene muchas ventajas, como permitir la utilización de un reóstato de arranque que permite modificar velocidad y par en los arranques (Wikipedia@, 2007).

Ilustración 4. Rotor bobinado



Endrino@, 2007

En cualquiera de los dos casos, el campo magnético giratorio producido por las bobinas inductoras del estator genera una corriente inducida en el rotor, que son las que generan el movimiento

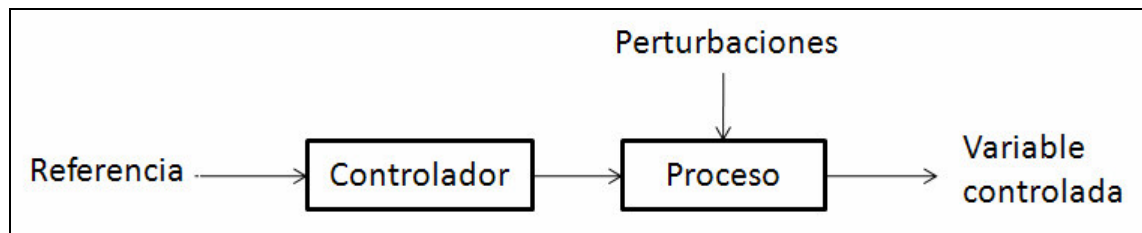
1.3 SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control son procesos en los que una variable de salida es ajustada para que tenga un valor prefijado mediante una determinada acción de control (Maloney, 1997, 310).

1.3.1 Clasificación de los sistemas de control

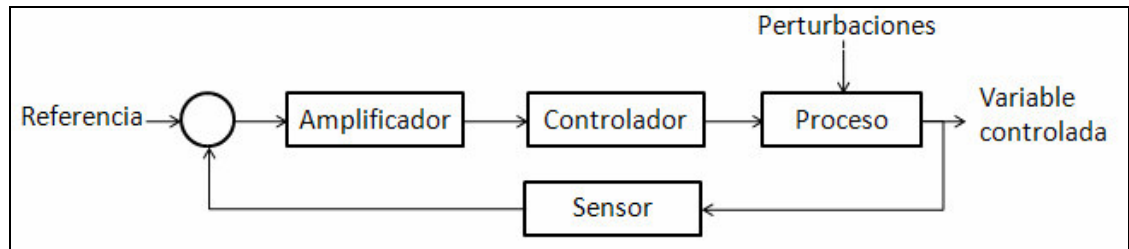
Los sistemas de control se clasifican dependiendo de la forma en que se realiza la acción de control. Se pueden definir dos grupos, los sistemas de control de lazo abierto y los de lazo cerrado. La diferencia entre ellos radica en que el sistema de lazo cerrado cuenta con retroalimentación, mientras que el de lazo abierto no. Dicha realimentación permite tomar la información que entrega el sistema, compararla, evaluarla y realizar los debidos ajustes cuando la diferencia entre el valor actual y el valor deseado entra dentro del rango mínimo aceptable (Maloney, 303).

Ilustración 5. Sistema de lazo abierto



OGATA, 2007

Ilustración 6. Sistema de lazo cerrado



OGATA, 2007

1.3.2 Elementos del sistema de control

Los sistemas de control están conformados por diferentes secciones o elementos, a los cuales se le atribuyen funciones específicas que permanecen invariables.

Los elementos más importantes que conforman un sistema de control son:

1.3.3 Variable controlada

Es la variable del proceso que desea ser controlada, esta puede ser temperatura, presión, velocidad de flujo de fluido, concentración química, humedad, viscosidad, posición, entre otras. Cada una de estas variables es cuantificable y se emplea un respectivo sensor, el cual entrega una señal del tipo digital o analógico y la envía al comparador.

1.3.4 Comparador

Su función es realizar una comparación entre el valor medido de la variable y el valor de referencia, el cual representa el valor deseado de la variable, según ello genera una señal de error, la cual representa la diferencia entre estos dos.

1.3.5 Controlador

El controlador se encarga de recibir la señal de error enviada por el comparador y según ello genera una señal de salida. La relación entre la señal de salida del controlador y la señal de error depende del diseño y ajuste del controlador.

1.4 CONTROLADORES

Los controladores se pueden clasificar de acuerdo con sus acciones de control, de la siguiente forma:

- Controladores de dos posiciones Todo-Nada
- Controladores proporcionales - P
- Controladores proporcional-integral - PI
- Controladores proporcional-derivativo - PD
- Controladores proporcional-integral-derivativo - PID

1.4.1 Control Todo-Nada

El control Todo-Nada es un dispositivo que cuenta solamente con dos posiciones o estados de operación. Por esta razón, el control también se conoce como control de dos posiciones.

Si el comparador envía una señal de error positiva, el controlador envía el dispositivo corrector a una posición, pero si la señal de error es negativa, el controlador envía el dispositivo corrector a la posición contraria (RUIZ R, 2007, 31-39).

1.4.2 Controlador proporcional - P

El controlador proporcional es el tipo más simple de controlador con excepción del controlador Todo-Nada. La ventaja de dichos dispositivos es que sólo cuentan con un parámetro de ajuste, sin embargo, operan con un error de estado estacionario en la variable que se controla.

1.4.3 Controlador proporcional integral - PI

La mayoría de los procesos no se pueden controlar con una desviación, es decir, se deben controlar en el punto de control y en estos casos se debe añadir inteligencia al controlador proporcional para eliminar la desviación, esta nueva inteligencia o nuevo modo de control es la acción integral o de reajuste y en consecuencia, el controlador se convierte en un controlador proporcional integral, que es empleado cuando las variaciones en la carga son grandes y rápidas y el valor de referencia puede variar considerablemente

1.4.4 Controlador proporcional derivativo - PD

Este tipo de controlador se emplea en los procesos donde es posible utilizar un controlador proporcional pero se desea cierta cantidad de "anticipación".

Una desventaja del controlador PD es que opera con una desviación en la variable que se controla; la desviación solamente se puede eliminar con la acción de integración, sin embargo, un controlador PD puede soportar mayor ganancia, de lo que resulta una menor desviación que cuando se utiliza únicamente un controlador proporcional en el mismo circuito (RUIZ R, 2007, 31-39).

1.4.5 Controlador proporcional integral derivativo - PID

Un controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) es un sistema de control que, mediante un actuador, es capaz de mantener una variable o proceso en un punto deseado dentro del rango de medición del sensor que la mide. Es uno de los métodos de control más frecuentes y precisos dentro de la regulación automática.

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita de un sensor, que determine el estado del sistema, un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador y un actuador, que modifique al sistema de manera controlada.

El sensor proporciona una señal analógica al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema, el controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar (punto de consigna) y resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada una de las 3 componentes de un controlador PID propiamente dicho para generar las 3 señales que, sumadas, componen la señal que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador (Wikipedia@, 2007).

1.5 ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos consiste en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es la tarjeta de adquisición de datos. Una vez que las señales eléctricas se transformaron en

digitales dentro de la memoria de la PC, se las puede procesar con el programa que se desee y/o archivarlas en disco duro, graficarlas en pantalla, etc.

De la misma manera que se toma una señal eléctrica y se transforma en una digital dentro del ordenador, se puede tomar una señal digital o binaria y convertirla en una eléctrica, en este caso el elemento que hace la transformación es una tarjeta de Adquisición de Datos de salida o tarjeta de control. La señal dentro de la memoria de la PC la genera un programa adecuado a las aplicaciones que quiere el usuario y luego de procesada es recibida por mecanismos que ejecutan movimientos mecánicos, a través de servomecanismos, que también son del tipo transductores.

Un sistema típico de adquisición utiliza sensores, transductores, amplificadores, convertidores analógicos a digital (A/D) y digital a analógico (D/A), para procesar información acerca de un sistema físico de forma digitalizada.

- Ventajas

Flexibilidad de procesamiento, posibilidad de realizar las tareas en tiempo real o en análisis posteriores, gran capacidad de almacenamiento, rápido acceso a la información y toma de decisión, posibilidad de emular una gran cantidad de dispositivos de medición y activar varios instrumentos al mismo tiempo, facilidad de automatización, etc (Wikipedia@,2007).

1.6 PWM

La modulación por ancho de pulso, es un método de transmisión de información en una serie de pulsos. Los datos que se transmiten están codificados en el ancho de estos pulsos para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

El PWM se utiliza para reducir la potencia total entregada a la carga sin que se produzcan pérdidas, que normalmente se producen cuando una fuente de alimentación está limitada por una resistencia (TheTech@2007).

1.7 COMPONENTES ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL

1.7.1 Microcontrolador

Un microcontrolador es un microprocesador altamente integrado diseñado específicamente para su uso en sistemas especializados. Los microcontroladores suelen incluir un sistema integrado de CPU, memoria (una pequeña cantidad de RAM, ROM, o ambos), y otros dispositivos periféricos en el mismo chip. (Netrino@2007).

1.7.2 MAX232

El MAX232 es un circuito integrado que convierte los niveles de las líneas de un puerto serial RS232 a niveles TTL³ y viceversa. Lo interesante es que sólo necesita una alimentación de 5V, ya que genera internamente algunas tensiones que son necesarias para el estándar RS232. Otros integrados que manejan las líneas RS232 requieren dos voltajes, +12V y -12V.

El MAX232 soluciona la conexión necesaria para lograr comunicación entre el puerto serie de una PC y cualquier otro circuito con funcionamiento en base a señales de nivel TTL/CMOS.

El circuito integrado posee dos convertidores de nivel TTL a RS232 y otros dos que, a la inversa, convierten de RS232 a TTL (Robots@2007).

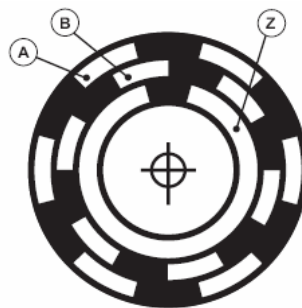
³ TTL (ingles), Siglas para Lógica Transistor a Transistor

1.7.3 Encoder incremental

El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal, si se le asocia a cremalleras y husillos. Las señales eléctricas de rotación pueden ser elaboradas mediante controles numéricos (CNC), controladores lógicos programables (PLC), sistemas de control, etc.

El encoder incremental proporciona normalmente dos formas de ondas cuadradas y desfasadas entre sí 90° eléctricos, los cuales por lo general son el “canal A” y “canal B”. Con la lectura de un solo canal se dispone de la información correspondiente a la velocidad de rotación, mientras que si se capta también la señal “B” es posible discriminar el sentido de rotación en base a la secuencia de datos que producen las señales. Está disponible además otra señal llamada canal Z o Cero, que proporciona la posición absoluta de cero del eje del encoder. Esta señal se presenta bajo la forma de impulso cuadrado con fase y amplitud centrada en el canal A (Eltra@,2007).

Ilustración 7. Representación de señales A, B y Z del Encoder

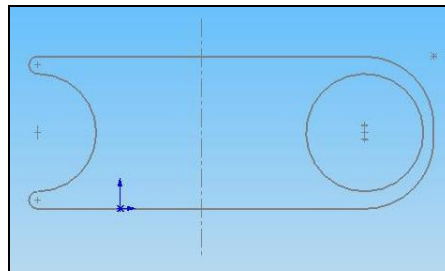


Eltra@2007

1.8 PARAMETRIZACIÓN DEL MOTOR

En las pruebas se utilizó un motor Trifásico Neri T56 BN4 (Ver anexo 1) que se encontraba disponible en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT. A dicho motor se le hizo el mantenimiento general, se le cambiaron los rodamientos, se le revisaron los ajustes de las tapas y se le fabricó una base al motor en la cortadora de plasma del laboratorio de Modelos de la Universidad EAFIT para facilitar las pruebas.

Ilustración 8. Diagrama de corte para la base del motor



En la empresa HR Bobinados se le realizaron pruebas al motor para revisar las condiciones eléctricas en las que se encontraba.

Tabla 1. Parámetros del motor

| Parametrización del Motor | | |
|---------------------------|-------|--------|
| Parámetro | Valor | Unidad |
| Inductancia del estator | 0.41 | H |
| Resistencia | 200 | Ohmio |
| Aislamiento | 20 | MOhmio |
| Baker | Bien | |
| Voltaje | 220 | V |
| Corriente | 0.47 | A |

Ilustración 9. Pruebas en HR Bobinados

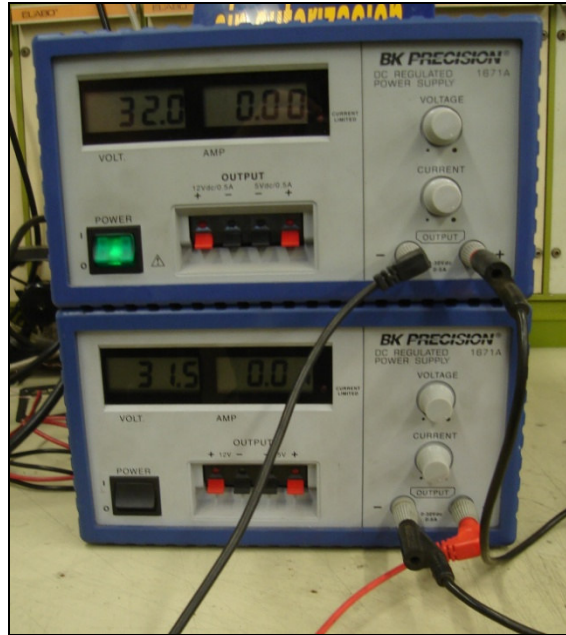


Haciendo un montaje con dos fuentes BK Precisión suministradas por el laboratorio de mecatrónica se hicieron pruebas a 60 voltios para encontrar la secuencia en la que se energizaban las bobinas del motor tanto en sentido horario como antihorario.

Tabla 2. Secuencia de pruebas del motor (conexión delta)

| Secuencia de energización de las bobinas | | | | | | | | |
|--|-----------------|------|--------|------|---------------------|------|--------|------|
| Paso | Sentido Horario | | | | Sentido Antihorario | | | |
| | Bobina | Polo | Bobina | Polo | Bobina | Polo | Bobina | Polo |
| 1 | V1 | - | V2 | + | W1 | - | W2 | + |
| 2 | U2 | - | U1 | + | U2 | - | U1 | + |
| 3 | W1 | - | W2 | + | V1 | - | V2 | + |
| 4 | V1 | + | V2 | - | W1 | + | W2 | - |
| 5 | U2 | + | U1 | - | U2 | + | U1 | - |
| 6 | W1 | + | W2 | - | V1 | + | V2 | - |

Ilustración 10. Montaje de fuentes en serie



Cada fuente tiene un voltaje máximo de 30 voltios por lo cual se deben conectar en serie obteniendo así el doble de voltaje con el mismo nivel de corriente.

2 HARDWARE DE CONTROL

2.1 OBJETIVO

Desarrollar o seleccionar el *hardware* electrónico para sensar las variables y las tarjetas de adquisición de datos que permitan controlar la posición de un motor trifásico.

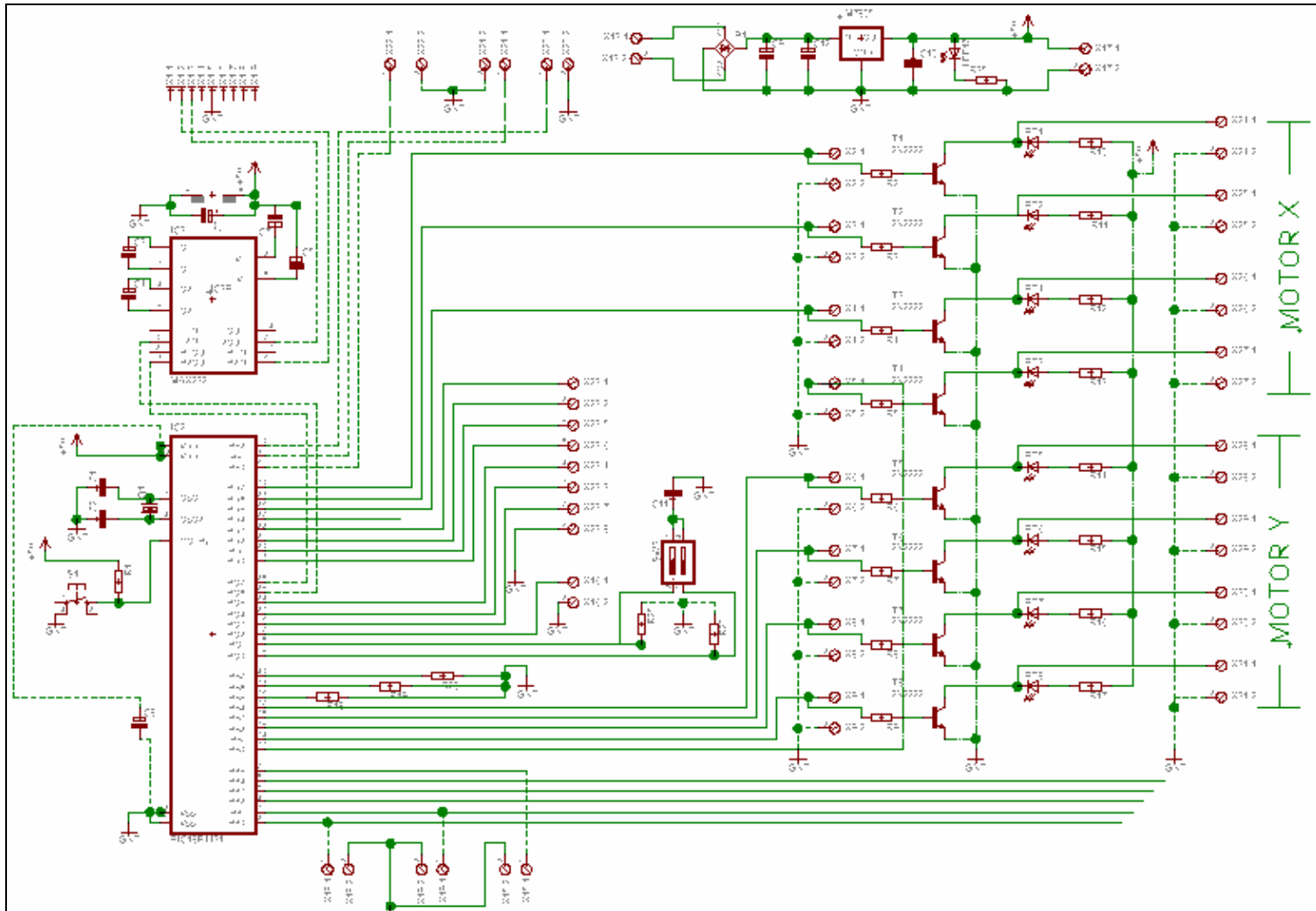
2.2 TARJETA DE CONTROL

Para controlar el movimiento del motor y el envío y recepción de datos se seleccionó el PIC⁴ 18F4431 (Ver anexo 2), dispositivo especial para implementación de aplicaciones que involucren control de movimiento con pines preconfigurados para manejo de PWM y recepción de datos de encoder.

La conexión con el computador se hizo mediante el puerto serial con la ayuda del circuito integrado MAX 232 (Ver anexo 3) que permite establecer la comunicación por medio del protocolo RS232 entre el computador y un microcontrolador.

⁴ PIC, familia de microcontroladores fabricados por Microchip Technology Inc

Ilustración 11. Plano esquemático de la tarjeta de control



Se desarrolló una tarjeta de control (Ver ilustración 12) sobre la cual se ubicaron el PIC 18F4431, el MAX 232, el 26LS32⁵ y 8 salidas, unidas a los puertos B y D del PIC, los cuales transmiten los PWM.

La alimentación eléctrica de la tarjeta se establece desde la conexión a 6V de AC⁶ entregada por el transformador 506 de la tarjeta de potencia. Este voltaje es convertido a DC⁷ por medio de un circuito rectificador compuesto por un puente de diodos y condensadores.

El voltaje de alimentación para todos los circuitos integrados, Microcontrolador, MAX 232 y 26LS32 es de 5V DC ya que trabajan con tecnología TTL. Así mismo, se tiene leds indicadores visuales para confirmar el estado de las entradas y salidas del microcontrolador, al igual que en la transmisión de datos del encoder para identificar las señales A, B y Z.

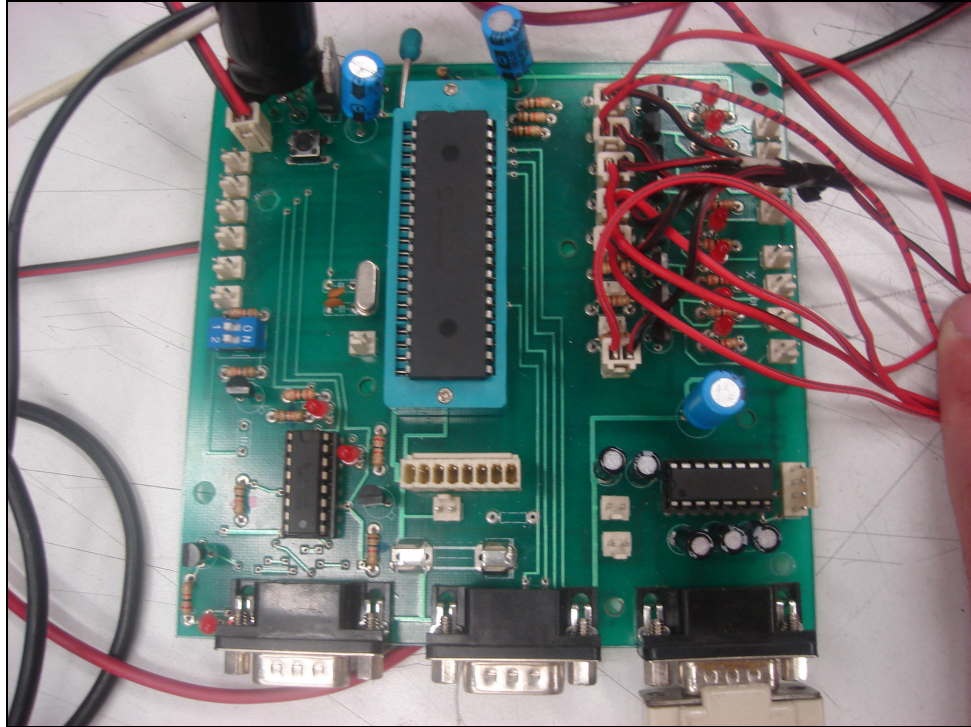
La tarjeta tiene tres conectores DB9 para comunicarse con los periféricos, de los cuales se usa uno para el encoder y otro para la comunicación con el computador. Además tiene resistencias en los puertos de entrada del PIC para asegurar el cero absoluto. También cuenta con un fusible de protección en caso de sobre corrientes.

⁵ Integrado empleado para leer encoder, ver anexo 9

⁶ AC (inglés), siglas para corriente alterna

⁷ DC (inglés), siglas para corriente directa

Ilustración 12. Tarjeta de control

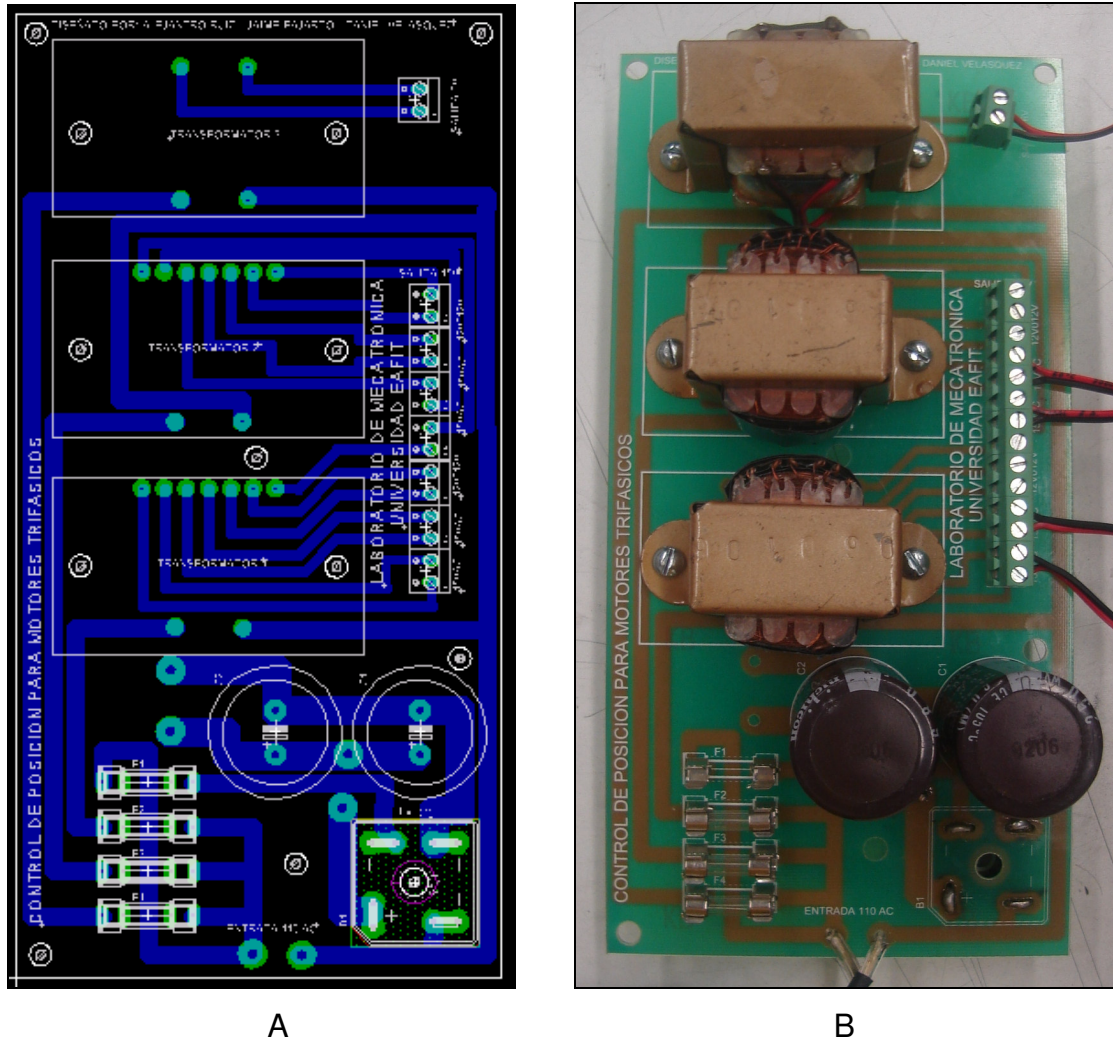


2.3 TARJETA DE POTENCIA

La tarjeta de potencia (Ver ilustración 13) se encarga de recibir una alimentación de 110V AC que provienen de la línea de servicios publicos y la transforma a través de unos transformadores en los diferentes voltajes de alimentación que requieren las tarjetas para su funcionamiento.

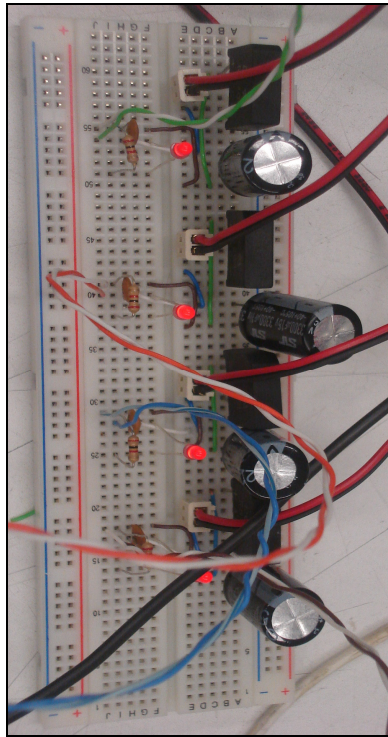
Está compuesta por tres transformadores de los cuales dos tienen dos salidas de 12V y una de 9V de AC y el otro tiene una salida de 6V de AC. Adicionalmente, cada uno de los transformadores tiene una protección con fusibles para evitar que los cortos los puedan afectar. Además la tarjeta tiene un rectificador con dos condensadores para obtener 160V de DC para alimentar el motor.

Ilustración 13. Tarjeta de potencia (a. Circuito esquemático b. Tarjeta ensamblada)

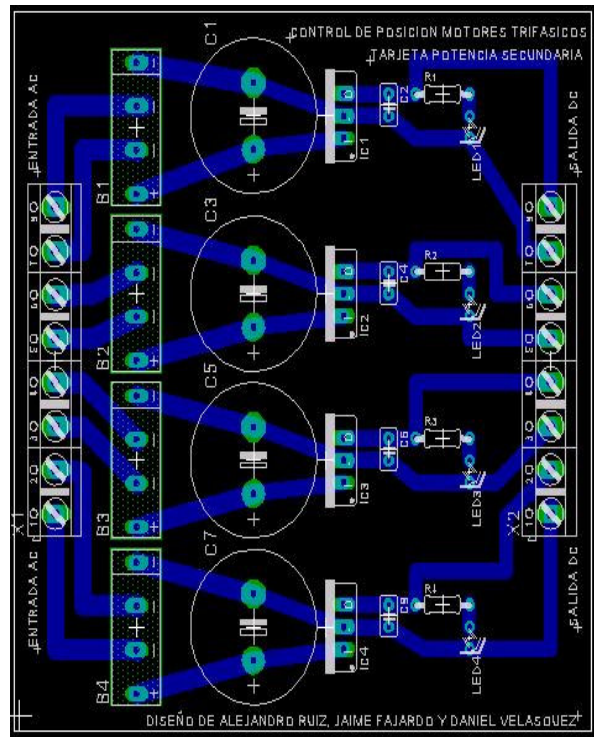


Como complemento a la tarjeta de potencia se creó una tarjeta de potencia secundaria la cual convierte las señales que salen de la tarjeta de potencia que son de AC en DC para alimentar a las tarjetas que así lo requieran.

Ilustración 14. Tarjeta de potencia secundaria (a. Montaje en protoboard, b. Circuito esquemático)



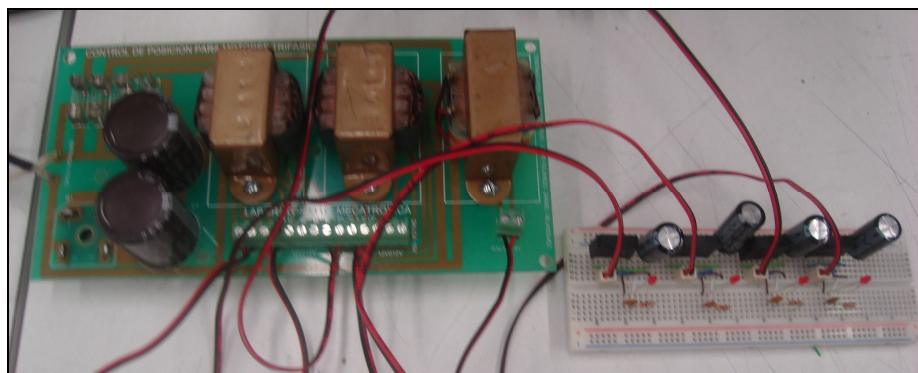
A



B

La tarjeta secundaria esta compuesta por 4 capacitores de 2200 microfaradios a 30 voltios, 4 puentes rectificadores, 4 reguladores 7815 que garantizan un voltaje preciso de 15 voltios, 4 condensadores cerámicos 104 que perfeccionan la señal, 4 leds indicadores y 4 resistencias de 220 ohmios

Ilustración 15. Ensamble de tarjeta de potencia primaria y secundaria



3 DESARROLLO DEL INVERSOR

3.1 OBJETIVO

Desarrollar o seleccionar el inversor que se empleará para controlar la posición del motor trifásico.

3.2 PUENTE HEXAFÁSICO

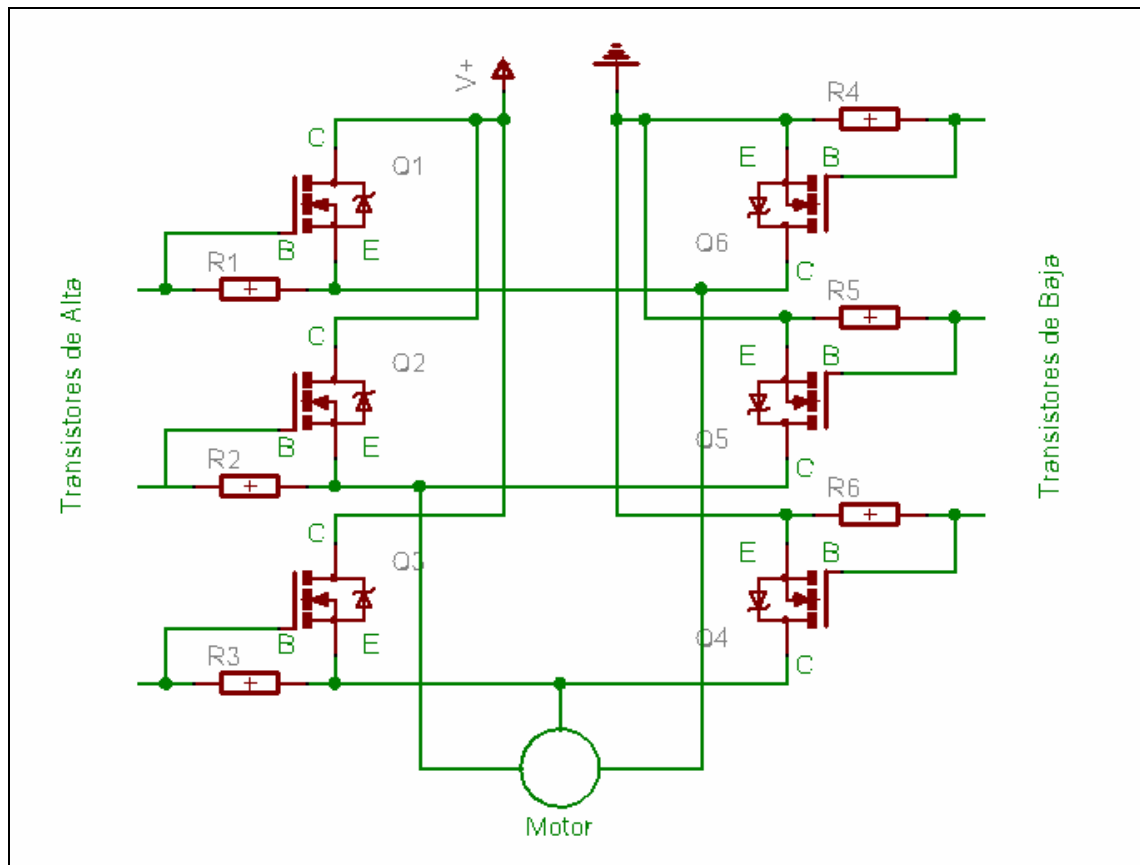
Dado el carácter investigativo del proyecto se optó por desarrollar un sistema que permite controlar el motor en lugar de seleccionar un inversor comercial.

Para energizar las bobinas del motor se diseñó un arreglo tipo puente hexafásico compuesto por seis transistores de potencia IRFP250B (Ver anexo 4) los cuales son accionados mediante la secuencia enviada desde el PIC. El arreglo consiste en tres Mosfet de alta y tres de baja los cuales actúan por parejas y se combinan de manera alternada, uno de alta con uno de baja, para energizar una de las bobinas del motor positivamente y otra negativamente.

Las bases de todos los transistores Mosfet están conectados a la tarjeta amplificadora de señal, los colectores de alta están conectados al voltaje con el que se va a alimentar el motor, los emisores están conectados a cada una de las fases del motor y al colector del transistor de baja que se le asignó como pareja,. Por ultimo, los emisores de los transistores de baja están conectados a tierra (Ver ilustración 16).

Entre la base y el emisor de todos los transistores hay una resistencia que se utiliza para mantener el Mosfet cerrado ya que estos transistores tienen muy baja impedancia⁸ y se pueden quemar fácilmente.

Ilustración 16. Plano esquemático del puente hexafásico



Para controlar el puente hexafásico se requieren valores de voltaje y corriente superiores a los que la tarjeta de control puede suministrar. Debido a ello se desarrolló una tarjeta de amplificación de señal.

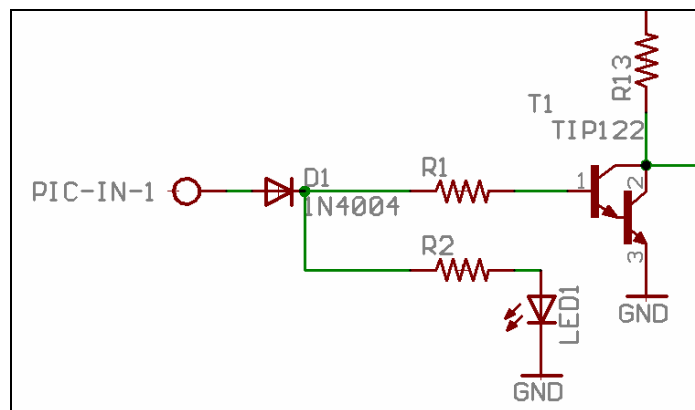
⁸ La impedancia eléctrica mide la oposición de un circuito o de un componente eléctrico al paso de una corriente eléctrica alterna sinusoidal

3.3 TARJETA DE AMPLIFICACIÓN DE SEÑAL

La tarjeta de amplificación de señal se encarga de transformar la señal del PIC de 5 voltios, en una señal de 15 voltios requerida para el control del puente hexafásico.

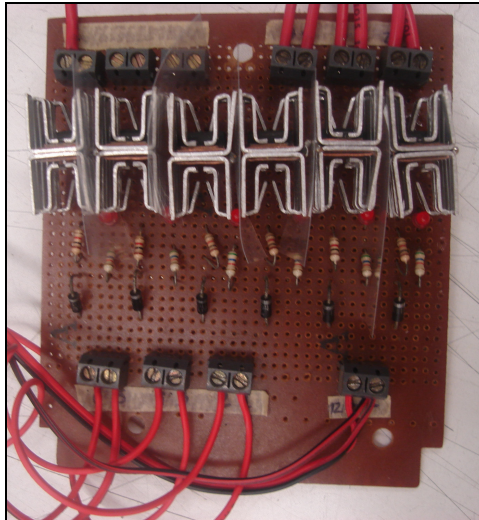
Dicha tarjeta (Ilustración 17) esta conformada por 6 arreglos idénticos compuestos por un transistor TIP 122, un diodo 1N4004, 3 resistencias y un led.

Ilustración 17. Arreglo para tarjeta de amplificación



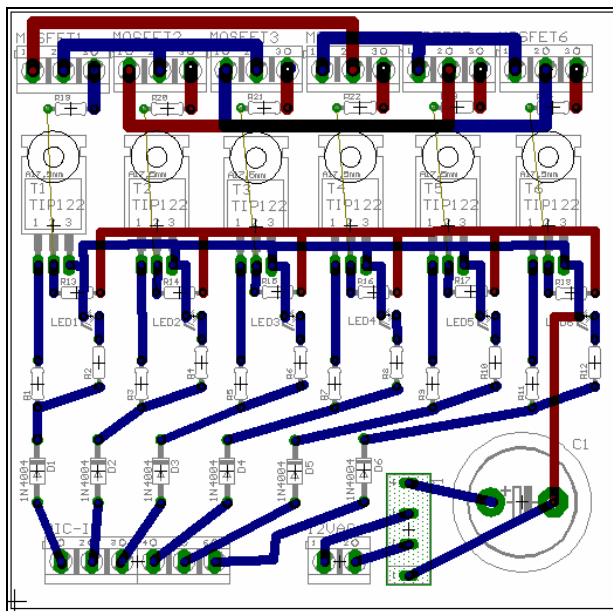
El diodo 1N4004 es un seguro que impide que la corriente se devuelva al PIC y lo protege contra posibles cortos, la unión de la resistencia R2 y el led son un indicador visual que muestra que el PIC está enviando la información correctamente. El transistor TIP 122 es activado por la señal de 5 voltios enviada por el PIC y permite el paso de 15 voltios suministrados desde una fuente externa.

Ilustración 18. Tarjeta de amplificación



El montaje de los componentes de la tarjeta de amplificación se realizó en una tarjeta universal (Ver ilustración 18), sin embargo se realizaron los planos y el board en el software EAGLE⁹ para posibles duplicados de dicha tarjeta.

Ilustración 19. Plano de la tarjeta de amplificación realizado en EAGLE



⁹ Software para el diseño de circuitos impresos.

4 SOFTWARE DE CONTROL

4.1 OBJETIVO

Desarrollar el *software* que permita controlar la posición del motor trifásico.

4.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL

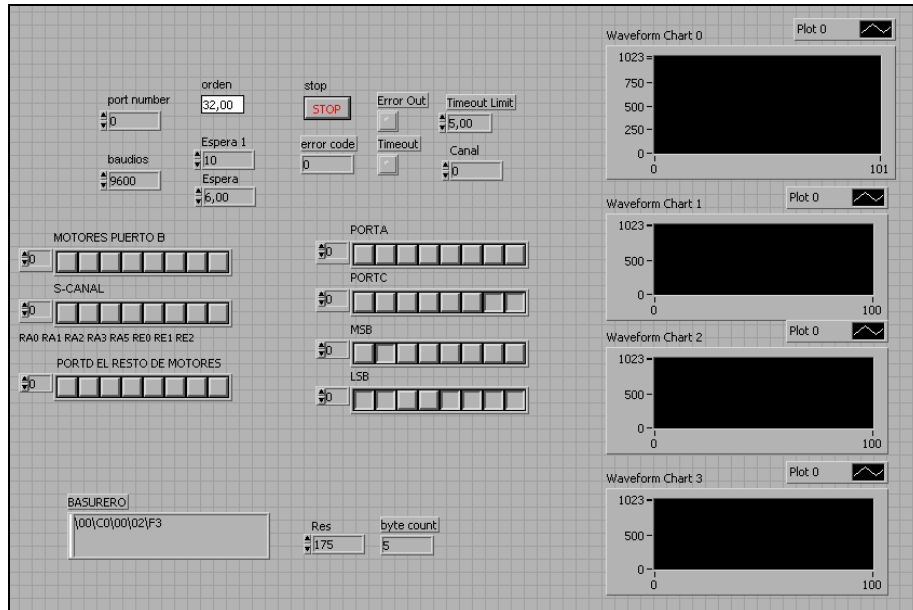
Todo el software empleado en el proyecto fue diseñado en LabView 5.1 con las licencias de los computadores del laboratorio de mecatrónica de la Universidad EAFIT.

4.2.1 Programa para verificación de comunicación serial y encoder

Para verificar y probar el funcionamiento de la tarjeta de control se empleó un programa desarrollado en el laboratorio de mecatrónica llamado PRUSOFA5. Dicho VI¹⁰ permite identificar el número de puerto serial a emplear en la comunicación con el PIC y está programado para modificar el estado de los puertos B y D del PIC.

¹⁰ VI, Extensión que caracteriza archivos en LabView.

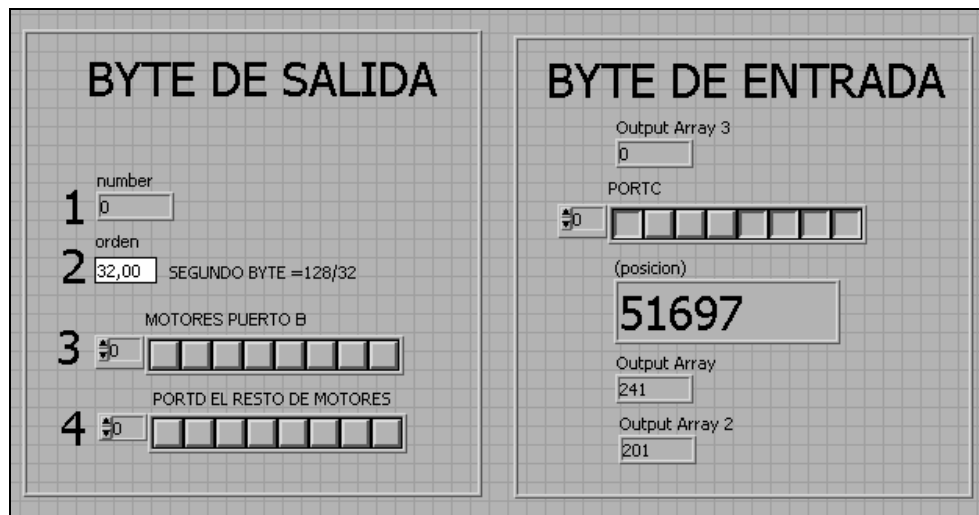
Ilustración 20. Software PRUSOFA5



Una vez que se controlaron la señal de los PWM del PIC se desarrolló una nueva interfase que incluyera a su vez los datos suministrados por el encoder.

En el nuevo VI se estableció el control de los puertos B y D como BYTES de salida y los datos del Puerto C y la posición del encoder como datos de entrada.

Ilustración 21. Software de prueba 1



Este programa permite controlar la señal de los PWM y visualizar los datos suministrados por el encoder. Sin embargo no entrega información referente a la posición en grados y radianes del motor, por lo cual el programa no permite controlar la posición del motor.

Por ello se desarrolló un nuevo VI que mantuvo la misma configuración de Bytes de entrada y salida y que suministra los datos depurados del encoder. En este programa el usuario puede apreciar los grados que gira el motor, su respectiva relación en radianes y adicionalmente cuenta el número de vueltas que da el motor.

Ilustración 22. Software de prueba 2

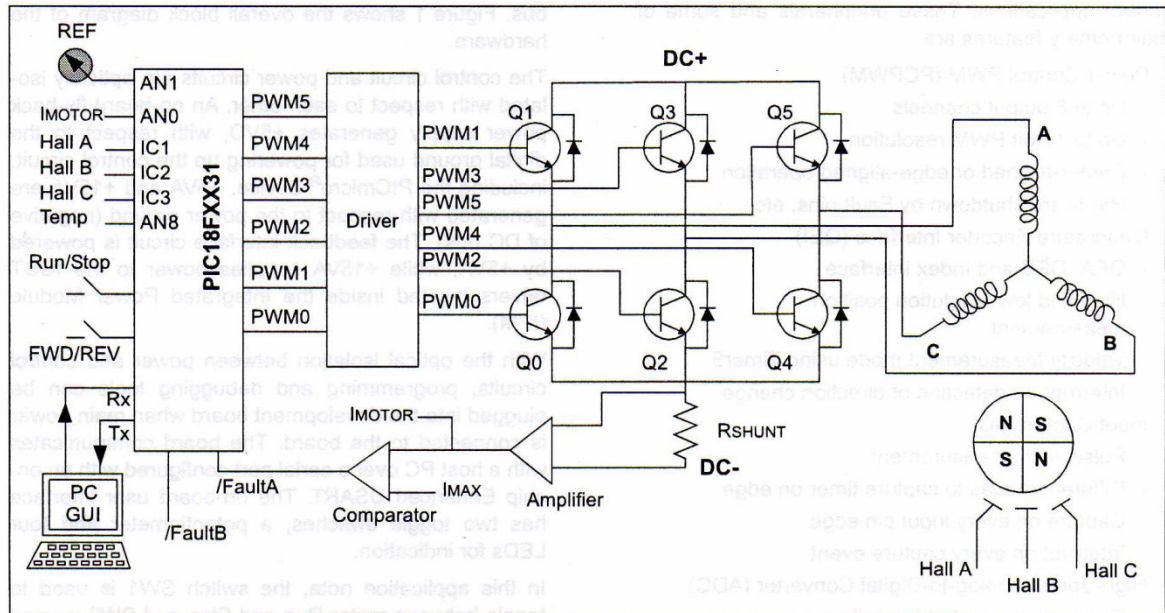


Una vez terminado el proceso de desarrollo y pruebas de la tarjeta de control y su respectivo software se comenzó el desarrollo del software de control para el motor.

4.2.2 Programa de control de secuencias

La unión de la tarjeta de control, la tarjeta de amplificación y el puente hexafásico se resume en la siguiente grafica:

Ilustración 23. Modelo de control de un motor por medio de puente hexafásico



AN899@

Para poner en movimiento el motor se deben abrir y cerrar los 6 transistores del puente hexafásico de una manera definida. Los transistores Q1, Q3 y Q5 son los transistores de alta y Q0, Q2 y Q4 son los transistores de baja.

La secuencia de giro horario que se obtuvo se basa en la siguiente tabla:

Tabla 3. Secuencia de giro horario

| Sequence Number | Hall Sensor Input | | | Active PWMs | | Phase Current | | |
|-----------------|-------------------|---|---|-------------|----------|---------------|-----|-----|
| | A | B | C | | | A | B | C |
| 1 | 0 | 0 | 1 | PWM1(Q1) | PWM4(Q4) | DC+ | Off | DC- |
| 2 | 0 | 0 | 0 | PWM1(Q1) | PWM2(Q2) | DC+ | DC- | Off |
| 3 | 1 | 0 | 0 | PWM5(Q5) | PWM2(Q2) | Off | DC- | DC+ |
| 4 | 1 | 1 | 0 | PWM5(Q5) | PWM0(Q0) | DC- | Off | DC+ |
| 5 | 1 | 1 | 1 | PWM3(Q3) | PWM0(Q0) | DC- | DC+ | Off |
| 6 | 0 | 1 | 1 | PWM3(Q3) | PWM4(Q4) | Off | DC+ | DC- |

AN899@

Por otro lado la secuencia de giro antihorario obedece la siguiente tabla.

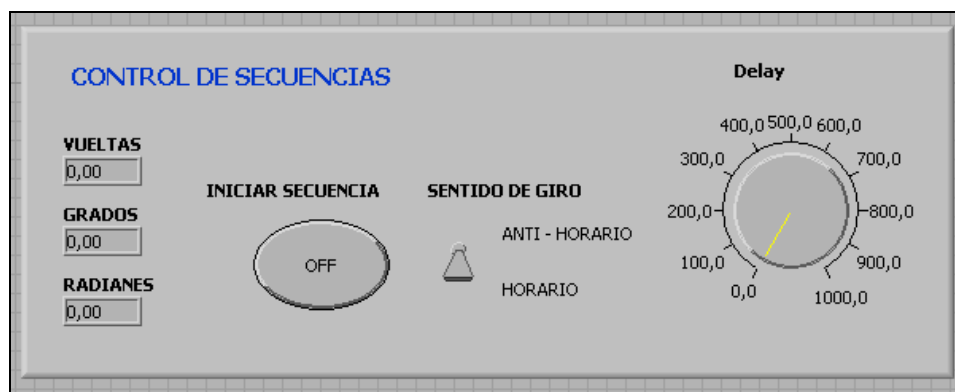
Tabla 4. Secuencia de giro anti-horario

| Sequence Number | Hall Sensor Input | | | Active PWMs | | Phase Current | | |
|-----------------|-------------------|---|---|-------------|----------|---------------|-----|-----|
| | A | B | C | | | A | B | C |
| 1 | 0 | 1 | 1 | PWM5(Q5) | PWM2(Q2) | Off | DC- | DC+ |
| 2 | 1 | 1 | 1 | PWM1(Q1) | PWM2(Q2) | DC+ | DC- | Off |
| 3 | 1 | 1 | 0 | PWM1(Q1) | PWM4(Q4) | DC+ | Off | DC- |
| 4 | 1 | 0 | 0 | PWM3(Q3) | PWM4(Q4) | Off | DC+ | DC- |
| 5 | 0 | 0 | 0 | PWM3(Q3) | PWM0(Q0) | DC- | DC+ | Off |
| 6 | 0 | 0 | 1 | PWM5(Q5) | PWM0(Q0) | DC- | Off | DC+ |

AN899@

Para controlar los transistores y seguir las secuencias nombradas anteriormente se realizó el programa Control secuencia 1.

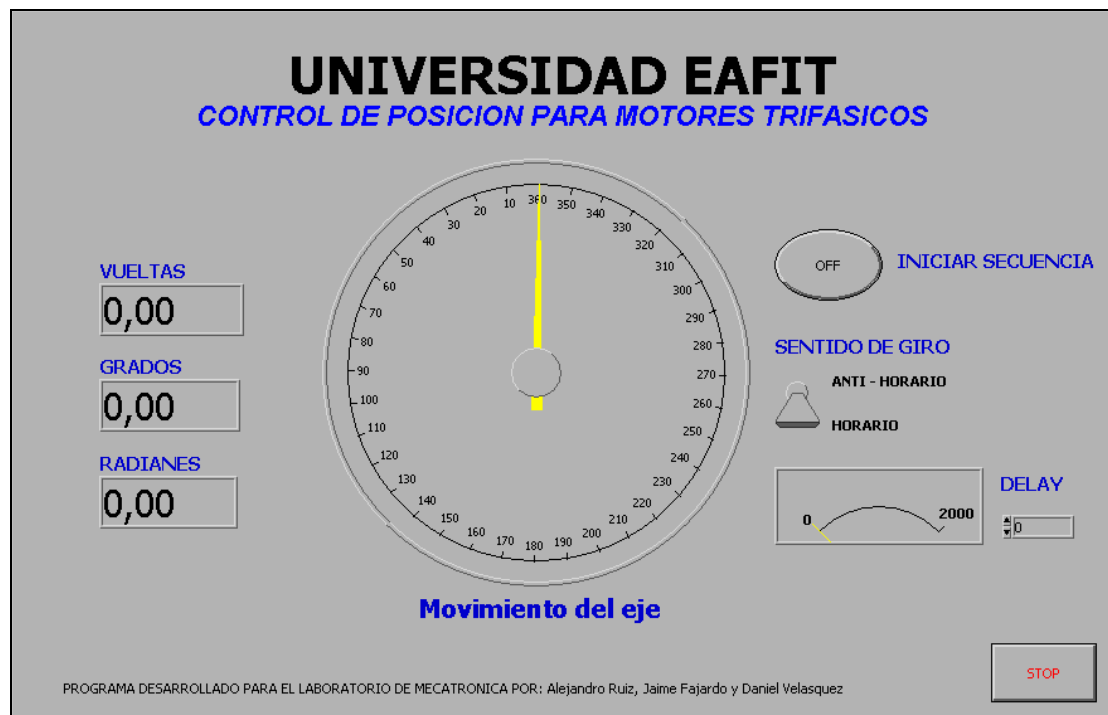
Ilustración 24. Programa Control secuencia 1



En dicho programa el usuario puede definir el sentido de giro y de una manera muy básica la velocidad del motor, aumentando o disminuyendo el tiempo entre pulsos mediante el dial Delay (Ver ilustración 24). Este VI permite un movimiento perpetuo y no controlado y se desarrolló con la intención de verificar las secuencias consultadas y el funcionamiento de los hardware realizados.

Debido a que con el programa Control_Secuencia1 se realizaron la gran mayoría de las pruebas de control se decidió mejorar dicho software incluyendo funciones como un simulador de movimiento del eje el cual muestra al usuario la posición el eje en tiempo real.

Ilustración 25. Programa Control secuencia 2

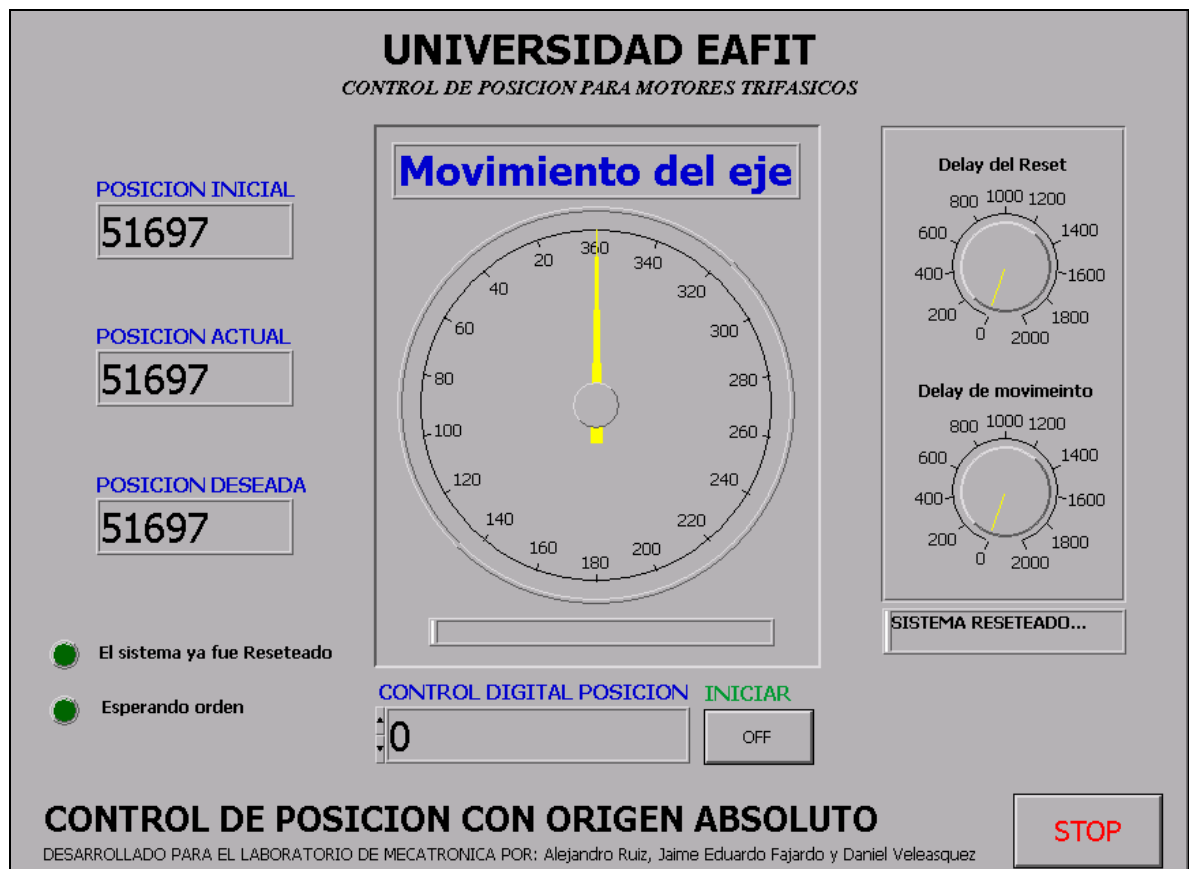


Como ya se mencionó, mediante el software control secuencia 2 se logra poner en marcha el motor en un movimiento indefinido, en donde el único control que se obtiene es el control de dirección.

Para controlar la posición del motor se desarrollo el programa “Control_Absoluto” el cual esta programado como una máquina de estado finito y realiza unas comparaciones internas para dar una aproximación al control de posición. El programa tiene varias funciones entre las que se encuentra el reseteo inicial del sistema. Con dicha función el eje del motor se ubica de manera automática en la posición 0 grados.

El programa también permite al usuario introducir el valor de grados al que pretende enviar el eje y el programa lo ubica en una posición cercana a dicha posición.

Ilustración 26. Programa Control_Absoluto



La inexactitud del control logrado con el programa se debe al movimiento del motor en si. El motor Neri empleado en las pruebas da una vuelta en tan solo 12

pulsos con una alimentación de voltaje superior a los 90 voltios, por dicha razón cada pulso enviado por el computador hace mover el eje del motor mas de 20º y dado que la velocidad del motor supera a la velocidad RAM del computador el programa no ejerce un control aceptable. Además el PC debe ocuparse de otras tareas como las del sistema operativo, etc. Que hacen que el tiempo de respuesta no sea el más adecuado.

En este punto se descubrió que es realmente complejo e ineficiente el control de posición mediante secuencias enviadas por el computador. Se decidió entonces controlar las secuencias del movimiento desde el PIC 18F4431 e introducir solo las órdenes de movimiento desde el computador.

Ilustración 27. Programa Control_PIC

CONTROL DE POSICION PARA MOTORES TRIFASICOS

BYTE DE SALIDA

number
1

orden
2 SEGUNDO BYTE =128/32

3 PULSOS number 2

4 DIRECCION number 3

5 VELOCIDAD

PULSOS: CANTIDA DE PULSOS QUE DEBE DAR EL MOTOR TENER ENCUENTA QUE EL MOTOR TIENE 12PUL/REV

DIRECCION: ESTABLECE EL SENTIDO DE GIRO DEL MOTOR CUANDO EL VALOR DE DIRECCION ES NEGATIVO O POSITIVO O SE AUMENTA O DISMINUYE. SI DIR=1 POS Y DIR =2 NEG.

VELOCIDAD: ESTE VALOR ES CARGADO EN UN REGISTRO EN EL PIC, EL CUAL SE DECREMENTA EN UNA RUTINA DE RETARDO.

BYTE DE ENTRADA

Output Array 3
1

PORTC
2

(posicion)
3

Output Array Output Array 2
4

DATOS ENCODER

| | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| VUeltas | GRADOS | RADIANES |
| <input type="text" value="0,00"/> | <input type="text" value="0,00"/> | <input type="text" value="0,00"/> |

CONFIGURACION

port number

baudios

Espera 1 Error Out

Espera Timeout

Timeout Limit

error code byte count

CONTROL PIC 18F4431

El programa "Control_Pic" es parecido al software de pruebas 2 (Ver ilustración 22), en el cual el usuario debe introducir el número de pulsos que desea mover, la dirección y la velocidad del movimiento.

Si se introduce 1 como valor de dirección el motor girará en sentido horario, si por el contrario se introduce 2 el motor girará en sentido antihorario. Si se desea que el motor gire una vuelta se debe introducir el número 12 en la casilla de pulsos, esto se debe a la resolución del motor que se expuso anteriormente.

4.2.3 Programa definitivo

El software definitivo esta compuesto por un menú inicial que brinda al usuario la posibilidad de entrar a tres subprogramas que permiten controlar el motor en diferentes formas:

- Movimiento constante
- Control absoluto
- Control relativo

Ilustración 28. Programa de inicio



Los tres subprogramas muestran un indicador grafico en la pantalla que sirve de ayuda para visualizar la posición y el movimiento del eje.

La configuración inicial que debe hacer cada usuario consiste en identificar el numero del puerto del computador por el cual se van a enviar los datos al microcontrolador; la velocidad de transferencia, que para el caso puntual del microcontrolador utilizado debe ser de 19200 baudios, el numero de grados que avanza el eje del reductor por cada pulso enviado al motor según la relación de reducción del reductor y el tiempo mínimo entre pulsos para restringir el movimiento.

Para identificar el numero de grados por pulso el usuario debe hacer una caracterización del sistema en la cual se envía un pulso al motor y se identifica el movimiento total del eje del reductor de acuerdo a los datos de posición que el encoder arroja antes y después de la prueba. La operación se debe realizar varias veces para sacar un promedio y tener un dato que sea representativo.

Es importante que el usuario conozca el valor del retardo mínimo entre pulsos a fin de obtener un control preciso, un retardo inferior al valor recomendado originaria distorsiones en el movimiento del motor. El retardo ideal encontrado en pruebas fue de 30 ciclos.

El subprograma “movimiento constante” hace que el motor gire indefinidamente dándole al usuario la opción de escoger el sentido de giro, el cual puede invertirse en cualquier momento si así lo requiere.

Ilustración 29. Programa para control de dirección



El subprograma “control absoluto” restringe el movimiento a una sola vuelta, permitiéndole al usuario un control de 360° sobre el movimiento del motor. El programa identifica cuantos pulsos hay que enviarle al motor y en que sentido tiene que girar para ir a la posición deseada por el usuario.

La pantalla permite visualizar la posición en la que se encuentra el motor, el número de pulsos calculado por el programa, el sentido en el que está girando el motor y permite escribir los datos de configuración, la posición deseada y la velocidad del retardo.

Por ejemplo, si se configuró 1.41 grados por pulso y el motor se encuentra en la posición 90º y el usuario quiere ubicarse en la posición 10º, el programa calcula 56 pulsos y sentido de giro horario.

Este programa se diseñó pensando en aplicaciones como válvulas y actuadores lineales.

Ilustración 30. Programa para control de posición absoluto

CONTROL DE POSICION ABSOLUTO PARA MOTORES TRIFASICOS

CONTROL DE POSICION

178.59 POSICION ACTUAL

180.00 POSICION DESEADA

0.00 PULSOS A ENVIAR

0 VELOCIDAD

VELOCIDAD ENTRE PULSOS ES MUY BAJA

AJUSTADO PARA GIRO ANTIHORARIO AJUSTADO PARA GIRO HORARIO

DIRECCION

EJECUTE Esperando Orden

MOVIMIENTO DEL EJE

DATOS ENCODER

VUELTAS 14.00 GRADOS 178.59 RADIANS 3.12

ANTIHORARIA HORARIA

DIRECCION PULSOS 0

SEGUNDO BYTE = 128/32 orden 32.00

CONTROL PIC 18F4431

CONFIGURACION

Port number 1 Baudios 19200 Error Out

1 PULSO = 1.41 29.00 TIEMPO MINIMO

RELACION PULSO/GRADOS

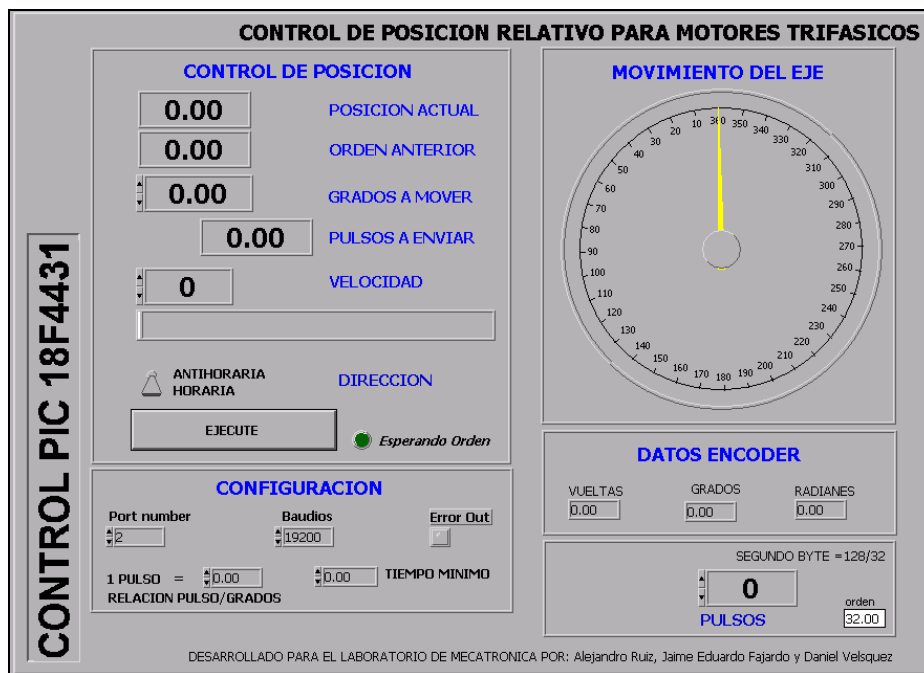
DESARROLLADO PARA EL LABORATORIO DE MECATRONICA POR: Alejandro Ruiz, Jaime Eduardo Fajardo y Daniel Velsquez

El subprograma “control relativo” identifica la posición en la que se encuentra el motor y a partir de esta permite moverse en el sentido de giro que se quiera los grados deseados y así sucesivamente, es decir, cada nueva posición será un nuevo punto de referencia para el movimiento siguiente.

La pantalla permite visualizar la posición en la que se encuentra el motor, la orden que se le dio en el movimiento anterior, el número de pulsos calculado por el programa y permite escribir los datos de configuración, los grados que se desea mover, el sentido de giro y la velocidad del retardo.

Por ejemplo, si se configuro 1.41 grados por pulso y el motor se encuentra en la posición 90º y el usuario quiere girar 10º en sentido antihorario el programa calculara 7 pulsos y enviara el motor a la posición 100º.

Ilustración 31. Programa control de posición relativo



5 ENSAYOS Y PRUEBAS

5.1 OBJETIVO

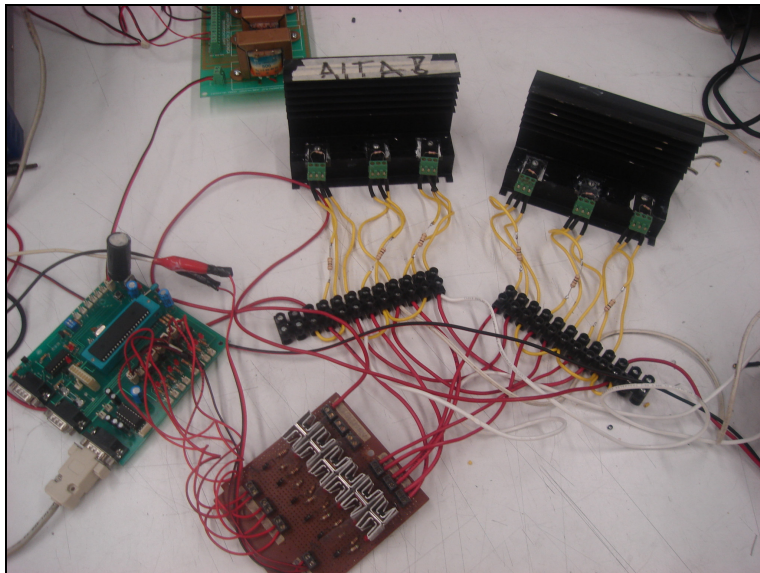
Construir un prototipo funcional del dispositivo.

5.2 PRUEBA 1

El primer ensayo se realizó con resistencias de $\frac{1}{4}$ de vatio en todas las tarjetas y en el puente hexafásico, no se utilizó ninguna resistencia entre la base y el colector de los transistores de baja. EL voltaje de entrada fue de 12 voltios en los transistores TIP 122 y 30 voltios en los Mosfets.

Los resultados no fueron positivos, los transistores Q3 y Q5 de alta se quemaron así como las resistencias unidas a las bases de dichos transistores. No se obtuvo movimiento alguno.

Ilustración 32. Montaje para pruebas



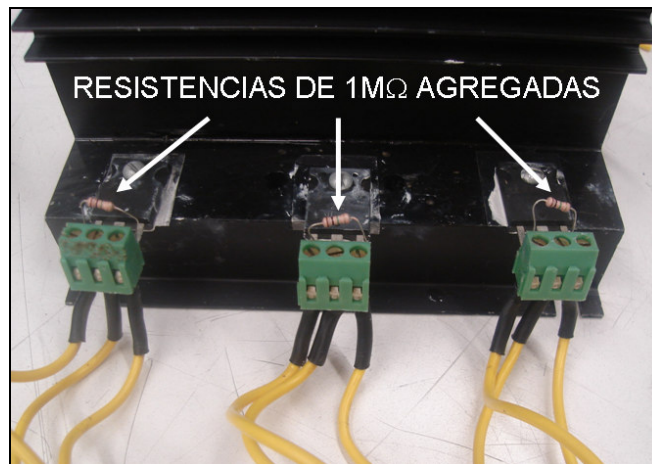
5.3 PRUEBA 2

Para la segunda prueba se continuó trabajando con resistencias de $\frac{1}{4}$ de vatio en todas las tarjetas, se agregaron 3 resistencias de $1\text{ M}\Omega$ entre las bases y los emisores de los 3 transistores de baja.

Se aumento de 12 a 15 voltios la alimentación de los transistores TIP 122 y se continuó trabajando con un voltaje de 30 voltios en los Mosfets.

Al ejecutar la secuencia el motor dio indicios de movimiento, pero segundos después la resistencia de 1Ω conectada entre los transistores TIP 122 y la base del transistor Q3 de alta se quemó, al quedar sin esta resistencia el transistor Q3 también se quemó.

Ilustración 33. Mosfets con resistencias entre la base y el emisor



5.4 PRUEBA 3

Para la tercera prueba se cambiaron las 6 resistencias entre los transistores TIP 122 y las bases de los transistores IRFP250B de 1Ω a $\frac{1}{4}$ vatio por 6 resistencias de 1Ω a 1 vatio. Adicionalmente se cambiaron las 6 resistencias que salen de los

emisores de los transistores TIP 122 de 220Ω a $\frac{1}{4}$ de vatio por 6 resistencias de 220Ω a 1 vatio. La prueba se realizó con 15 voltios en los transistores TIP 122 y 30 voltios en los transistores IRFP250B.

Ilustración 34. Resistencias de 1W en la base de los Mosfets

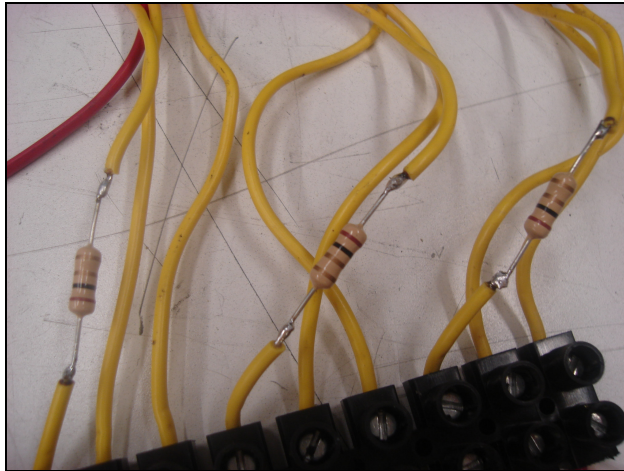


Ilustración 35. Resistencias en la tarjeta de amplificación



Como resultado se obtuvo un movimiento lento y de bajo torque pero controlado en ambos sentidos. Se aumentó de 30 a 60 voltios el voltaje de entrada de los Mosfets y se obtuvo un movimiento más definido, rápido y de mayor torque. Por ultimo se aumentó a 70 voltios y se quemó el transistor Q1 de alta. Ninguna resistencia se quemó en este ensayo.

5.5 PRUEBA 4

En la cuarta prueba se agregaron 3 resistencias de $1M\Omega$ entre las bases y los emisores de los 3 transistores de alta. Así mismo, se continuó trabajando con 15 voltios en los transistores TIP 122 y 90 voltios en los transistores IRFP250B.

Ilustración 36. Resistencias en Mosfets de alta

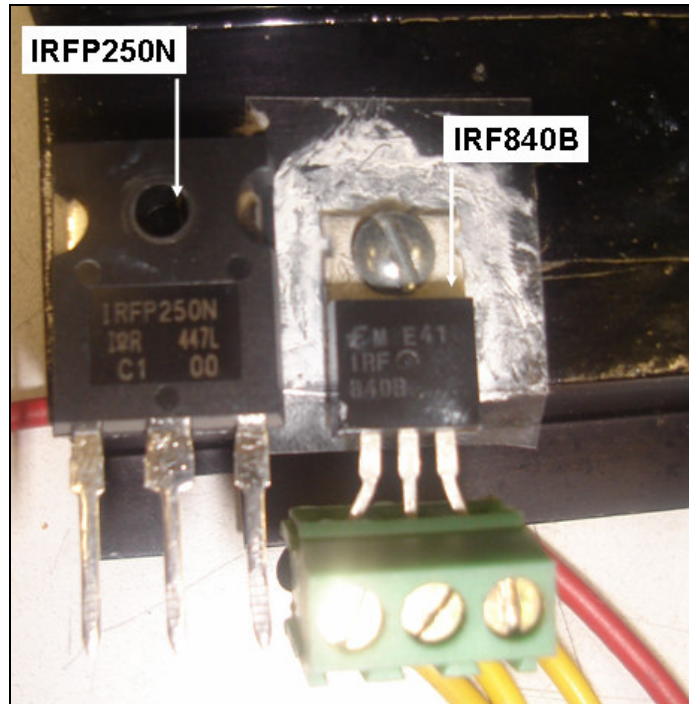


No se obtuvo movimiento constante, el movimiento no correspondía con la secuencia enviada y finalmente se quemó el transistor Q1.

5.6 PRUEBA 5

El resultado de aumentar el voltaje a más de 60 voltios en los transistores IRFP250B daba como resultado el daño de uno o más de los mismos a pesar de manejar valores de corriente relativamente bajos. Se descubrió entonces que dichos transistores estaban diseñados para soportar elevados niveles de corriente más no de voltaje. Por dicha razón se decidió reemplazar los 6 transistores IRFP250B por 6 transistores IRF840B (Ver anexo 5), dispositivos diseñados para soportar mayores niveles de voltaje a corrientes más bajas.

Ilustración 37. Mosfets para corriente y para voltaje



El resultado de dichas modificaciones no fue positivo, debido a que los valores de voltaje y corriente que se obtenían de la tarjeta de amplificación no fueron suficientes para poder abrir los nuevos transistores.

5.7 PRUEBA 6

Para el sexto ensayo se decidió parar las pruebas con el montaje que se estaba utilizando y se inició el proceso de diseño y desarrollo de uno nuevo en el cual se remplazaran los transistores TIP122 (Ver anexo 6) por 6 optó transistores 4N25 (Ver anexo 7). Para ello se incluyeron 3 drivers IR2110 (Ver anexo 8) para controlar cada pareja de transistores (uno de alta y uno de baja) y se modificó el disipador de calor a fin de combinar los 6 transistores en una sola placa y no en 2 como se había venido trabajando.

Ilustración 38. Tarjeta para puente hexafásico con integrados IR2110

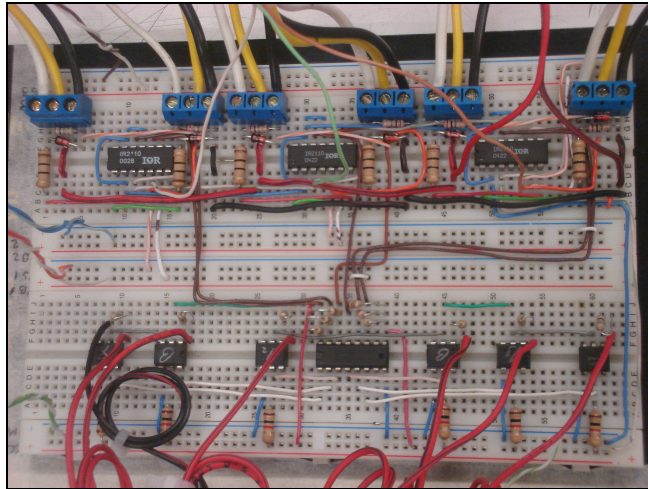


Ilustración 39. Montaje de mosfets

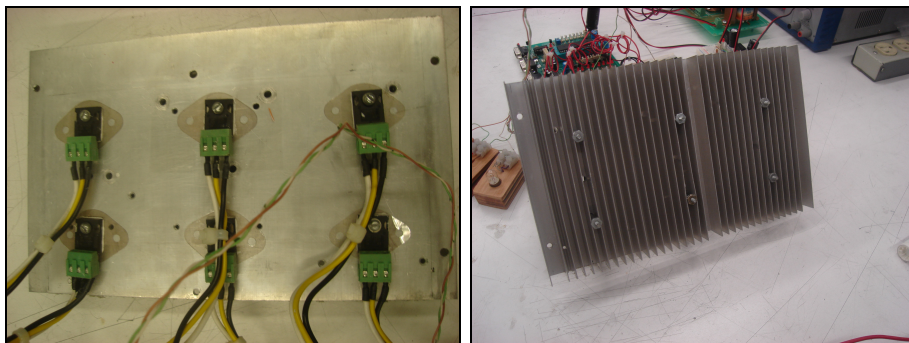
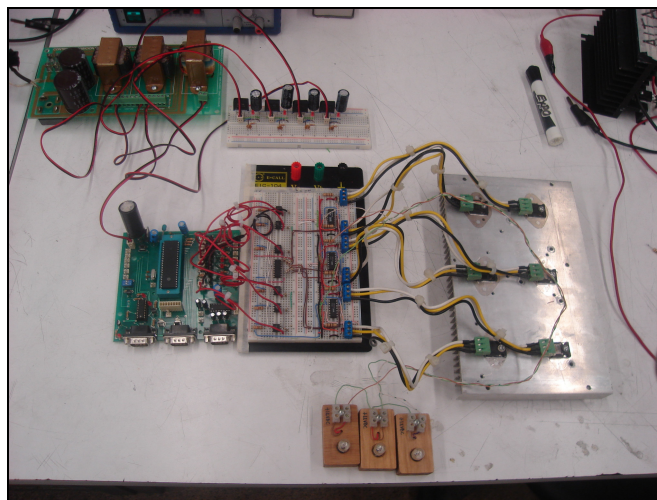


Ilustración 40. Montaje para pruebas con bombillos



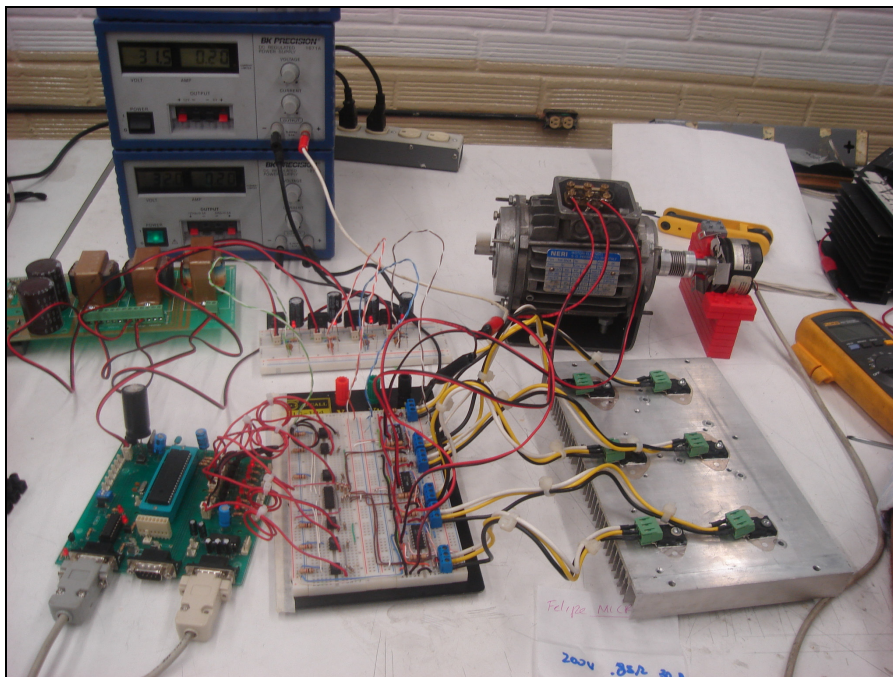
La prueba se realizó con un arreglo de 3 bombillos en lugar del motor a fin de trabajar con valores de voltaje inferiores a los 12 voltios, las secuencias se controlaron con la tarjeta de control que se empleo en las 5 pruebas anteriores.

El resultado de la prueba fue muy exitoso, los bombillos encendieron y se apagaron de una manera secuencial controlada, ningún transistor se quemó y los valores tanto de voltaje como de corriente se mantuvieron dentro de los parámetros esperados.

5.8 PRUEBA 7

Se remplazaron los bombillos de la prueba anterior y se conectó el motor. La alimentación inicial fue de 15 voltios para los opto acopladores y 30 voltios para el motor.

Ilustración 41. Montaje para pruebas con motor



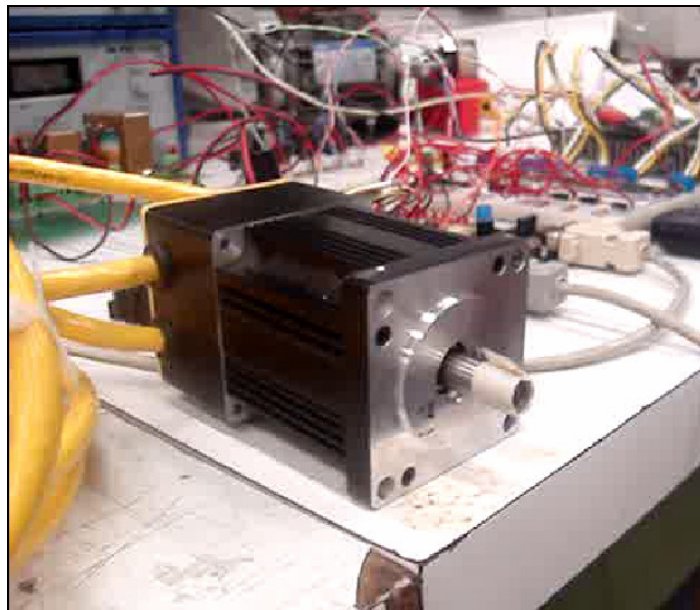
Se logró poner en marcha el motor en ambas direcciones a una velocidad aceptable. Con este mismo montaje se incrementó progresivamente el voltaje de alimentación del motor, pasando por 30, 40, 60, 90 hasta llegar a 120 voltios.

El control de la velocidad se realizó mediante una serie de secuencias enviadas desde el computador, separadas por un retardo. Las pruebas se ejecutaron con un retardo inicial de 200 y se finalizaron con un retardo de 0, al llegar a este último valor se obtuvo la mayor velocidad posible enviando los pulsos desde el computador.

5.9 PRUEBA 8

Con el propósito de confirmar el buen funcionamiento del control en cualquier tipo de motores, se hizo una prueba conectando un motor Parker Brushless SM231B con iguales resultados a los conseguidos con el motor Neri empleado para el resto de las pruebas.

Ilustración 42. Motor Parker SM231B



5.10 PRUEBA 9

Con el ánimo de mejorar aun más el control y obtener valores mayores de velocidad se decidió generar los pulsos desde el microcontrolador en lugar de secuencias generadas desde el computador.

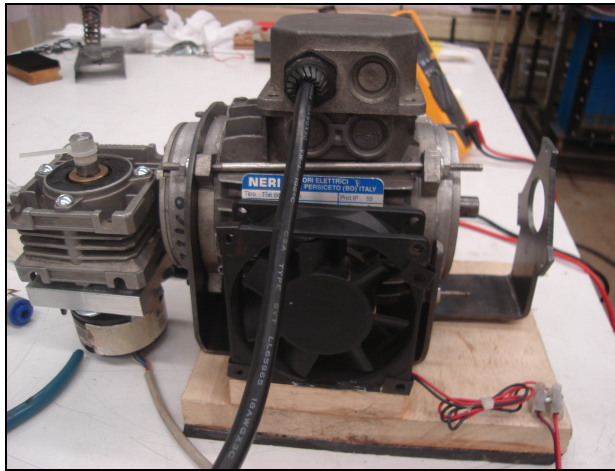
En una etapa inicial de la prueba se programaron 5 bytes en el PIC llamados orden, pulsos, dirección, velocidad y energizar. El byte orden es el encargado de poner al PIC en modo de recepción o envío de datos, el byte pulsos recibe el numero de movimientos a ejecutarse en el motor, el byte dirección establece el sentido de giro, el byte velocidad es un tiempo entre pulsos y el byte energizar se encarga de permitir o interrumpir la alimentación de energía en las bobinas.

Las primeras pruebas bajo la nueva configuración se realizaron con el fin de observar que velocidad se podía alcanzar con el PIC. Se llego a un punto en el que la velocidad de transmisión de secuencias desde el PIC era tan rápida que el motor no lograba ejecutarlas. El tiempo mínimo entre secuencias se estableció en 30 ciclos del micro controlador.

Se presentó un inconveniente cuando se realizaban los cambios de sentido, pues las secuencias se estaban enviando de una manera aleatoria y sin control. Por dicha razón se realizo un nuevo programa para el PIC en el cual se empleó una bandera de posición la cual seleccionaba la etapa de la secuencia correcta ante cambios de dirección previniendo así las vibraciones y alteraciones e posición que se presentaron inicialmente.

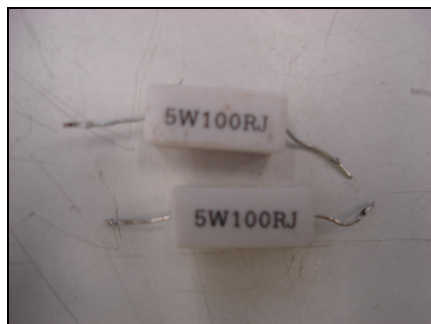
Una vez que se logró controlar la posición mediante la introducción de pulsos, se instaló un reductor de velocidad al motor con una relación de 1 en 20. El encoder se instaló en el reductor y se logro una nueva precisión de pulsos pasando de aproximadamente 30 grados por pulso a 1.5 grados por pulso.

Ilustración 43. Montaje motor reductor



Al iniciarse las pruebas de control se presentó un recalentamiento de considerable en el motor, para evitar esto, se conectaron 3 resistencias de potencia de 510 ohmios a 5 vatios en las líneas W, V, U que van al motor. Como resultado se obtuvo un movimiento de muy bajo torque debido al consumo de corriente de las resistencias.

Ilustración 44. Resistencias de potencia



Se cambiaron las 3 resistencias previamente mencionadas por 3 resistencias de 100 ohmios a 5 vatios. El movimiento del motor mejoró, sin embargo las resistencias se calentaron al punto que se desoldaron los cables.

Se remplazaron nuevamente dichas resistencias por 3 resistencias disipadoras especiales de 10 ohmios y adicionalmente se ubicaron en una lámina disipadora con aletas.

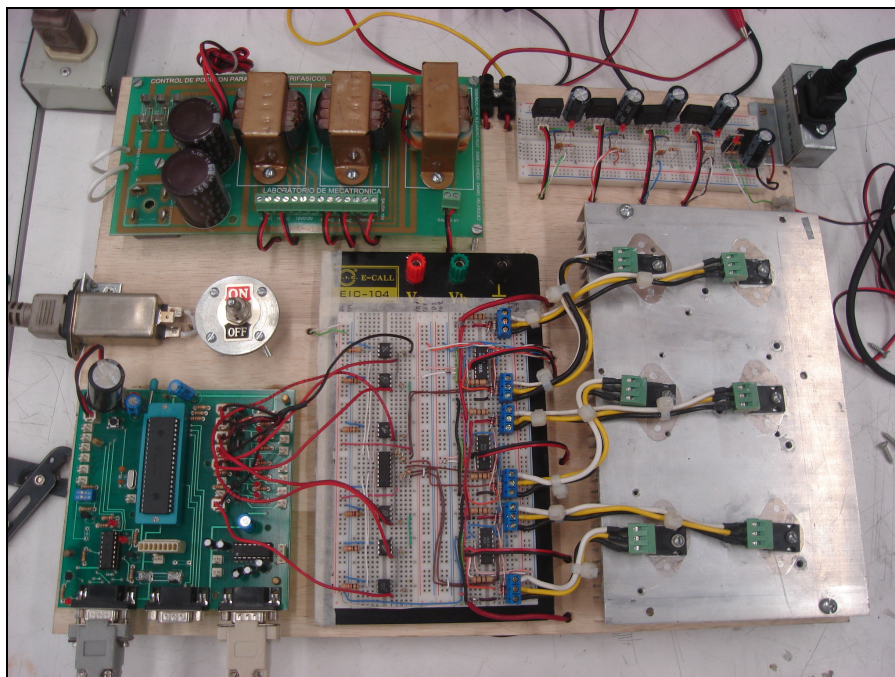
Ilustración 45. Resistencias con disipación



En el nuevo montaje, la temperatura tanto del motor como de las resistencias de potencia fue muy aceptable y el motor se movió bien.

En esta última prueba se logro controlar la posición del motor, cumpliendo así el objetivo inicial de este proyecto.

Ilustración 46. Montaje final



5.11 PRUEBA DE CONTROL DE POSICIÓN

Finalmente se hizo una prueba donde se le dieron varias órdenes al motor para verificar qué tan preciso era el control de posición. Con un avance de 1.43 grados por pulso se tomaron los siguientes datos.

Tabla 5. Prueba en el sentido de giro horario

| Sentido de giro horario | | | | | | |
|-------------------------|------------------|------------------|----------------|--------|--------------|-------|
| Delay | Posicion inicial | Posicion deseada | Posicion final | Pulsos | Grados/Pulso | Error |
| 30 | 358,51 | 331 | 330,39 | 20 | 1,406 | 0,61 |
| 30 | 330,39 | 302 | 301,9 | 20 | 1,4245 | 0,1 |
| 30 | 301,9 | 274 | 273,43 | 20 | 1,4235 | 0,57 |
| 30 | 273,43 | 246 | 245,13 | 20 | 1,415 | 0,87 |
| 30 | 216,74 | 147 | 145,9 | 50 | 1,4168 | 1,1 |
| 30 | 145,9 | 76 | 75,15 | 50 | 1,415 | 0,85 |
| 30 | 75,15 | 5 | 4,31 | 50 | 1,4168 | 0,69 |
| 30 | 349,89 | 209 | 208,21 | 100 | 1,4168 | 0,79 |
| 30 | 208,21 | 67 | 66,36 | 100 | 1,4185 | 0,64 |

Tabla 6. Prueba en el sentido de giro antihorario

| Sentido de giro antihorario | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|------------------|----------------|--------|--------------|-------|
| Delay | Posicion inicial | Posicion deseada | Posicion final | Pulsos | Grados/Pulso | Error |
| 30 | 0,7 | 30 | 28,92 | 20 | 1,411 | 1,08 |
| 30 | 28,92 | 58 | 57,3 | 20 | 1,419 | 0,7 |
| 30 | 57,3 | 87 | 85,78 | 20 | 1,424 | 1,22 |
| 30 | 85,78 | 115 | 114,35 | 20 | 1,4285 | 0,65 |
| 30 | 114,35 | 186 | 185,54 | 50 | 1,4238 | 0,46 |
| 30 | 185,54 | 257 | 256,82 | 50 | 1,4256 | 0,18 |
| 30 | 256,82 | 328 | 327,92 | 50 | 1,422 | 0,08 |
| 30 | 9,49 | 152 | 151,44 | 100 | 1,4195 | 0,56 |
| 30 | 151,44 | 294 | 293,91 | 100 | 1,4247 | 0,09 |

La prueba muestra un control de posición muy preciso en donde el error nunca supera 1.43 grados valor equivalente a la resolución.

6 CONCLUSIONES

La utilización de integrados hace posible que la electrónica sea cada vez mas pequeña ya que se acopla en un solo elemento lo que antes se hacia con varios,. Esto permite que cada vez los dispositivos electrónicos vayan reemplazando dispositivos mecánicos debido a sus ventajas en cuanto dimensiones.

El sistema de control desarrollado es de gran flexibilidad ya que puede emplearse en cualquier aplicación que sea controlada con motores trifásicos o brushless de 2 ò 3 fases.

La precisión del control depende de la resolución de cada motor para el caso en el que se utilicen motores de 3 fases es muy común encontrar 24 ó menos pasos por revolución. Esto en gran medida depende de la cantidad de imanes y/o bobinas que tenga cada motor.

El torque del motor trifásico acondicionado como motor DC es proporcional a la cantidad voltaje aplicado.

El control de secuencia desde el software es una limitante para este tipo de desarrollos ya que la velocidad con la que puede procesar la memoria RAM del computador puede ser ampliamente superada por los microcontroladores ó microprocesadores como los DSP que se utilizan actualmente.

A pesar que la programación de microcontroladores es de bajo nivel y la programación de software es de alto nivel, es importante que este tipo de desarrollos sean programados en su mayor porcentaje en microcontroladores ó microprocesadores como se había mencionado antes para tener dispositivos autónomos y eficientes.

Los motores trifásicos están diseñados para transmitir fuerza y velocidad pero en su gran mayoría estos no vienen dotados de sistemas que permitan controlar posición.

Los Controladores de posición son indispensables para gobernar variables como la inercia, que dificulta detener el motor en la posición deseada. No es suficiente interrumpir la corriente para detener el motor pues el eje continuará girando por varias vueltas más.

Se pueden presentar inconvenientes al cambiar el sentido de giro del motor. Para hacer este cambio correctamente no basta con cambiar la polaridad de corriente como se haría normalmente en un motor de corriente directa. Las secuencias horarias y antihoarias en un motor trifásico son diferentes, pero para hacer el cambio de dirección no basta tampoco con interrumpir una secuencia e iniciar una nueva, se debe tener muy presente la etapa de la secuencia en la que se encuentra y empezar la otra en ese mismo punto, de lo contrario se daría lugar a vibraciones y golpeteos en el motor.

En los primeros intentos de control se presentaron 2 resultados comunes, la destrucción de las resistencias y transistores Mosfet. Las causas del primer inconveniente fueron sencillas de detectar, no se pueden poner resistencias tan pequeñas (1/4 de vatio) en montajes que superan dicho valor de potencias. La segunda causa no fue tan sencilla de detectar. La pérdida de los transistores de potencia se atribuyó al montaje en si. La apertura y cierre de dichos dispositivos se estaba haciendo con una tierra común, es así como al cerrar un transistor pero al abrir el siguiente se estaba dejando una línea siempre conectada de baja resistencia por la que se devolvía un flujo electromagnético (FCEM) el cual se generaba en las bobinas del motor y finalmente superaba los parámetros técnicos de los transistores y los dañaba.

Existen 3 formas fáciles de determinar el estado funcional de un transistor de potencia Mosfet. Un análisis inicial se puede hacer verificando el consumo de corriente del puente hexafásico, si esta parte del circuito general presenta indicación de corriente sin recibir ninguna señal de control es muy probable que uno de los seis transistores que componen el sistema esté dañado.

Una segunda forma de ver que algo anda mal es enviando las secuencias con un tiempo de separación entre ellas prolongado. Si el motor se mueve irregularmente es una clara indicación que uno o más transistores esta defectuoso.

Por ultimo una tercera forma para determinar cual de los 6 transistores es el responsable del malfuncionamiento del sistema se debe usar un multímetro con función de continuidad y probar ésta entre la base, colector y emisor de los transistores. Si entre estos se presenta una continuidad, es decir resistencia interna igual ó muy cercana a cero, es una clara indicación de un daño en el dispositivo.

Se deben emplear fuentes de voltaje independientes para las dos partes que componen el puente hexafásico es decir parte alta y baja, para la parte alta es necesario alimentar cada transistor por separado es decir tierras separadas y para la parte baja no es necesario utilizar fuentes por separado. Esto con el fin de evitar daños en los transistores debido a contracorrientes.

Es de gran ayuda utilizar dispositivos como diodos zener, CI IR2110 el cual envía la señal de apertura al transistor pero se desconecta al hacerlo por lo cual el contra flujo del motor nunca encuentra puntos de baja resistencia.

El motor NERI con el que se trabajó requiere de aproximadamente 12 pulsos para completar una vuelta. Este inconveniente imposibilita lograr parámetros de

posición como 1, 10 e inclusive 20 grados pues cada pulso representa un movimiento aproximado de 30 grados.

Para lograr una mejor resolución en el control se puede utilizar un reductor conectado al motor y hacer un programa de control que tenga en cuenta la relación de reducción, con esto se puede lograr niveles de precisión inferiores a un grado.

La velocidad que desarrolla el motor depende de la fuente que emita las secuencias de movimiento. Si se envían secuencias desde el computador se conseguirá un movimiento constante pero de baja velocidad. Por otro lado, si se envían las secuencias desde el PIC se consigue una excelente velocidad.

Si las señales se envían muy rápido desde el microcontrolador, la velocidad con la que son enviados los pulsos supera la velocidad de carga de las bobinas del motor lo que produce que el microcontrolador envíe secuencias adelantadas al motor ocasionando un incremento de corriente que puede provocar daños en los transistores y el motor.

El control de posición del motor se logra energizando secuencialmente cada una de las bobinas del motor dejando energizada la última bobina a fin de detener el motor y contrarrestar la inercia del mismo, para el caso de motores sin reductor.

Mantener energizada una bobina proporciona ventajas como mantener la posición del motor y conservar el torque. No obstante presenta el inconveniente del recalentamiento del motor si ésta energización se mantiene tiempos prolongados.

Es más eficiente y seguro realizar una programación que calcule el movimiento a realizar según los parámetros preestablecidos por el usuario y que envíe el número exacto de pulsos a mover, que hacer un programa que establezca una

condición de parada y ejecute un movimiento continuo. La imprecisión del motor y la poca velocidad de respuesta del computador hacen que en ocasiones las condiciones de parada nunca se den.

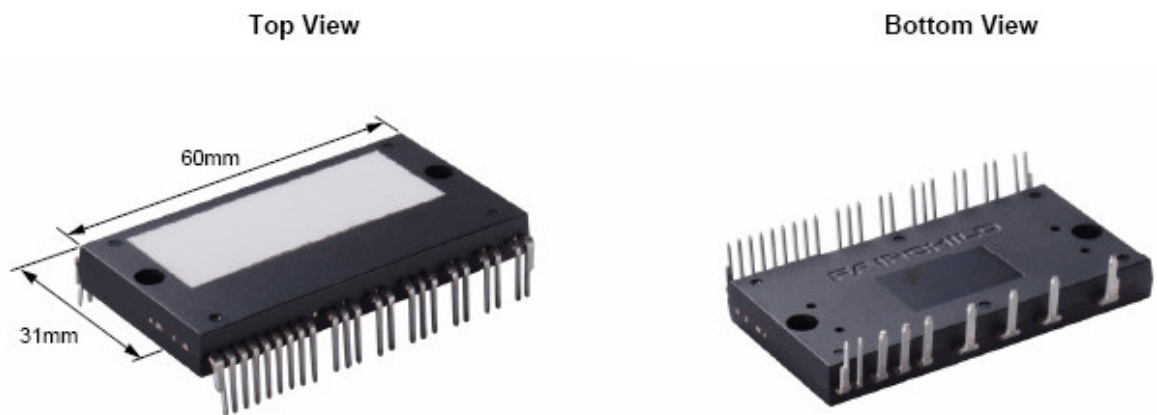
Este trabajo es un punto de partida desde el cual pueden surgir mejoras y así desarrollar un dispositivo para controlar movimiento en motores trifásicos que sea factible comercializarlo debido a su bajo costo, característica que lo haría atractivo para las empresas nacionales.

7 PROPUESTAS PARA NUEVOS PROYECTOS

Culminados los ensayos con el puente hexafásico y los montajes descritos se iniciará una nueva investigación bajo la asesoría del ingeniero Iván Arango y el tecnólogo Alejandro Ruiz a fin de obtener no solo control de movimiento si no también otras variables.

Para ello se utilizará el integrado SPM¹¹ FSAM30SH60A el cual puede reemplazar todos los elementos que constituyen el puente hexafásico y que adicionalmente permite la integración de sensores de corriente mediante los cuales se puede controlar el torque y velocidad del motor.

Ilustración 47. Integrado FSAM30SH60A



¹¹ SPM (Ingles): Smart Power Module

8 BIBLIOGRAFÍA

26LS32@

Texas Instruments Incorporated. 2007. [En línea]. [Citado el 29 de septiembre de 2007]. Disponible en Internet en:

<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/am26ls32a.pdf>

4N25@

Fairchild Semiconductor. 2007. [En línea]. [Citado el 04 de octubre de 2007]. Disponible en Internet en:

<http://www.fairchildsemi.com/ds/4N/4N25-M.pdf>

AN899@

Microchip Technology Inc. 2007. [En línea]. [Citado el 03 de octubre de 2007]. Disponible en Internet en:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00899a.pdf>

AN9021@

Fairchild Semiconductor. 2007. [En línea]. [Citado el 04 de octubre de 2007]. Disponible en Internet en:

<http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-9021.pdf>

CUENCA, Martín. Microcontroladores PIC. 2 edición. Madrid, España: Editorial Paraninfo, 1998. ISBN: 8497321995.

DORF, Richard. Circuitos eléctricos. 5 edición. México: Alfa omega. 2003. ISBN 970-15-0855-6.

Eltra@

Silge electrónica S.A. 2007. [En línea]. [Citado el 03 de octubre de 2007].
Disponible en Internet en:

<http://www.silge.com.ar/hojtec/eltra/si010es2.pdf>

Endrino@

Centro Nacional de Información y Comunicación Educativa. 2007. [En línea].
[Citado el 15 de mayo de 2007]. Disponible en Internet en:

<http://endrino.cnice.mecd.es/~jhem0027/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

Fairchild@

Fairchild Semiconductor. 2007. [En línea]. [Citado el 25 de septiembre de 2007].
Disponible en Internet en:

<http://www.fairchildsemi.com/ds/FS/FSAM30SH60A.pdf>

IR2110@

International Rectifier. 2007. [En línea]. [Citado el 09 de octubre de 2007].
Disponible en Internet en:

<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2110.pdf>

IRF840@

International Rectifier. 2007. [En línea]. [Citado el 09 de octubre de 2007].
Disponible en Internet en:

<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf840.pdf>

IRFP@

International Rectifier. 2007. [En línea]. [Citado el 20 de septiembre de 2007].
Disponible en Internet en:

<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfp250n.pdf>

JOHNSON, G. W. LabView power programming. 1 edición. USA: McGraw Hill. 1998. ISBN 0-07-913666-4.

KUO, BENJAMÍN C. Sistemas de control digital. 1 edición. México: Compañía editorial continental, 1997. ISBN 9682612926.

LÁZARO, Antonio Manuel. LabVIEW Programación grafica para el control de instrumentación. 1 edición. Madrid, España: Editorial Paraninfo, 1997. ISBN: 84-283-2339-9.

MALONEY, Timonhy J. Electrónica Industrial Moderna. 3 edición. Naucalpan, México: Prentice Hall, 1997. p 303-310. ISBN: 9702606691.

MAX@

Texas Instruments Incorporated. 2007. [En línea]. [Citado el 01 de octubre de 2007]. Disponible en Internet en:

<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>

Netrino@

Netrino, desarrollo de software especializado. 2007. [En línea]. [Citado el 02 de octubre de 2007]. Disponible en Internet en:

<http://www.netrino.com/Publications/Glossary/M.php#microcontroller>

OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. 2 edición. Buenos Aires, Argentina: Prentice Hall, 1993. p 3-7. ISBN, 8420536784.

PHILIPS. ECG Semiconductor Master Replacement Guide. 19 edición. Greenville, USA: Philips ECG, 2000.

PIC@

Microchip Technology Inc. 2007. [En línea]. [Citado el 04 de octubre de 2007].

Disponible en Internet en:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39616C.pdf>

RIZZONI, Giorgio. Principles and Applications of Electrical Engineering. 4 edición. Ohio, USA: MC Graw Hill, 2003. ISBN: 0072463473.

Robots@

Robots. 2007. [En línea]. [Citado el 03 de octubre de 2007]. Disponible en Internet en:

http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_max232.htm

RUIZ R, Juan Gabriel. Desarrollo de un Sistema para Controlar la Apertura de Servoválvulas. Proyecto de Grado Universidad EAFIT. 2002. p31-39.

UPM@

Universidad Politécnica de Madrid. 2007. [En línea]. [Citado el 17 de mayo de 2007]. Disponible en Internet en:

<http://gimli.etsit.upm.es/departamentos/teat/asignaturas/motor%20asincrono%20trifasico.pdf>

TheTech@

Tech FAQ. 2007. [En línea]. [Citado el 1 de octubre de 2007]. Disponible en Internet en:

<http://www.tech-faq.com/pulse-width-modulation.shtml>

TIP122@

ON Semiconductor. 2007. [En línea]. [Citado el 20 de septiembre de 2007].

Disponible en Internet en:

<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/TIP120-D.PDF>

USATEGUI, José y MARTÍNEZ, Ignacio. Microcontroladores PIC, diseño práctico de aplicaciones. Madrid, España: Mc Graw Hill. 1999. ISBN: 8484124960.

Wikipedia@

Wikipedia, la enciclopedia libre.2007. [En línea]. [Citado el 10 de mayo de 2007].

Disponible en Internet en:

<http://www.wikipedia.org/>

ANEXO 1. FICHA TECNICA MOTOR NERI



T SERIES
Three-phase
induction motors

| 4 POLI 1500 rpm - Volt 230/400/50 Hz | | | | | | | | | | | | | Servoventilazione Blower 230V/50Hz | |
|--------------------------------------|------------------|------|------|---------------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------|-------------------|----------------------|--|------------------------------------|
| TIPO TYPE | Potenza Power | | rpm | In 400 Volt A | Rend. % η | Cos φ | $\frac{I_a}{I_n}$ | $\frac{C_a}{C_n}$ | $\frac{C_{max}}{C_n}$ | Cn Nm | $\frac{J}{Kgm^2}$ | Peso Weight Kg | Potenza Power Watt | Aria Air m ³ /min |
| | kw | hp | | | | | | | | | | | | |
| T50A• | 0,03 | 0,05 | 1350 | 0,23 | 50 | 0,60 | 2,4 | 2,0 | 2,1 | 0,25 | 0,00008 | 2,2 | - | - |
| T50B• | 0,06 | 0,08 | 1350 | 0,35 | 52 | 0,63 | 2,6 | 2,1 | 2,3 | 0,43 | 0,00010 | 2,4 | - | - |
| T56A | 0,06 | 0,08 | 1360 | 0,38 | 54 | 0,63 | 2,5 | 2,3 | 2,5 | 0,42 | 0,00015 | 2,5 | 15 | 0,7 |
| T56B | 0,09 | 0,12 | 1360 | 0,46 | 58 | 0,65 | 2,8 | 2,3 | 2,5 | 0,61 | 0,00015 | 2,6 | 15 | 0,7 |
| T56C | 0,11 | 0,15 | 1360 | 0,5 | 58 | 0,66 | 2,8 | 2,4 | 2,7 | 0,70 | 0,00020 | 3,2 | 15 | 0,7 |
| T63A | 0,13 | 0,18 | 1360 | 0,7 | 60 | 0,66 | 3 | 2,4 | 2,8 | 0,82 | 0,00028 | 3,7 | 17 | 2,6 |
| T63B | 0,18 | 0,25 | 1370 | 0,75 | 60 | 0,68 | 3 | 2,5 | 2,8 | 1,23 | 0,00040 | 4,3 | 17 | 2,6 |
| T63C• | 0,22 | 0,30 | 1400 | 0,78 | 60 | 0,66 | 3,2 | 2,6 | 2,9 | 1,50 | 0,00040 | 4,3 | 17 | 2,6 |
| T71A | 0,25 | 0,35 | 1370 | 0,86 | 65 | 0,70 | 3,6 | 2,5 | 2,7 | 1,60 | 0,00050 | 5,8 | 17 | 2,6 |
| T71B | 0,37 | 0,5 | 1380 | 1,2 | 67 | 0,74 | 3,5 | 2,5 | 2,8 | 2,55 | 0,00080 | 6,2 | 17 | 2,6 |
| T71C• | 0,55 | 0,75 | 1380 | 1,5 | 66 | 0,72 | 3,8 | 2,6 | 2,8 | 3,45 | 0,00090 | 7,4 | 17 | 2,6 |
| T80A | 0,55 | 0,75 | 1390 | 1,6 | 68 | 0,75 | 4 | 2,5 | 2,6 | 3,5 | 0,00140 | 8,5 | 38 | 5,4 |
| T80B | 0,75 | 1 | 1390 | 2 | 70 | 0,76 | 4,2 | 2,6 | 2,8 | 5,4 | 0,00170 | 9,8 | 38 | 5,4 |
| T80C• | 0,88 | 1,2 | 1350 | 2,6 | 70 | 0,75 | 4,3 | 2,5 | 2,7 | 6,22 | 0,00200 | 10,5 | 38 | 5,4 |
| T80D• | 1,1 | 1,5 | 1390 | 3,1 | 71 | 0,76 | 4,3 | 2,7 | 2,8 | 7,55 | 0,00230 | 11 | 38 | 5,4 |
| T90S | 1,1 | 1,5 | 1400 | 3,3 | 75 | 0,78 | 4,2 | 2,5 | 2,6 | 7,83 | 0,00330 | 12 | 38 | 5,4 |
| T90L | 1,5 | 2 | 1400 | 4,1 | 78 | 0,78 | 4,6 | 2,6 | 2,7 | 9,84 | 0,00400 | 13,5 | 38 | 5,4 |
| T90LB• | 1,8 | 2,5 | 1400 | 5 | 77 | 0,75 | 4,7 | 2,6 | 2,8 | 12,2 | 0,00500 | 15,5 | 38 | 5,4 |
| T100A | 2,2 | 3 | 1410 | 5,9 | 78 | 0,80 | 4,9 | 2,5 | 2,6 | 14,8 | 0,00750 | 19 | 38 | 5,4 |
| T100B | 3 | 4 | 1420 | 7,8 | 78 | 0,82 | 5 | 2,5 | 2,7 | 19,5 | 0,00850 | 21 | 38 | 5,4 |
| T100BL• | 4 | 5,5 | 1410 | 8,6 | 78 | 0,79 | 5 | 2,5 | 2,7 | 26 | 0,01100 | 23 | 38 | 5,4 |
| T112A | 4 | 5,5 | 1425 | 9,2 | 80 | 0,81 | 5,3 | 2,6 | 2,9 | 26,3 | 0,01300 | 29 | 38 | 5,4 |
| T112BL• | 5,5 | 7,5 | 1400 | 11,7 | 80 | 0,82 | 5,5 | 2,7 | 3 | 37,7 | 0,01800 | 35 | 38 | 5,4 |
| T132S | 5,5 | 7,5 | 1440 | 12 | 81 | 0,81 | 5,8 | 2,5 | 2,8 | 38,5 | 0,02400 | 43 | 38 | 5,4 |
| T132M | 7,5 | 10 | 1440 | 16 | 82 | 0,83 | 6,2 | 2,6 | 3 | 49 | 0,03300 | 52 | 38 | 5,4 |
| T132ML• | 9,2 | 12,5 | 1450 | 20 | 87 | 0,83 | 5,5 | 2,5 | 3,2 | 61 | 0,03400 | 54 | 38 | 5,4 |
| T160M | 11 | 15 | 1455 | 24 | 86 | 0,81 | 5,3 | 2,3 | 2,2 | 72 | 0,06200 | 68 | 115 | 26,8 |
| T160L | 15 | 20 | 1455 | 32 | 87 | 0,82 | 5,6 | 2,2 | 2,3 | 98,5 | 0,07400 | 78 | 115 | 26,8 |

Simbologia

I_n = corrente nominale
 I_a = corrente avviamento
 C_n = coppia nominale
 C_a = coppia avviamento
 C_{max} = coppia massima
 J = momento d'inerzia
 CF = coppia frenante
 ω_0 = avviamenti/ora a vuoto
 PB = potenza bobina
 η = rendimento
 * = non compreso nell'unificazione UNEL

Symbols

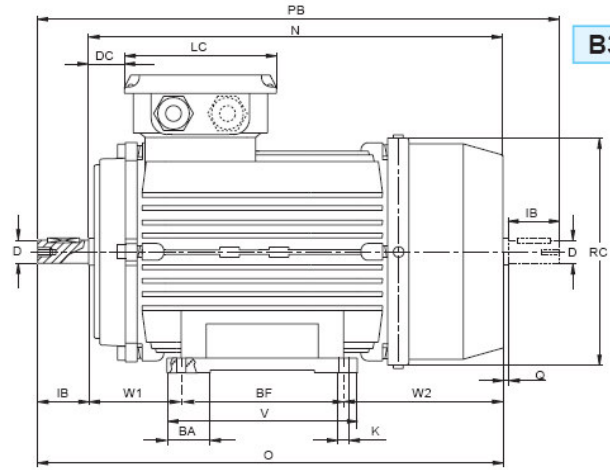
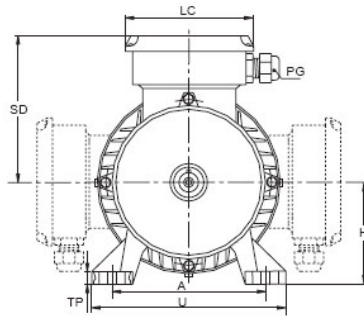
I_n = rated current
 I_a = starting current
 C_n = rated torque
 C_a = starting torque
 C_{max} = maximum torque
 J = inertia moment
 CF = braking torque
 ω_0 = starts/hour at no-load
 PB = coil power
 η = performance
 * = not included in UNEL standardization

Symboles

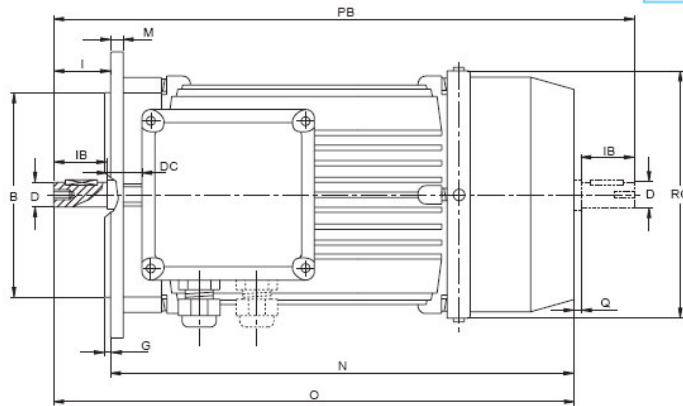
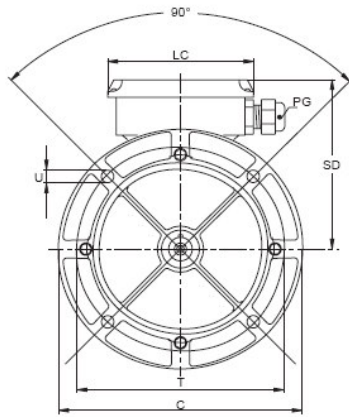
I_n = courant nominal
 I_a = courant de démarrage
 C_n = couple nominal
 C_a = couple de démarrage
 C_{max} = couple maximal
 J = moment d'inertie
 CF = couple de freinage
 ω_0 = démarrages/heure à vide
 PB = puissance de la bobine
 η = rendement
 * = non compris dans l'unification UNEL

Zeichenerklärung

I_n = Nennstrom
 I_a = Anlaufstrom
 C_n = Nenndrehmoment
 C_a = Anlaufmoment
 C_{max} = max. Drehmoment
 J = Trägheitsmoment
 CF = Bremsmoment
 ω_0 = Anläufe/Stunde ohne Last
 PB = Spulenleistung
 η = Wirkungsgrad
 * = Spulenleistung nicht in den UNEL-Normen berücksichtigt

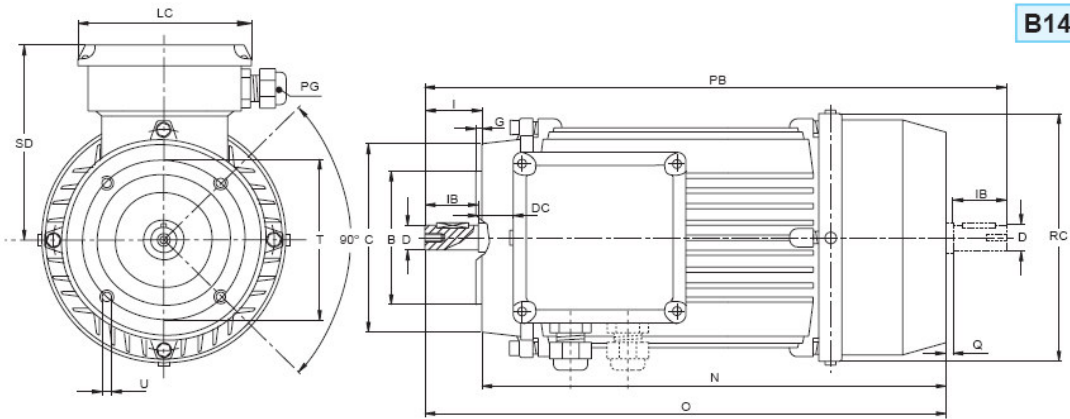


B3



B5

B14



| Grandezza Size Grandeur Größe | Dimensioni / Dimensions / Dimensions / Abmessungen | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|---|-----|-----|-----|
| | D | I | B | C | G | M | N | O | PG | RC | SD | T | U | PB | Q | LC | DC | IB |
| 56 | 9 | 20 | 80 | 120 | 2,5 | 7 | 168 | 188 | PG11 | 110 | 108 | 100 | 7 | 211 | 3 | 93 | 15 | 20 |
| 63 | 11 | 23 | 95 | 140 | 3 | 10 | 185 | 208 | PG11 | 123 | 110 | 115 | 9.5 | 234 | 3 | 93 | 21 | 23 |
| 71 | 14 | 30 | 110 | 160 | 3,5 | 10 | 215 | 245 | PG11 | 140 | 121 | 130 | 9.5 | 278 | 3 | 93 | 29 | 30 |
| 80 | 19 | 40 | 130 | 200 | 3,5 | 12 | 238 | 278 | PG16 | 159 | 138 | 165 | 11.5 | 321 | 3 | 110 | 31 | 40 |
| 90S | 24 | 50 | 130 | 200 | 3,5 | 12 | 255 | 305 | PG16 | 176 | 149 | 165 | 11.5 | 360 | 5 | 110 | 31 | 50 |
| 90L | 24 | 50 | 130 | 200 | 3,5 | 12 | 280 | 330 | PG16 | 176 | 149 | 165 | 11.5 | 385 | 5 | 110 | 31 | 50 |
| 100 | 28 | 60 | 180 | 250 | 4 | 14 | 309 | 369 | PG16 | 195 | 160 | 215 | 14 | 434 | 5 | 110 | 48 | 60 |
| 112 | 28 | 60 | 180 | 250 | 4 | 14 | 328 | 388 | PG16 | 219 | 172 | 215 | 14 | 453 | 5 | 110 | 48 | 60 |
| 132S | 38 | 80 | 230 | 300 | 4 | 14 | 368 | 448 | PG21 | 258 | 192 | 265 | 14 | 533 | 5 | 123 | 56 | 80 |
| 132M | 38 | 80 | 230 | 300 | 4 | 14 | 405 | 485 | PG21 | 258 | 192 | 265 | 14 | 570 | 5 | 123 | 56 | 80 |
| 160M | 42 | 110 | 250 | 350 | 5 | 15 | 478 | 588 | PG21 | 315 | 220 | 300 | 18 | 703 | 5 | 165 | 118 | 110 |
| 160L | 42 | 110 | 250 | 350 | 5 | 15 | 522 | 632 | PG21 | 315 | 220 | 300 | 18 | 747 | 5 | 165 | 118 | 110 |

MICROCHIP PIC18F2331/2431/4331/4431

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with nanoWatt Technology, High Performance PWM and A/D

14-bit Power Control PWM Module:

- Up to 4 channels with complementary outputs
- Edge- or center-aligned operation
- Flexible dead-band generator
- Hardware fault protection inputs
- Simultaneous update of duty cycle and period:
 - Flexible special event trigger output

Motion Feedback Module:

- Three independent input capture channels:
 - Flexible operating modes for period and pulse width measurement
 - Special Hall Sensor interface module
 - Special event trigger output to other modules
- Quadrature Encoder Interface:
 - 2 phase inputs and one index input from encoder
 - High and low position tracking with direction status and change of direction interrupt
 - Velocity measurement

High-Speed, 200 Ksps 10-bit A/D Converter:

- Up to 9 channels
- Simultaneous two-channel sampling
- Sequential sampling: 1, 2 or 4 selected channels
- Auto-conversion capability
- 4-word FIFO with selectable interrupt frequency
- Selectable external conversion triggers
- Programmable acquisition time

Flexible Oscillator Structure:

- Four crystal modes up to 40 MHz
- Two external clock modes up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
 - 8 user selectable frequencies: 31 kHz to 8 MHz
 - OSCTUNE can compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown of device if clock fails

Power-Managed Modes:

- Run CPU on, peripherals on
- Idle CPU off, peripherals on
- Sleep CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A typical
- Sleep current down to 0.1 μ A typical
- Timer1 oscillator, 1.8 μ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer (WDT), 2.1 μ A typical
- Two-Speed oscillator start-up

Peripheral Highlights:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Two Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns (T_{CV16})
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (T_{CV})
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10 bits
- Enhanced USART module:
 - Supports RS-485, RS-232 and LIN 1.2
 - Auto-Wake-up on Start bit
 - Auto-Baud detect
- RS-232 operation using internal oscillator block (no external crystal required)

Special Microcontroller Features:

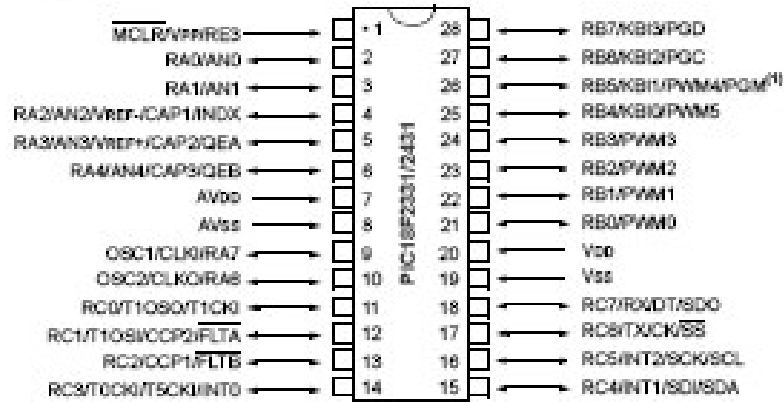
- 100,000 erase/write cycle enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle data EEPROM memory typical
- Flash/data EEPROM retention: 100 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 X 8 Single-cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Single-supply In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
 - Drives PWM outputs safely when debugging

| Device | Program Memory | | Data Memory | | I/O | 10-bit A/D (ch) | CCP | SSP | | EUSART | Quadrature Encoder | 14-bit PWM (ch) | Timers 8/16-bit |
|------------|----------------|----------------------------|--------------|----------------|-----|-----------------|-----|-----|-------------------------|--------|--------------------|-----------------|-----------------|
| | Flash (bytes) | # Single-Word Instructions | SRAM (bytes) | EEPROM (bytes) | | | | SPI | Slave I ² C™ | | | | |
| PIC18F2331 | 8192 | 4096 | 768 | 256 | 24 | 5 | 2 | Y | Y | Y | Y | 6 | 1/3 |
| PIC18F2431 | 16384 | 8192 | 768 | 256 | 24 | 5 | 2 | Y | Y | Y | Y | 6 | 1/3 |
| PIC18F4331 | 8192 | 4096 | 768 | 256 | 36 | 9 | 2 | Y | Y | Y | Y | 8 | 1/3 |
| PIC18F4431 | 16384 | 8192 | 768 | 256 | 36 | 9 | 2 | Y | Y | Y | Y | 8 | 1/3 |

PIC18F2331/2431/4331/4431

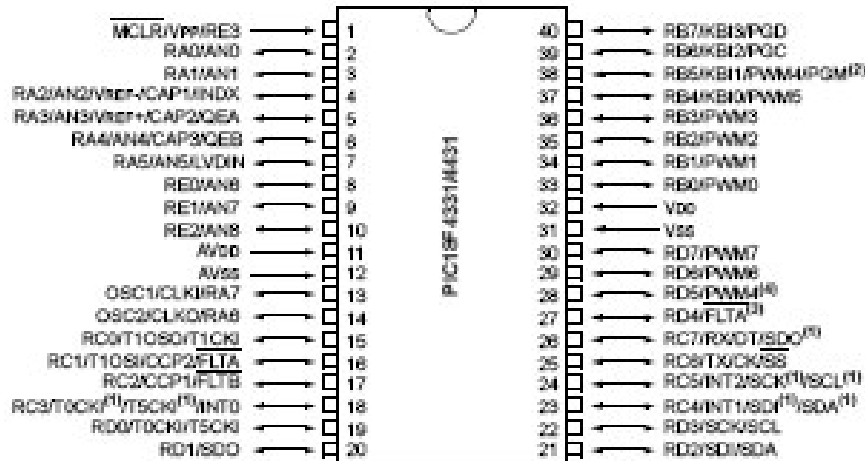
Pin Diagrams

28-Pin SPDIP, SOIC



Note 1: Low-voltage programming must be enabled.

40-Pin PDIP



Note 1: RC3 is the alternate pin for T0CK1/T5CK1; RC4 is the alternate pin for SDI/SDA; RC5 is the alternate pin for SCK/SCL.

- 2: Low-voltage programming must be enabled.
- 3: RD4 is the alternate pin for FLTA.
- 4: RD5 is the alternate pin for PWM4.

PIC18F2331/2431/4331/4431

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information for the following devices:

- PIC18F2331
- PIC18F4331
- PIC18F2431
- PIC18F4431

This family offers the advantages of all PIC18 microcontrollers – namely, high computational performance at an economical price, with the addition of high endurance enhanced Flash program memory and a high-speed 10-bit A/D converter. On top of these features, the PIC18F2331/2431/4331/4431 family introduces design enhancements that make these microcontrollers a logical choice for many high performance, power control and motor control applications. These special peripherals include:

- 14-bit resolution Power Control PWM Module (PCPWM) with programmable dead time insertion
- Motion Feedback Module (MFM), including a 3-channel Input Capture (IC) Module and Quadrature Encoder Interface (QEI)
- High-speed 10-bit A/D Converter (HSADC)

The PCPWM can generate up to eight complementary PWM outputs with dead-band time insertion. Overdrive current is detected by off-chip analog comparators or the digital fault inputs (FLTA, FLTB).

The MFM Quadrature Encoder Interface provides precise rotor position feedback and/or velocity measurement. The MFM 3 X Input capture or external interrupts can be used to detect the rotor state for electrically commutated motor applications using Hall Sensor feedback, such as BLDC motor drives.

PIC18F2331/2431/4331/4431 devices also feature Flash program memory and an internal RC oscillator with built-in LP modes.

1.1 New Core Features

1.1.1 nanoWatt TECHNOLOGY

All of the devices in the PIC18F2331/2431/4331/4431 family incorporate a range of features that can significantly reduce power consumption during operation. Key items include:

- **Alternate Run Modes:** By clocking the controller from the Timer1 source or the internal oscillator block, power consumption during code execution can be reduced by as much as 90%.
- **Multiple Idle Modes:** The controller can also run with its CPU core disabled, but the peripherals are still active. In these states, power consumption can be reduced even further, to as little as 4% of normal operation requirements.

- **On-the-fly Mode Switching:** The power-managed modes are invoked by user code during operation, allowing the user to incorporate power saving ideas into their application's software design.
- **Lower Consumption in Key Modules:** The power requirements for both Timer1 and the Watchdog Timer have been reduced by up to 80%, with typical values of 1.1 and 2.1 μ A, respectively.

1.1.2 MULTIPLE OSCILLATOR OPTIONS AND FEATURES

All of the devices in the PIC18F2331/2431/4331/4431 family offer nine different oscillator options, allowing users a wide range of choices in developing application hardware. These include:

- Four crystal modes, using crystals or ceramic resonators.
- Two external clock modes, offering the option of using two pins (oscillator input and a divide-by-4 clock output) or one pin (oscillator input, with the second pin reassigned as general I/O).
- Two external RC oscillator modes, with the same pin options as the external clock modes.
- An internal oscillator block, which provides an 8 MHz clock and an INTRC source (approximately 31 kHz, stable over temperature and VDD), as well as a range of 6 user-selectable clock frequencies (from 125 kHz to 4 MHz) for a total of 8 clock frequencies.

Besides its availability as a clock source, the internal oscillator block provides a stable reference source that gives the family additional features for robust operation:

- **Fall-Safe Clock Monitor:** This option constantly monitors the main clock source against a reference signal provided by the internal oscillator. If a clock failure occurs, the controller is switched to the internal oscillator block, allowing for continued low speed operation or a safe application shutdown.
- **Two-Speed Start-up:** This option allows the internal oscillator to serve as the clock source from Power-on Reset or wake-up from Sleep mode, until the primary clock source is available. This allows for code execution during what would otherwise be the clock start-up interval, and can even allow an application to perform routine background activities and return to Sleep without returning to full power operation.

PIC18F2331/2431/4331/4431

1.2 Other Special Features

- **Memory Endurance:** The enhanced Flash cells for both program memory and data EEPROM are rated to last for many thousands of erase/write cycles – up to 100,000 for program memory and 1,000,000 for EEPROM. Data retention without refresh is conservatively estimated to be greater than 100 years.
- **Self-programmability:** These devices can write to their own program memory spaces under internal software control. By using a bootloader routine located in the protected Boot Block at the top of program memory, it becomes possible to create an application that can update itself in the field.
- **Power Control PWM Module:** In PWM mode, this module provides 1, 2 or 4 modulated outputs for controlling half-bridge and full-bridge drivers. Other features include Auto-Shutdown on fault detection and Auto-Restart to reactivate outputs once the condition has cleared.
- **Enhanced USART:** This serial communication module is capable of standard RS-232 operation using the internal oscillator block, removing the need for an external crystal (and its accompanying power requirement) in applications that talk to the outside world. This module also includes auto-baud detect and LIN capability.
- **High-speed 10-bit A/D Converter:** This module incorporates Programmable Acquisition Time, allowing for a channel to be selected and a conversion to be initiated without waiting for a sampling period and thus, reducing code overhead.
- **Motion Feedback Module (MFM):** This module features a Quadrature Encoder Interface (QEI) and an Input Capture (IC) module. The QEI accepts two phase inputs (QEA, QEB) and one index input (INDX) from an incremental encoder. The QEI supports high and low precision position tracking, direction status and change of direction interrupt, and velocity measurement. The input capture features 3 channels of independent input capture with Timer5 as the time base, a special event trigger to other modules, and an adjustable noise filter on each IC input.
- **Extended Watchdog Timer (WDT):** This enhanced version incorporates a 16-bit prescaler, allowing a time-out range from 4 ms to over 2 minutes, that is stable across operating voltage and temperature.

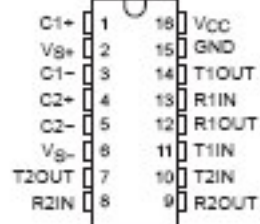
ANEXO 3. DATASHEET MAX 232

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L – FEBRUARY 1999 – REVISED MARCH 2004

- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operates From a Single 5-V Power Supply With 1.0- μ F Charge-Pump Capacitors
- Operates Up To 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- \pm 30-V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- ESD Protection Exceeds JESD 22
 - 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Upgrade With Improved ESD (15-kV HBM) and 0.1- μ F Charge-Pump Capacitors is Available With the MAX202
- Applications
 - TIA/EIA-232-F, Battery-Powered Systems, Terminals, Modems, and Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply TIA/EIA-232-F voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts TIA/EIA-232-F inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V, a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept \pm 30-V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into TIA/EIA-232-F levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

ORDERING INFORMATION

| TA | PACKAGE† | | ORDERABLE PART NUMBER | TOP-SIDE MARKING |
|---------------|-----------|--------------|-----------------------|------------------|
| 0°C to 70°C | PDIP (N) | Tube of 25 | MAX232N | MAX232N |
| | | Tube of 40 | MAX232D | MAX232 |
| | SOIC (D) | Reel of 2500 | MAX232DR | |
| | | Tube of 40 | MAX232DW | MAX232 |
| | SOIC (DW) | Reel of 2000 | MAX232DWR | MAX232 |
| | | SOP (NS) | Reel of 2000 | MAX232NSR |
| –40°C to 85°C | PDIP (N) | Tube of 25 | MAX232IN | MAX232IN |
| | | Tube of 40 | MAX232ID | MAX232I |
| | SOIC (D) | Reel of 2500 | MAX232IDR | |
| | | Tube of 40 | MAX232IDW | MAX232I |
| | SOIC (DW) | Reel of 2000 | MAX232IDWR | MAX232I |

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/tsc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA: Information furnished hereon is of preliminary nature and is subject to change without notice. It is not intended for use in critical applications without the express written approval of Texas Instruments. Production quantities only.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 966303 • DALLAS, TEXAS 75296

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

ANEXO 4. DATASHEET IRFP250B

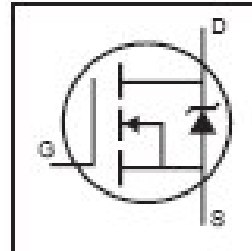
International
IR Rectifier

PD - 94008A

IRFP250N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$V_{DSS} = 200V$
 $R_{DS(on)} = 0.075\Omega$
 $I_D = 30A$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole.



Absolute Maximum Ratings

| | Parameter | Max. | Units |
|---------------------------|--|-----------------------|-------|
| $I_D @ T_C = 25^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ | 30 | A |
| $I_D @ T_C = 100^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ | 21 | |
| I_{DM} | Pulsed Drain Current ⁽¹⁾ | 120 | |
| $P_D @ T_C = 25^\circ C$ | Power Dissipation | 214 | W |
| | Linear Derating Factor | 1.4 | W/°C |
| V_{GS} | Gate-to-Source Voltage | ± 20 | V |
| E_{AS} | Single Pulse Avalanche Energy ⁽²⁾ | 315 | mJ |
| I_{AS} | Avalanche Current ⁽²⁾ | 30 | A |
| E_{AR} | Repetitive Avalanche Energy ⁽²⁾ | 21 | mJ |
| dv/dt | Peak Diode Recovery dv/dt ⁽³⁾ | 8.6 | V/ns |
| T_J | Operating Junction and Storage Temperature Range | -55 to +175 | °C |
| T_{SNG} | Soldering Temperature, for 10 seconds | 300 (1.6mm from case) | |
| | Mounting torque, 6-32 or M3 screw | 10 lbf-in (1.1Nm) | |

Thermal Resistance

| | Parameter | Typ. | Max. | Units |
|----------|-------------------------------------|------|------|-------|
| R_{JC} | Junction-to-Case | — | 0.7 | °C/W |
| R_{CS} | Case-to-Sink, Flat, Greased Surface | 0.24 | — | |
| R_{JA} | Junction-to-Ambient | — | 40 | |

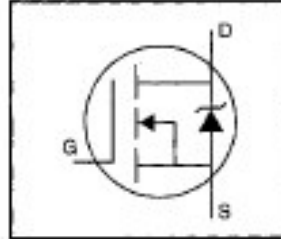
www.irf.com

1

10/7/04

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$$V_{DSS} = 500V$$

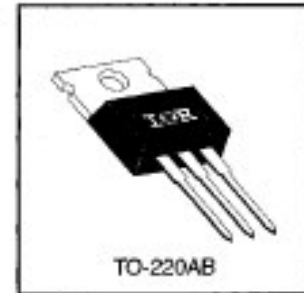
$$R_{DS(on)} = 0.85\Omega$$

$$I_D = 8.0A$$

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

**Absolute Maximum Ratings**

| | Parameter | Max. | Units |
|---------------------------|---|---------------------|-------|
| $I_D @ T_C = 25^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$ | 8.0 | A |
| $I_D @ T_C = 100^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$ | 5.1 | |
| I_{DM} | Pulsed Drain Current ① | 32 | |
| $P_D @ T_C = 25^\circ C$ | Power Dissipation | 125 | W |
| | Linear Derating Factor | 1.0 | W/°C |
| V_{GS} | Gate-to-Source Voltage | ± 20 | V |
| E_{AS} | Single Pulse Avalanche Energy ② | 510 | mJ |
| I_{AR} | Avalanche Current ③ | 8.0 | A |
| E_{AR} | Repetitive Avalanche Energy ④ | 13 | mJ |
| dv/dt | Peak Diode Recovery dv/dt ⑤ | 3.5 | V/ns |
| T_J | Operating Junction and | -55 to +150 | °C |
| T_{STG} | Storage Temperature Range | | |
| | Soldering Temperature, for 10 seconds | | |
| | Mounting Torque, 6-32 or M3 screw | 10 lbf-in (1.1 N·m) | |

Thermal Resistance

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units |
|-----------------|-------------------------------------|------|------|------|-------|
| $R_{\theta JC}$ | Junction-to-Case | — | — | 1.0 | °C/W |
| $R_{\theta CS}$ | Case-to-Sink, Flat, Greased Surface | — | 0.50 | — | |
| $R_{\theta JA}$ | Junction-to-Ambient | — | — | 62 | |

ANEXO 6. DATASHEET TIP122

TIP120, TIP121, TIP122 (NPN); TIP125, TIP126, TIP127 (PNP)

Preferred Devices

Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors

Designed for general-purpose amplifier and low-speed switching applications.

Features

- High DC Current Gain –
 - h_{FE} = 2500 (Typ) @ I_C
 - = 4.0 Adc
- Collector-Emitter Sustaining Voltage – @ 100 mAdc
 - $V_{CE(sat)}$ = 60 Vdc (Min) – TIP120, TIP125
 - = 80 Vdc (Min) – TIP121, TIP126
 - = 100 Vdc (Min) – TIP122, TIP127
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage –
 - $V_{CE(sat)}$ = 2.0 Vdc (Max) @ I_C = 3.0 Adc
 - = 4.0 Vdc (Max) @ I_C = 5.0 Adc
- MonoSilic Construction with Built-In Base-Emitter Sheet Resistors
- Pb-Free Packages are Available*



ON Semiconductor®

<http://www.onsemi.com>

DARLINGTON
5 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60–80–100 VOLTS, 65 WATTS



MARKING
DIAGRAM



TO-18AB
CASE 221A
STYLE 1

TIP12x = Device Code
x = 0, 1, 2, 5, 6, or 7
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
G = Pb-Free Package

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRMWD.

ANEXO 7. DATASHEET 4N25



March 2007

4N25M, 4N26M, 4N27M, 4N28M, 4N35M, 4N36M, 4N37M, H11A1M, H11A2M, H11A3M, H11A4M, H11A5M General Purpose 6-Pin Phototransistor Optocouplers

Features

- UL recognized (File # E90790, Volume 2)
- VDE recognized (File # 102497)
 - Add option V (a.g., 4N25MV)

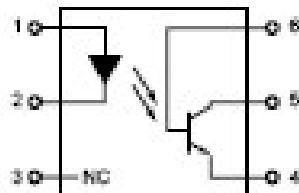
Description

The general purpose optocouplers consist of a gallium arsenide infrared emitting diode driving a silicon phototransistor in a 6-pin dual in-line package.

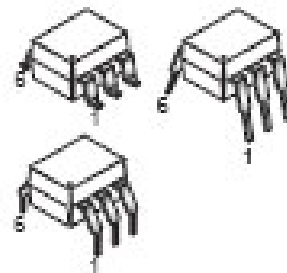
Applications

- Power supply regulators
- Digital logic inputs
- Microprocessor inputs

Functional Block Diagram



- PIN 1. ANODE
- 2. CATHODE
- 3. NO CONNECTION
- 4. EMITTER
- 5. COLLECTOR
- 6. BASE



4N25M, H11A3M General Purpose 6-Pin Phototransistor Optocouplers

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground ±5V offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

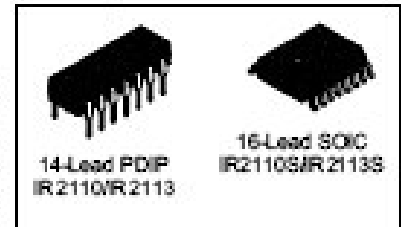
Product Summary

| | |
|------------------------------|-------------|
| V _{OFFSET} (IR2110) | 500V max. |
| (IR2113) | 600V max. |
| I _{O+/-} | 2A / 2A |
| V _{OUT} | 10 - 20V |
| t _{on/off} (typ.) | 120 & 94 ns |
| Delay Matching (IR2110) | 10 ns max. |
| (IR2113) | 20ns max. |

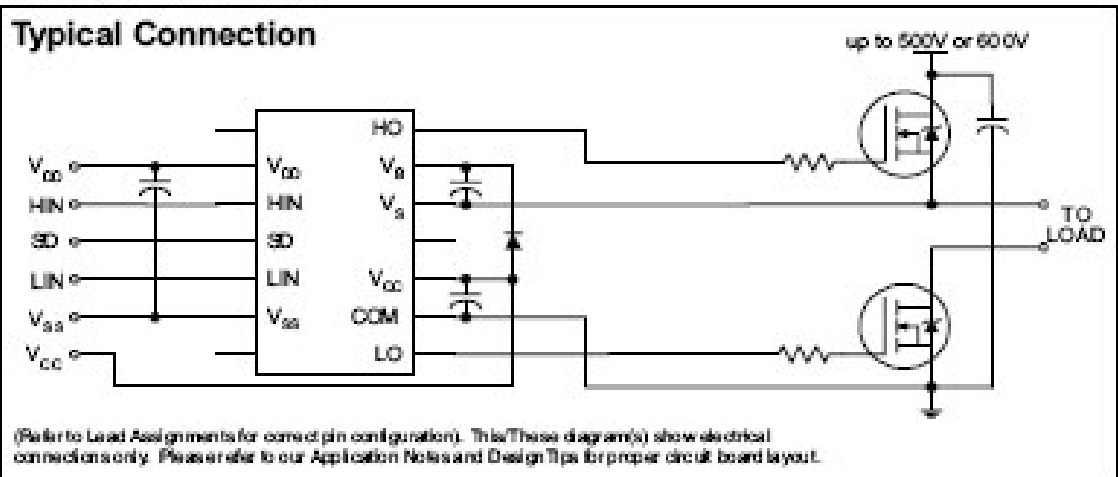
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



ANEXO 9. DATASHEET 26LS32



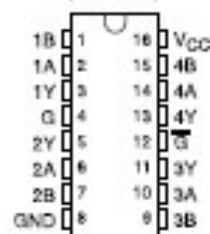
AM26LS32AC, AM26LS32AI, AM26LS33AC AM26LS32AM, AM26LS33AM QUADRUPLE DIFFERENTIAL LINE RECEIVERS

5LLS115E—OCTOBER 1960—REVISED OCTOBER 2007

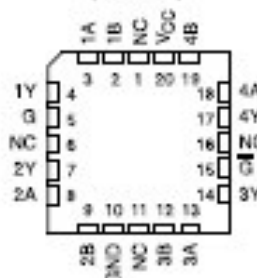
FEATURES

- AM26LS32A Devices Meet or Exceed the Requirements of ANSI TIA/EIA-422-B, TIA/EIA-423-B, and ITU Recommendations V.10 and V.11
- AM26LS32A Devices Have ± 7 -V Common-Mode Range With ± 200 -mV Sensitivity
- AM26LS33A Devices Have ± 16 -V Common-Mode Range With ± 600 -mV Sensitivity
- Input Hysteresis . . . 60 mV Typical
- Operate From a Single 5-V Supply
- Low-Power Schottky Circuitry
- 3-State Outputs
- Complementary Output-Enable Inputs
- Input Impedance . . . 12 k Ω Minimum
- Designed to Be Interchangeable With Advanced Micro Devices AM26LS32™ and AM26LS33™

AM26LS32AC . . . D, N, NS, OR PW PACKAGE
AM26LS32AI, AM26LS33AC . . . D, OR N PACKAGE
AM26LS32AM, AM26LS33AM . . . J PACKAGE
(TOP VIEW)



AM26LS32AM, AM26LS33AM . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC—No internal connection

DESCRIPTION

The AM26LS32A and AM26LS33A devices are quadruple differential line receivers for balanced and unbalanced digital data transmission. The enable function is common to all four receivers and offers a choice of active-high or active-low input. The 3-state outputs permit connection directly to a bus-organized system. Fail-safe design ensures that, if the inputs are open, the outputs always are high.

Compared to the AM26LS32 and the AM26LS33, the AM26LS32A and AM26LS33A incorporate an additional stage of amplification to improve sensitivity. The input impedance has been increased, resulting in less loading of the bus line. The additional stage has increased propagation delay; however, this does not affect interchangeability in most applications.

The AM26LS32AC and AM26LS33AC are characterized for operation from 0°C to 70°C. The AM26LS32AI is characterized for operation from -40°C to 85°C. The AM26LS32AM and AM26LS33AM are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.
AM26LS32, AM26LS33 are trademarks of Advanced Micro Devices, Inc.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date.
Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1990–2007, Texas Instruments Incorporated