

ELECTRÓNICA DE POTENCIA

TRABAJO PRACTICO N° 7: Control de velocidad para Motor de corriente continua, Lazo Abierto

PROFESORES: Ing. Oros, Ramón
 Ing. Avramovich, Javier (JTP)

INTEGRANTES:

Bardón, Gastón	Leg: 53964
Costilla, Guillermo	Leg: 43324
Olea, Maximiliano	Leg: 54202
Santillán, David	Leg: 50789

CURSO: 5R2

AÑO: 2015

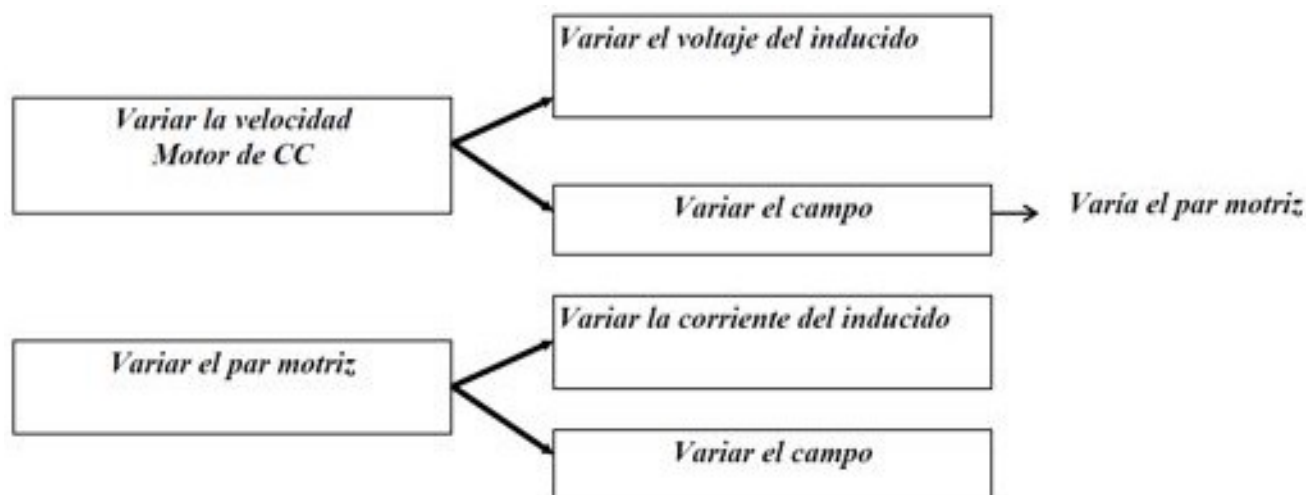


Introducción

El motor con colector de corriente continua presenta todas las características necesarias para funcionar a velocidad variable, con la condición de regular la velocidad a través de la tensión de alimentación del inducido.

El inductor es fijo, alimentado con corriente continua o bien es un imán permanente. El rotor o inducido lleva devanados, cuyos puntos equidistantes están unidos a delgas sucesivas del colector. Los bornes del inducido están constituidos por dos escobillas fijas que se apoyan sobre el colector. El conjunto escobillas colector constituye un conmutador mecánico, que permite que cualquiera sea la velocidad y posición del rotor la corriente continua se transfiera al campo como corresponda y que todas las fuerzas electromagnéticas den origen al movimiento.

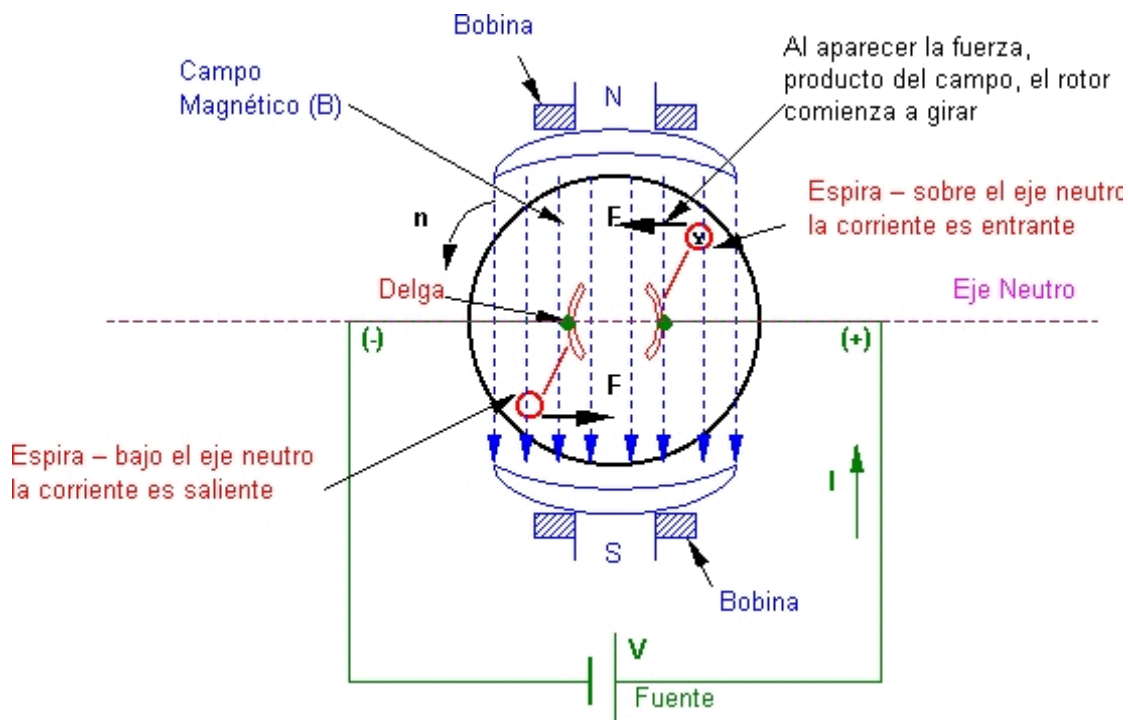
La configuración en puente es capaz de suministrar corriente en forma bidireccional al motor, para el óptimo control en los cuatro cuadrantes. El control del motor de excitación independiente se realiza, entonces, por medio de una llave H o una llave T. La llave H es una de las más utilizadas. De éste modo se logra controlar el motor a distintas velocidades con par motriz prácticamente constante.



Es decir, si se necesita variar la velocidad del motor sin variar el par motriz, se deberá variar la tensión del inducido sin modificar la corriente del inducido. Esto se logra a través de la llave H. Un ejemplo extremo se puede observar que, cuando el motor está parado con torque motriz. Si quisiéramos mover el motor, se observaría el par motriz existente.



El motor de corriente continua



Los carbones cierran el circuito de la fuente con las dos delgas y la espira conectada a ellas, de esta forma circula corriente por las espiras, como esto ocurre dentro de un campo magnético, aparecen fuerzas sobre las espiras y el rotor comienza a girar. Como la espira gira dentro del campo lo hace cortando líneas de campo, lo mismo ocurre con las fuerzas, pero esto induce una fuerza electromotriz que se opone a la de la fuente y se denomina fuerza contra electromotriz (f_{cem}) según la ley de Lenz.

Especificaciones

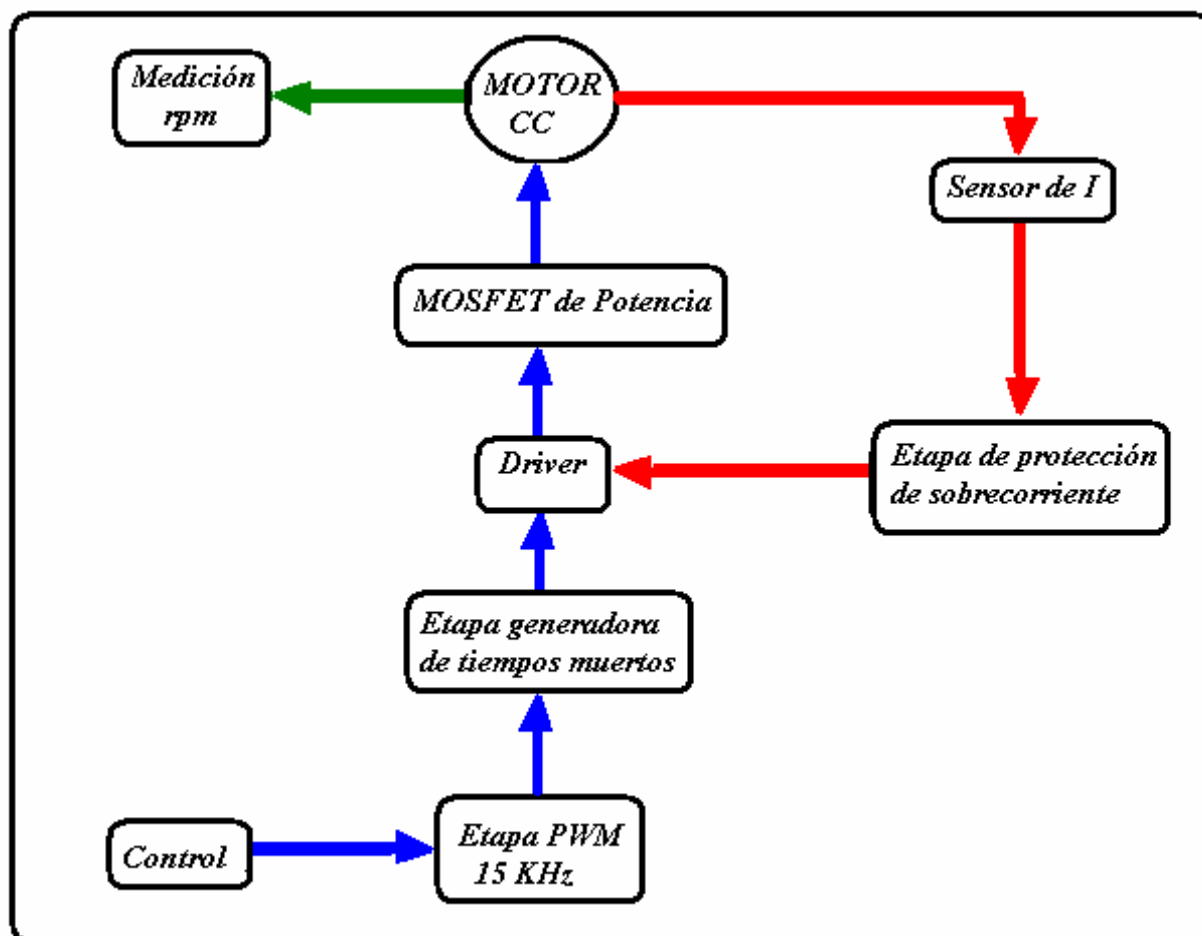
La finalidad de este práctico es diseñar un modulador de ancho de pulso para comandar un motor de corriente continua. Es un sistema a lazo abierto que debe operar en los cuatro cuadrantes. El circuito está constituido por las siguientes partes:

- Un circuito generador de señal PWM, con dos salidas complementarias, con un tiempo muerto entre la conmutación de las mismas y con un ciclo de trabajo controlable.
- Un circuito tipo puente H, capaz de manejar un motor de corriente continua en los cuatro cuadrantes.
- Una etapa de protección contra sobre corriente, para impedir que el motor se dañe por alguna falla de operación.



Desarrollo del práctico

Diagrama en bloques

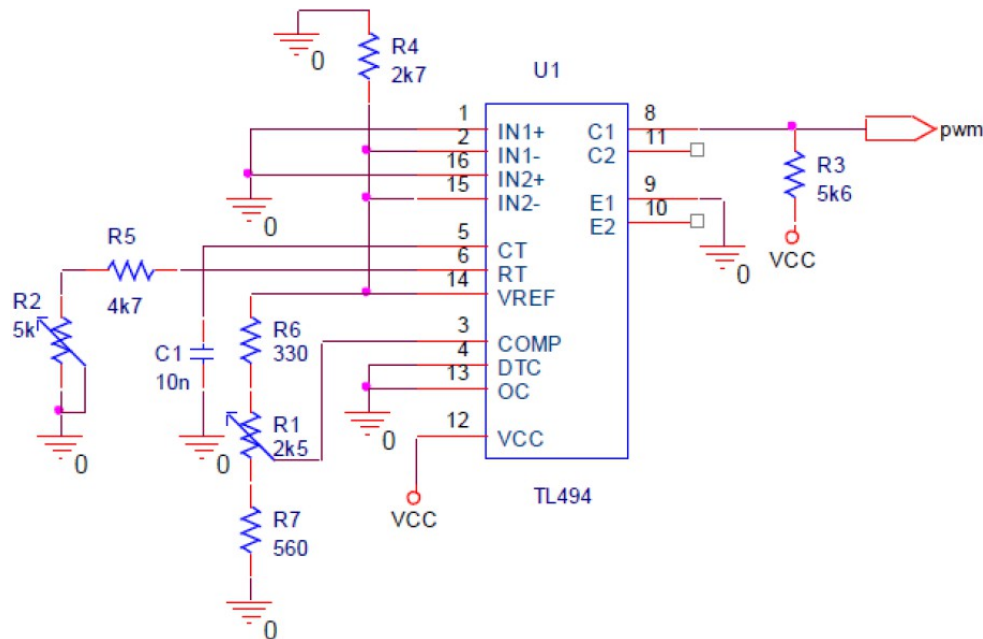


- Control: potenciómetro con el cual se varía el ciclo de trabajo, y dependiendo de este obtendremos el sentido de giro y velocidad del motor.
- Etapa PWM: aquí obtenemos la señal modulada por ancho de pulso. Ésta será la señal de control.
- Etapa generadora de tiempos muertos: genera las demoras necesarias para que ambas salidas del driver, no se disparen simultáneamente.
- Driver: etapa que excitará los elementos de conmutación de potencia.
- MOSFET de Potencia: encargados de conmutar la carga- MOTOR.
- Sensor de I: consta de una resistencia censorsa de corriente.
- Etapa de protección de sobrecorriente: encargada de proteger tanto el motor como así también los transistores de potencia.
- Medición de RPM: aquí se mide velocidad desarrollada por el motor de CC en ambos sentidos.



Etapas PWM

Se utilizó un modulador de ancho de pulso basado en el integrado **TL494**, cuya principal característica es que permite modificar el ancho del pulso logrando ciclos de trabajo de hasta un **100%**. Utilizamos una de las dos salidas que posee el integrado, ya que la inversión se obtendrá con compuertas inversoras que servirán de buffers más adelante.



En la pata 14 de V_{REF} además del potenciómetro de 2.5KΩ usamos dos más de 5KΩ para poder regular el ciclo de trabajo entre un 5% y un 95% aproximadamente.

La frecuencia de oscilación del integrado se fija con dos componentes externos, el capacitor C_T y la resistencia R_T . La fórmula para su cálculo viene dada por:

$$f_{osc} \cong \frac{1,1}{R_T \cdot C_T}$$

Y como se tiene una exigencia de 15KHz, calculamos los componentes. Usando un capacitor de 10nF, queda:

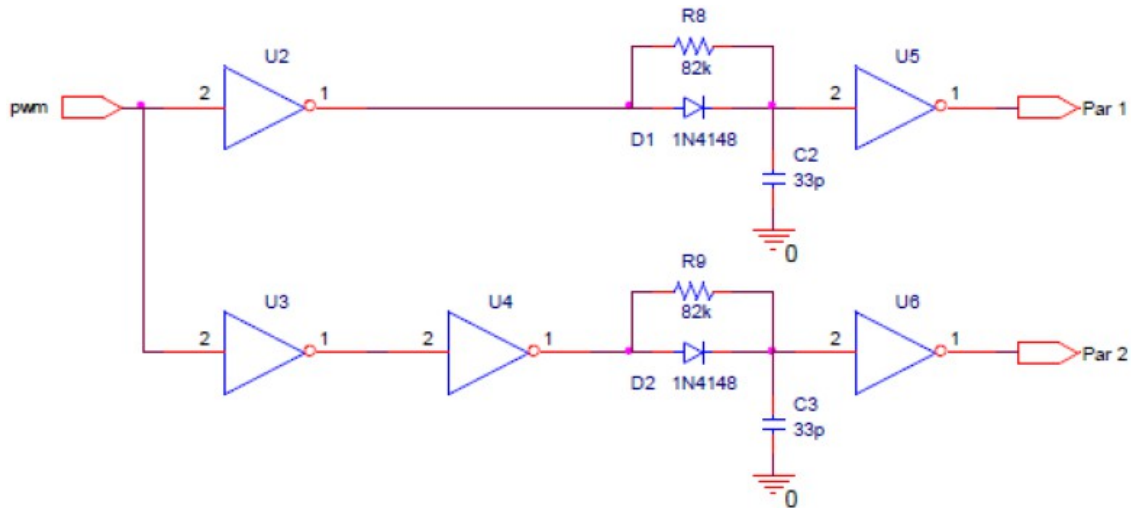
$$R_T \cong \frac{1,1}{f_{osc} \cdot C_T} = 7,33 [k\Omega]$$

El valor de R_T lo obtuvimos con una resistencia de 4.7KΩ y un potenciómetro de 5KΩ para obtener un rango variable de frecuencia aproximadamente entre 11KHz y 22KHz. De todas formas se trabajó con 15KHz por lo que se reguló el potenciómetro para obtener este valor.



Etapa generadora de tiempos muertos

La función de esta etapa es la de asegurar que uno de los dos circuitos de la llave H se apague por completo antes de que encienda el otro. Se encarga de generar las demoras necesarias para que ambas salidas del driver IR2110 no se disparen al mismo tiempo lo que ocasionaría la destrucción de los MOSFET de potencia. Se hace un retardo en la rampa de subida en cada rama.



Se observan en el circuito, dos ramas, una de las cuales está formada por 2 inversores, mientras que la otra se le adiciona un inversor para que esta manera la salida 1 este siempre negada respecto a 2, y así lograr la correcta conmutación del puente H.

El tiempo de apagado de los IRF830 es de aproximadamente de 15ns, por lo que el tiempo muerto mínimo es de 10 veces el tiempo de apagado de los MOSFET, o sea de 150ns. Por precaución en el teórico se supone cinco veces esa cantidad. No obstante para evitar problemas en esta etapa se alarga el tiempo entre pulso y pulso a 2µs.

Las demoras de cada salida serán las de propagación de la compuerta, más la del circuito de tiempo. La fórmula del circuito RC es:

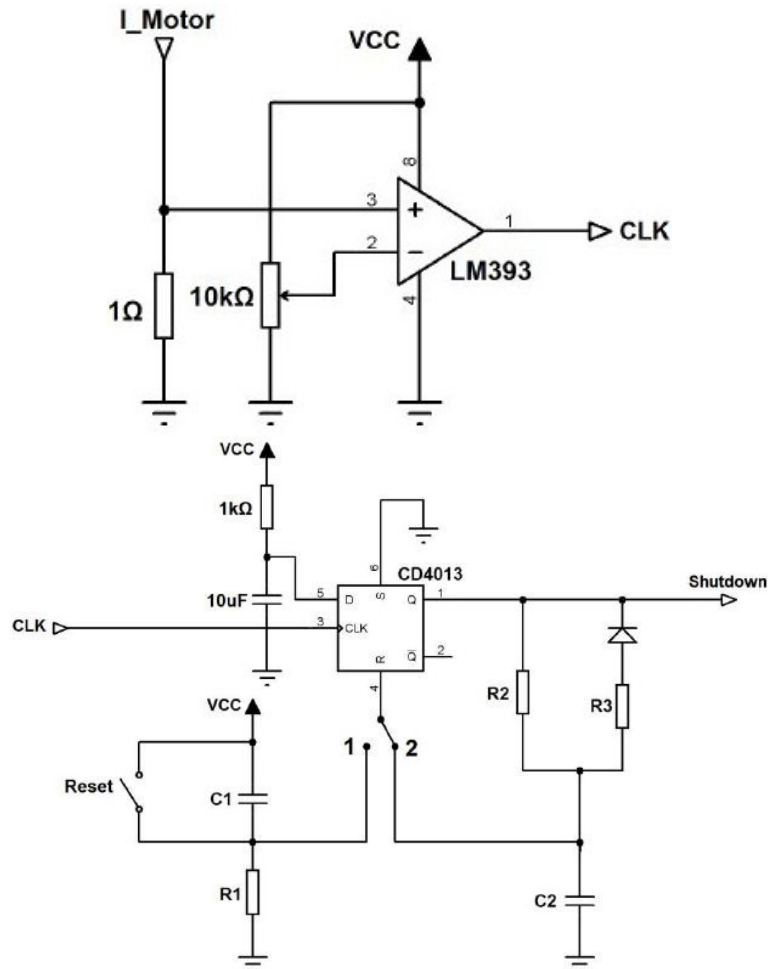
$$T_{RETARDO} = 0,69 \cdot R \cdot C$$

Se utiliza un C=33pF, por lo que para la resistencia queda un valor normalizado de R=82kΩ.



Etapas de protección contra sobre corriente

Fue implementado mediante una resistencia sensora de 2 ohm y con el comparador integrado LM393 que funciona con fuente simple y permite tensiones de entrada cercanas a GND. La función del circuito es inhibir los driver IR2110 (pin 11) cuando se produce una sobrecorriente en el motor.



El circuito únicamente con el comparador era ineficiente, ya que éste inhibía transitoriamente la alimentación del motor provocando el encendido y apagado del mismo, debido al pico de corriente del motor en el arranque. Así, optamos por implementar el circuito adicional, el cual nos permite, dada la situación de sobre corriente, dos alternativas de elección (seleccionable con una llave): manual y automático.

En el modo MANUAL (posición 1), cuando la corriente del motor supera el límite fijado, se captura el valor dado por el comparador, y se envía un señal alto al *shutdown* de los IR2110. Entonces el operario tomará la decisión de poner en marcha el motor nuevamente con el pulsador *reset*.

En el modo AUTOMÁTICO (posición 2), se procede de igual manera pero con la variante de que el circuito es el encargado de poner en marcha el motor después de un tiempo preestablecido de 10 segundos, dado por lo tiempo de carga del capacitor C2 por medio de la resistencia R2.



Cálculo del tiempo del modo Automático:

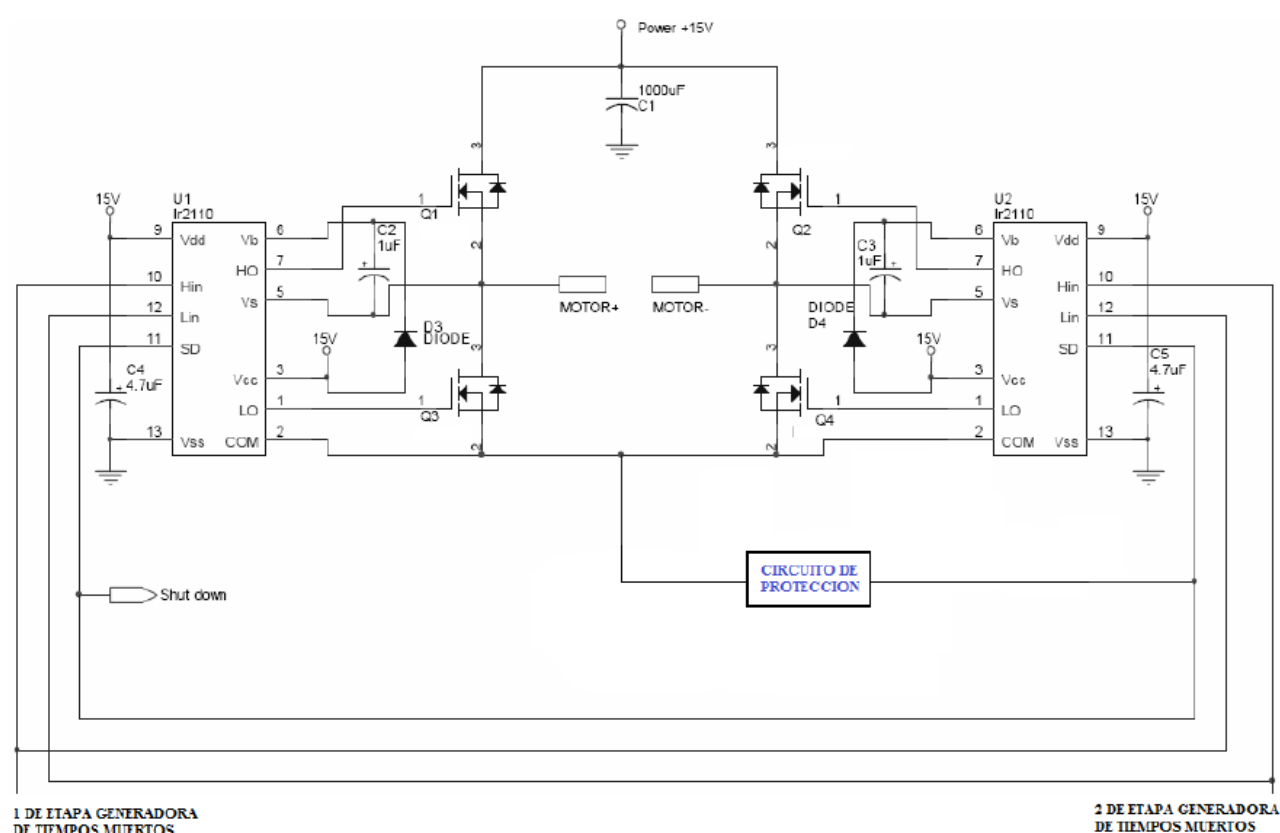
$$t = R2.C2$$

Si $C2 = 100\mu F$ y $t = 10s$
 $R2 = 100k\Omega$

Mientras que $R3 = 4,7k\Omega$ y su función es limitar la descarga del capacitor $C2$ en $470ms$ para darle tiempo al motor a alcanzar su corriente de régimen, y que el sobre pasamiento que ocurre en el arranque no accione nuevamente el circuito de protección de sobre corriente.

Lo mismo ocurre cuando estamos en la posición MANUAL, colocamos un circuito de tiempo $R1.C1$ para darle tiempo al motor a que alcance su corriente de régimen. Donde $R1 = 4,7k\Omega$ y $C1 = 100\mu F$.

Etapas driver y puente H



Driver

Para el control de los MOSFET de potencia IFR830, se utilizaron los chips IR2110 en la configuración que se observa en el circuito anterior. Un detalle importante es la presencia de los capacitores $C2$ y $C3$ que se comportan como capacitores de bootstrap, para “levantar” el valor de tensión en el Gate de los transistores $Q1$ y $Q2$.

Puente H

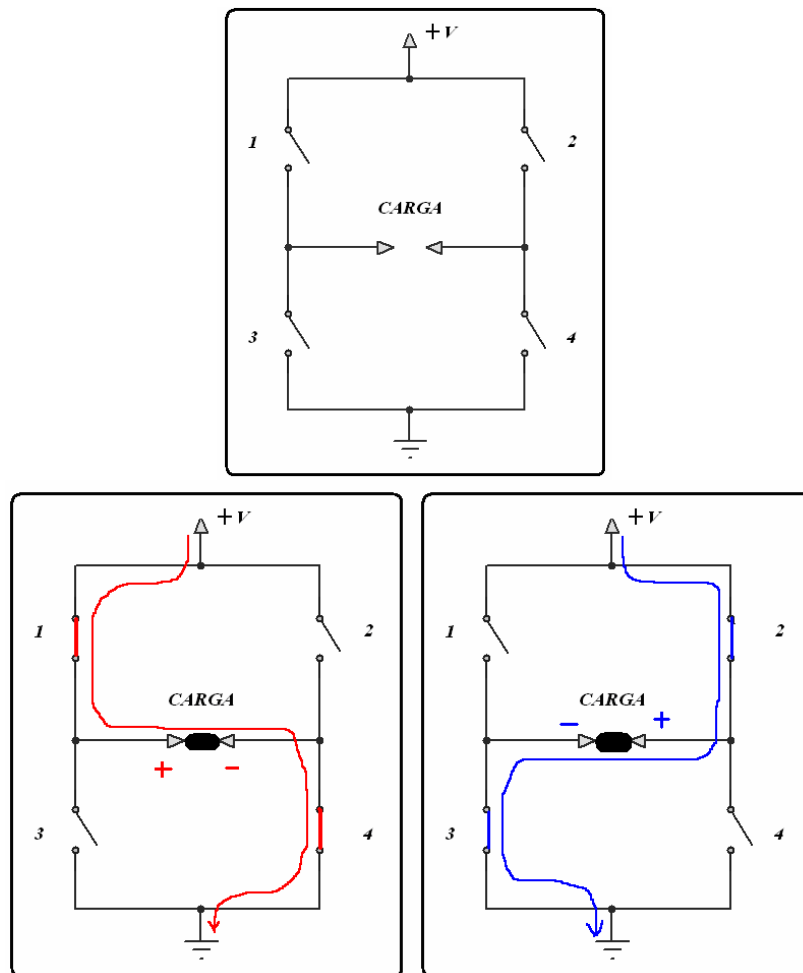
El nombre surge, obviamente, de la posición de los transistores, en una distribución que recuerda la letra H. Esta configuración es una de las más utilizadas en el control de motores de CC, cuando es necesario que se pueda invertir el sentido de giro del motor.



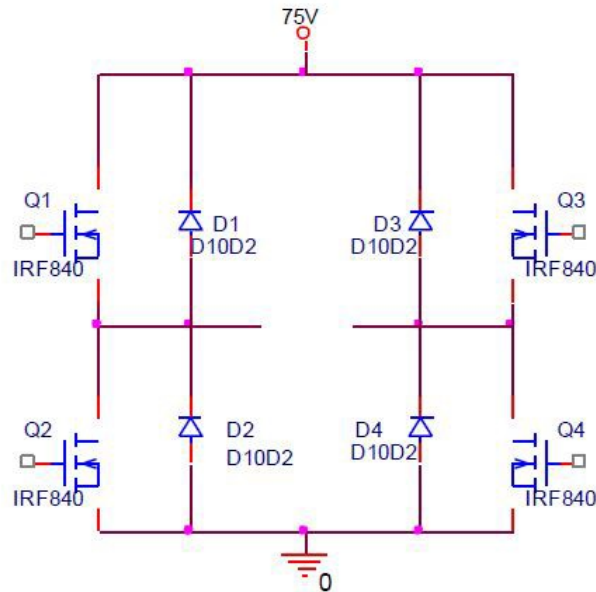
El puente H es un circuito que permite controlar el motor de corriente continua en ambas direcciones sin necesidad de trabajar con voltajes negativos. Está compuesto por un arreglo de cuatro transistores MOSFET de potencia los cuales trabajan de a pares (1 con 4 y 2 con 3) dependiendo del ciclo de trabajo de la señal control PWM.

A continuación se detalla el funcionamiento del puente.

- Forma teórica



- 1º Caso: $D = 100\%$ El motor desarrolla máxima velocidad en sentido horario. En este caso los MOSFET 1 y 4 están saturados y los 2 y 3 en corte.
- 2º Caso: $D = 50\%$ En este caso los MOSFET 2 y 3 están saturados y cortados el mismo tiempo que los 1 y 4, con lo cual el motor está frenado.
- 3º Caso: $D = 0\%$ El motor desarrolla máxima velocidad en sentido antihorario. En este caso los MOSFET 2 y 3 están saturados y los 1 y 4 en corte.

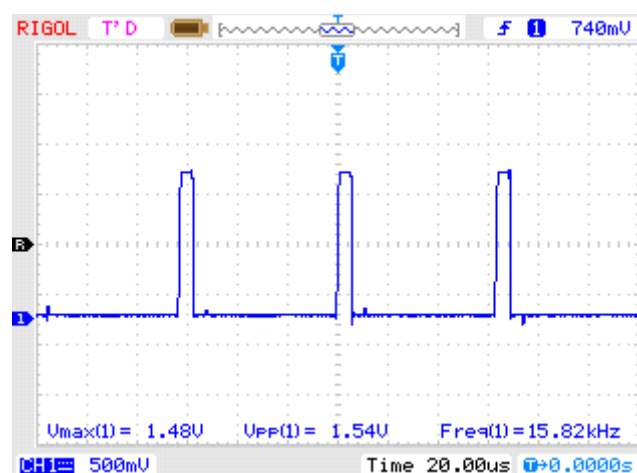


Si se cierra el circuito a través de los transistores Q1 y Q4 la corriente circulará en un sentido a través del motor, y si se cierra el circuito a través de los transistores Q3 y Q2 la corriente circulará en sentido contrario.

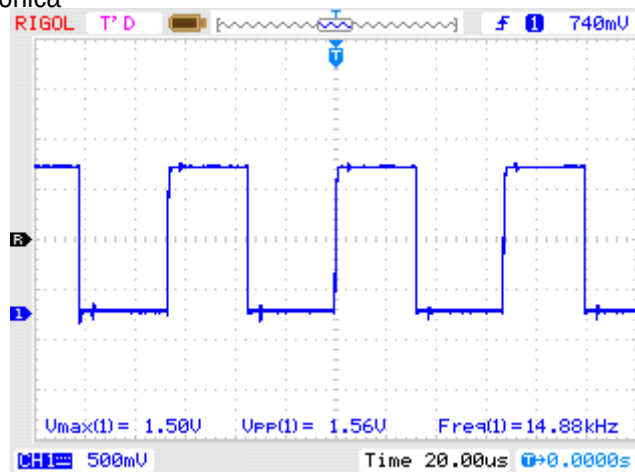
La etapa de tiempos muertos asegura que nunca se disparen simultáneamente Q1 y Q2, o Q3 y Q4. Se observa también que un puente H cuenta con cuatro diodos de protección para el motor.

Mediciones

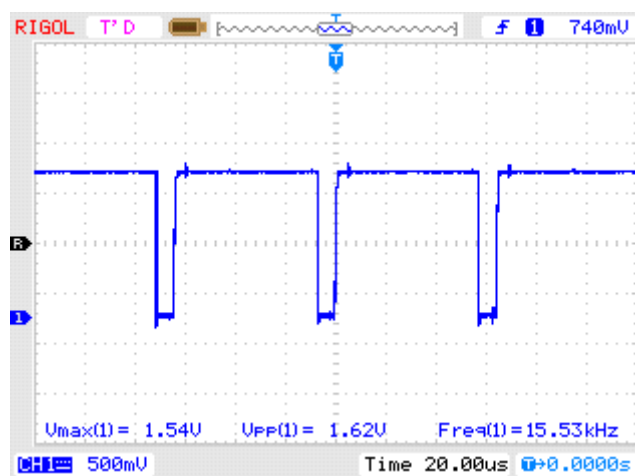
Se miden las formas de onda obtenidas a la salida del PWM, para los distintos ciclos de trabajo, que se aplican a los IR2110 para el control de los MOSFET. Se puede ver los distintos ciclos de trabajo.



Giro máximo del motor en un sentido



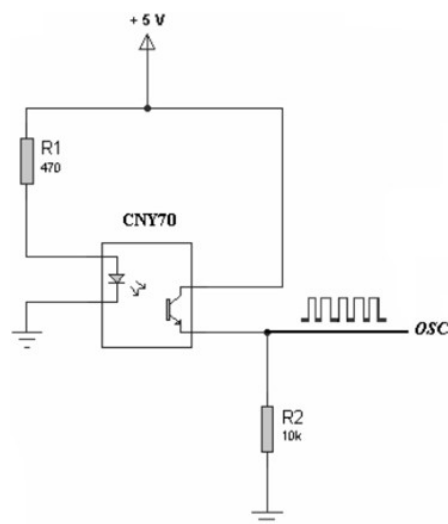
Motor detenido



Giro máximo del motor en el otro sentido

Medición de las RPM del motor

Para la medición de la velocidad del motor se utilizó el siguiente circuito.





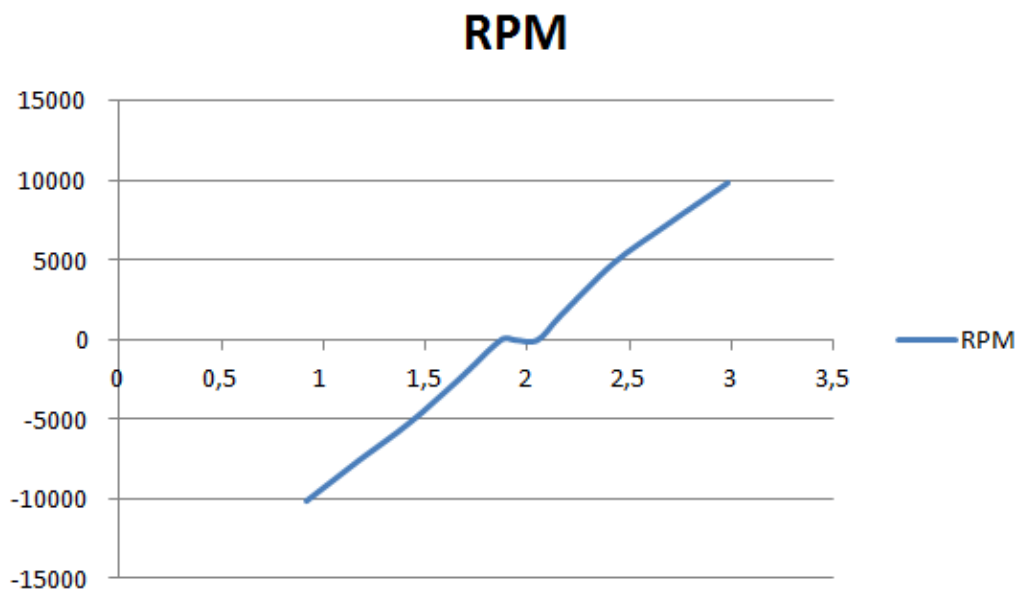
Se acopla al motor un fototransistor, en el cual se puede visualizar en el osciloscopio la frecuencia de giro del motor, debido a que se añadió un disco de cartón en el eje del motor con N perforaciones en su periferia. De esta forma se pudo determinar sus RPM, por medio de la siguiente ecuación.

$$RPM = \frac{F_{med} \cdot 60}{N}$$

Donde F_{med} es la frecuencia medida. En nuestro caso solo usamos una perforación por lo que $N = 1$.

Con los datos obtenidos mediante las mediciones en el osciloscopio se armó la siguiente tabla y gráfico.

VREF[V]	Frecuencia[Hz]	RPM
0,92	-168	-10080
1,18	-125	-7500
1,42	-87	-5220
1,66	-42	-2520
1,87	0	0
1,94	0	0
2,05	0	0
2,16	25	1500
2,42	80	4800
2,68	120	7200
2,98	164	9840





Conclusiones

En este práctico se observa que mediante la modulación por ancho de pulso se puede modificar la velocidad y sentido de giro de un motor de corriente continua, deteniéndolo cuando el ciclo útil es del 50%, pero manteniendo el par motriz.

Se pudo trabajar con la etapa de potencia conocida como “Puente H”, la cual tiene muchas aplicaciones prácticas y se aprendió la importancia de esta en el manejo de motores de corriente continua. Además de los puntos a tener en cuenta en el momento de diseñar etapas excitadoras para las etapas de potencia. Es de destacar la versatilidad que tiene esta etapa debido a que se puede tener una lógica de control digital para altas potencias. Es muy interesante el hecho de que es posible manejar un motor de CC, por ejemplo, con algún microcontrolador con el único requisito de tener salidas de modulación por ancho de pulso. Resulta de fundamental importancia el control y la variación que se tenga del ciclo de trabajo del PWM, ya que es a partir de este que logramos el beneficio del control bidireccional y de velocidad sin tener que usar tensiones negativas, en el caso del PWM armado para el práctico, nos demoró calibrar la puesta a punto del potenciómetro de frecuencia (y velocidad del motor), para dejar la parada del motor en el centro y establecer la máxima velocidad de cada sentido en los extremos del potenciómetro.

Es importante mencionar que en el circuito de tiempo muerto se realiza un retardo para así proteger a los conmutadores de potencia. Además posee otro circuito de protección contra sobrecorriente.

El circuito de protección de sobrecorriente utilizado resultó ser muy práctico, apagando ante una eventual sobre carga a los drivers, por ende corta los mosfet y apaga el motor instantáneamente, protegiendo así al circuito y el motor. Se pueden elegir dos formas: Manual o Automático, se pudo verificar el correcto funcionamiento de ambos.

La resistencia de censado de corriente del circuito de protección se eligió de manera adecuada para no provocar una caída notable en la alimentación del motor.