



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

LABORATORIO 2

VARIACION DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC MEDIANTE PWM

Angie Carolaine Ubaque Almanzar

u1802576@unimilitar.edu.co

Jorge Alberto Zorro Sánchez

u1802582@unimilitar.edu.co

David Steven Galvis Arévalo

u1802584@unimilitar.edu.co

1. RESUMEN:

Durante la práctica se usará la modulación por ancho de pulso (PWM), la cual permitirá variar la frecuencia de trabajo, mediante la comunicación con un interfaz conectado con un micro controlador el cual será el encargado de enviar las resoluciones para tener una correcta aplicación, y obtener cambios de velocidad.

2. PALABRAS CLAVE

- Frecuencia
- Ancho de pulso
- Comunicación
- Velocidad
- Control

3. ABSTRACT:

During practice the modulation is used by width of pulse (PWM), which allows you to vary the working frequency, by communicating with an interface connected to a micro controller, which will be responsible for sending the resolutions to be a proper application, and get speed changes.

4. KEY WORD

- Frequency
- Pulse width
- Communication
- Speed
- Check

5. INTRODUCCIÓN

MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA:

Los motores de corriente directa eléctricos son dispositivos capaces de transformar energía eléctrica en energía mecánica, en este caso un movimiento rotacional. Su funcionamiento se basa en la fuerza producida por la presencia de un material conductor, como en forma de bobina, excitado con una intensidad de corriente dentro de un campo magnético presente por un imán o electroimán.

MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO:

La modulación por duración de pulsos es la modulación de una onda portadora

de impulsos, en la que la magnitud de cada valor instantáneo de exploración de la onda moduladora produce un impulso de duración proporcional a dicho valor, variando la posición de dicho del borde anterior del impulso, o la del posterior o la de ambos. La modulación por duración de impulsos se conoce también por modulación por longitud de impulso, o modulación por ancho de impulsos (en inglés *pulse-width modulation*, PWM).

Es un tipo de señal de voltaje utilizado para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga. Este tipo de señales es muy utilizado en circuitos digitales que necesitan emular una señal analógica.

Este tipo de señales son de tipo cuadrada o sinusoidales en las cuales se les cambia el ancho relativo respecto al período de la misma, el resultado de este cambio es llamado ciclo de trabajo y sus unidades están representadas en términos de porcentaje.

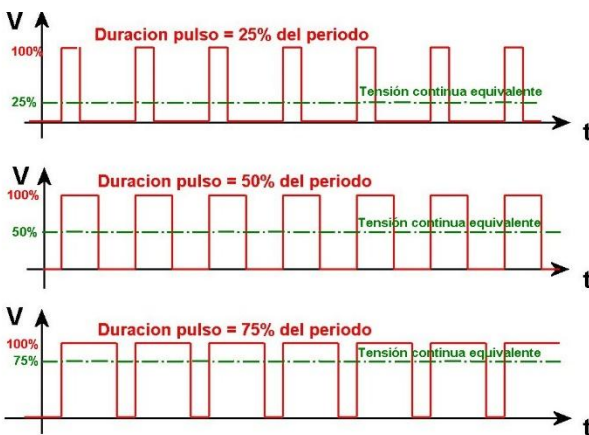


Ilustración 2. Modulación por anchura de pulso a diferentes proporcionalidades.

Por medio de la modulación por ancho de pulso en un motor de corriente continua se regulará la velocidad, está basada en el hecho de que si se recorta el

voltaje DC de alimentación en forma de una onda cuadrada, la energía que recibe el motor disminuirá de manera proporcional a la relación entre la parte alta (habilita corriente) y baja (cero corriente) del ciclo de la onda cuadrada. Controlando esta relación se logra variar la rapidez del motor.

6. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Realizar la variación de velocidad de un motor DC.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Comprobar el nivel de voltaje que se obtenga del PWM.
- Determinar la relación entre velocidad y frecuencia útil del PWM.
- Relacionar velocidad y corriente en función de la carga.

7. METODOLOGÍA:

Durante la práctica se llevará a cabo el diseño para un motor con los devanados conectados de manera independiente. El devanado de campo por ser el encargado de producir el campo magnético se alimentará a una fuente DC fija, mientras el devanado de armadura se le conecta una señal de PWM, la cual será transmitida a través de un micro-controlador.

Como se utilizará la modulación por ancho de pulso, se efectúa la siguiente relación:

$$D = \frac{\tau}{T}$$

Donde:

D: Ciclo de trabajo

τ : Periodo útil de la señal cuadrada (ancho de pulso)

T: Periodo de la función

8. DISEÑO

Para realizar el diseño de un circuito que sea capaz de variar la velocidad dependiendo el ancho de pulso, se procede a pensar en un transistor que funcione como interruptor eléctrico para poder llevar la señal de 0 a 120v.

Como componente electrónico se elige el MOSFET debido a que es un buen conmutador de señales y permite controlar corrientes muy elevadas. Se controla con por diferencial de potencial por lo que la corriente requerida es idealmente 0, especial para poder conectarse a cualquier dispositivo digital. Posee una desventada: en el terminal de puerta (gate) se coloca la señal de voltaje que controla la saturación y corto (conmutación) entre el drenador (drain) y fuente (source), y puede entre esos terminales pueda controlar una corriente máxima la cual no puede ser suficiente para manejar el sistema; esa corriente máxima depende de la cantidad de diferencial de potencial que excite al gate, entre más grande el gate, mayor corriente podrá soportar el gate y el source.

Otro elemento importante a usar es el circuito integrado de un optoacoplador con foto transistor, el cual funciona de aislador entre el circuito digital que se controla con parámetros de tecnología TTL o CMOS, del diseño de potencia el cual posee imperfecciones de la calidad de la red. Por ser un circuito integrado, el funcionamiento de conmutación por emisión de luz queda totalmente separada de las perturbaciones de la luz ambiente.

El MOSFET, por estar trabajando como conmutador, la saturación o el corte no se llegan a lograr de forma ideal y la fuente por ser de alto voltaje puede no ser totalmente rectificadora y/o filtrada por lo que tendrá un escaso comportamiento AC, se formará corrientes en inverso que le el MOSFET no soporta y el motor son insignificantes pero exigirá más corriente que MOSFET no puede tolerar. Es ese caso, se coloca un diodo rectificador en inverso al motor lo que protegerá el motor en caso de escape de corrientes en inverso y en ese caso, el sistema no pedirá más corriente de la que se necesita. La característica de ser rectificador es que posee un tiempo de conmutación pequeña por el mismo objetivo de rectificar señales de alta frecuencia.

El factor de tiempo de conmutación también se presente en el MOSFET y el optocoplador, por lo que el PWM tendrá su frecuencia de trabajo útil bajo los parámetros de tiempo de conmutación de estos elementos. Debido a esto, la señal nunca podrá llegar a tener periodos de trabajo útil muy cercanos a 0, o la señal

de control del motor no será perfectamente una señal digital modulada por ancho de pulso, podría tener un comportamiento sinusoidal.

Teniendo en cuenta lo anterior, el montaje que se implementará es el siguiente:

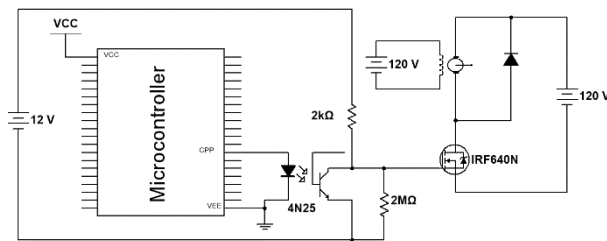


Ilustración 3. Estructura del circuito.

9. MATERIALES

- Cables caimán-caimán
- Cable trifásico
- Tacómetro
- Tabla de potencia
- Multímetro
- Cables de conexión banana-banana
- Motor DC universal
- Electrodinamómetro
- Correa de repartición
- Fuente de voltaje
- Tarjeta de desarrollo embebida STM32F4 Discovery
- Transistor MOSFET IRF740B
- Opto acoplador 4N25
- Diodo rectificador 1N4004

10. PROCEDIMIENTO

- 1- Se identifican las partes del motor, del electro – dinamómetro y de la fuente de alimentación para tener una conexión adecuada.
- 2- Realizar las mediciones para el voltaje de alimentación: 120v para campo y una señal cuadrada de 1kHz con frecuencia útil de 100%.
- 3- Medir la velocidad del motor a la variación de carga.
- 4- Repetir el paso anterior para diferentes porcentajes de la frecuencia útil de la señal cuadra, hasta llevarla a 0%.
- 5- Con los datos obtenidos, graficar velocidad en función de la carga y velocidad en función del nivel de voltaje que otorga la frecuencia útil de la señal cuadrada.

11. PLAN DE PRUEBAS

Para llevar a cabo el procedimiento nombrado con anterioridad fue necesario realizar unas simulaciones que orienten a los resultados de la práctica. De esta manera se busca un acercamiento a las diferentes reacciones del sistema a medida de que se varíe la frecuencia de la modulación por ancho de pulso.

La simulación tiene el siguiente montaje:

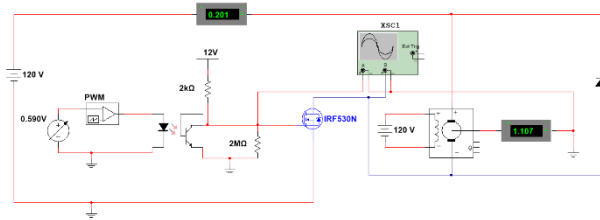


Ilustración 4. Circuito de Simulación.

El motor se encuentra en conexión independiente, donde es necesario dos fuentes, una fija al devanado de campo que siempre produzca el campo suficiente y otra variable al devanado de armadura para variar la velocidad. La variación se lleva a cabo por la conmutación de una fuente de 120 V obteniendo una señal de modulación por ancho de pulso de amplitud 120 V. La conmutación se realizará por un transistor MOSFET el cual permite una conmutación controlada por voltaje y manejo de potencia. Como la señal será producida por medio de un elemento fuente de modulación por ancho de pulso controlada por voltaje directo, se debe desacoplar el circuito de control con el circuito de potencia y para esa tarea se realiza el optocoplador, un fotodiodo conectado al PWM y un fototransistor conectado al transistor MOSFET. El funcionamiento es el siguiente: la señal PWM conmutará el fototransistor del optocoplador, el cual estará a 12 V conectada, es decir, producirá una señal PWM de amplitud 12 V en un divisor de voltaje; esa señal excitará la puerta del MOSFET y conmutará la fuente de 120 V.

El osciloscopio del simulador muestra la señal del divisor de voltaje de la salida por el optoacoplador y la señal de 120 V conmutada en el terminal de drenador del MOSFET:

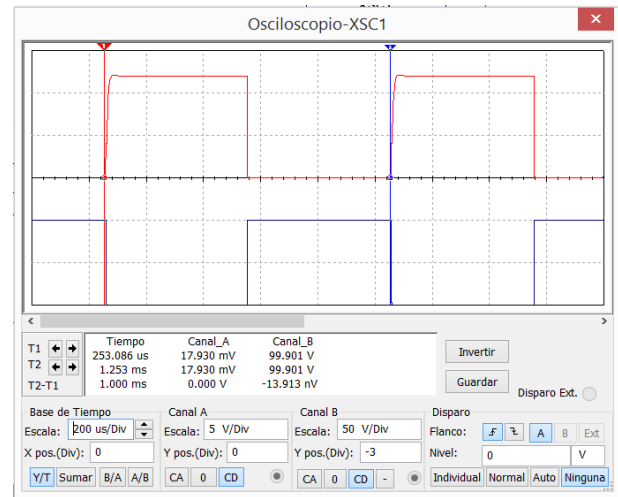


Ilustración 5. Señales de osciloscopio de simulación.

La primera señal es cuadrada con amplitud 12 VPP con offset de 6 V, y la señal azul tiene la misma amplitud que la roja pero con amplitud de aproximadamente 120 VPP y offset de 60 V, por lo que las dos son señales DC. Están a 50% de ciclo útil la frecuencia establecida de 1 kHz, una inversa de la otra: si la señal roja está en alto, la señal azul está en bajo y viceversa.

Al variar la frecuencia útil y medir la velocidad y la velocidad obtenida, los resultados obtenidos son los siguientes:

Porcentaje de ancho de pulso (%)	Corriente (A)	Velocidad (rpm)
0	0,201	60
10	0,302	200
20	0,398	360
30	0,499	500
40	0,598	600

50	0,696	750
60	0,798	950
70	0,899	1120
80	0,998	1275
90	1,097	1425
100	1,199	1600

Tabla 1. Velocidad y corriente en variación de ancho de pulso.

Teniendo los datos, se organizan en una gráfica.

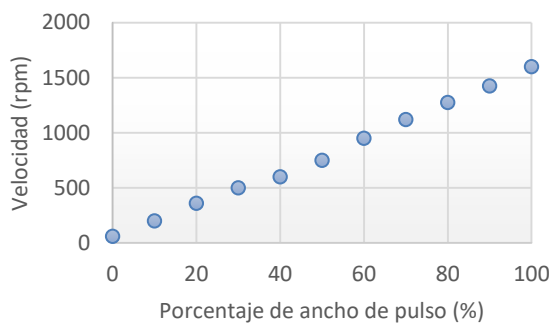


Ilustración 6. Gráfica de velocidad en función del ancho de pulso.

La gráfica muestra el comportamiento lineal de la velocidad al variar el ancho de pulso de la señal cuadrada. Y de igual manera se grafica el comportamiento de la corriente en función de la variación del porcentaje de ancho de pulso:

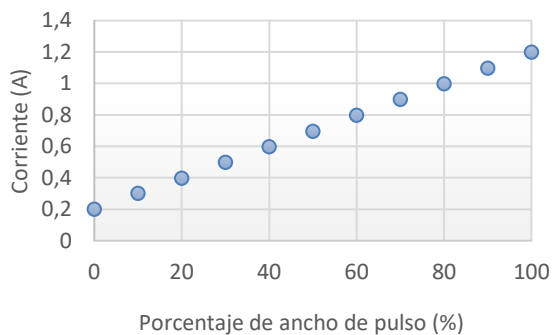


Ilustración 7. Gráfica de corriente en función del ancho de pulso.

7. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Como la variación de velocidad se realiza en conexión independiente, los datos obtenidos varían dependiendo del nivel del voltaje DC de la señal PWM de salida del microcontrolador, y con el divisor de voltaje, y para luego repetirlo con carga en el motor.

Los datos de corriente y velocidad son los siguientes sin carga:

Voltaje (V)	Corriente (A)	Velocidad (rpm)
0,15	0	0
1,98	0,038	350
3,94	0,085	695
5,97	0,12	938
8,04	0,14	1095
10,15	0,17	1254
11,2	0,19	1370
12	0,19	1370

Tabla 2. Datos experimentales sin carga.

Ahora la tabla de los datos de corriente y voltaje con carga:

Voltaje (V)	Corriente (A)	Velocidad (rpm)
1,99	0,048	226
3,97	0,116	519
5,97	0,180	763
8,05	0,230	970
10,21	0,290	1180
12	0,360	1345

Tabla 3. Datos experimentales con carga.

De estos mismos datos, se pueden pasar al dominio del porcentaje de ancho de pulso, pues ese nivel DC representa el

porcentaje de tiempo a la cual dura el pulso respecto a la frecuencia de la señal PWM ya definida a 1 kHz. La ecuación que se necesita para calcular los porcentajes de ancho de pulso es la siguiente:

$$\%PWM = (V_{GS} * 100\%) / 12 V$$

Aplicando la ecuación, los porcentajes de cada nivel de voltaje DC en las mediciones al vacío y con carga son los siguientes:

Medición al Vacío		Medición con Carga	
Voltaje (V)	Porcentaje de ancho de pulso (%)	Voltaje (V)	Porcentaje de ancho de pulso (%)
0,15	1,25	1,99	16,58
1,98	16,5	3,97	33,08
3,94	32,83	5,97	49,75
5,97	49,75	8,05	67,08
8,04	67	10,21	85,08
10,15	84,58	12	100
11,2	93,33		
12	100		

Tabla 4. Equivalencia del nivel DC en porcentaje de ancho de pulso.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para entender y poder analizar el comportamiento de cada parámetro al cual se le realizó medida respecto a la variación del nivel DC de la señal PWM que alimenta al MOSFET, pero el análisis se realizará respecto al ancho del pulso, al porcentaje de modulación de la señal.

La primera gráfica es la de corrientes para la medición al vacío y con carga fija:

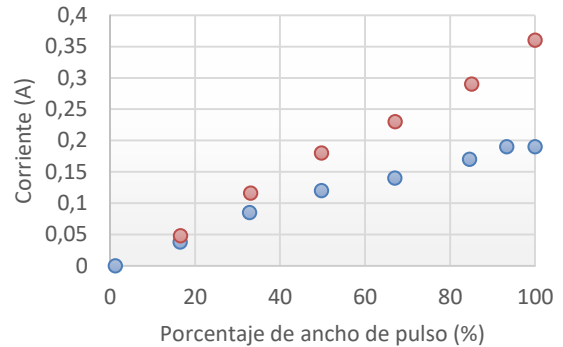


Ilustración 8. Gráfica de corrientes en función del porcentaje de ancho de pulso al vacío (azul) y con carga (naranja).

Por el simple hecho de haber presencia de carga, el motor consume más corriente que funciona al vacío, entonces al igual que el motor en serie o en paralelo, la corriente que consume el devanado de armadura depende de la carga suministrada al motor, pues entre más carga, la fuerza contra electromotriz aumenta, sin importar el campo ejercido por el devanado de campo. Además el aumento de corriente con carga tiende a comportarse más lineal y al vacío para las últimas mediciones tiende a quedarse en un valor constante.

La siguiente gráfica es el valor de velocidad dependiendo de la variación del porcentaje de ancho de pulso:

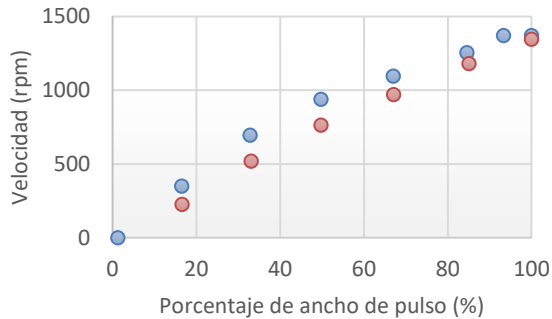


Ilustración 9. Gráfica de velocidad en función del porcentaje de ancho de pulso con carga (naranja) y sin carga (azul).

Los dos comportamientos son aproximadamente lineales y tienden a tener el mismo valor en un porcentaje de PWM. Eso solo implica que tiene la característica del motor en paralelo: la velocidad es aproximadamente constante en función de la carga, pero la rapidez depende del voltaje de alimentación suministrado. Es decir que el nivel DC de la señal PWM varía la velocidad, y a ese nivel, la velocidad se mantiene constante a diferentes valores de carga.

9. CONCLUSIONES

La relación entre la velocidad del motor y el porcentaje de ancho de pulso están relacionados de una manera directamente proporcional. Haciendo un control más exacto de la velocidad del motor, el voltaje del PWM se amplifica con un transistor.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Datasheet Transistor MOSFET IRF640N
<http://www.infineon.com/dgdl/irf640n.pdf?fileId=5546d462533600a4015355e7b76c19eb>
- Control de velocidad de un motor DC mediante el uso del PWM.
http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_ControlAncho.htm
- Enciclopedia Salvat Ciencia y Tecnología, ESCYT. Modulación de impulso: Modulación por duración de impulsos (MDI).
- PWM: Modulación por ancho de pulso. [En línea]. Available: <http://www.arduino.utfsm.cl/modulacion-por-ancho-de-pulso-pwm/>