

# Diseño Preliminar de la electrónica de control de una rueda de reacción/momento para una plataforma de pruebas y desarrollo de AOCS&UPS

Jorge Guerrero y Eliecer Hernández

Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación Espacial

Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales

Borburata, Estado Carabobo, Venezuela

jguerrero01@abae.gob.ve & ehernandez@abae.gob.ve

**Resumen** - En este artículo se presenta el diseño preliminar de la electrónica de control para motores DC de pequeñas dimensiones en un dispositivo de intercambio de momento angular. El diseño de la electrónica tiene la versatilidad para ser implementada como control de una rueda de momento o reacción, empleando componentes de altas prestaciones con una elevada escala de integración de recursos para un control de velocidad de alta precisión con la menor cantidad de dispositivos posibles, dicha tarjeta debe ser conectada a una computadora central de control integrándose como actuador dentro de un sistema de determinación y control de orientación en una plataforma de pruebas y desarrollo de AOCS&UPS.

**Palabras clave** –

## I. INTRODUCCIÓN

En el mercado existen kits de desarrollo y equipos genéricos para control de motores DC de diversas escalas a nivel de laboratorio, los cuales si bien son ser eficaces también son muy costosos y contienen hardware innecesario no optimizado, por lo tanto suelen ser de grandes dimensiones y generalmente requieren de interfaces o software de control especializado proporcionado por la misma casa matriz de dicho equipo, lo cual hace engorrosa su integración dentro del sistema de determinación y control de orientación y dificulta el desarrollo de un equipo especializado y óptimo que reproduzca las características de los dispositivos disponibles comercialmente para condiciones espaciales.

## II. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

La electrónica de control debe cumplir con una serie de requisitos generales y de desempeño, los cuales se enumeran a continuación:

### 1) Características Generales

El esquema de diseño subdivide al conjunto de este actuador en dos elementos básicos: la parte mecánica (*flywheel*, motor, y mecánica asociada como rodamientos) y tarjeta electrónica controladora del motor (frecuentemente mencionada en inglés como: *Momentum Wheel Electronics* o *Wheel Drive Electronics*), dicho esquema se puede observar en la siguiente figura.

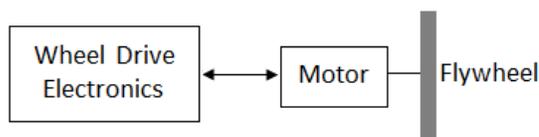


Figura 1. Composición de los elementos de un dispositivo de intercambio de momento angular

En esta configuración, la tarjeta electrónica del conjunto no solo posee la circuitería controladora (*driver*) del motor, también recibe señales del motor y las conforma para ser luego enviadas y procesadas por un procesador o microcontrolador, este luego envía data de telemetría al bus de datos y realiza el control de velocidad de la rueda, esta circuitería cuenta con su propio lazo de control independiente de la computadora de a bordo de control de orientación (generalmente referida en inglés como AOCC), liberando a esta última para que esté dedicada a la lógica de control y determinación de orientación de la nave espacial, comunicándose por medio de un bus de datos con los sensores y actuadores.

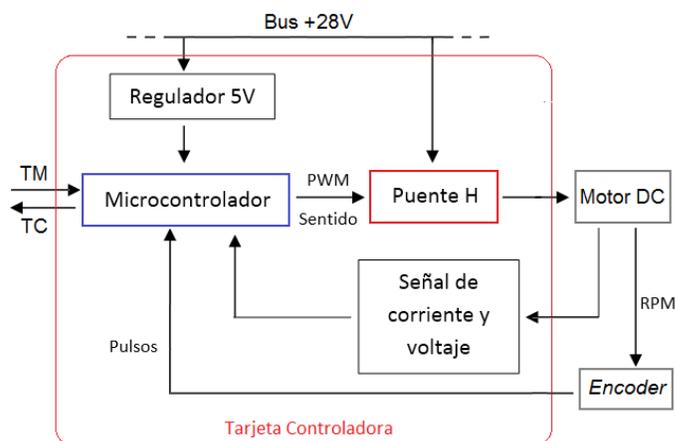


Figura 2. Diseño conceptual de la electrónica de control de una rueda de reacción/momento

## 2) Características Específicas

### a) Microcontrolador

Se empleará un microcontrolador Microchip® PIC18F4331 debido a que sus características se adaptan a las requerimientos del proyecto, entre sus características más resaltantes se encuentran su módulo de control de motores, PWM de alto desempeño y módulo de retroalimentación de movimiento, a continuación se listan en detalle las características extraídas de la hoja de datos del fabricante.

- Posee 40 pines, de los cuales solo se necesitan 11 pines.
- Módulo PWM de control de potencia (*14-Bit Power Control PWM Module*).
- Módulo de retroalimentación de movimiento (*Motion Feedback Module*)

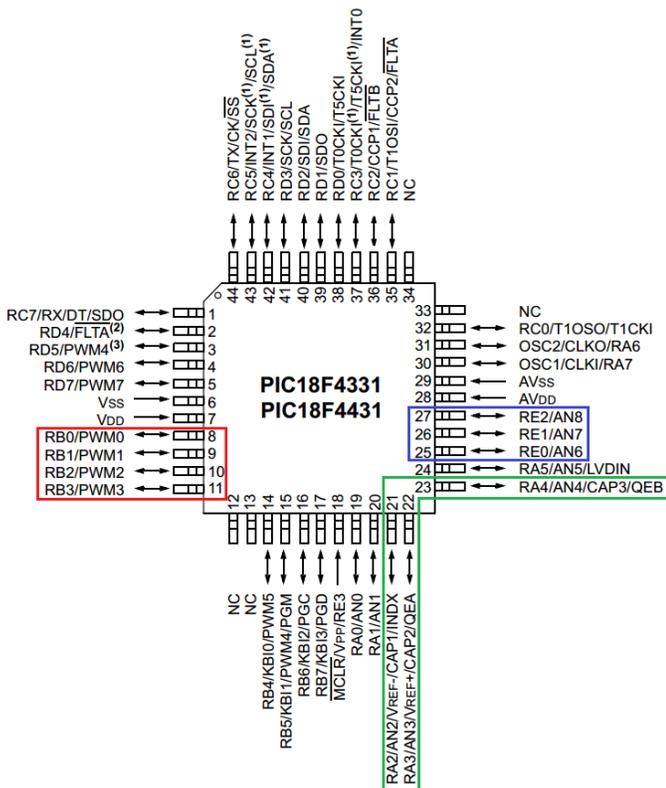


Figura 3. Pinout del encapsulado TQFP extraído de la hoja de datos del PIC18F4331 con detalles de los pines empleados en el diseño [1]

### b) Motor

Para la selección del motor se tomaron en consideración variables mecánicas: velocidad, torque máximo, dimensiones, peso, longitud y diámetro del eje; y variables eléctricas: voltaje nominal, corriente sin carga, corriente a torque máximo, estas últimas dependen de las primeras, pues primero fue necesario dimensionar el motor en base a la *flywheel* con un diámetro de 112mm, espesor máximo de 15mm y masa 130g calculada para la plataforma de pruebas y desarrollo de

AOCS&UPS para ejercer un torque de control de 3 mN-m a 2000 RPM, con un presupuesto de masa máximo por motor de 1Kg.

En base a estas características se seleccionó el motor DC RE-30 de 60 Watts del fabricante Maxon Motors AG, este motor con 24V DC nominales posee 8810 RPM al vacío, torque máximo continuo de 75.5 mN-m, las cuales son características mecánicas ampliamente sobredimensionadas sin embargo es el menor modelo de motor DC de escobillas de carbón económico disponible por los proveedores que satisfaga los requerimientos mínimos de distancia de eje expuesto y posibilidad de acoplarse con un *encoder*, debido a que trabaja con la tecnología modular propietaria de Maxon Motor.

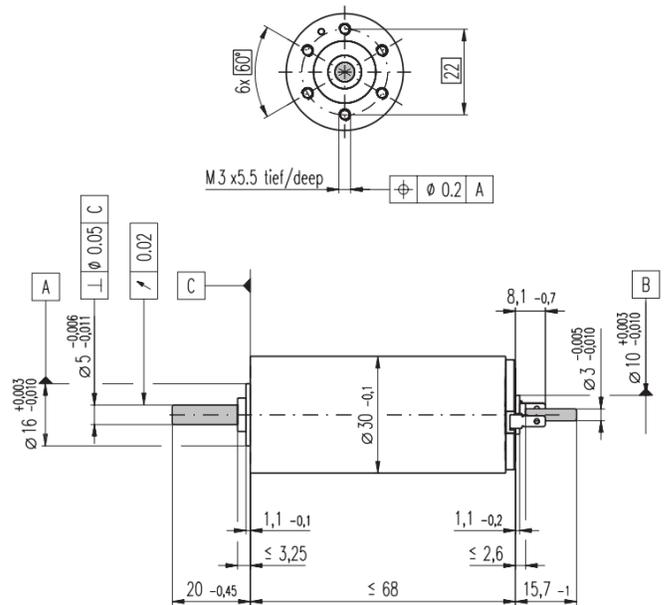


Figura 4. Dimensiones del motor RE-30. Imagen extraída de la hoja de datos, Maxon Motor. [2]

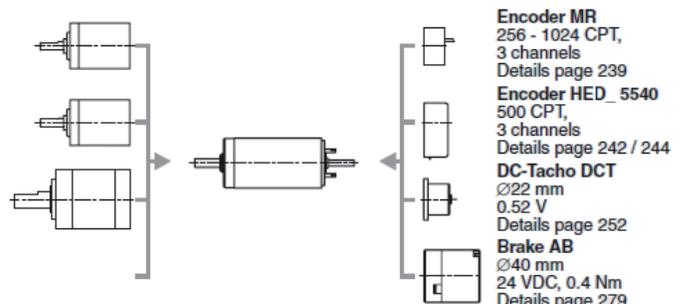


Figura 5. Sistema modular de Maxon Motor, con detalles de los *encoders* adaptables. Imagen extraída de la hoja de datos [2]

### c) Codificador (*encoder*)

Los codificadores de cuadratura (también conocidos como codificadores incrementales, rotativos u ópticos) son usados para la detección de posición y velocidad de los sistemas rotativos. Son entonces las lecturas de los codificadores las

que permiten cerrar el lazo de control de muchas aplicaciones de control de motor.

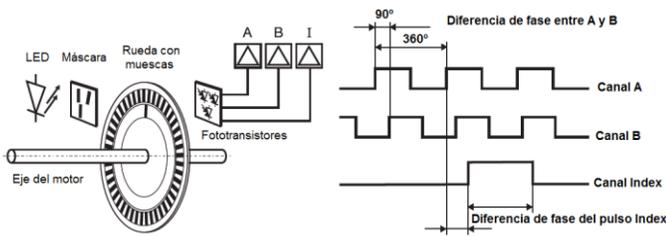


Figura 6. Diagrama general del funcionamiento de un *encoder* de cuadratura [3]

Se empleará un *encoder* de cuadratura modular típico de 500 líneas modelo *HED 5540*, este se acopla en la parte posterior de cualquier motor DC diseñado con tal fin.

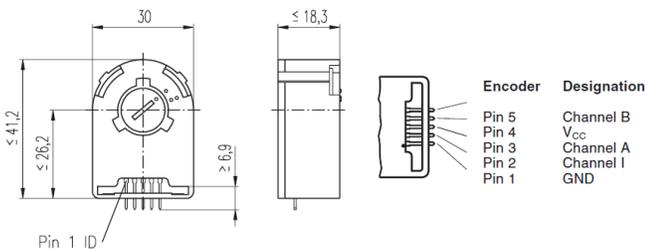


Figura 7. Dimensiones y *pinout* del *encoder* HED 5540 [3]

#### d) Puente H

El puente H está compuesto por 4 MOSFET canal N, cada ramal del puente H está controlado por sendos controladores de compuertas IR2101 para asegurar la polarización adecuada de los interruptores MOSFET.

El IC IR2101 es un controlador de MOSFET e IGBT de alto voltaje, alta velocidad con dos canales independientes con referencias alta y baja respectivamente para ser implementado en la mitad de un puente H.

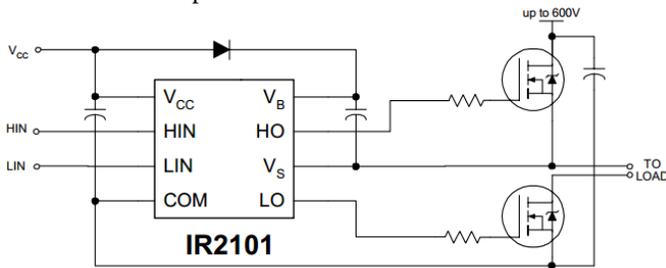


Figura 8. Esquemático general de la implementación del controlador de MOSFET IR2110, extraído de la hoja de datos [4]

#### e) Sensado de corriente y tensión

Existen dos razones fundamentales para el sensado de corriente del motor, una es monitorear la corriente de la carga como señal de retroalimentación en un lazo cerrado de control para registrar su desempeño con respecto a las señales de comando y la otra es detectar fallas tanto en el mismo motor como en el puente H.

Para este propósito se seleccionó un sensor de corriente (*current sense amplifier* o *current shunt amplifier*) que amplifica la diferencia de potencial (típicamente entre 1 y 100mV) entre los terminales de un resistor *shunt* externo colocado en serie con la carga y cuyo valor es conocido (típicamente entre 1 y 100 mΩ), en la tarjeta controladora dicho voltaje de salida es enviado a uno de los pines con hardware ADC del microcontrolador PIC para convertirlo en un valor digital proporcional a la corriente del motor.

Una forma sencilla de implementar la medición de corriente en un puente H es realizando la medición bidireccional en un resistor “flotante” en serie con el motor y un solo sensor, este esquema tiene como desventajas que el voltaje de modo común realiza transiciones en un rango muy amplio de valores al cambiar el sentido de giro (bajo actividad PWM) y aunado al mismo rechazo de modo común (CMRR) del amplificador diferencial del sensor, el cual aunque permita filtrar la información útil del PWM puede oscurecer otros fenómenos de más alta frecuencia necesarios para la detección rápida de fallas, aparte esta configuración impide la detección de escenarios potencialmente peligrosos como un cortocircuito a tierra desde un terminal del motor, o una corriente de cortocircuito en un medio puente por fallas en la función de conmutación de los MOSFET. [5]

Debido a que una rueda de momento requiere constantes aceleraciones y desaceleraciones, y las ruedas de reacción deben cambiar el sentido de giro rápidamente hacen que se requiera de un monitoreo bajo la acción del PWM en regímenes bastantes cambiantes lo que genera considerable ruido, por lo tanto la mejor solución es simplemente proveer dos sensores diferenciales más sencillos (no bidireccionales) que monitoreen individualmente cada medio puente, conectados a sus resistores *shunt* respectivamente dispuestos entre la fuente y la primera pareja complementaria de MOSFET.

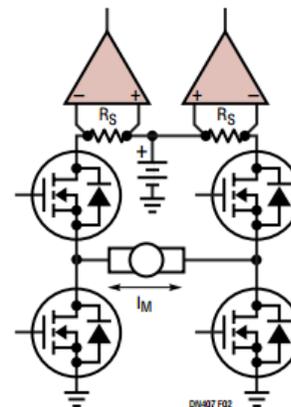


Figura 9. Nota de diseño DN407, Linear Technology [6]

El dispositivo seleccionado para esta tarea es el LTC6103, el cual es descrito por el fabricante como un sensor doble de tipo *high side sense amplifiers* ideal para funciones de monitoreo

en puente H, este encapsulado posee dos canales de entrada para sensado de corriente con sus respectivas salidas diseñado para cada rama del puente H, debido a que los pulsos de corriente se producen en una mitad del puente H, el canal amplificador complementario permanece en silencio. Aparte, al poseer un tiempo de respuesta muy pequeño tiene la capacidad de sensar sobrecargas rápidamente y proveer la capacidad de protección por parte del circuito de control contra eventos indeseados. La medición en la parte alta del puente H (del lado de la alimentación, antes de los MOSFET) tiene otras ventajas con respecto a la medición en el retorno, permite capacidades mejoradas de diagnóstico como la determinación de cortocircuitos a tierra y continuo monitoreo de la corriente de re-circulación de los diodos *schottky*.

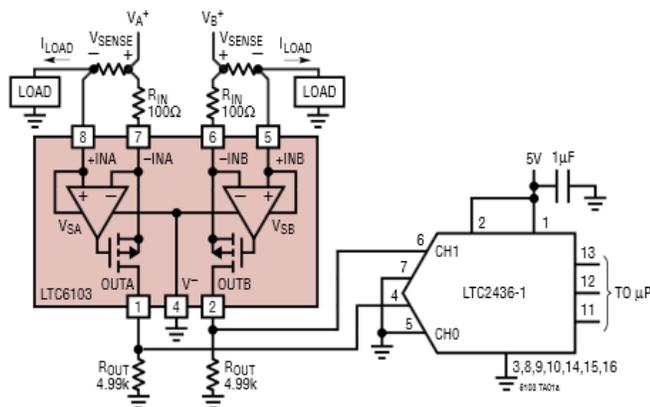


Figura 10. Aplicación típica del LTC60103. Extraído de la hoja de datos del componente, Linear Technology. [7]

Para medición de tensión entre los terminales se cuenta con una sencilla red divisora de tensión conectada a una entrada del convertidor analógico-digital del Microcontrolador PIC.

#### f) Alimentación

La alimentación de todo el conjunto electrónica de control-motor proviene de un bus regulado de 28V, electrónica de control posee un convertidor DC-DC de 28V a 5V para máxima eficiencia energética con filtros EMI para impedir que lleguen ruidos procedentes del BUS, el motor posee su propio regulador de 24V para asegurar una alimentación nominal invariable.

#### g) Interfaz con la computadora de a bordo de control de orientación

Como interfaz entre la tarjeta controladora y el dispositivo que haga las funciones computadora de control de a bordo se usará un bus I2C o ISP (debido a que estos ya vienen implementados en hardware de los microcontroladores existentes en el mercado).

La definición precisa de los detalles de la computadora de a bordo salen del alcance de este documento, sin embargo se propuso de manera preliminar emplear un *arduino* como interfaz con una PC que porte la lógica de programación, la comunicación entre la placa *arduino* a la PC será realizada de

manera inalámbrica mediante módulos *Xbee* para no introducir perturbaciones a la plataforma mediante cables que vengan desde afuera de la misma.

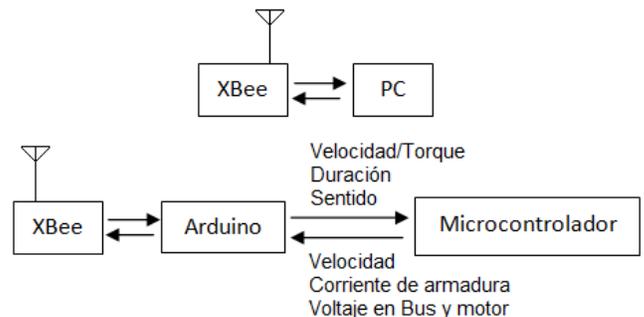


Figura 11. Diseño de la comunicación de la electrónica de control con la computadora de control de a bordo

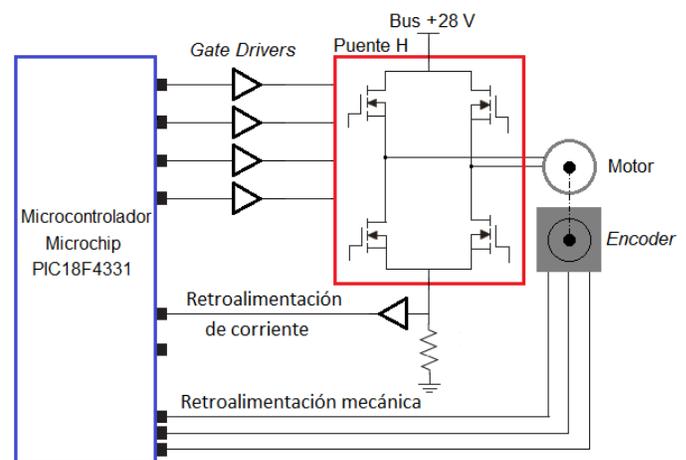


Figura 12. Diseño Preliminar de la electrónica de control de una rueda de reacción/momento

## V. CONCLUSIONES

La alta integración de recursos de hardware en los componentes permite crear un diseño compacto y con una cantidad reducida de componentes lo cual simplifica el diseño de la circuitería.

Los componentes seleccionados son fácilmente asequibles en el mercado internacional y son de bajo costo. La mayoría de los componentes seleccionados poseen encapsulados para montaje superficial, lo cual permite manufacturar una PCB de reducidas dimensiones que permite acomodarse fácilmente dentro de la plataforma de pruebas y desarrollo de AOC&UPS.

Este diseño sirve para fundar una línea de investigación orientada a madurar equipos escalables con prestaciones y fiabilidad similares a los dispositivos de a bordo comerciales no endurecidos para condiciones espaciales como es el caso de los Nanosatélites para misiones cortas.

La electrónica de control permite implementar diversos algoritmos y valores de optimización para el control de

velocidad del motor. El diseño permite ser adaptado (bajo considerables modificaciones) para el control de motores brushless el cual permite mejores prestaciones.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Microchip Technology Inc., "Microcontrollers with nanoWatt Technology, High-Performance PWM and A/D" hoja de datos de los microcontroladores PIC18F2331/2431/4331/4431, 2010.
- [2] Maxon Motor AG., "RE-30 30mm Diameter, Graphite Brushes, 60 Watt" hoja de datos del motor RE-30, mayo, 2008.
- [3] Maxon Motor AG., "Encoder HEDS 5540,500 Counts per turn, 3 Channels", hoja de datos del encoder rotativo HEDS 5540, abril, 2005.
- [4] International Rectifier, "High and low side driver", hoja de datos del IC IR2101(S)/IR2102(S), febrero, 2002.
- [5] Linear Technology, "Current Sense Circuit Collection", Application Note 105, diciembre, 2005.
- [6] Linear Technology, "Dual Current-Sense Amplifiers Simplify H-Bridge Load Monitoring", Design Note 407, Julio, 2007.
- [7] Linear Technology, "Dual High Voltage, High Side Current Sense Amplifier", hoja de datos del IC LTC6103.