

Informe de Proyecto

Manejo de motores DC con puente H y control por modulación de pulso PWM Sigma con aplicaciones en simuladores de vuelo, caso de la reparación del simulador de vuelo del CIMA*

Mauricio Orlando Gómez
Universidad Don Bosco
mauricio.gomez@udb.edu.sv

En el contexto del convenio de cooperación entre la UDB y el CIMA para el intercambio de prácticas docentes y homologación de programas (entre CIMA y el TMA de la UDB), el CIMA le solicita a la UDB la colaboración para reactivar dos simuladores de vuelo utilizados para el entrenamiento de pilotos: uno de avión y otro de helicóptero. El problema consistía en un mal diseño de origen de la tarjeta de control, lo cual dañaba la parte de potencia del simulador del helicóptero. El simulador de avión tenía problemas de software. Lo que se hizo fue llegar al origen del problema a través de un proceso de ingeniería inversa, conociendo todas las etapas de funcionamiento del simulador. Durante el proceso se tuvo que rediseñar varias etapas, se rediseñaron algunas tarjetas y se cambiaron algunos componentes para lograr que funcionaran. A continuación se describe en forma sintética el proceso llevado a cabo.

En el mercado de controladores de motores del tipo DC se manejan una gran variedad de alternativas, sin embargo una de las más conocidas y típicas es el uso de PUENTES H, construido por medio de transistores de efecto de campo, conocimos por su tecnología de fabricamos como powerMOS.

Los puentes H son de amplio uso por la versatilidad que nos dan, al poder hacer inversión de giro en motores DC por su arreglo de 4 transistores en contra fase, lo que nos da como resultado un excelente manejo del arranque y sobre todo de la inversión de giro. Ahora bien no solo se requiere de puentes H para hacer el trabajo, se requiere de procesos de control que nos permita activar los transistores de forma adecuada y que nos de la precisión o la fuerza que necesitamos para realizar el trabajo encomendado al motor.

Dentro de las técnicas de control para el manejo de puentes H, esta la técnica de control por modulación de ancho de pulso o mejor conocida por sus siglas en inglés PWM, pero dentro de estas hay básicamente los siguientes caminos a seguir:

- PWM senoidal (SPWM).
- SHE-PWM (eliminación selectiva de armónicos).
- PWM de mínimo Rizado de corriente.

*Para el desarrollo de este proyecto se tuvo la colaboración del encargado del simulador de vuelo en el CIMA, el Sargento TA Marvin J. Salazar, quien nos proporcionó acceso e información relacionada con el Simulador de vuelo del Helicóptero UH1H.

- PWM con control de corriente por banda de histéresis.
- Modulación Sigma.
- PWM de vector de espacio (PVM).

De estos caminos el más usado es el SPWM, el cual ya está probado y se puede decir que es una tecnología madura, pero para los efectos del presente, nos referiremos a la técnica conocida como Modulación Sigma, que es la empleada en el Simulador de vuelo, sujeto de este artículo.

Pero ¿qué es la modulación Sigma? De hecho es más conocida como Sigma-Delta. El principio de modulación sigma delta es presentado en la fig 1, en donde el modulador recibe el voltaje afectado de fase V_{a0} ; A la magnitud variable, y la frecuencia es comparada con los pulsos de voltaje de fase discreto real. El error resultante (operación delta) es integrada (operación sigma) para generar la integral de la función error "e" dado por:

$$e = \int V^*_{a0} dt - \int a_{0} dt$$

La polaridad de la función error es detectada por un compensador bipolar. La polaridad positiva de "e" selecciona un pulso de voltaje positivo, caso contrario ocurre cuando es afectada por la polaridad negativa de "e", en cuyo caso se selecciona un pulso negativo, con lo que se logra la inversión de giro o lo que es lo mismo la corrección del error.

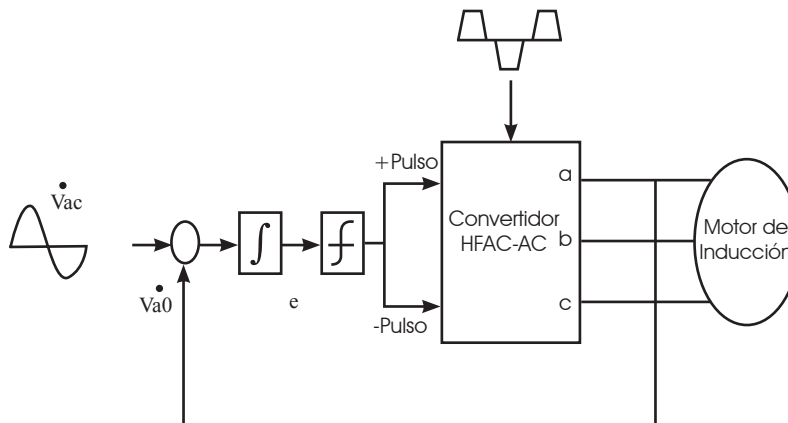


FIG. 1 Esquema básico de un control PWM con modulación Sigma Delta (SD)

Para ilustrar el principio de funcionamiento de un modulador SD se ha tomado la arquitectura básica de la figura 2. El modulador SD clásico de primer orden está compuesto por un integrador, un muestreador, un cuantificador uniforme de un bit y un convertidor D/A en el camino de realimentación.

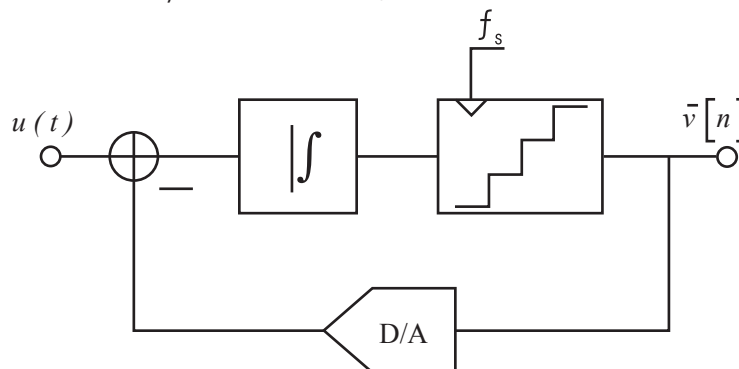


Fig. 2 esquema de un simulador sigma clásico.

El sistema así formado es fuertemente no lineal. Sin embargo, es posible establecer un modelo lineal suponiendo que el cuantificador es una fuente de ruido blanco, uniformemente distribuido, y no correlacionado con la señal de entrada. Esta aproximación, ampliamente utilizada en diversos sistemas que incluyen cuantificadores, es la empleada en el simulador de vuelo objeto de estudio. El ruido aportado por el cuantificador es considerado aditivo a la salida del integrador, tal como muestra la figura 3, donde además se ha considerado un modulador de tiempo discreto. Es decir, el proceso de muestreo de señal ocurre fuera del bucle de realimentación, esta función la ejecuta el software del simulador conforme el estudiante va realizando las maniobras de trabajo.

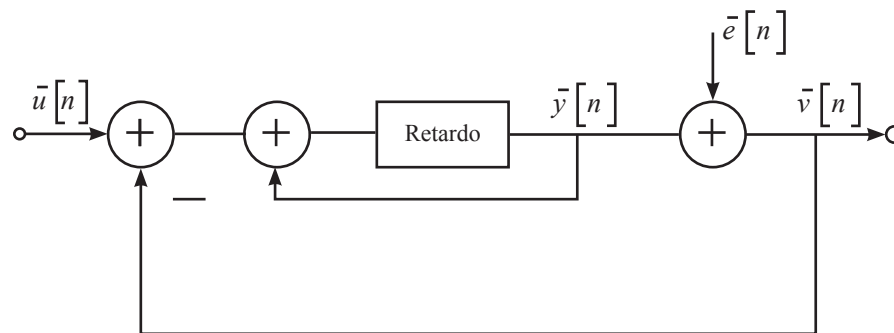


Fig. 3 modulador PWM Sigma Delta (SD) de tiempo discreto

De lo anterior se desprende la importancia de esta técnica de modulación en el simulador de vuelo del CIMA, donde, por la relación de trabajo del controlador del programa se tenían tres señales presentes en el control PWM, lo que no es posible tener en un puente H tradicional, ya que solo es permitido por regla y protección del mismo que estén activos 2 transistores y sobre todo de ramas opuestas para que se logre el efecto de inversión de giro, pero con esta técnica de modulación se logra hacer el movimiento en un sentido del motor y lograr el efecto de control deseado y al mismo tiempo poder dejar frenado el motor, de tal manera que hasta no tener respuesta del programa el efecto se mantiene en el actuador hidráulico del simulador, esto permite que el estudiante pueda apreciar lo que se siente en el aire cuando realiza maniobras inadecuadas, esto por consiguiente aumenta la sensación de realismo en el simulador de vuelo.

El caso en el CIMA, es que al no tener claro el tipo de control que se estaba ejerciendo sobre el puente y por consiguiente en el motor que activa la parte hidráulica, era difícil tener que idea de por qué se estaban quemando los transistores de poder y provocando fallas, una vez establecido el orden de trabajo de las señales de control del software se logró ordenar en todas las tarjetas las conexiones involucradas y por consiguiente restablecer el sistema.

Para llegar a este punto fue necesario llevar un osciloscopio y verificar las señales de control que el simulador enviaba y determinar las acciones de corrección del caso.

Ahora bien, una vez corregido esto, existía un problema adicional y que era que cuando entraba a funcionar la tarjeta se volvía a bloquear, lo que nos llevó a hacer análisis sobre la forma en que estaban los transistores instalados en la tarjeta y se determinó que el aislamiento eléctrico y térmico no eran compatibles, ya que al entrar a trabajar la tarjeta la protección térmica se volvía conductora eléctrica, lo que nos llevó a colocarle aislamientos del tipo MICA, que es un material de mejor calidad para conducir el calor y a la vez un aislante eléctrico muy bueno a voltajes altos.

Una vez resuelto esto, se volvió a tener problemas de calentamiento en el Motor (Fig. 4), producto de la potencia con que estaba operando, esto fue producto por que se le colocó un transformador que convierte 120 voltios a 240 voltios, lo que nos obligó a hacer cambios de configuración de voltaje en el sistema, con lo que se logró eliminar el calentamiento en el motor y mantener el efecto deseado en el simulador.

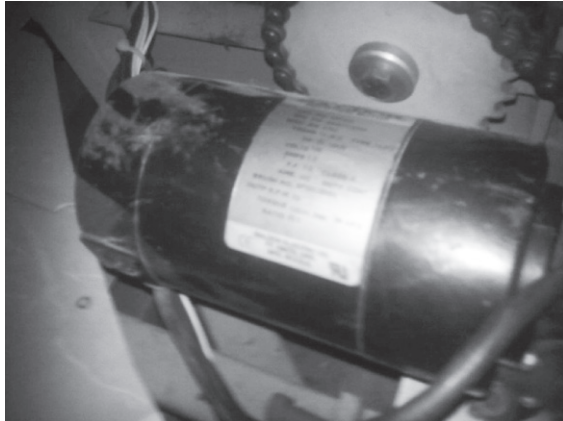


Fig. 4 motor DC del sistema Hidráulico

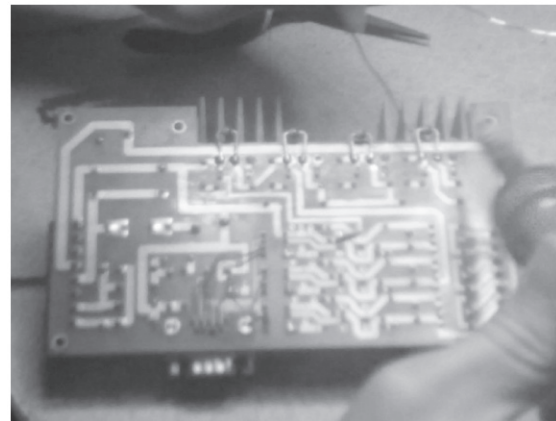


Fig. 5 Montaje de los diodos de protección.

Por último y como medida de protección adicional, se optó por colocar protecciones contra picos de voltaje por medio de diodos de ultrarrápida conmutación (Fig. 5), con ello se logra eliminar los armónicos hasta de 7° orden.

Finalmente los dos simuladores lograron funcionar apropiadamente y por último y como para garantizar el trabajo, se hicieron pruebas y con nuestras primeras horas de vuelo...



Fig. 6 prueba de vuelo