

Tarea 2

Control básico de un motor BLDC (BLAC PMSM)

Objetivo: simular el control básico de un motor BLDC (brushless dc) para distintos cambios en la velocidad deseada y torque de carga. La máquina BLDC será considerada como una máquina sincrónica de imanes permanentes.

Software necesario: PLECS o Simulink.

Fecha de entrega: por definir.

Forma de entrega: solo informe ejecutivo en extensión pdf. Formato libre. Máximo 5 páginas.

Descripción general

Esta tarea busca que el estudiantado simule el sistema de control de una máquina BLDC considerando control de corrientes (eje de cuadratura y directo) y velocidad, tal y como se vio en clase. Además, se busca que el estudiantado comprenda la importancia del adecuado diseño del sistema de control de las máquinas eléctricas con convertidores electrónicos. Los parámetros de la máquina BLDC y del convertidor trifásico se pueden encontrar en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros del sistema a controlar

Parámetros de la máquina	
Tensión nominal	240 Vrms
Velocidad máxima	2000 rpm
Corriente a rotor bloqueado ¹	15.7 Arms
Torque a rotor bloqueado	21.8 Nm
Inercia rotacional	0.02 Nms ²
Inductancia mutua	3.88 mH
Resistencia de estator	0.25 Ω
Parámetros del puente H	
Tensión de la batería	400 V
Corriente máxima	14 Arms
Tiempo de muestreo	0.1 ms

Procedimiento

Por comodidad, el sistema a simular puede ser dividido en 5 bloques. Estos bloques, así como sus características y requisitos se detallan a continuación:

Máquina de imanes permanentes

Se debe configurar los parámetros de una máquina de imanes permanentes (PMSM) (BLDC en PLECS). Los parámetros por utilizar son semejantes a la máquina modelo 190E2B200BACCAA215320 de Emerson (ver hoja de datos en el sitio del curso). Se debe tener especial cuidado en que el modelo de PLECS debe ser configurado para generar una fuerza contraelectromotriz sinusoidal. La salida de la máquina será su corriente de estator, la tensión contraelectromotriz, la posición del rotor y la velocidad. La entrada será una señal de torque cuya configuración se dará más adelante y la tensión trifásica proporcionada por el convertidor electrónico.

Convertidor electrónico

Debe ser construido utilizando MOSFETs en paralelo con diodos o interruptores ideales. La alimentación del convertidor será una batería ideal de 400 V, la cual será una de las entradas del puente. Las otras entradas serán las señales de disparo lógicas de los transistores. La salida del convertidor será la tensión de estator modulada, que será entregada a la máquina BLDC.

¹ Por lo general los parámetros a rotor bloqueado corresponden a los parámetros máximos en operación segura.

Estrategia de modulación del convertidor electrónico

Se debe utilizar modulación por vector espacial (tanto PLECS como Simulink poseen estos bloques ya implementados). La entrada del modulador será la tensión por modular en coordenadas alfa-beta y la tensión de la batería, y sus salidas serán las señales de conmutación de los transistores.

Controladores de corriente

Se deben implementar dos controladores PI o P para regular las corrientes en coordenadas dq. La corriente de eje directo será regulada a cero (explicar en el informe por qué se hace esto), mientras que la corriente de eje de cuadratura será utilizada para regular el torque aplicado a la máquina. Algunas características de estos controladores son:

1. Debe tener la compensación feedforward para el control de la máquina (ver notas de la clase).
2. Un ancho de banda entre 100 Hz y 200 Hz (se puede usar cancelación de polos y ceros, por ejemplo).
3. Modelar la saturación del actuador (convertidor electrónico) considerando la tensión de la batería.
4. Protección del desbordamiento del modo integral (“anti wind-up”).

Controlador de velocidad

La entrada de este bloque será la velocidad deseada y la velocidad real, ambas en rad/s. La salida será la corriente de eje de cuadratura deseada. Algunos requisitos de este controlador son:

1. El ancho de banda del controlador debe ser 10 veces menos que el del lazo interno de corriente.
2. Mantener la corriente de la máquina bien regulada, considerando los valores permisibles del sistema.
3. Protección del desbordamiento del modo integral (“anti wind-up”).

Detección del ángulo eléctrico para utilizar la transformada dq

El sistema mostrado en la Figura 1 se utilizará para detectar el ángulo eléctrico necesario en la transformada dq. Este se basa en el conocimiento de la fuerza contra electromotriz de la máquina, la cual se puede obtener con sensores especiales, que típicamente se pueden incorporar a la máquina. Nótese que se está generando un ángulo eléctrico a partir de los componentes alfa-beta de las tensiones, pero luego se le resta 90° a ese ángulo. El motivo de esto es que se desea utilizar el ángulo eléctrico del flujo magnético, que está desfasado -90° del ángulo eléctrico de la fuerza contraelectromotriz.

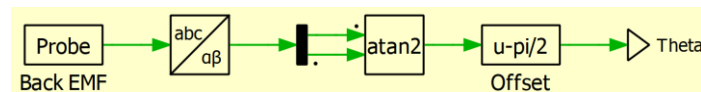


Figura 1: Detector del ángulo eléctrico del rotor

Validación

Antes de realizar pruebas finales, se recomienda validar poco a poco el sistema, para asegurarse que los bloques internos estén funcionando adecuadamente. Se debe realizar un informe ejecutivo donde se explique la configuración y creación de cada bloque (use imágenes). El informe debe contener, como mínimo, las siguientes pruebas usando gráficas representativas:

Sin aplicar torque mecánico a la máquina

1. Validación del conjunto modulador+inversor+motor. Sugerencia: conecte una tensión conocida en la entrada del modulador y verifique que se está aplicando una tensión equivalente por el algoritmo SVM.
2. Validación del control interno de corriente. Sugerencia: coloque valores deseados de corriente de cuadratura dentro de los límites permitidos y verifique que efectivamente se llega a los valores deseados. Recuerde que la corriente de eje directo debe mantenerse en torno a cero.
3. Validación del control externo de velocidad. Sugerencia: aplique varios cambios en el valor deseado, dentro del rango permitido, tanto positivos como negativos, y verifique un adecuado seguimiento de las variables.

Aplicando torque mecánico a la máquina

1. Sin torque aplicado al eje de la máquina, lleve la velocidad desde 0 hasta el 50% del valor nominal. Una vez que el sistema esté estable, aplique un 75% de la carga nominal. Comente y explique por qué cambian las variables de interés de la máquina (corriente y tensión), tanto en alfa-beta como en dq y coordenadas naturales.
2. Con un 5% del torque de la máquina, lleve la máquina desde 0 al 100% de la velocidad nominal. Una vez que el sistema esté estable, lleve la velocidad de la máquina hasta el -100% de la velocidad nominal. Comente y explique por qué cambian las variables de interés de la máquina (corriente y tensión, en varios ejes coordenados). Durante esta prueba, ¿La máquina se comporta siempre como motor? (sugerencia, mida la potencia de la batería y explique).
3. Usando fuentes generadoras de valores aleatorios con cambios cada 3 s, cambie tanto la velocidad como el torque aplicado durante 15 s dentro de sus valores nominales (si el generador le pide un valor "seed", utilice los últimos 2 dígitos de su carné para uno y los 2 primeros dígitos para el otro). Verifique que el sistema funcione adecuadamente.