

Conversores DC/DC para control de motores DC.

Cuando la velocidad de respuesta de la máquina DC es fundamental para cumplir los objetivos de diseño, como es el caso de la mayoría de las aplicaciones actuales de servomecanismos, o cuando es preciso que la fuente de alimentación del convertidor sea DC, es preciso alimentar a la máquina DC, usualmente de imán permanente para aplicaciones de potencias medias/bajas o de campo bobinado con alimentación independiente para potencias medias/altas, con convertidores DC/DC, en configuración sin transformador de salida.

Consideraciones generales.

Desde el punto de vista de la fuente de alimentación una máquina DC es una carga R-L en serie con una fuente de tensión DC de amplitud variable (la fuerza contraelectromotriz).

Dado que la potencia necesaria es elevada, la fuente de alimentación debe ser de alta eficiencia, por lo que se usan exclusivamente convertidores DC-DC por conmutación.

Dado que la carga es inductiva, en primera aproximación se diseña el circuito de potencia para que la inductancia de la máquina actúe al mismo tiempo como la inductancia del convertidor DC-DC.

Solo en el caso de que la inductancia propia de la máquina no sea suficiente se recurre a colocar una inductancia externa en serie para completar el valor de L necesario en el diseño.

En los convertidores DC-DC diseñados como actuadores para máquinas eléctricas no se incluye el condensador del filtro de salida, ya que la tensión que se desea regular debe ser ajustada en función de la tensión contraelectromotriz de la máquina, $E(\omega)$.

En general la tensión de entrada DC al convertidor DC/DC será mayor que la tensión requerida por la armadura cuando la máquina opera como motor y, durante la operación como generador (o freno activo), la tensión $E(\omega)$ será menor que la tensión del sistema sobre el cual se quiere recuperar la energía.

Por lo tanto, si solo se desea controlar la máquina como motor en un cuadrante y no se desea frenado regenerativo controlado, el motor puede ser controlado con un conversor DC/DC reductor (conversor "buck"); si solo se desea controlar la máquina como generador en un cuadrante, el generador puede ser controlado con un conversor elevador (boost).

Si se desea controlar la máquina como motor y lograr frenado regenerativo controlado, operando en una sola dirección, la máquina debe ser alimentada con un circuito conversor tipo "medio puente".

Si además se desea cambiar rápidamente la dirección de giro, será preciso operar la máquina con un sistema conversor tipo puente.

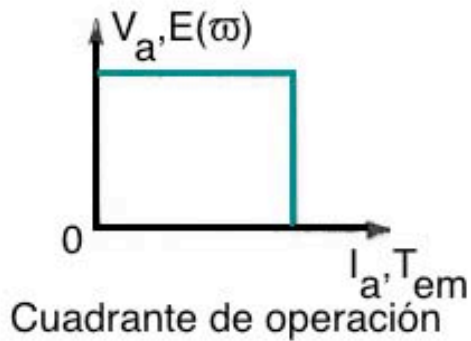
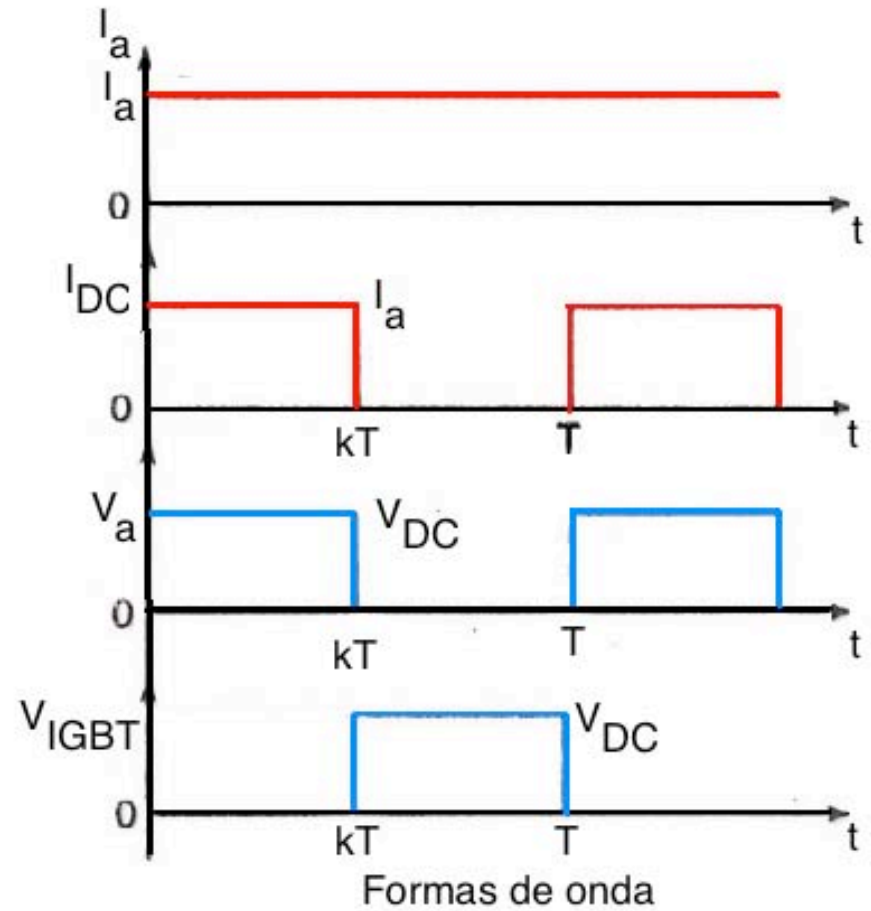
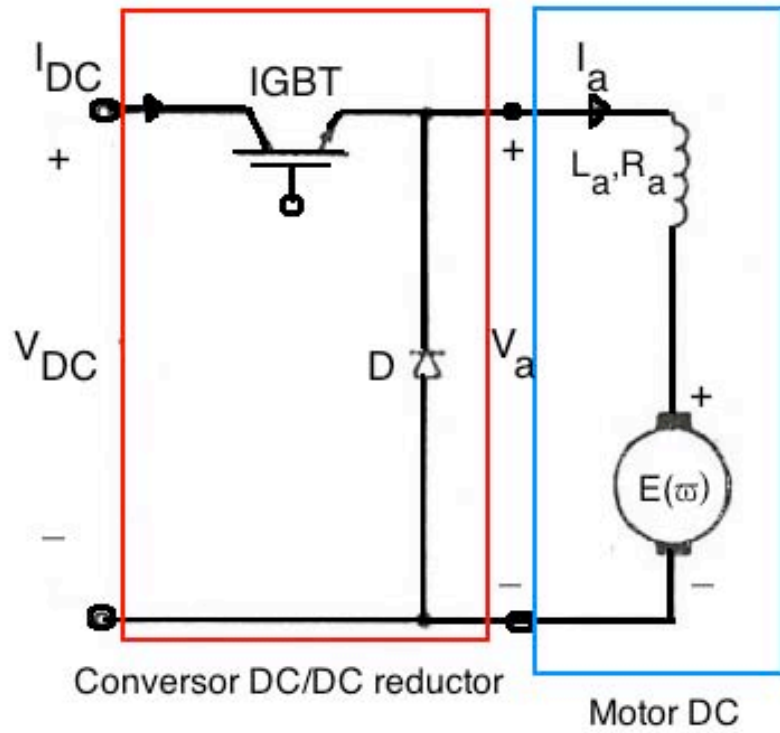
En la discusión que sigue se considera solo la alimentación del circuito de armadura.

Si el motor es de campo bobinado el circuito de campo debe tener una alimentación independiente, usualmente producida mediante un conversor no controlado si existe alimentación AC, salvo en los casos en donde se desee entrar en la zona de operación de sobrevelocidad con campo reducido, en cuyo caso la alimentación será proporcionada por un conversor DC/DC reductor con control independiente.

Controlador reductor de un cuadrante para motor DC.

Cuando se emplea como actuador para una máquina DC el regulador reductor de tensión se encarga de suministrar la tensión de trabajo de la máquina cuando esta opera como motor.

En esta configuración el regulador reductor toma energía eléctrica de la fuente externa y la entrega a la máquina para que esta la convierta en energía mecánica que mueve la carga conectada a su eje.



Análisis del actuador reductor de tensión para máquinas DC (regulador "buck").

Operado en estado estacionario, si $V_{DC} > E(\omega)$, la corriente I_a crece cuando el IGBT esta conduciendo.

Si t_1 es el tiempo de conducción, I_{a1} el valor inicial de la corriente en la armadura, e I_{a2} el valor final, se cumple:

$$V_{DC} - E(\omega) = L_a \frac{I_{a2} - I_{a1}}{t_1} = L_a \frac{\Delta I_a}{t_1}$$

$$t_1 = \frac{\Delta I_a L_a}{V_{DC} - E(\omega)}$$

Siendo ΔI_{La} el rizado de corriente de armadura, se cumple que el rizado del par generado en el motor, ΔT_{em} , será:

$$\Delta T_{em} = k_{\phi} \Delta I_a$$

Dependiendo de la aplicación el valor del rizado de par puede tener que estar limitado por debajo de un valor crítico; si esto es así por supuesto el actuador debe ser diseñado para asegurar que esta limitación se cumpla.

En esas condiciones, cuando el IGBT esta apagado conduce el diodo auxiliar D, y la corriente I_a se reduce. Si el intervalo de apagado es t_2 , y el circuito opera en estado estacionario, la corriente final en este intervalo será igual a la inicial en el intervalo anterior, luego:

$$-E(\omega) = -L_a \frac{\Delta I_a}{t_2}$$

$$t_2 = \frac{\Delta I_a L_a}{E(\omega)}$$

de donde, para que la operación sea cíclica:

$$\Delta I_a = \frac{[V_{DC} - E(\omega)]t_1}{L_a} = \frac{E(\omega)t_2}{L_a}$$

Si t_1 y t_2 se definen en función del período de repetición T , asumido constante en la aplicación, y del ciclo de trabajo k del IGBT como:

$$t_1 = kT$$

$$t_2 = (1 - k)T$$

la tensión de armadura, $E(\omega)$ resulta:

$$E(\omega) = V_{DC} \frac{t_1}{T} = kV_{DC}$$

En primera aproximación, si se considera que los dos elementos conmutadores son ideales y por lo tanto sin pérdidas, las potencias son iguales en la entrada y la salida del conversor, luego:

$$P_{DC} = V_{DC}I_{DC} = E(\omega)I_a = kV_{DC}I_a$$

y la corriente promedio de entrada entregada por la fuente DC es:

$$I_{DC} = kI_a$$

El período de operación, T , puede ser expresado en función de las variables de conmutación como:

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I_a L_a}{V_{DC} - E(\omega)} + \frac{\Delta I_a L_a}{E(\omega)} = \frac{\Delta I_a L_a V_{DC}}{E(\omega)[V_{DC} - E(\omega)]}$$

donde f es la frecuencia de conmutación constante deseada.

El rizado de corriente, ΔI_a , puede expresarse como:

$$\Delta I_a = \frac{[V_{DC} - E(\omega)]E(\omega)}{fL_a}$$

$$\Delta I_a = \frac{[1 - k]kV_{DC}}{fL_a}$$

El rizado de corriente, ΔI_a , y, por lo tanto el rizado de par electromotriz generado, ΔT_{em} , es inversamente proporcional al valor de la inductancia de armadura y al de la frecuencia de conmutación.

Adicionalmente se observa que:

$$\Delta I_a|_{k=0} = \Delta I_a|_{k=1} = 0$$

Para determinar el valor de k para el cual el rizado de corriente se hace máximo se debe calcular el punto de inflexión de la función ΔI_a .

$$\frac{d[\Delta I_a(k)]}{dk} = 0 = \frac{d\left[\frac{(1-k)kV_{DC}}{fL_a}\right]}{dk}$$

Lo que se cumple para $k=0,5$. Para este valor de k se tiene que:

$$\Delta I_a(0,5) = \Delta I_{aM} = \frac{(1-0,5)0,5V_{DC}}{fL_a} = 0,25 \frac{V_{DC}}{fL_a} = \frac{V_{DC}}{4fL_a}$$

Este es un valor evidentemente mayor que 0, luego el punto de inflexión efectivamente corresponde a un máximo del rizado de corriente (y por lo tanto del rizado de par).

Sobre el valor máximo del rizado de corriente, ΔI_{aM} , en esta aplicación se deben considerar dos aspectos.

1.- La corriente pico que circula por los dos elementos conmutadores será:

$$I_{IGBTM} = I_{DM} = I_{aM} + \frac{\Delta I_{aM}}{2}$$

2.- El valor máximo del rizado del par electromagnético generado, ΔT_{emM} , será:

$$\Delta T_{emM} = k_{\phi} \Delta I_{aM} \Rightarrow \Delta I_{aM} = \frac{\Delta T_{emM}}{k_{\phi}}$$

Por lo tanto, si en el diseño del sistema mecánico se ha especificado un valor máximo para ΔT_{emM} , el rizado de la corriente de armadura deberá ser igual o, preferiblemente, menor que $\frac{\Delta T_{emM}}{k_{\phi}}$.

Definido un valor máximo de rizado de corriente permisible en el diseño, ΔI_{aM} , la inductancia mínima necesaria para asegurar que el rizado sea siempre menor o igual a ese valor, L_m , resulta:

$$L_m = \frac{V_{DC}}{4f\Delta I_{aM}}$$

Si se cumple $L_m \leq L_a$, el rizado de corriente será menor que el máximo especificado, lo que es perfectamente aceptable.

Si $L_a < L_m$, entonces será necesario incluir una inductancia externa para completar el valor de inductancia requerido para asegurar que el rizado de corriente (y por lo tanto el rizado del par electromotriz generado) no supere el valor considerado en el diseño.

Consideraciones de dimensionamiento de los componentes.

1.- El conmutador controlado (usualmente un IGBT en equipos industriales) debe ser capaz de soportar una tensión de bloqueo por lo menos igual a la máxima tensión de entrada que sea posible, considerando los efectos de regulación de la fuente.

Esta tensión es también la que debe soportar el diodo como tensión inversa.

En la práctica es conveniente incluir un factor de sobre dimensionamiento en la capacidad de bloqueo como factor de seguridad del diseño.

2.- La corriente pico que deben soportar tanto el diodo como el conmutador controlado, I_{pM} , viene dada por:

$$I_{pM} = I_{aM} + \frac{\Delta I_{aM}}{2}$$

donde I_{aM} es la máxima corriente de armadura considerada en el peor caso de operación del sistema con sobrecarga y ΔI_{aM} es la máxima corriente de rizado de diseño.

Como en el caso de las tensiones, es conveniente incluir adicionalmente un factor de sobre dimensionamiento en la capacidad de manejo de corriente de los dispositivos como factor de seguridad.