

## LECCION 11. ACCIONADORES

- 11.1 Introducción.
- 11.2. Accionadores neumáticos.
- 11.3. Accionadores hidráulicos.
- 11.4. Accionadores eléctricos. Motores de corriente continua.

### 11.1. INTRODUCCIÓN.

En un robot, los dispositivos que producen el movimiento, ya sea directamente o a través de otros medios de transmisión, son los accionadores, actuadores, ó elementos motrices.

Puesto que los requerimientos en cuanto a capacidades de carga (fuerzas y momentos requeridos) y velocidades son muy variados, se utilizan distintos tipos de accionadores:

- \* Accionadores neumáticos.
- \* Accionadores hidráulicos.
- \* Accionadores eléctricos.

### 11.2. ACCIONADORES NEUMÁTICOS.

Son los movidos por aire comprimido. El aire se comprime en un compresor, y se envía a pistones ó cilindros de distintos tipos: simple y doble efecto, lineales, circulares...

Como ventajas más importantes de estos accionadores se pueden citar:

- El aire es abundante y barato.
  - Son limpios, no contaminan (salvo acústicamente), y son incombustibles.
- Permiten altas velocidades de trabajo.
- Permiten altos esfuerzos, aunque menores que los hidráulicos.

Como mayores inconvenientes se pueden citar:

- El aire no es incompresible, por lo que su regulación no es lineal.
  - El compresor es caro, y exige su presencia cerca del robot, lo que puede provocar vibraciones en él.
- Es ruidoso (contaminación acústica).
  - Es necesario conducir el aire comprimido a través del robot hasta los pistones, lo que complica y encarece el sistema.

### 11.3. ACCIONADORES HIDRÁULICOS.

En ellos, el aire a presión de los sistemas neumáticos es sustituido por un fluido incompresible, que permite una mayor capacidad de esfuerzos y una más fácil regulación. A cambio, las velocidades de trabajo son menores que en los sistemas neumáticos, y el fluido utilizado, que suele ser un aceite, es contaminante, manteniéndose los problemas económicos derivados de la necesidad del compresor.

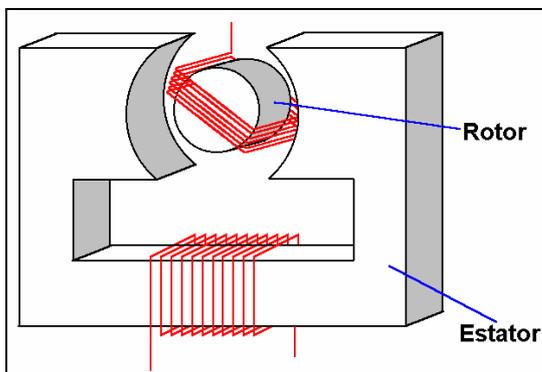
### 11.4. ACCIONADORES ELÉCTRICOS. MOTORES DE C.C.

Debido a los problemas apuntados en los sistemas de accionamiento anteriores, los motores eléctricos son, actualmente, los más utilizados; y ello porque la energía que consumen se puede obtener de forma sencilla (en un enchufe) y barata, presentan unas buenas prestaciones de par y velocidad, son pequeños, su regulación es fácil, y además son baratos.

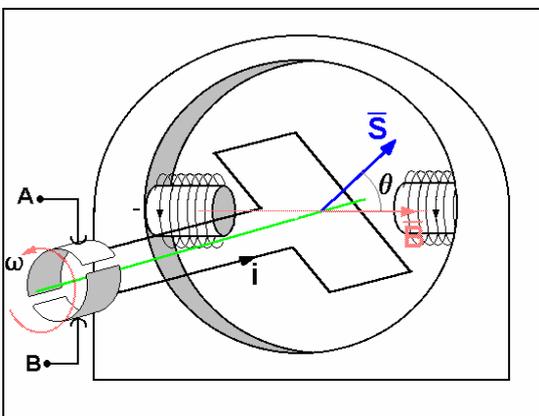
Existen tres grandes grupos de motores eléctricos:

- \* Motores de corriente continua (c.c.).
- \* Motores de corriente alterna (c.a.).
- \* Motores paso a paso (p.a.p.).

Los motores de c.c. son fácilmente regulables, y por ello, y por su sencillez, son, con diferencia, los más utilizados en aplicaciones de Robótica.



En esencia, un motor de c.c. está formado por varias espiras, recorridas por una intensidad de corriente, dentro de un campo magnético. El conjunto de las espiras que tienen capacidad de giro se conoce como rotor ó armadura del motor, en tanto que el elemento inmóvil que produce el campo magnético se denomina estator.



Para que el par producido en el rotor dé origen a un movimiento continuado, es necesario invertir el sentido de la corriente en el rotor cada media vuelta del mismo, con el fin de que el motor no se detenga y alcance una situación de equilibrio estable. Ello se consigue mediante un anillo partido en dos mitades que, rozando cada una de sus mitades en las escobillas, conecta el rotor con una f.e.m. exterior, tal y como se puede ver en la figura.

En estas condiciones, el par

mecánico que aparece sobre el rotor, y que lo hace girar es  $\vec{M} = \vec{m} \wedge \vec{B}$ , donde  $\vec{m} = Ni\vec{S}$  es el momento magnético del conjunto de las N espiras del rotor. Desarrollando esta expresión y calculando su módulo para una posición cualquiera dada por el ángulo  $\theta$  sería:

$$|\vec{M}| = |\vec{m} \wedge \vec{B}| = mB \sin \theta = NISB \sin \theta$$

el momento medio en el rotor a lo largo de media vuelta:

$$M_m = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi NISB \sin \theta d\theta = \frac{NISB}{\pi} (-\cos \theta)_0^\pi = \frac{2NISB}{\pi}$$

Y la potencia media producida por el motor:  $P = M_m \omega = \frac{2NISB}{\pi} \omega$

La fuerza contraelectromotriz del motor es el trabajo convertido en energía mecánica por unidad de carga, es decir:

$$\varepsilon' = \frac{dW}{dq} = \frac{dW}{dt} \frac{dt}{dq} = \frac{P}{I} = \frac{2NS}{\pi} B\omega$$

Como el número de espiras, N, y la superficie de las espiras, S, son constantes para un motor dado, llamando  $k = \frac{2NS}{\pi}$  (K constante), resulta que la f.c.e.m. es proporcional a B y a  $\omega$ :

$$\boxed{\varepsilon' = kB\omega}$$

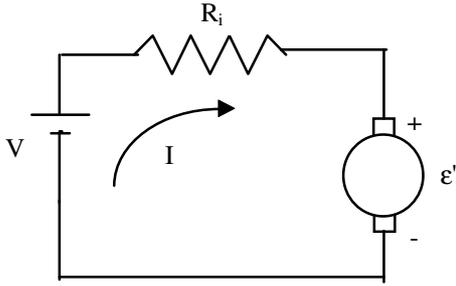
Si despreciamos las posibles pérdidas que pueda tener el motor (suponemos rendimiento unidad), la potencia mecánica suministrada en el eje debe ser igual a la potencia eléctrica consumida:

$$P = M_m \omega = \varepsilon' I = kB\omega I \Rightarrow \boxed{M_m = kBI}$$

El campo magnético del estator puede ser creado bien mediante un simple imán, ó bien mediante un solenoide alimentado con una corriente eléctrica. Esta distinción da lugar a distintos tipos de motores de c.c.:

#### 4.1.a) Motores de c.c. de imán permanente.

En estos motores, el estator que produce el campo magnético está formado por un imán permanente, el cual crea un campo magnético aproximadamente uniforme en las espiras del rotor. En estas condiciones, sólo hace falta crear una corriente en el rotor para que el motor comience a funcionar. Dicha corriente se consigue aplicando una tensión V con un generador de c.c. Si tenemos en cuenta la resistencia óhmica que pueda presentar el circuito,  $R_i$ , aplicando la 2ª ley de Kirchoff:



$$V = IR_i + \varepsilon'$$

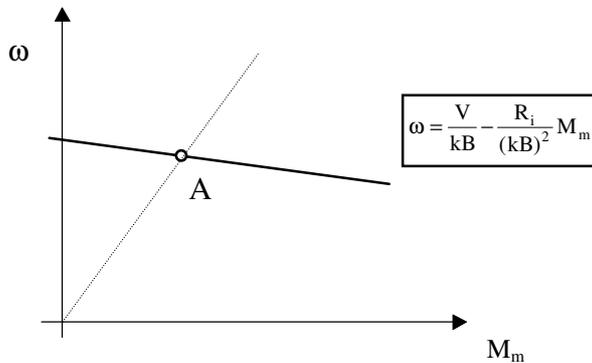
Como  $\varepsilon' = kB\omega$ , queda que:

$$V = IR_i + kB\omega \Rightarrow \omega = \frac{V}{kB} - \frac{R_i}{kB} I$$

Es decir, que si  $V$  y  $B$  son constantes ( $R_i$  también lo es),  $\omega$  varía linealmente con  $I$ .

$$\text{Como } I = \frac{M_m}{kB} \Rightarrow \omega = \frac{V}{kB} - \frac{R_i}{(kB)^2} M_m$$

es decir, que  $\omega$  varía linealmente con el par  $M_m$ . Esta última ecuación se conoce como característica de funcionamiento de un motor, y su representación es:



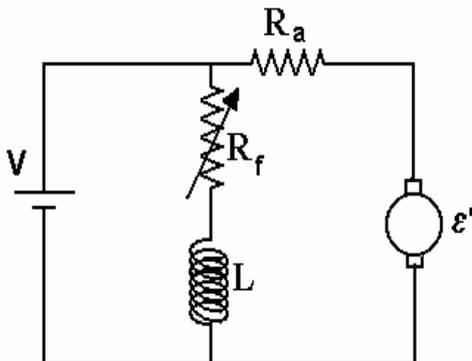
Si la resistencia del circuito es pequeña ( $R_i=0$ ) resulta que la velocidad angular del motor sólo depende de la tensión aplicada,  $V$ , y es independiente del par. Si aumentamos la tensión  $V$ , la línea se desplaza hacia arriba, de forma que para un par dado,  $\omega$  aumenta.

Si conociéramos la característica de la carga a mover por el motor, que en la figura está

representada por una línea a trazos correspondiente a una carga de rozamiento seco (velocidad proporcional al par), en la intersección de ambas líneas se encontraría el punto de funcionamiento del motor.

En estos motores, al invertir la polaridad del generador aplicado, cambia el sentido de giro del motor.

#### 4.1.b) Motores de c.c. con conexión en paralelo ó shunt.



En estos motores, el campo magnético aplicado se consigue mediante un solenoide colocado en paralelo con el devanado del rotor. En serie con este solenoide se coloca un reostato (resistencia variable) que permite variar la intensidad que circula por el solenoide, y por tanto variar el campo magnético  $B$  del motor, según se ve en la figura.

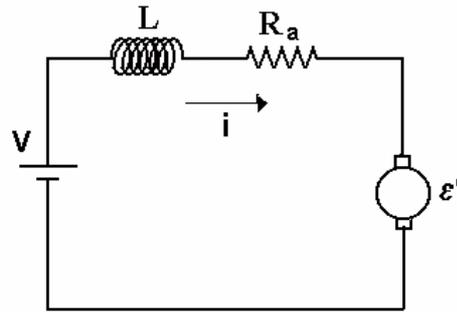
Salvo este detalle, como el rotor está conectado a la batería igual que en el caso de los motores de imán permanente, su comportamiento es igual que aquellos, presentando análoga

característica de funcionamiento. En el caso en que sea necesario tener grandes corrientes en el rotor, ó crear campos grandes, el núcleo magnético puede llegar a saturarse, con lo que la característica de funcionamiento deja de ser lineal, y la regulación difícil.

Cuando se invierte la polaridad de la tensión aplicada, el sentido de giro del motor no cambia, contrariamente a lo que ocurre en los motores de imán permanente.

#### 4.1.c) Motores de c.c. con conexión en serie.

En este tipo de motores, la bobina productora del campo magnético se conecta en serie con el devanado del rotor, de forma que la corriente en ambos es la misma. Mientras la corriente no sea grande y el núcleo de la bobina no se sature, el campo magnético creado es proporcional a la intensidad,  $B=Ci$ , siendo  $C$  una constante. Así pues, teniendo en cuenta las ecuaciones que ya conocemos:

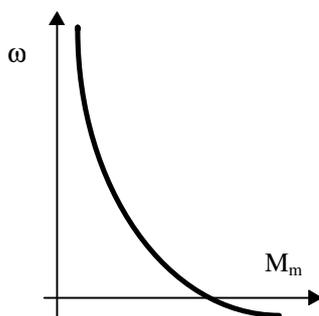


$$B = Ci \quad \varepsilon' = kB\omega = kCi\omega = k'i\omega \quad M_m = kBi = kCi^2 = k'i^2$$

$$P = M_m \omega = k'i^2 \omega \Rightarrow i = \sqrt{\frac{M_m}{k'}}$$

habiendo llamado  $k'=Ck$ . Aplicando la 2ª ley de Kirchoff al circuito queda:

$$V = iR + \varepsilon' = iR + k'i\omega \Rightarrow \omega = \frac{V}{k'i} - \frac{iR}{k'i} = \frac{V}{k' \sqrt{\frac{M_m}{k'}}} - \frac{R}{k'} \Rightarrow \omega = \frac{V}{\sqrt{k' M_m}} - \frac{R}{k'}$$



Esta última ecuación es la característica de funcionamiento del motor de c.c. serie, que representada gráficamente sería la que se ve en la figura. Si  $R$  es pequeña,  $\omega$  aumenta con  $V$ , y varía inversamente con la raíz cuadrada del par.

#### 11.4.1. Motor de c.c. shunt frente a motor de c.c. serie.

Los diferentes comportamientos de los motores shunt y serie se pueden estudiar analizando las respectivas características de funcionamiento. En el motor serie,  $\omega$  varía mucho con el par, girando muy deprisa con pares

pequeños. En cambio, el motor shunt gira a una velocidad próxima a  $V/kB$  para pares pequeños, disminuyendo al aumentar el par. Si la resistencia del rotor es pequeña,  $\omega$  varía muy poco. Por esto, los motores shunt se utilizan en dispositivos donde se precisan velocidades fijas, por ejemplo motores de cassette. Cuando se necesita una velocidad más variada se deben utilizar motores serie.

Por otra parte, cuando el par resistente crece, la velocidad del motor shunt disminuye, hasta que llega a detenerse. En cambio, el motor serie presenta el máximo par cuando  $\omega=0$ , por lo que es apropiado cuando se necesita mucho par a baja velocidad (por ejemplo el motor de arranque de un automóvil).