



Proyecto:
Regulador de velocidad
Motor DC



Regulador de velocidad de Motor DC

Construir un regulador de velocidad $-\omega_N < \omega < \omega_N$ con un sistema de control de modo tal que la tensión y corriente de armadura en régimen permanente, sean las nominales.

El error de velocidad en régimen permanente debe tender a cero.

La excitación del motor es en derivación.

Si al sistema en lazo cerrado se le aplica una referencia en escalón que asegure la velocidad nominal, el transitorio de corriente de armadura deberá ser igual al obtenido al aplicar al motor con carga nominal, un escalón de tensión de armadura igual al nominal.

Variación en tensión de excitación $\Delta V_S / V_S \leq 5\%$

Datos de chapa

$$V_A = 48V$$

$$\omega_N = 2050 \text{ RPM}$$

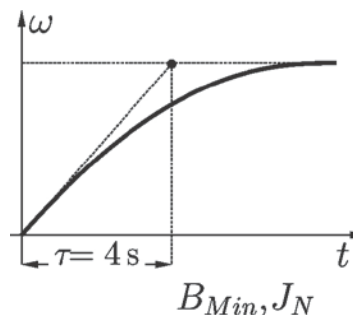
$$P_N = 1/20 \text{ HP}$$

Datos medidos

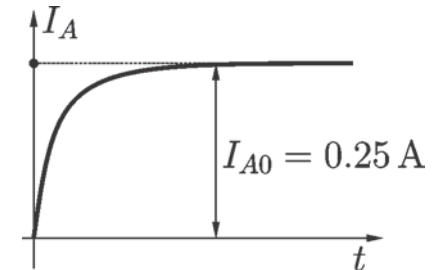
$$R_A = 7\Omega @ 20^\circ \text{C}$$

$$L_A = 44 \text{ mH}$$

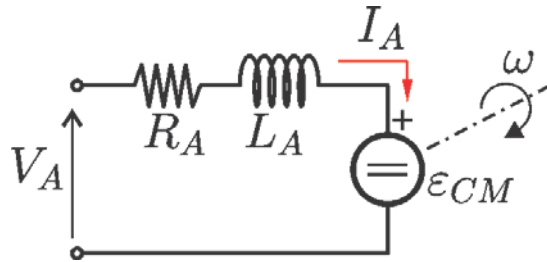
Bump Test



Ensayo en Vacío



Modelo motor DC excitado en derivación



Esquema mecánico-eléctrico

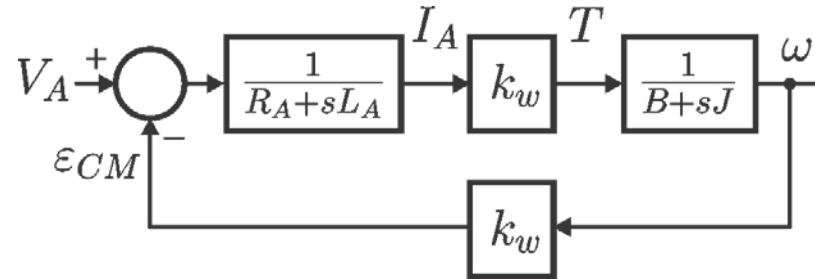


Diagrama en bloques

1) Cálculo de la corriente nominal de armadura

$$P_N = I_{AN} \varepsilon_{CM_N} = I_{AN} V_{AN} - I_{AN}^2 R_A \Rightarrow I_{AN}^2 R_A - I_{AN} V_{AN} + P_N = 0$$

$$I_{AN} = \frac{V_{AN} \pm \sqrt{V_{AN}^2 - 4R_A P_N}}{2R_A} = \begin{cases} 5.9A \\ 0.91A \end{cases}$$

¿Que valor considero?



$$I_{AN} = 0.91A$$

2) Cálculo de la constante del motor kw

$$P_N = \omega_N T_{M_N} = \omega_N I_{AN} k_w \Rightarrow k_w = \frac{P_N}{\omega_N I_{AN}} = \frac{1/20 \text{ HP (746w/HP)}}{0.91A \frac{2050}{60} \times 2\pi \text{ [r/s]}} = 0.191 \left[\frac{\text{Vs}}{\text{r}} \right]$$

donde T_M es la cupla motora

$$k_w = 0.191 \left[\frac{\text{Vs}}{\text{r}} \right]$$

¿Que pasó con k_T y k_w ?
¿Son cosas distintas?



Modelo motor DC excitado en derivación

3) Cálculo del rozamiento

Aquí se va a considerar que la carga del motor, es una cupla proporcional a la velocidad angular del eje, por lo tanto modifica la componente de rozamiento, B.

Luego, va a existir un B para la condición de rotor libre y otro para carga nominal. La inercia del motor se considera constante e invariante.

$$T_{M_{ss}} = \frac{P_N}{\omega_N} = B\omega_N \Rightarrow B_N = \frac{P_N}{\omega_N^2} = \frac{1/20 \text{ HP (746W/HP)}}{\left(\frac{2050}{60} \times 2\pi \text{ [r/s]}\right)^2} = \frac{8.09}{10^4} \left[\frac{\text{Js}}{\text{r}} \right] \Rightarrow B_{MX} = 8.1 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{Js}}{\text{r}} \right]$$

Rozamiento nominal
(máximo)

El rozamiento mínimo se obtiene del test de rotor libre

$$B_{Min}\omega_T = I_{A_T}k_w \Rightarrow B_{Min} = \frac{I_{A_T}k_w}{\omega_T} = \frac{I_{A_T}k_w}{(V_{AN} - I_{A_T}R_A)/k_w} = \frac{I_{A_T}k_w^2}{(V_{AN} - I_{A_T}R_A)} \Rightarrow B_{Min} = 2 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{Js}}{\text{r}} \right]$$

Rozamiento a rotor libre
(mínimo)



Modelo motor DC excitado en derivación

4) Cálculo del momento de inercia

Se supone constante e igual al obtenido en el test a rotor libre.

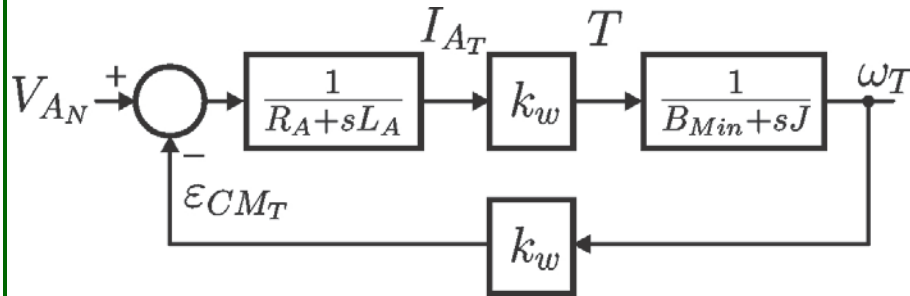


Diagrama en bloques del motor

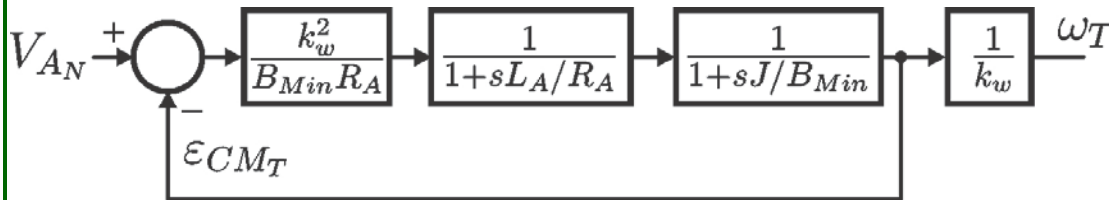


Diagrama en bloques equivalente

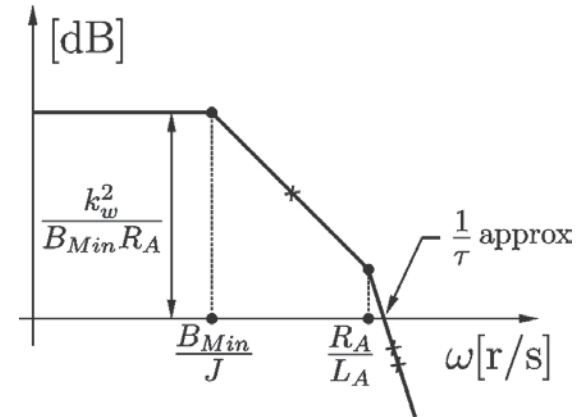


Diagrama de Bode GH

$$\frac{k_w^2}{B_{Min} R_A} = 25.8$$

$$\frac{R_A}{L_A} = 159 \text{ r/s}$$

dato que $\frac{1}{\tau} = \frac{1}{4s} = 0.25 \text{ r/s} \ll \frac{R_A}{L_A}$

Se puede inferir que :

$$\left(\frac{B_{Min}}{J} \right)^{-1} \left(\frac{1}{\tau} \right) \cong \frac{k_w^2}{B_{Min} R_A}$$

Luego :

$$J \approx \frac{k_w^2}{R_A} \tau = 2 \times 10^{-2} \left[\frac{\text{Js}^2}{\text{r}^2} \right]$$



Modelo motor DC excitado en derivación

5) Transferencia del motor

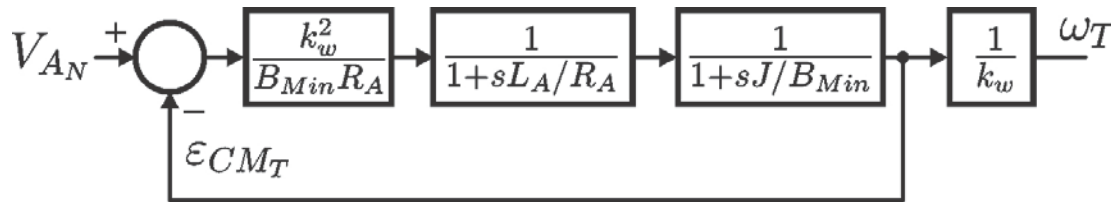


Diagrama en bloques del motor

$$\frac{\omega}{V_A}(s) = \frac{1}{k_w \left(1 + \frac{R_A B}{k_w^2} \right)} \cdot \frac{1}{\left[1 + s \left(\frac{L_A B + J R_A}{k_w^2 + R_A B} \right) + s^2 \left(\frac{L_A J}{k_w^2 + R_A B} \right) \right]}$$

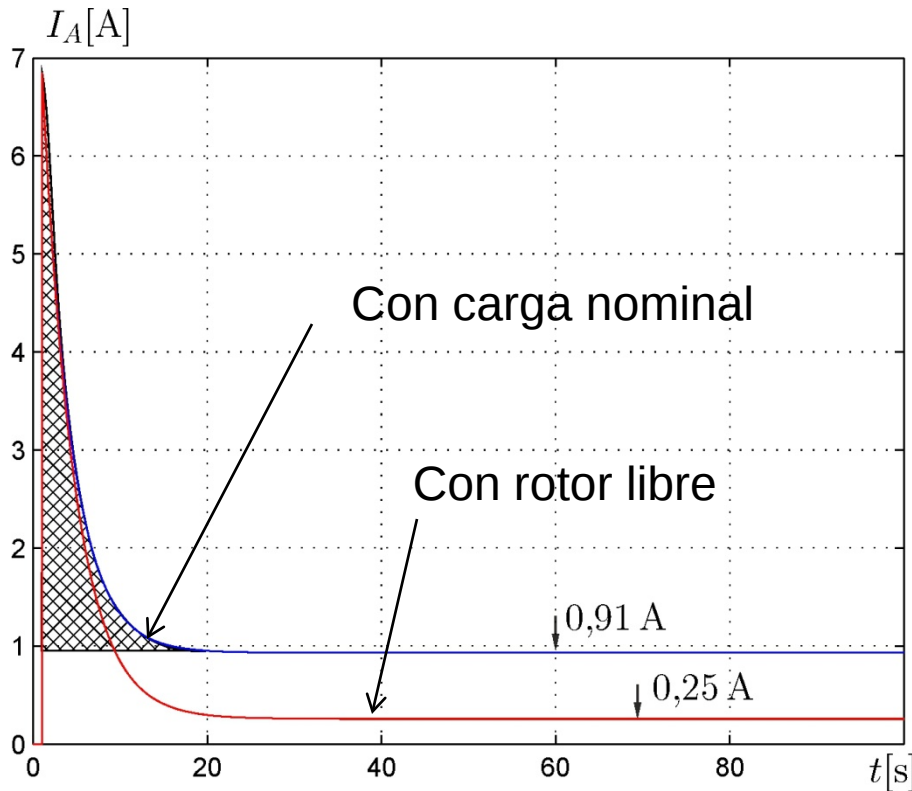
$$\frac{\omega}{V_A}(s) = \frac{1}{k_w \left(1 + \frac{R_A B}{k_w^2} \right)} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{s}{p_1} \right) \left(1 + \frac{s}{p_2} \right)}$$

Rotor Libre	Plena Carga
$P_1 = -0.269 \text{ r/s}$	$P_1 = -0.299 \text{ r/s}$
$P_2 = -158 \text{ r/s}$	$P_2 = -158 \text{ r/s}$

Luego el sistema presenta un polo en baja frecuencia entre -0.27...-0.3 r/s y un polo en alta frecuencia en -158 r/s



Corriente de armadura



El fabricante asegura que con carga nominal, aplicando una tensión nominal, el motor es capaz de soportar el pico de corriente de arranque sin riesgo térmico.



Posible estrategia de Control

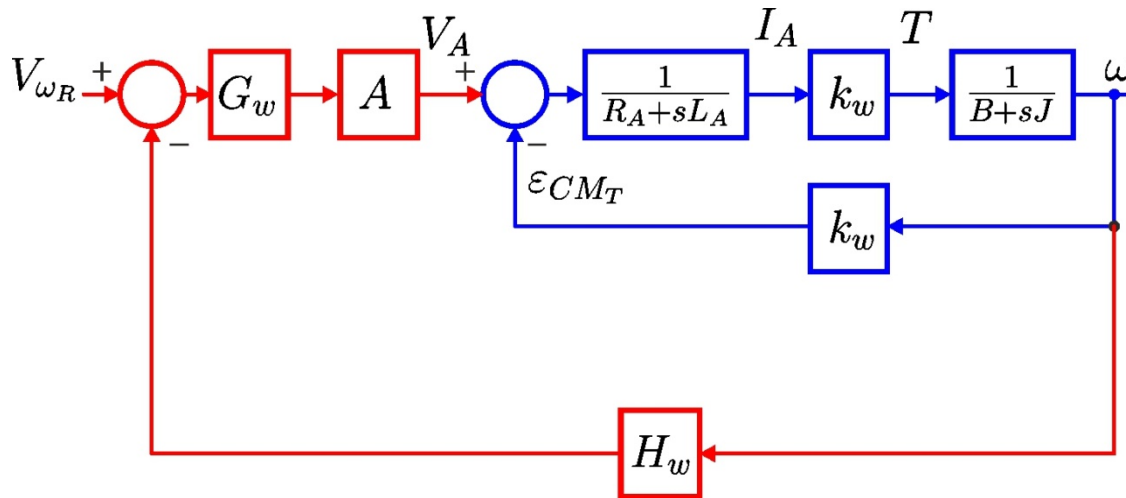


Diagrama en bloques

¿Qué función cumple el amplificador A?

¿Esta estrategia presenta algún problema?

¿Que pasa con el sistema de control cuando se bloquea el rotor?

Si existe un problema. ¿Cómo se puede solucionar con este esquema? ¿Es una solución óptima?

Discutir que pasa con la admitancia del motor bajo distintas condiciones de carga

Análisis de admitancia del motor

Admitancia del motor

$$Y_M(s) = \frac{I_A}{V_A}(s) = \left[\frac{B}{k_w^2 + R_A B} \right] \frac{(1 + sJ/B)}{\left[1 + s \left(\frac{L_A B + J R_A}{k_w^2 + R_A B} \right) + s^2 \left(\frac{L_A J}{k_w^2 + R_A B} \right) \right]}$$

$$Y_M(s) = \left[\frac{B}{k_w^2 + R_A B} \right] \frac{(1 + s/Z)}{[(1 + s/p_1)(1 + s/p_2)]}$$

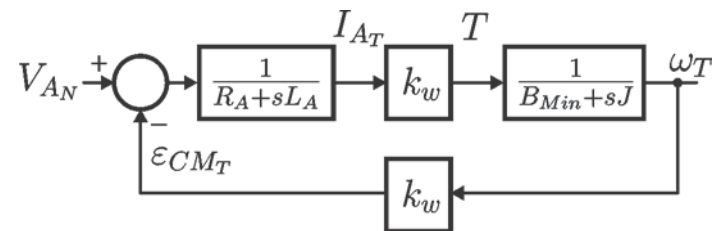


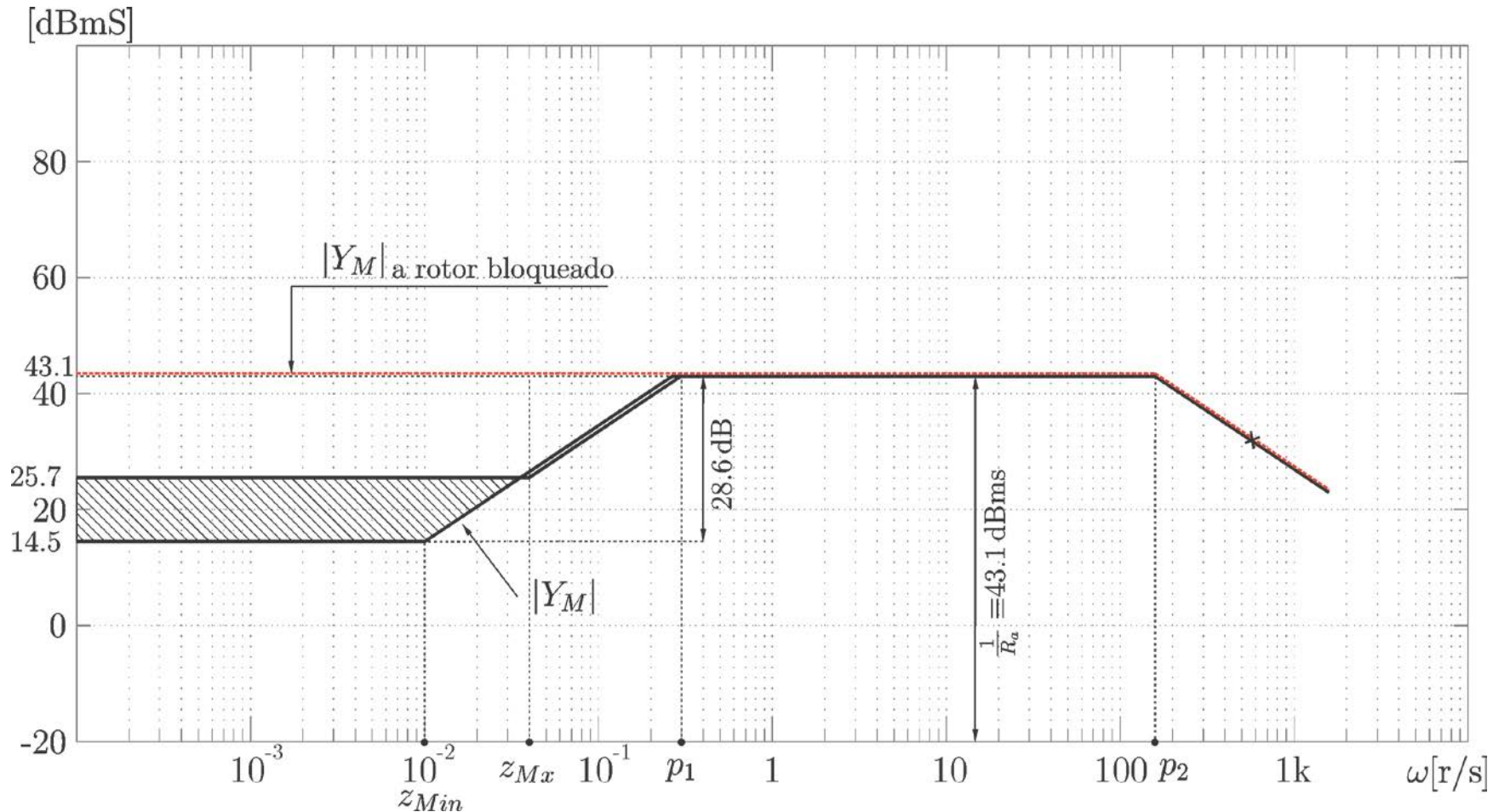
Diagrama en bloques del motor

Parámetros de la admitancia bajo distintas condiciones de carga

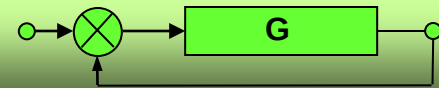
	$\frac{B}{(k_w^2 + R_A B)}$	Z [r/s]	p_1 [r/s]	p_2 [r/s]
B_{Min} Rotor libre	5.3 mS (14.5 dBmS)	$\sim 10^{-2}$	-0.27	-158
B_{Mx} Plena carga	19.2 mS (25.7 dBmS)	$\sim 4.05 \times 10^{-2}$	-0.30	-158



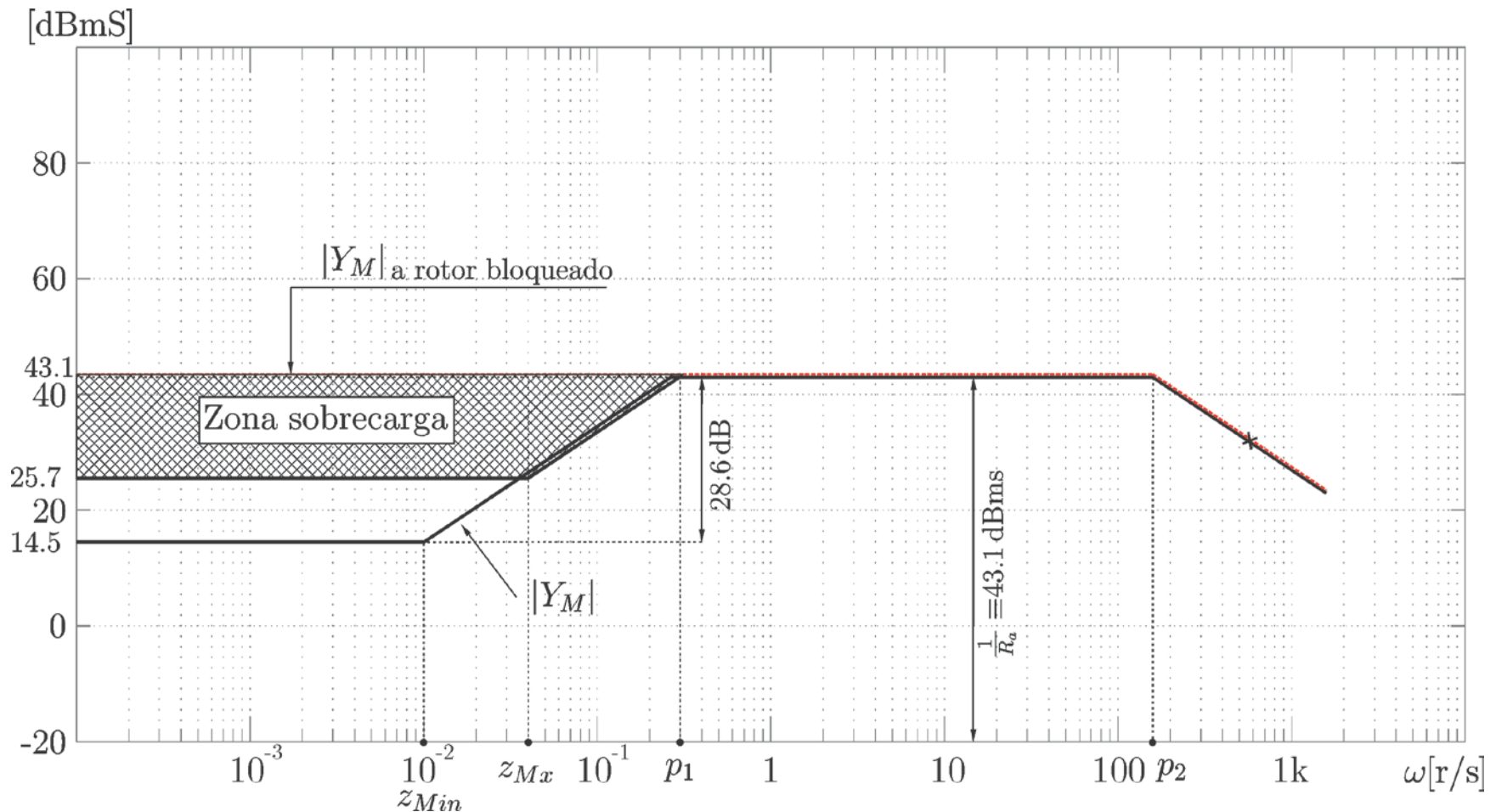
Análisis de admitancia del motor



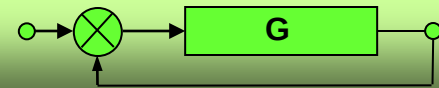
¿Qué pasa en condición de rotor bloqueado?



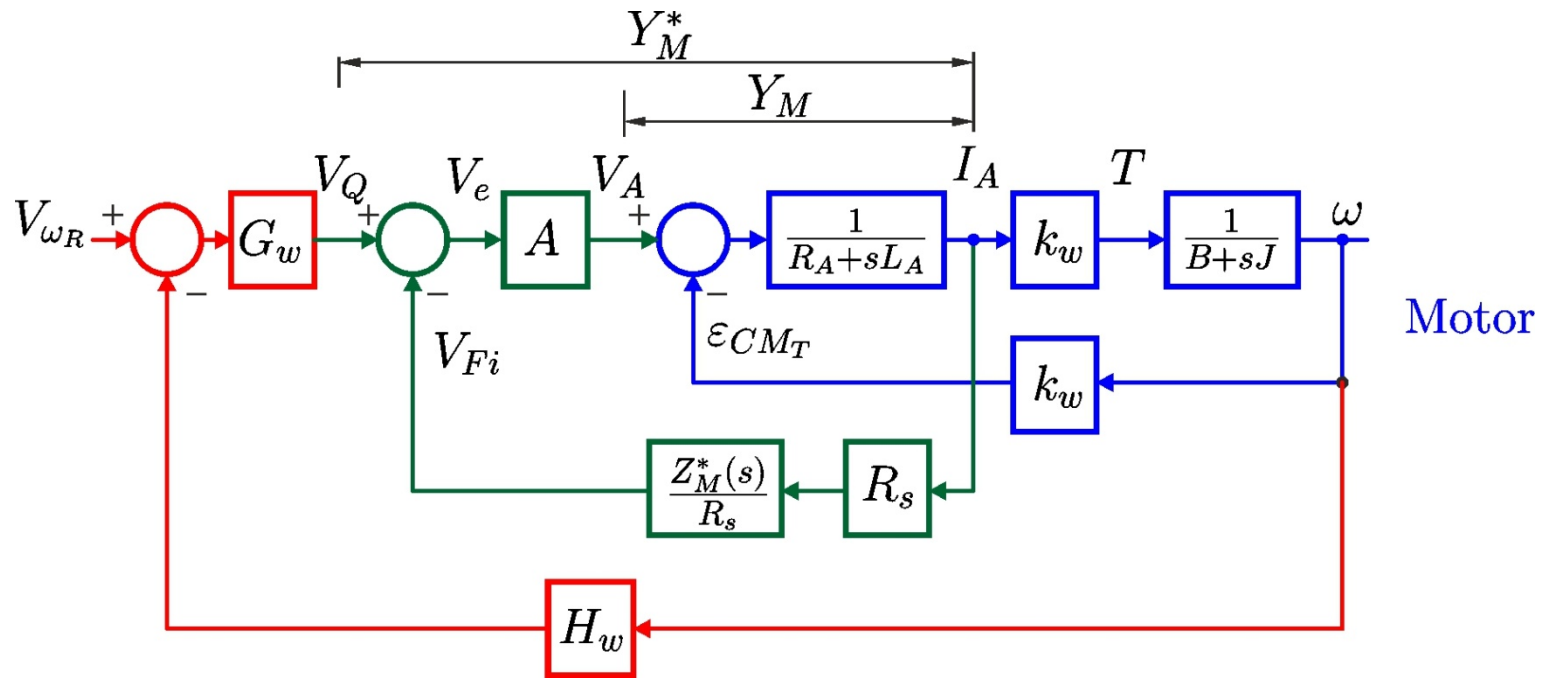
Análisis de admitancia del motor



¿Qué significa zona de sobrecarga?

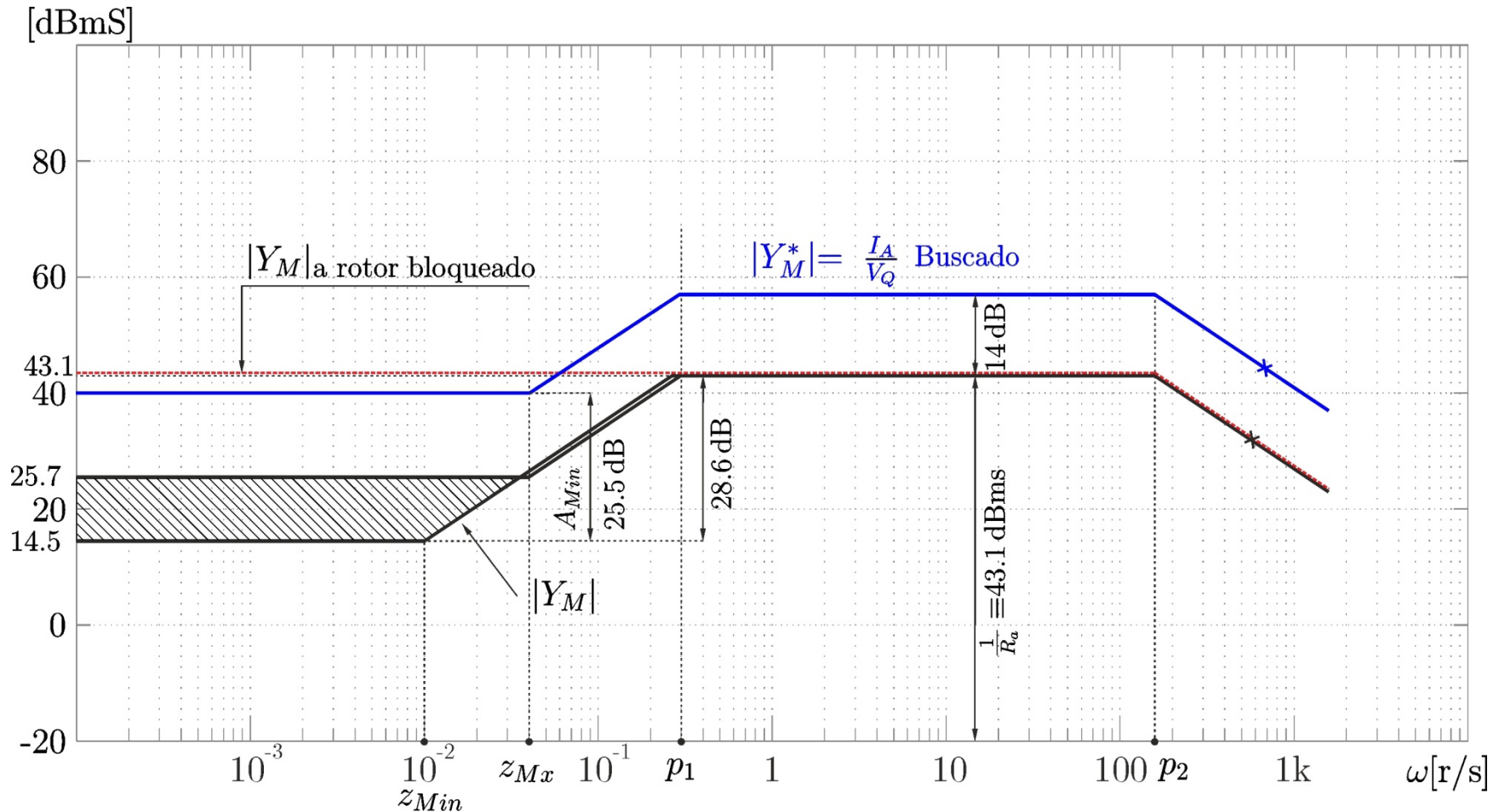


Estrategia de Control Propuesta



¿Qué función cumple la realimentación incorporada?

Realimentación propuesta



$$|Y_M^*| \text{ se define como } 5 \cdot |Y_M|_{MAX}$$

Razón?

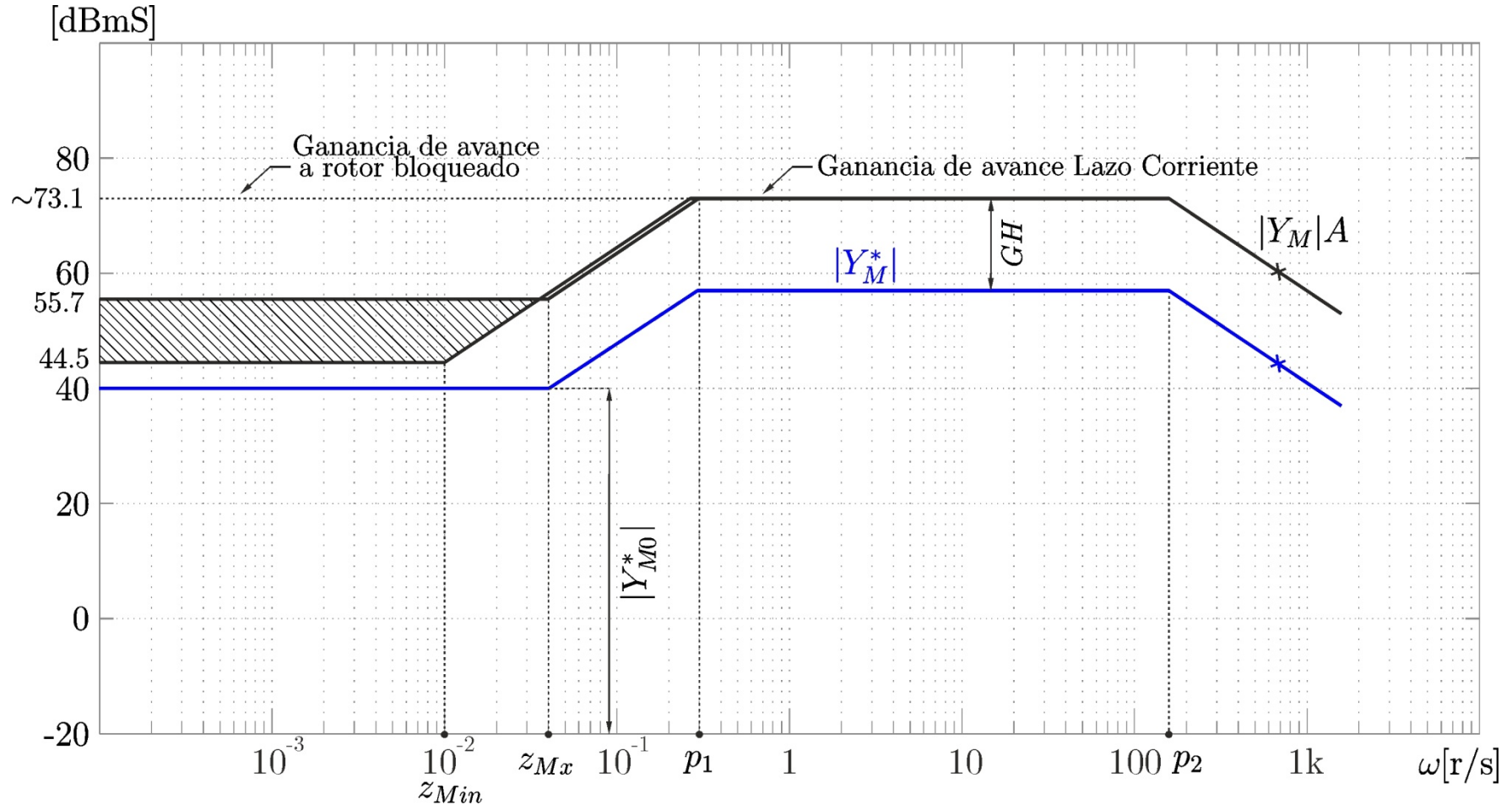
Luego para que $GH \geq 0$, $A_{Min} \approx 25.5 \text{ dB}$

Se adopta, $A = 30 \equiv 30 \text{ dB}$

¿Por qué no más?



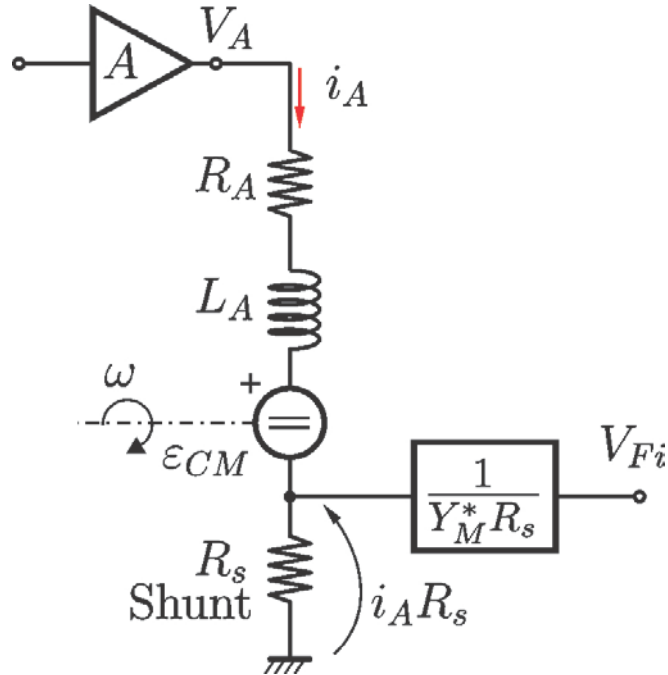
Lazo control de corriente



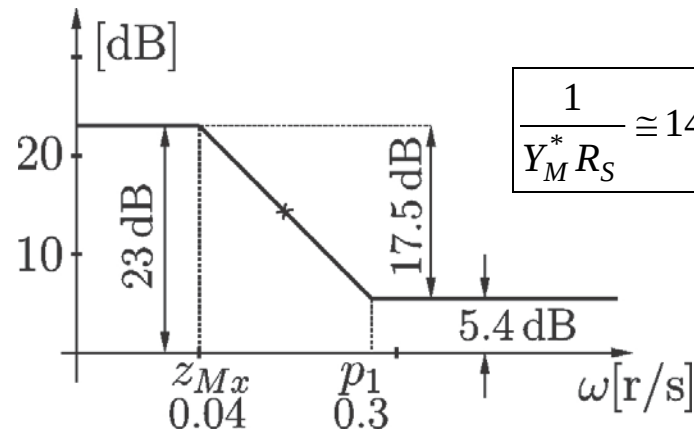
- ¿Qué pasa con la estabilidad del lazo de corriente?
- ¿Qué pasa con la precisión en el transitorio de corriente?
- ¿Como implemento la realimentación para obtener Y_M^* ?



Síntesis de $(Y_M^* R_s)^{-1}$

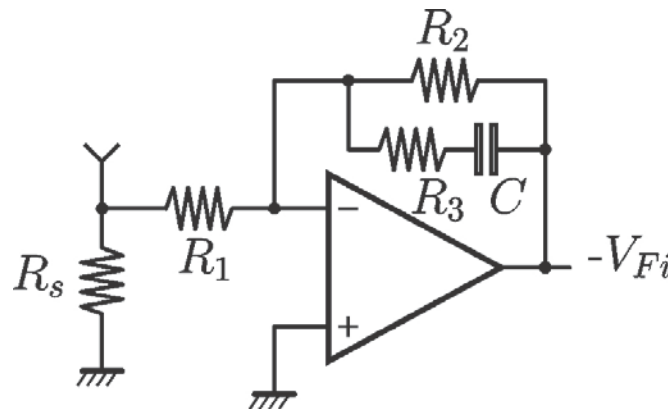


Se adopta $R_s = 0.7 \Omega$ para evitar incrementar pérdidas por efecto Joule



$$\frac{1}{Y_M^* R_s} \cong 14.3 \frac{(1 + s / 0.3 \text{ r/s})}{(1 + s / 4 \times 10^{-2} \text{ r/s})}$$

Notar que se requiere realimentación activa.



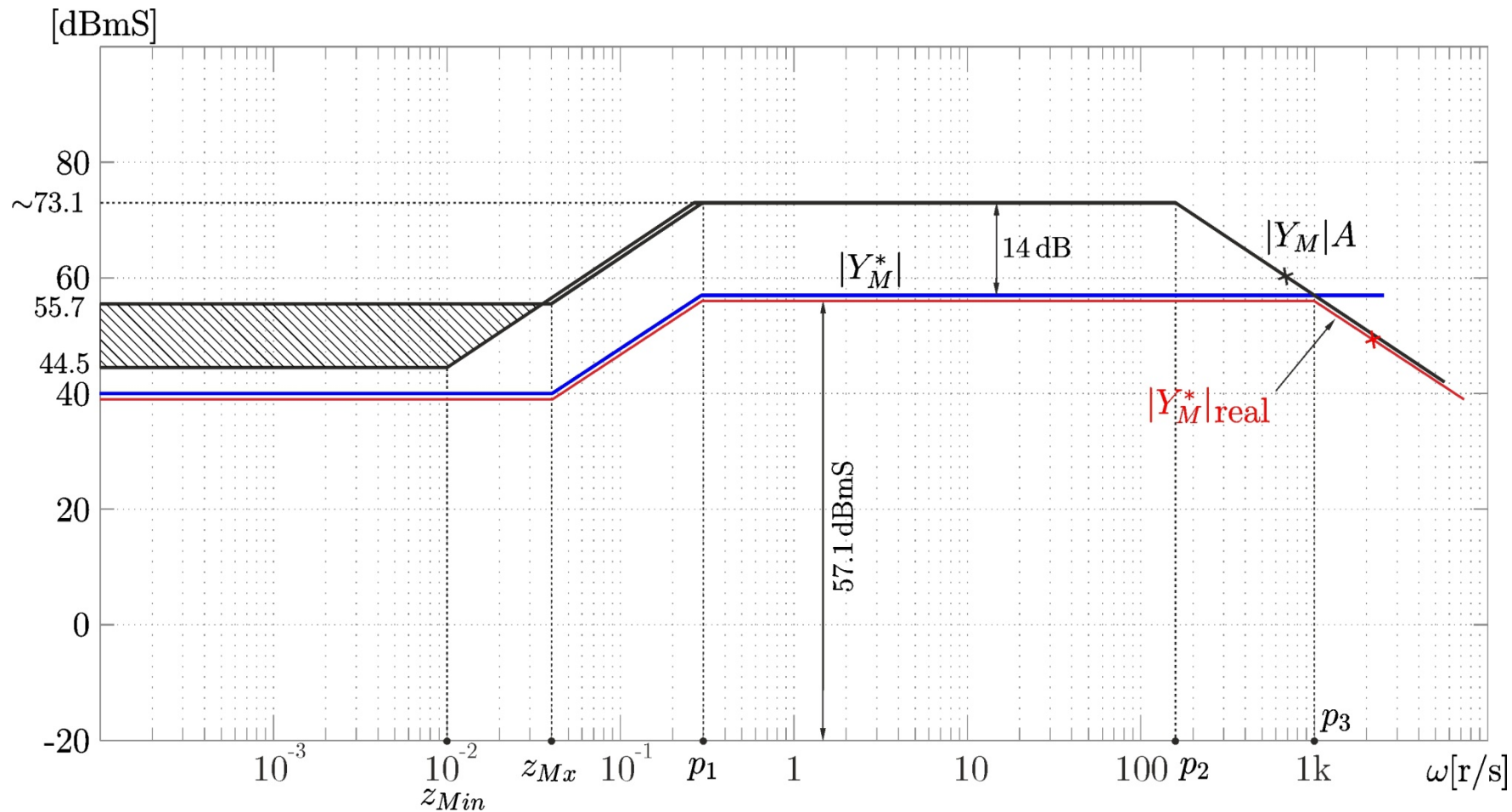
$$\frac{R_2}{R_1} \cong \frac{1}{Y_{M0} R_s} = 14$$

$$\frac{R_3 // R_2}{R_1} \cong 1.87 = \frac{Z_{Mx} / p_1}{Y_{M0} R_s}$$

$$C \cong 1.87 = \frac{Z_{Mx}}{R_2}$$



Lazo de corriente resultante

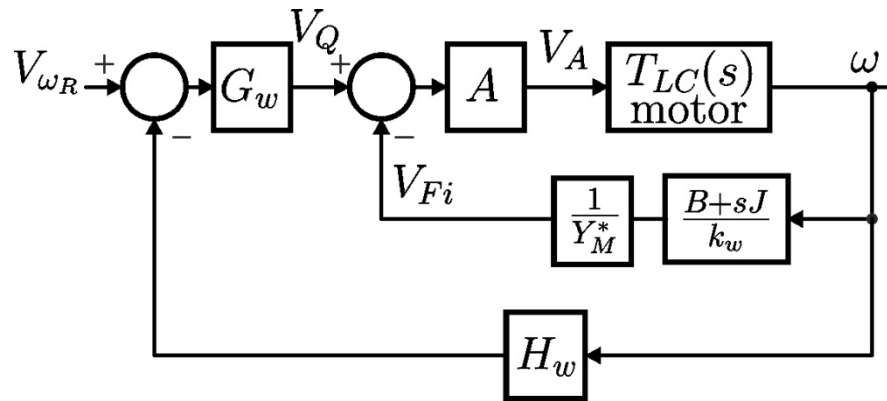


$$\frac{p_3}{p_2} \equiv 16\text{dB} \Rightarrow p_3 \approx 997 \text{ r/s}$$

¿Qué debe pasar con los polos del amplificador A?



Lazo control de velocidad



Cálculo de H_w

Se adopta

$$V_{\omega R} = 10V \Rightarrow \omega = \omega_N = 215 \text{ r/s}$$

$$V_{\omega R} = -10V \Rightarrow \omega = -\omega_N = -215 \text{ r/s}$$

$$H_{\omega} = \frac{10V}{215 \text{ r/s}} = 4.7 \times 10^{-2} [\text{Vs/r}]$$

Funciones transferencias

$$A = 30$$

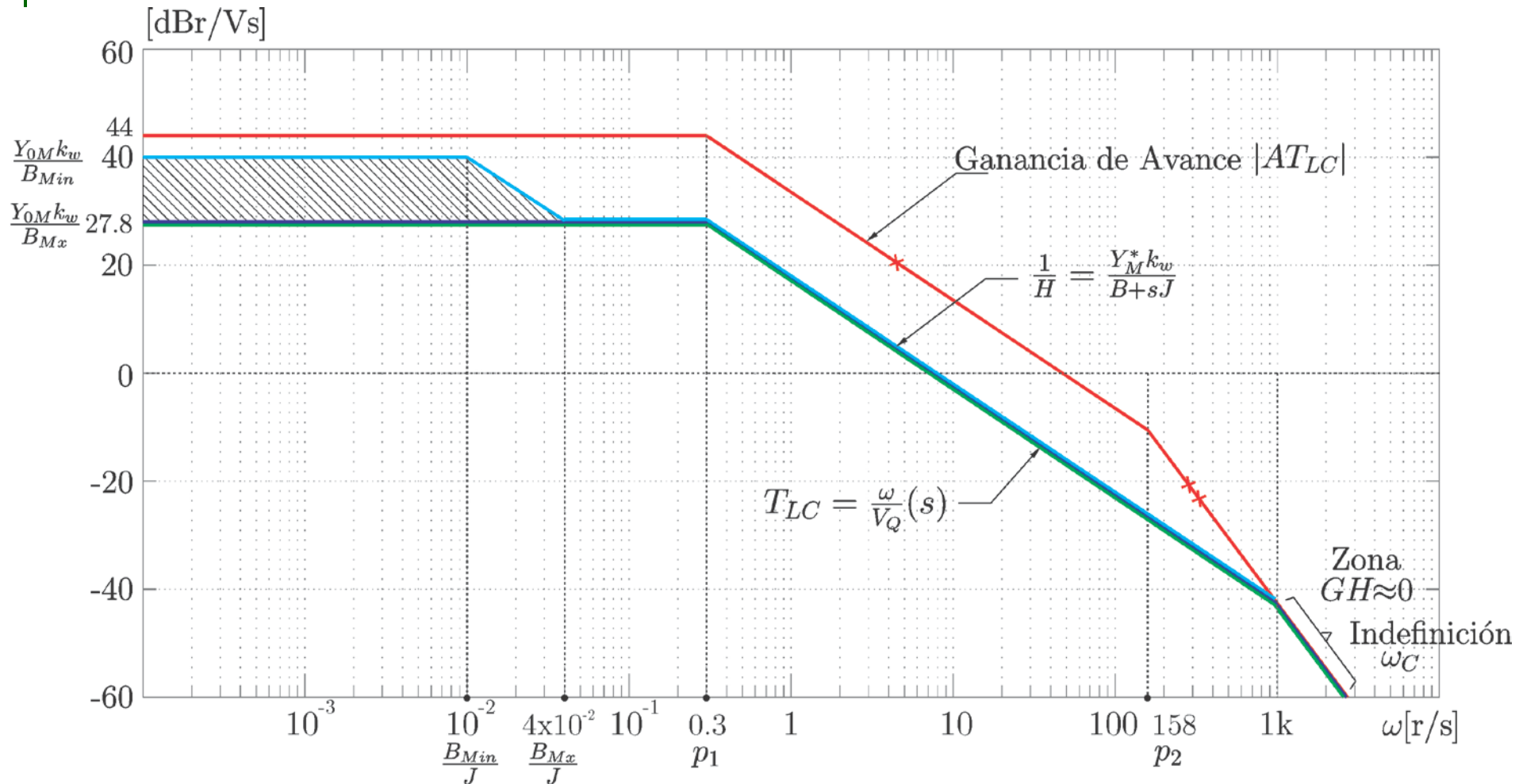
$$\frac{\omega}{V_A}(s) = \frac{1}{k_w \left(1 + \frac{R_A B}{k_w^2}\right)} \cdot \frac{1}{\left[\left(1 + \frac{s}{p_1}\right)\left(1 + \frac{s}{p_2}\right)\right]} = \frac{5.3 \text{ r/Vs}}{\left(1 + \frac{s}{0.3 \text{ r/s}}\right)\left(1 + \frac{s}{158 \text{ r/s}}\right)}$$

$$Y_M^*(s) = Y_{M0} \frac{(1 + s/Z)}{[(1 + s/p_1)(1 + s/p_2)]} = 0.1 \text{ S} \frac{(1 + s/4 \times 10^{-2} \text{ r/s})}{(1 + s/0.3 \text{ r/s})(1 + s/997 \text{ r/s})}$$

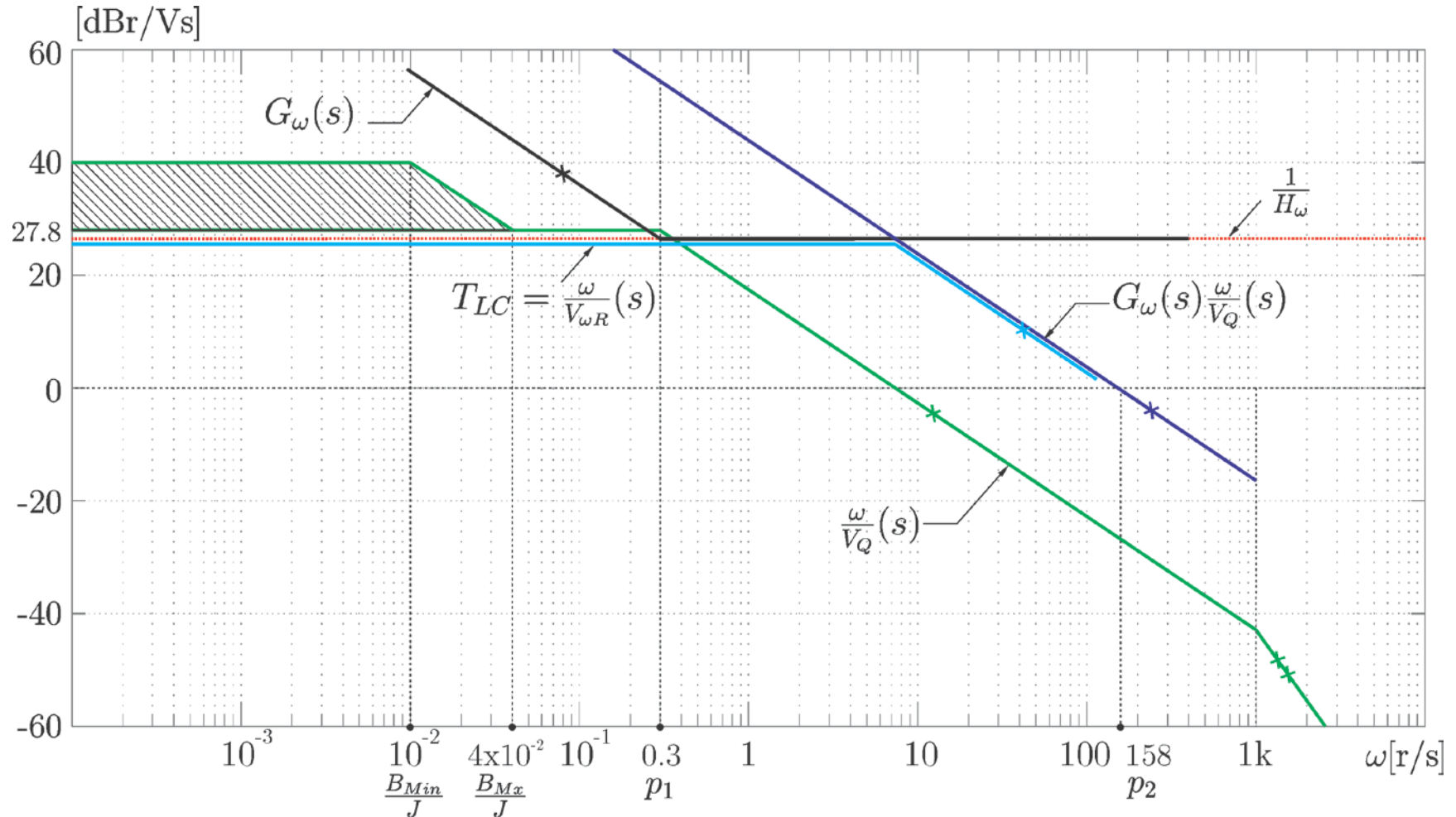
$$\frac{B + sJ}{k_w} = \frac{B}{k_w} (1 + sJ/B) = 10^{-3} [\text{As}](1 + s100\text{s}) \cdots 4 \times 10^{-3} [\text{As}](1 + s25\text{s})$$



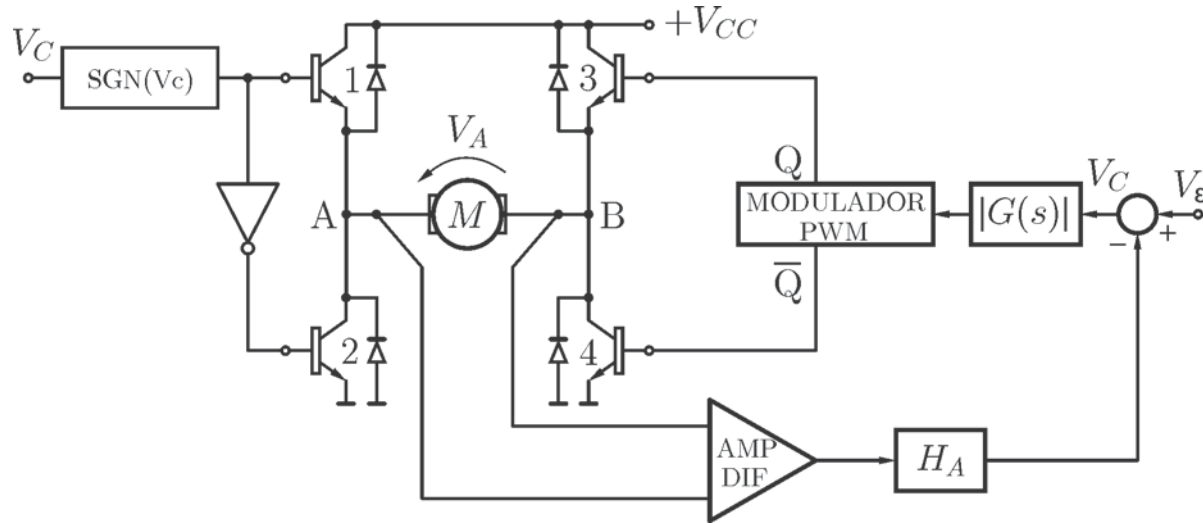
Lazo control de velocidad



Lazo control de velocidad



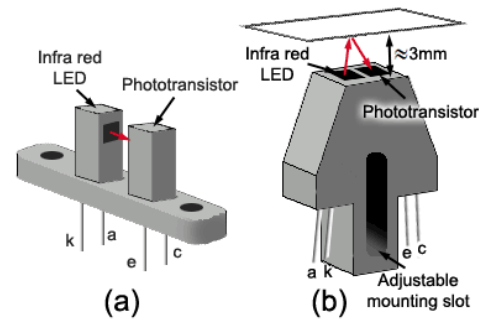
Amplificador de potencia



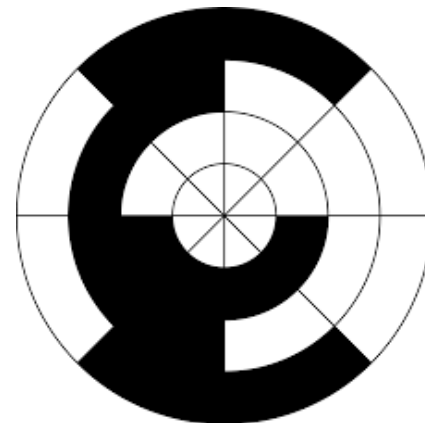
Rama A: Control de inversión de marcha.

Rama B: Control PWM

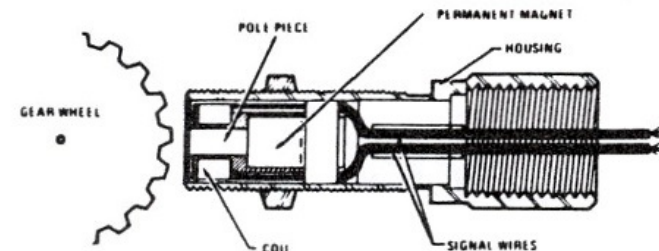
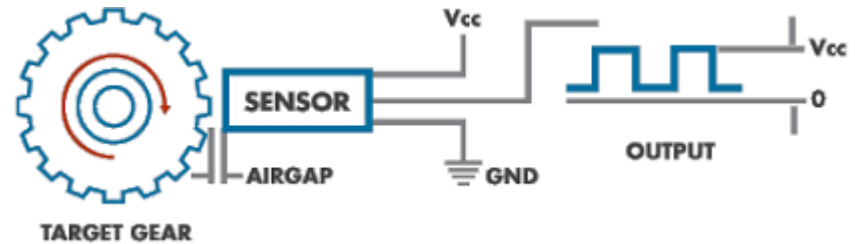
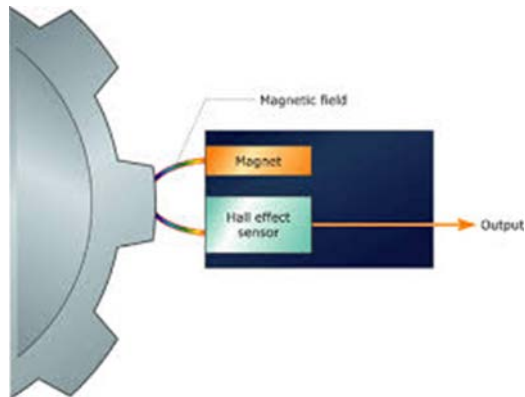
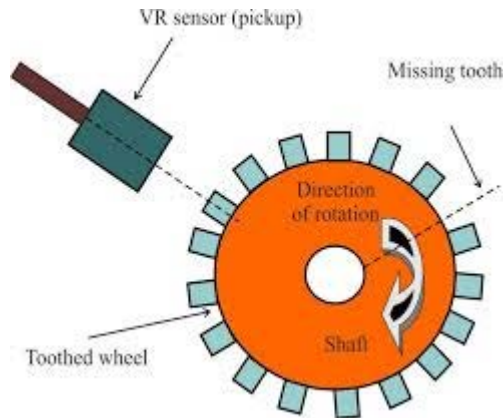
Medición de velocidad



**MEDICIÓN
ÓPTICA**



Medición de velocidad

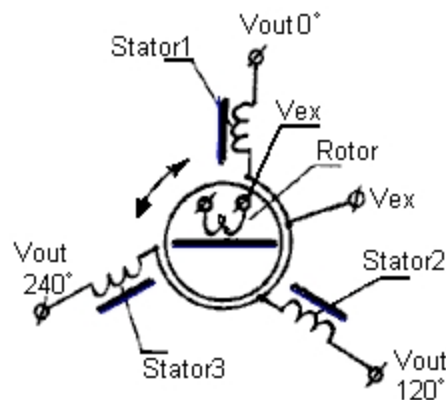
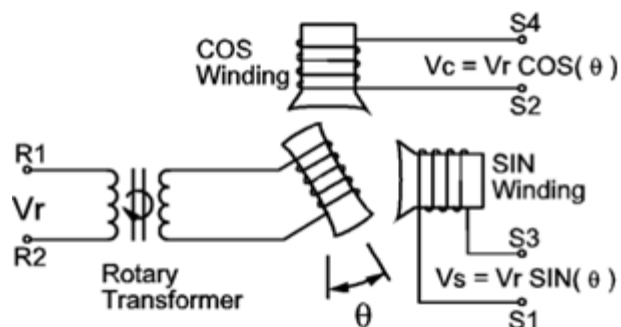
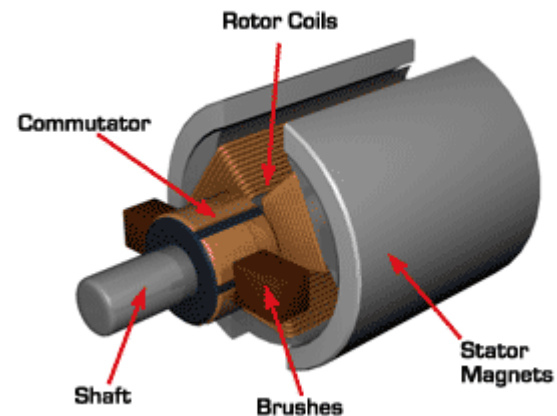
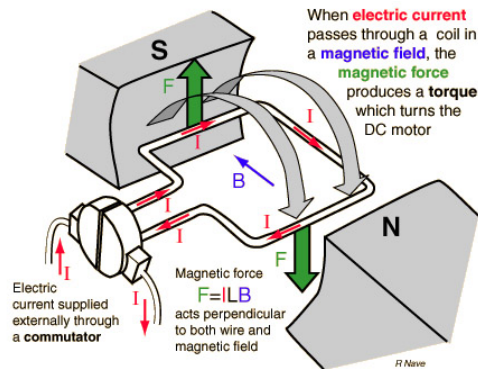


TYPICAL VARIABLE RELUCTANCE PICKUP

*MEDICIÓN
MAGNÉTICA*



Medición de velocidad



MEDICIÓN SÍNCRONA

