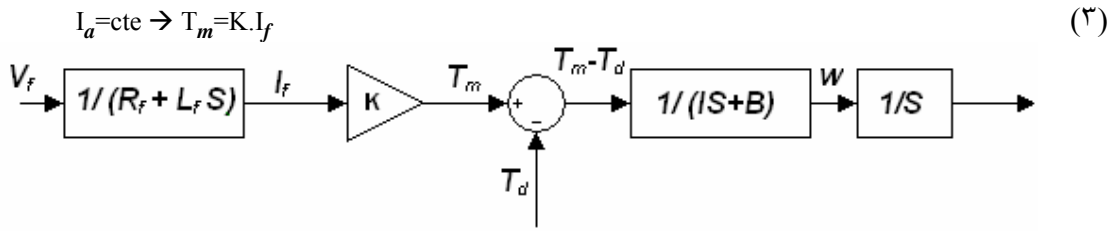


$$I_f = V_f / (L_f \cdot s + R_f) , \quad T = K_a \cdot \phi \cdot I_a , \quad \phi = k_f \cdot I_f \quad \rightarrow T_m = k_a \cdot k_f \cdot I_f \cdot I_a \quad (1)$$

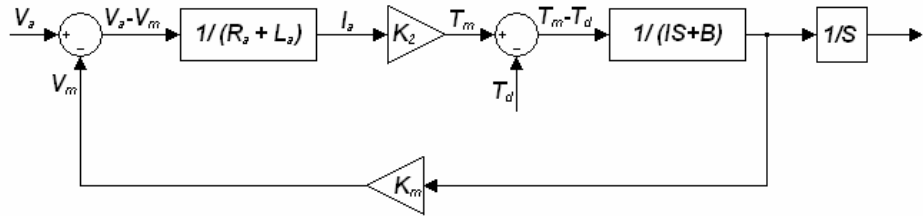
$$T_m - T_d = (I \cdot s + B) \cdot \omega(s) \quad (2)$$

DC



شکل ۲: سیستم کنترل میدان موتور DC

$$I_a = (V_a - V_m) / (R_a + L_a \cdot s) , \quad T_m = K_2 \cdot I_a , \quad V_m = K \cdot \phi \cdot \omega = K_m \cdot \omega \quad (4)$$



شکل ۳: سیستم کنترل ولتاژ آرمیچر موتور DC

$L_f \quad L_a \quad I$

PID .

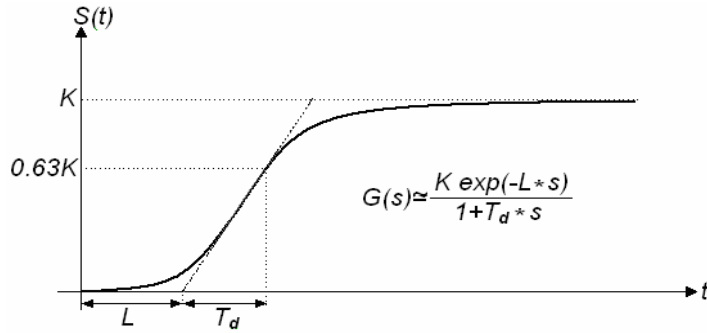
PID

PWM

AVR

()

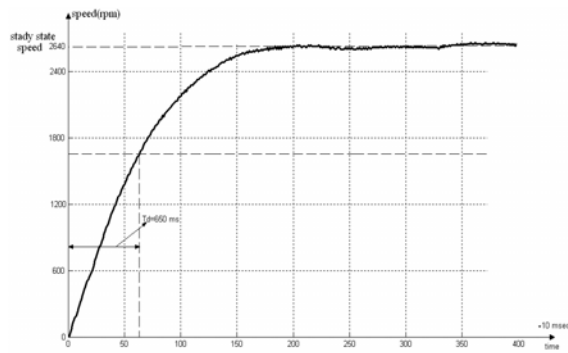
PID



شکل ۴: شناسایی سیستم با استفاده از روش کهن



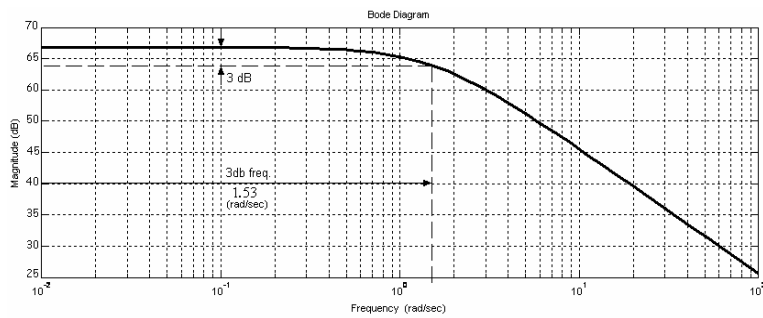
شکل ۶: سخت افزار شناسایی سیستم موتور DC



شکل ۵: پاسخ پله‌ی عملی یک موتور DC به ولتاژ ۵/۸ ولت

$$G(s) = \frac{2640}{1 + 0.65*s}$$

()

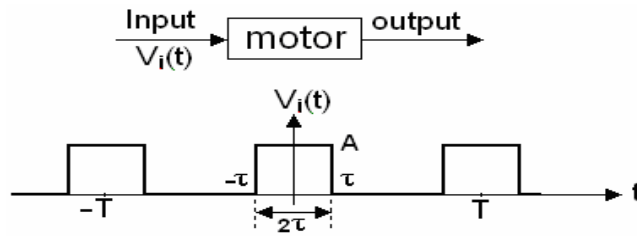


شکل ۷: پاسخ فرکانسی سیستم تقریبی موتور DC

DC

PWM

DC

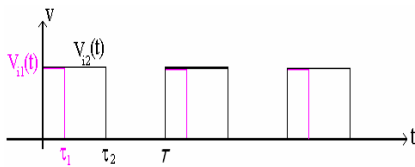


شکل ۸: اعمال ورودی پالس به موتور

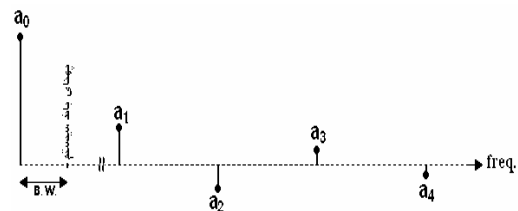
$$V_i(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos(n \cdot \omega_0 \cdot t) + b_n \cdot \sin(n \cdot \omega_0 \cdot t)) \rightarrow a_0 = 2 \cdot A \cdot \frac{\tau}{T}, \quad a_n = \frac{2A}{n \cdot \pi} \cdot \sin(n \cdot \omega_0 \cdot \tau), \quad b_n = 0,$$

$$V_i(t) = 2 \cdot A \cdot \frac{\tau}{T} + \frac{2A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\sin(n \cdot \omega_0 \cdot \tau)}{n} \cos(n \cdot \omega_0 \cdot t) \right), \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad ()$$

dc



شکل ۱۰: تغییر duty cycle شکل موج ورودی



شکل ۹: ضرایب سری فوریه ورودی و محل آنها نسبت به

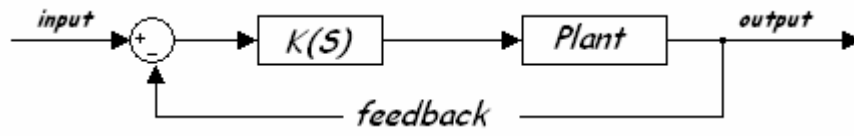
پهنای باند سیستم

DC

τ/T

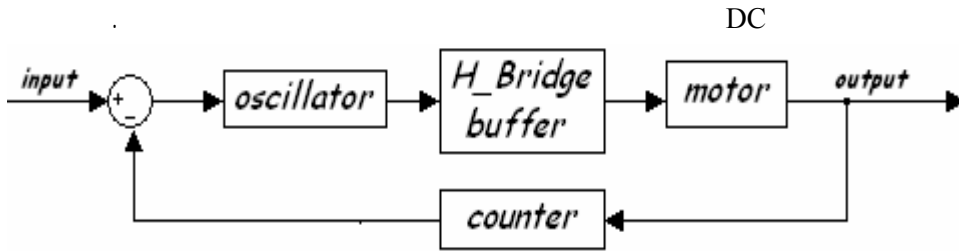
$$a_0 = \langle V_i(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V_i(t) dt \propto \left(\frac{\tau}{T} = \text{duty cycle} \right) \quad ()$$

$$\left(\langle V_{i2}(t) \rangle = \frac{\tau_2}{T} \right) > \left(\langle V_{i1}(t) \rangle = \frac{\tau_1}{T} \right) \rightarrow (\quad > \quad)$$



شکل ۱۱: سیستم کنترل مدار بسته

$$\text{Output} = (\text{Input} - \text{Output}) \cdot K(s) \cdot P(s)$$

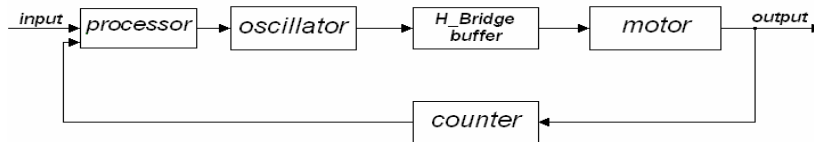


شکل ۱۲: سیستم کنترل مدار بسته برای یک موتور DC

PID

PID

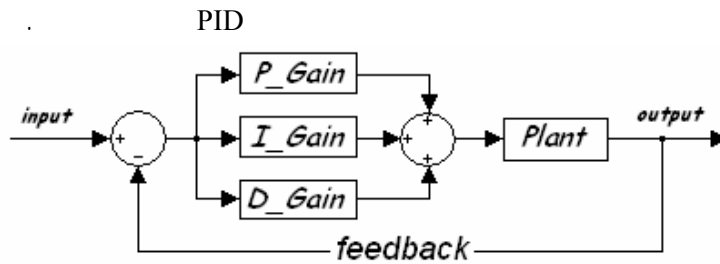
DC



شکل ۱۳: سیستم کنترل هوشمند موتور DC

PID

DC



شکل ۱۴: سیستم کنترل PID یک موتور DC

(Rise time)

(Over shout)

(Settling time)
(Peak time)

PID

PID

PID

(P_term ,I_term)

PID

(Error_term)

(set speed) ()
Error_term =set speed – motor speed
Error_term

(Proportional_term)

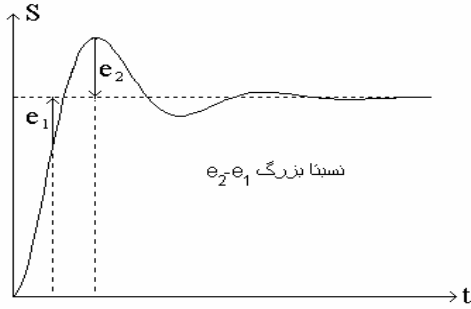
$$P_term = Error_term * K_p$$

($K_d = 0, K_i = 0$)

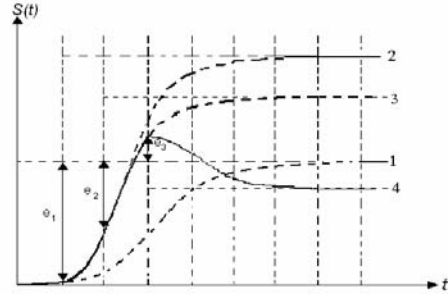
(Derivative_term)

set point

$$D_term = K_d \cdot (E - E_state)$$

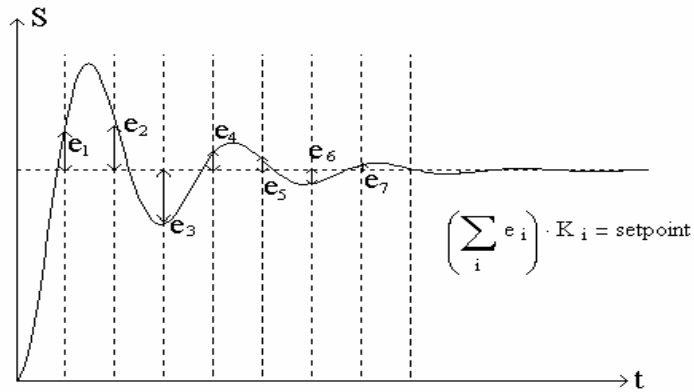


شکل ۱۶: اثر جمله مشتقی بر خروجی



شکل ۱۵: اثر جمله تناسبی بر خروجی

(I_term)



شکل ۱۷: اثر جمله انتگرالی بر خروجی

Kd, Kp, Ki

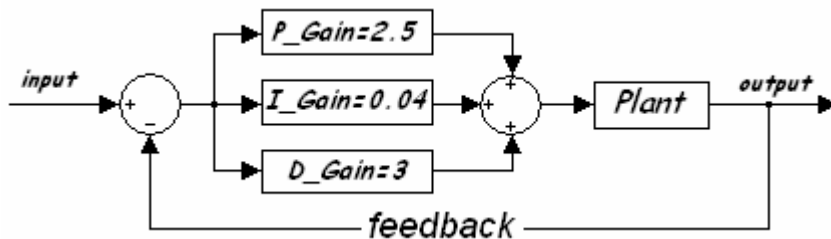
(. . .) K_d, K_p, K_i

DC

K_d, K_p, K_i

$$Error_term = Set_speed - Encoder_count$$

$P_term = P_Gain * Error_term$
 $D_term = D_Gain * (Error_term - D_state)$
 $D_state = Error_term$
 $I_state = I_state + Error_term$
 $PWM\ set = PWM_set + P_term + I_term + D_term$
 $k_i = 0.04, K_d = 3, K_p = 2.5$



شکل ۱۸: سیستم کنترل نهایی

DC

DC

^

- [1] R. Bickle, "DC motor control systems for robot applications", 2003, <http://www.dprg.org/tutorials/2003-10a/motorcontrol.pdf>
- [2] E. Neary, "Mixed-Signal Control Circuits Use Microcontroller for Flexibility in Implementing PID Algorithms", <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/38-01/pid.pdf>
- [3] A. Kilian "Quick and Easy Motor Control", CIRCUIT CELLAR, Issue 120 July 2000