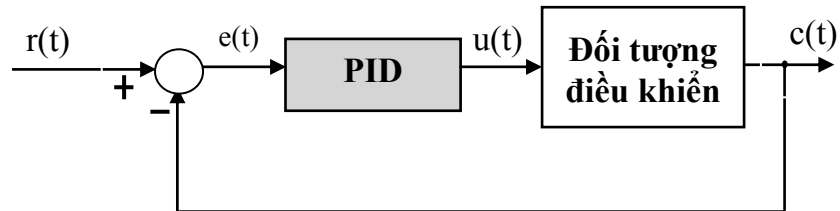


Chương 4:

ĐIỀU KHIỂN ĐỊNH HƯỚNG TỪ THÔNG ĐCKĐB

I. Hiệu chỉnh PID (PID CONTROL)



Phương trình vi phân mô tả hiệu chỉnh PID:

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

K_p : hệ số khâu tỉ lệ.

K_I : hệ số khâu tích phân.

K_D : hệ số khâu vi phân.

Biến đổi Laplace:

$$G(s) = \frac{u(s)}{e(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad \text{trong đó: } T_I = \frac{K_p}{K_I}, \quad T_D = \frac{K_D}{K_p}$$

Vấn đề thiết kế là cần hiệu chỉnh các giá trị K_p , K_i và K_D sao cho hệ thỏa đạt được chất lượng tối ưu.

Thủ tục hiệu chỉnh PID

Khâu hiệu chỉnh khuếch đại tỉ lệ (P) được đưa vào hệ thống nhằm làm giảm sai số xác lập, với đầu vào thay đổi theo hàm nấc sẽ gây ra vọt lố và trong một số trường hợp là không chấp nhận được đối với mạch động lực.

Khâu tích phân tỉ lệ (PI) có mặt trong hệ thống dẫn đến sai lệch tĩnh triệt tiêu (hệ vô sai). Muốn tăng độ chính xác của hệ thống ta phải tăng hệ số khuếch đại, song với mọi hệ thống thực đều bị hạn chế và sự có mặt của khâu PI là bắt buộc.

Sự có mặt của khâu vi phân tỉ lệ (PD) làm giảm độ vọt lố, đáp ứng ra bớt nhấp nhô và hệ thống sẽ đáp ứng nhanh hơn.

Khâu hiệu chỉnh vi tích phân tỉ lệ (PID) kết hợp những ưu điểm của khâu PD và khâu PI, có khả năng tăng độ dự trữ pha ở tần số cắt, khử chậm pha. Sự có mặt của khâu PID có thể dẫn đến sự dao động của hệ do đáp ứng quá độ bị vọt lố bởi hàm dirac $\delta(t)$. Các bộ hiệu chỉnh PID được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực công nghiệp dưới dạng thiết bị điều khiển hay thuật toán phần mềm.

Tóm tắt Vai trò của mỗi khâu hiệu chỉnh (adjustment) trong bộ điều khiển PID:

Khâu khuếch đại tỉ lệ K_p (Proportional gain):

Khi K_p tăng

- Sai số xác lập giảm
- Vọt lố tăng
- Thời gian lên nhanh

Khâu tích phân tỉ lệ K_i (Integral gain):

Khi K_i tăng

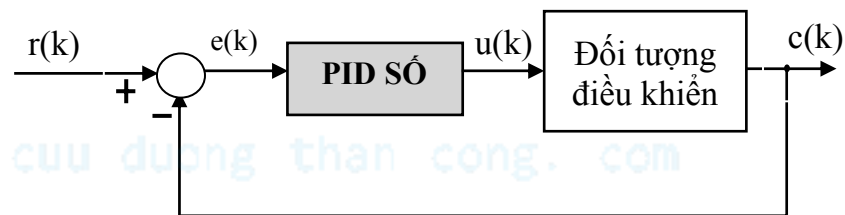
- Sai lệch tĩnh giảm (triệt tiêu - vô sai với hàm nấc)
- Đáp ứng chậm

Khâu vi phân tỉ lệ K_d (Derivative gain):

Khi K_d tăng

- Vọt lố giảm
- Đáp ứng nhanh
- Bớt nhấp nhô (dao động)

PI rời rạc:



$$u(k) = u_p(k) + u_i(k)$$

$$u_p(k) = K_p \cdot e(k)$$

$$u_i(k) = u_i(k-1) + K_i \cdot T \cdot e(k) = u_i(k-1) + K'_i \cdot e(k)$$

Trong đó: T là tần số lấy mẫu

```
void PID_Control(void)
```

```
/*Khâu PI*/
```

```
{
```

```
    ss_n = n_dat - RPM;
```

```
/* tính sai số tốc độ hồi tiếp về*/
```

```
    Up = Kp * ss_n;
```

```
/* hiệu chỉnh khâu tỉ lệ (P)*/
```

```
    Ui = Ui + Ki * Tsamp * ss_n;
```

```
/* hiệu chỉnh khâu tích phân (I)*/
```

```
    U_pt = Up + Ui;
```

```
    if( U_pt < 0)
```

```
/*Giới hạn điện áp >= 0*/
```

```
        U_pt = 0;
```

```
    if( U_pt > 1.0)
```

```
/*Giới hạn điện áp <= 1.0*/
```

```
        U_pt = 1.0;
```

```
    DRX = (int)(U_pt*(float)T1PR);
```

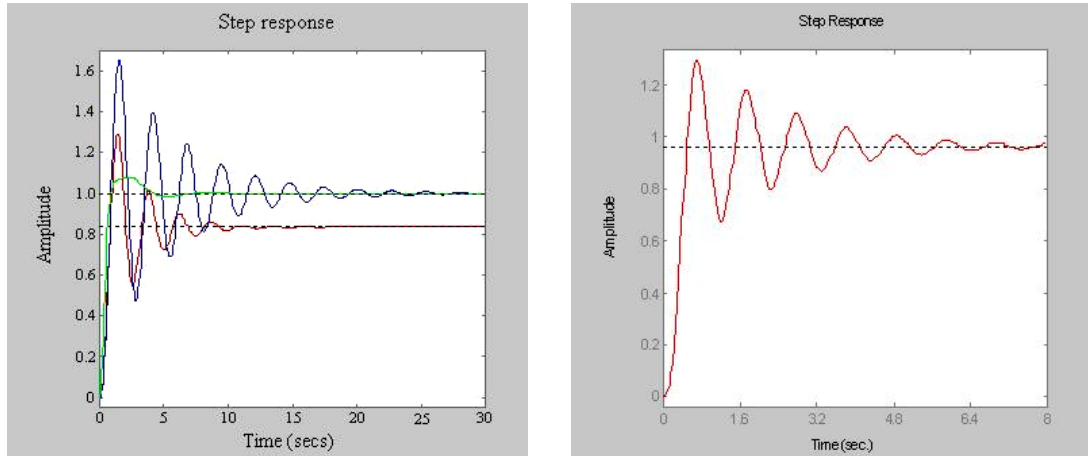
```
/*Do Rong Xung tích cực mức cao*/
```

```
    T1CMPR = T1PR - DRX;
```

```
    CMPR1 = T1PR - DRX;
```

```
}
```

Đáp ứng của hệ thống sử dụng bộ điều khiển PID



Đáp ứng bước hàm bước 1(t)

PID số (Phương pháp 1):

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Rời rạc hóa:

$$u(k) = u_p(k) + u_i(k) + u_d(k)$$

$$u_p(k) = K_p \cdot e(k)$$

$$u_i(k) = u_i(k-1) + K_i \cdot T \cdot e(k) = u_i(k-1) + K'_i \cdot e(k)$$

$$u_d(k) = K_D \cdot \frac{e(k) - e(k-1)}{T} = K'_D (e(k) - e(k-1))$$

Trong đó: T là tần số lấy mẫu.

Rời rạc hóa _ Phương pháp gần đúng (khâu I):

$$u(k) = (u_p(k) + u_i(k) + u_d(k))$$

$$u_p(k) = K_p \cdot e(k)$$

$$u_i(k) = K_i \cdot (e(k) + e(k-1))$$

$$u_d(k) = K_D (e(k) - e(k-1))$$

PID số (Phương pháp 2):

$$\text{Đạo hàm 2 vế: } \frac{du(t)}{dt} = K_P \frac{de(t)}{dt} + K_I e(t) + K_D \frac{d^2 e(t)}{dt^2}$$

$$\frac{u(k) - u(k-1)}{T} = u_P(k) + u_I(k) + u_D(k)$$

$$u_P(k) = K_P \cdot \frac{e(k) - e(k-1)}{T} = K'_P (e(k) - e(k-1))$$

$$u_I(k) = K_I \cdot e(k)$$

$$u_D(k) = K_D \cdot \left(\frac{e(k) - e(k-1)}{T} - \frac{e(k-1) - e(k-2)}{T} \right) = K'_D (e(k) - 2 \cdot e(k-1) + e(k-2))$$

$$\text{Hay: } u(k) = u(k-1) + (u'_P(k) + u'_I(k) + u'_D(k))$$

$$u'_P(k) = K''_P (e(k) - e(k-1))$$

$$u'_I(k) = K'_I \cdot e(k)$$

$$u'_D(k) = K''_D (e(k) - 2 \cdot e(k-1) + e(k-2))$$

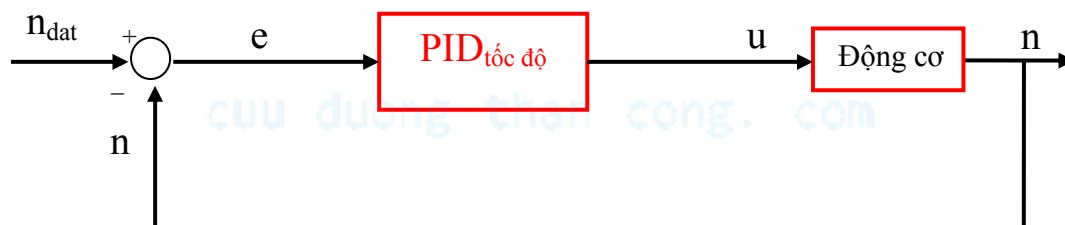
Hay:

$$u(k) = u(k-1) + (u_P(k) + u_I(k) + u_D(k))$$

$$u_P(k) = K_P \cdot (e(k) - e(k-1))$$

$$u_I(k) = K_I \cdot e(k)$$

$$u_D(k) = K_D (u_P(k) - u_P(k-1))$$

Điều khiển tốc độ động cơ DC:

- Nếu $n > n_{\text{dat}}$ thì $e < 0$. PID sẽ điều khiển GIẢM u để n giảm bớt.
 - Nếu $n < n_{\text{dat}}$ thì $e > 0$. PID sẽ điều khiển TĂNG u để n tăng thêm.
 - Nếu $n \approx n_{\text{dat}}$ thì $e \approx 0$. PID sẽ GIỮ NGUYÊN u để n ỔN ĐỊNH.
- $$u(k) = u(k-1) + (u_P(k) + u_I(k) + u_D(k)) = u(k-1)$$

```

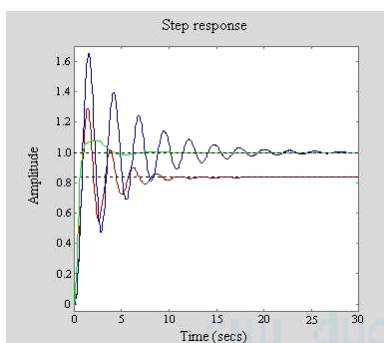
void PID(void)
{
//-----
ek    =(int)((((long)(N_ref - N_sensor)*255)/3000);
// Tốc độ cao nhất của động cơ là 3000, quy đổi là *255/3000
// để ek < 255 (số 8 bit chứa giá trị tối đa là 255).

Proportional    = (ek - ek_1)*Kp;
Integral        = ek*Ki;
Differential    = (ek-2*ek_1+ek_2)*Kd;

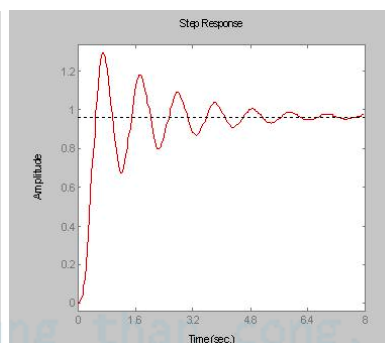
PID_D          = (Proportional + Integral + Differential);
uk             = uk_1 + PID_D; // uk phải là số interger (số 16 bit)
//-----
uk_1          = uk;
ek_2          = ek_1;
ek_1          = ek;
//-----
if(uk < 0)
    uk        = 0; // Không có giá trị (điện áp) âm
if(uk > 255)
    uk        = 255; // Giá trị lớn nhất là 255 (số 8bit)
//-----
duty_cycle = uk /Umax * T_PWM;
}

```

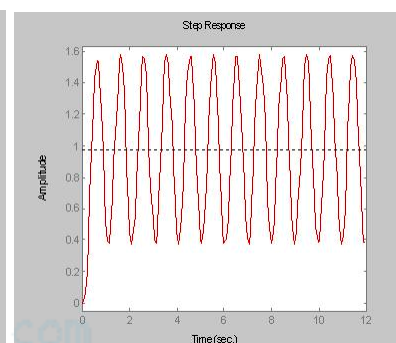
Một số đáp ứng của hệ thống điều khiển sử dụng bộ điều khiển PID



Đáp ứng bước

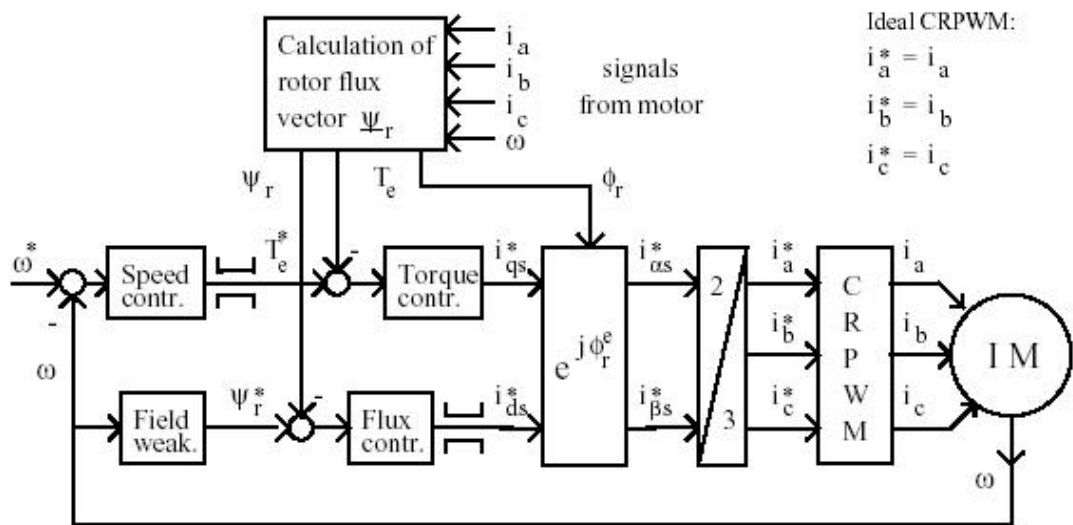


Vọt lố

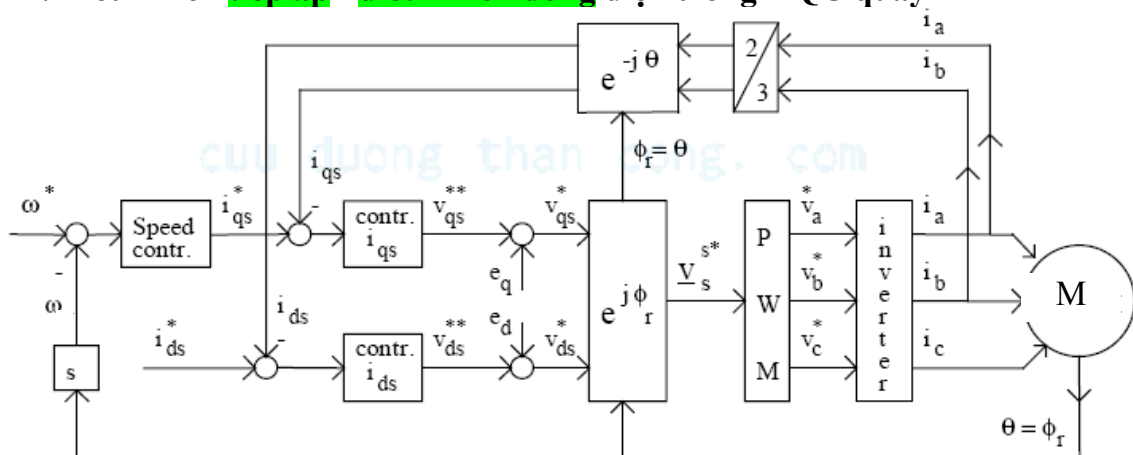


Dao động

II. Điều khiển **tiếp dòng** - **điều khiển moment, từ thông**



III. Điều khiển **tiếp áp** - **điều khiển dòng** điện trong HQC quay

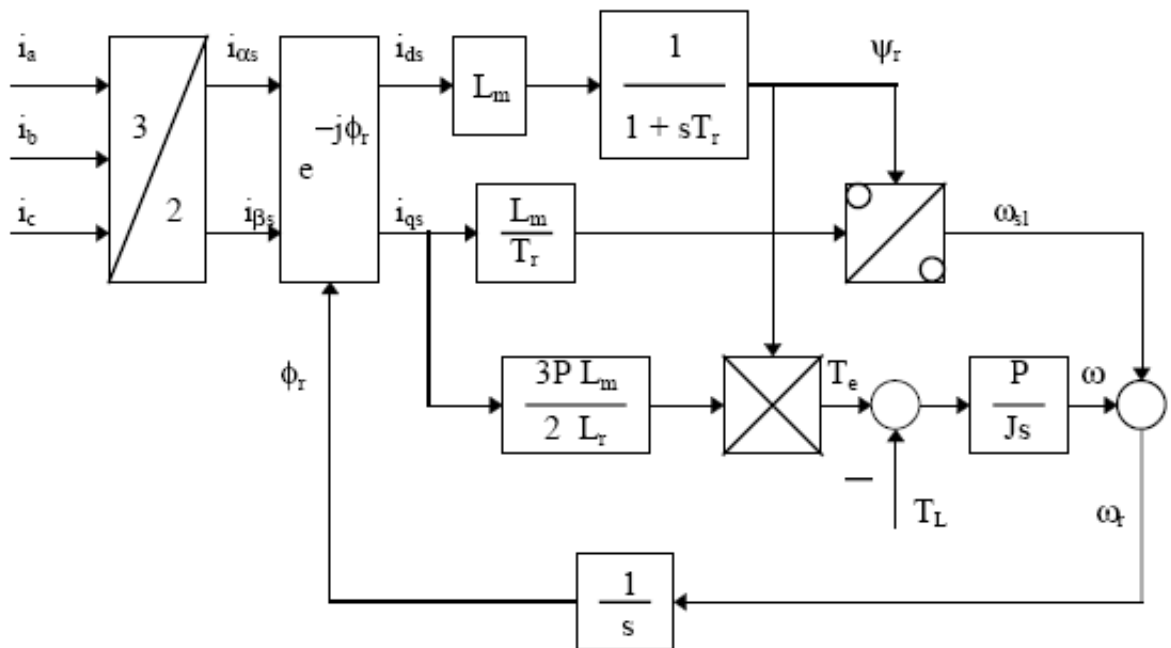


Điều khiển dòng điện động cơ (hồi tiếp) bằng dòng điện lệnh (đặt) bằng cách điều chỉnh điện áp đầu ra (tiếp áp).

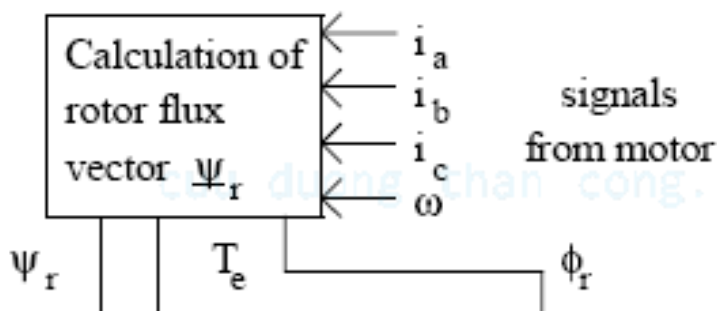
$e_d, e_q = ???$

IV. Phương pháp điều khiển định hướng trường (FOC)

IV.1. Mô hình động cơ KĐB 3 pha



$\omega = ???$

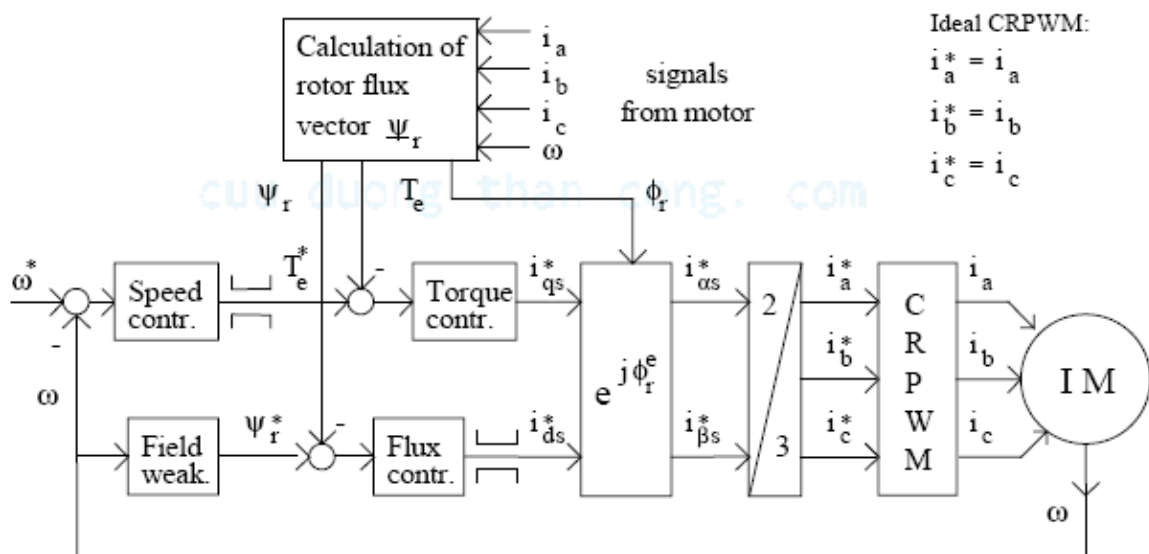


$\Psi_r, T_e, \phi_r = ???$

IV.2. Điều khiển trực tiếp

Điều khiển trực tiếp từ giá trị hồi tiếp đo về:

Điều khiển tiếp dòng:

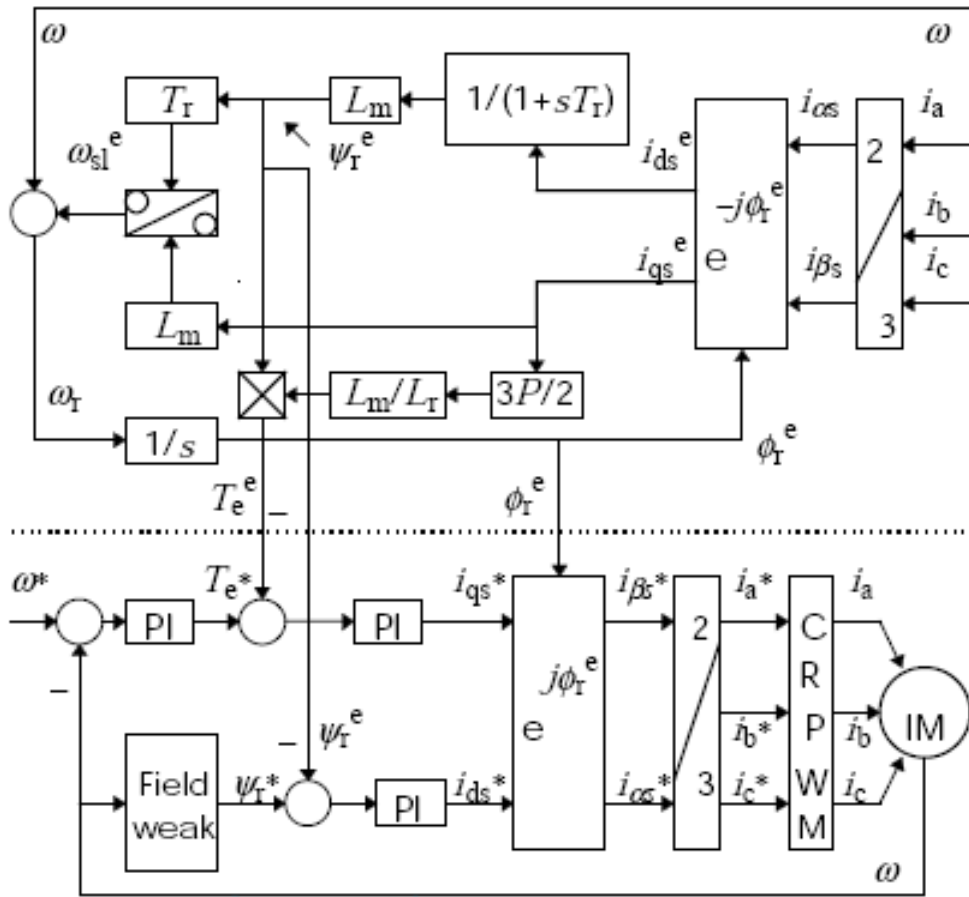


Ideal CRPWM:

$$i_a^* = i_a$$

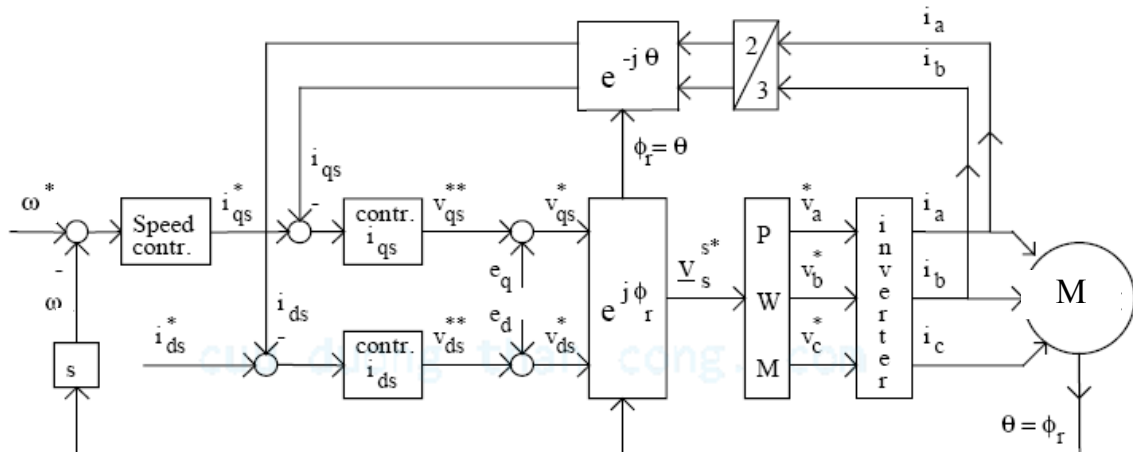
$$i_b^* = i_b$$

$$i_c^* = i_c$$

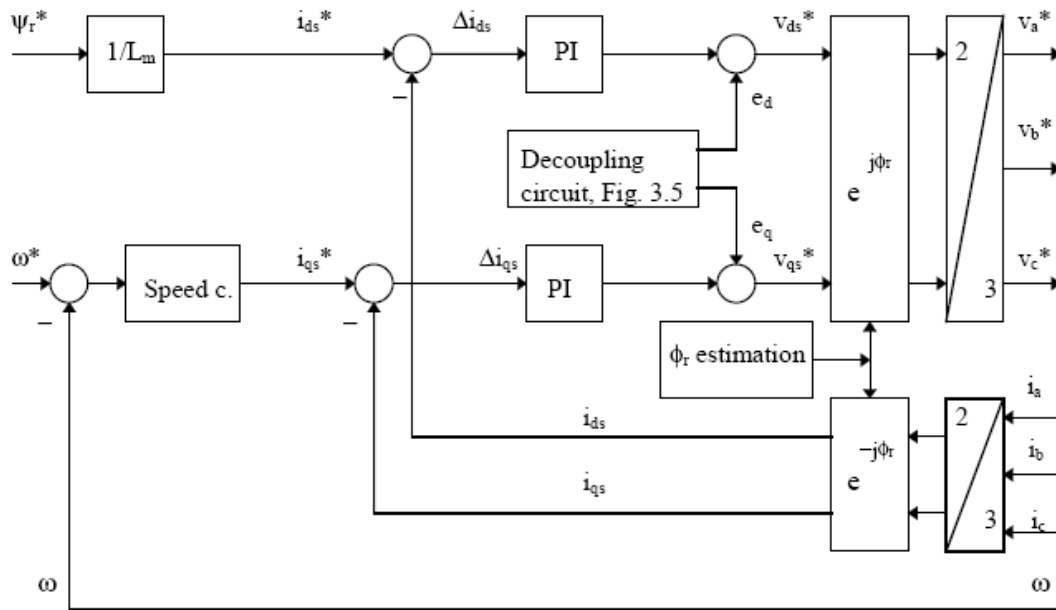


$\psi_r, T_e, \phi_r = ???$

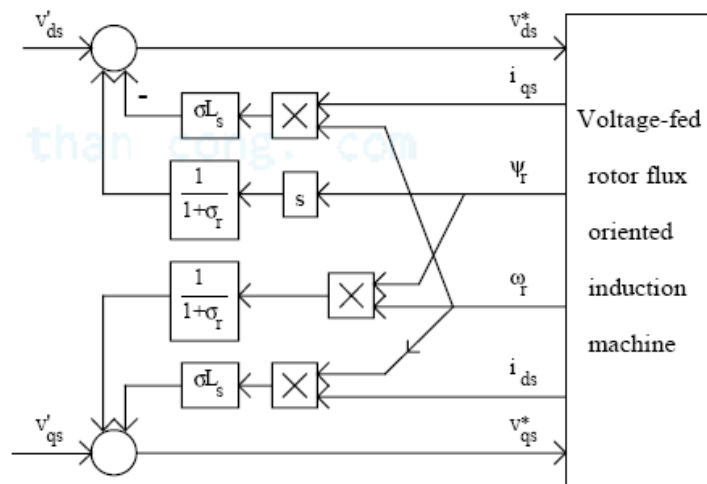
Điều khiển **trực tiếp** từ giá trị hồi tiếp - **tiếp áp**:



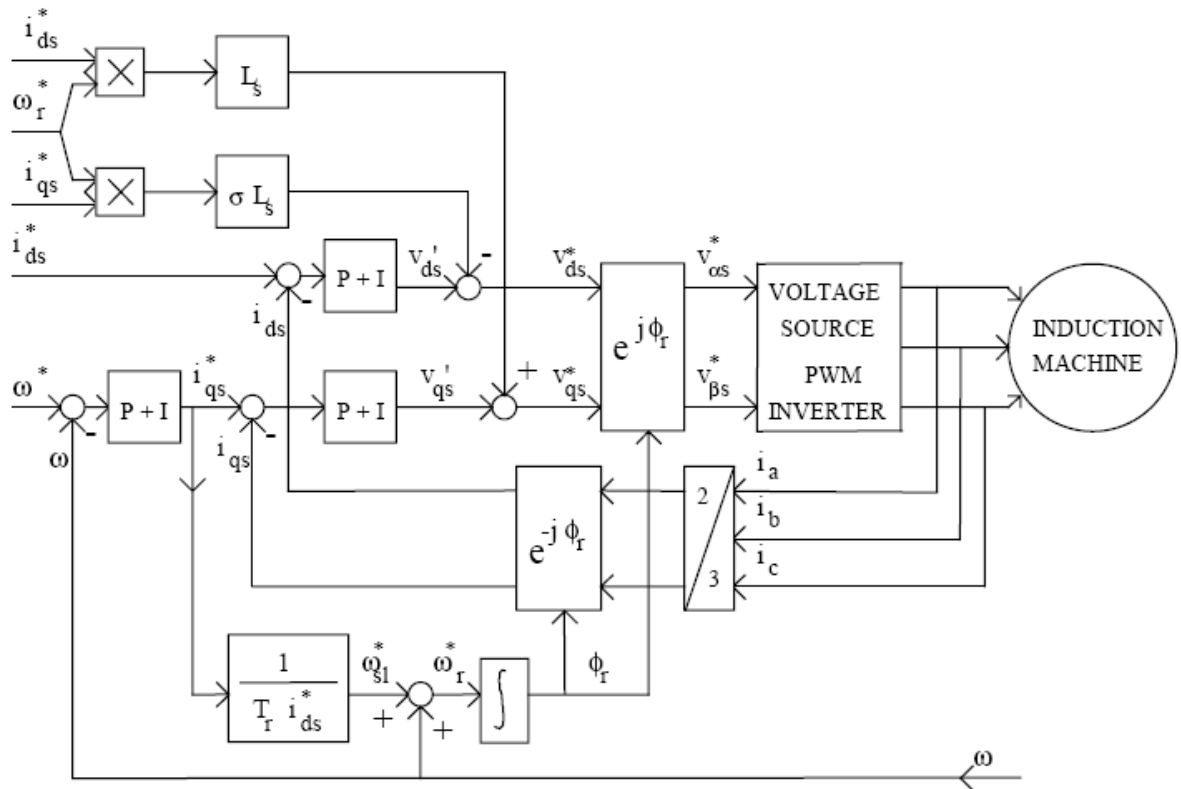
$e_d, e_q = ???$



$e_d, e_q = ???$

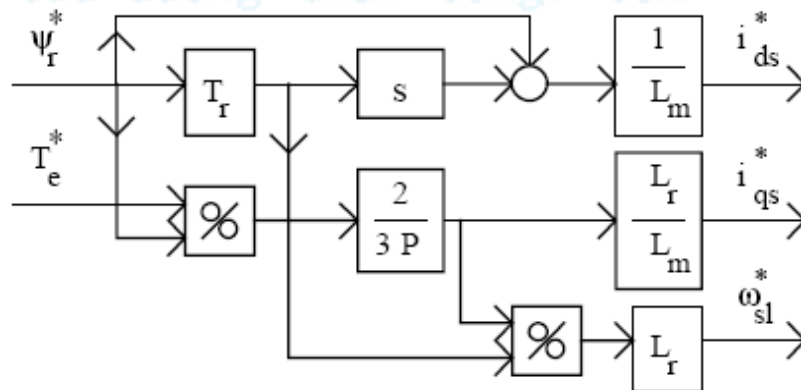


Điều khiển **trực tiếp** từ giá trị đặt - **tiếp áp**:

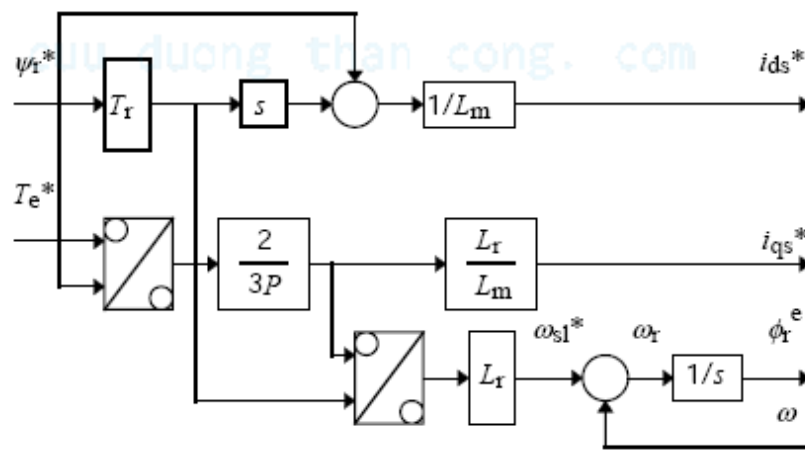


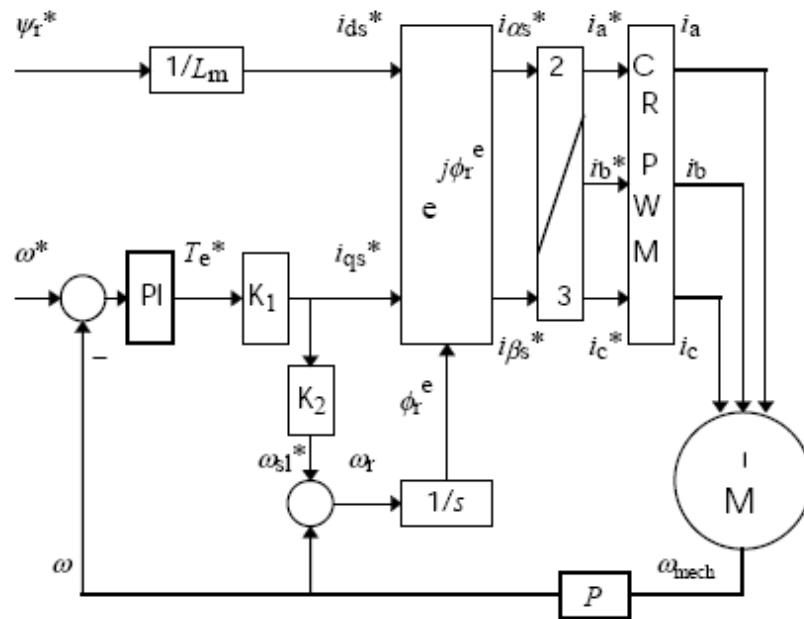
IV.3. Điều khiển gián tiếp

Điều khiển **gián tiếp** từ giá trị đặt - **tiếp dòng**:



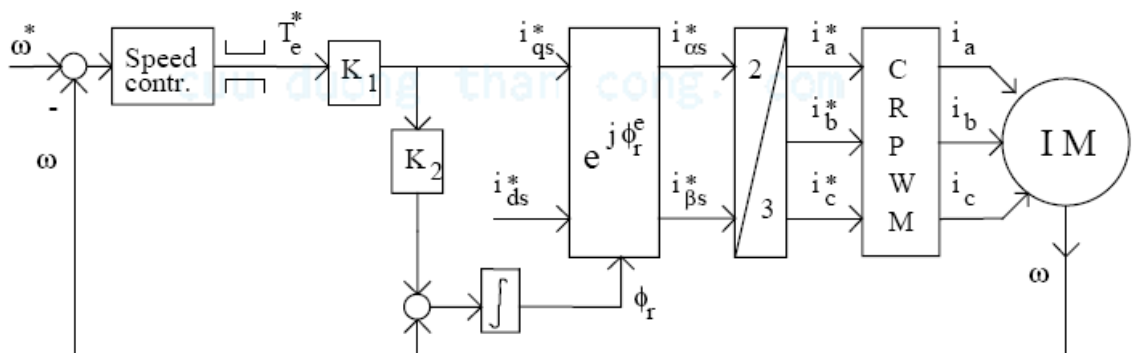
$i_{ds}^*, i_{qs}^*, \omega_{sl} = ???$





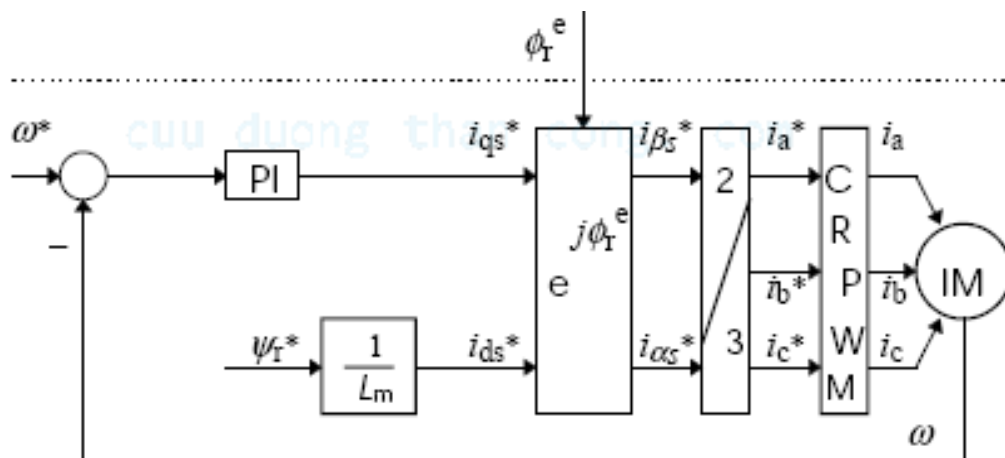
$K_1, K_2 = ???$

$\omega, \omega_{mech} = ???$



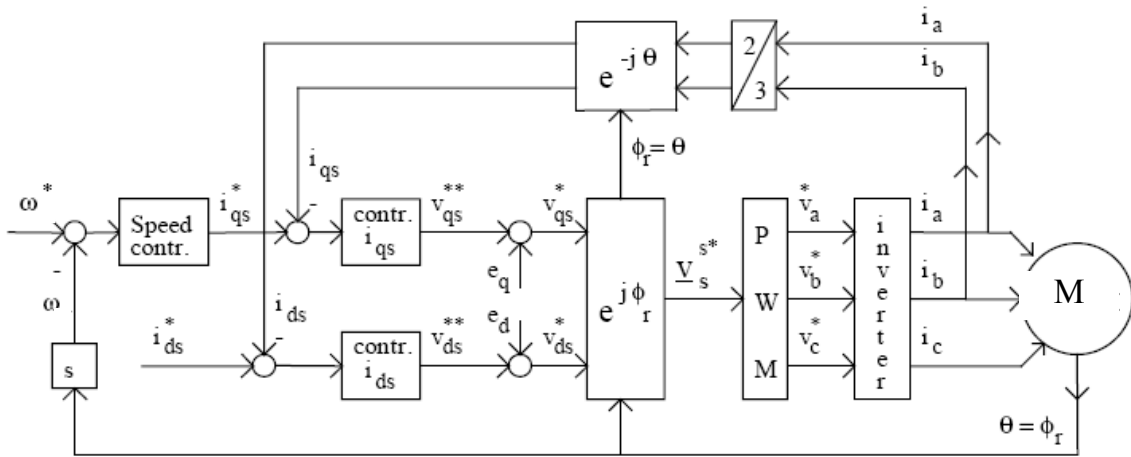
$$K_1 = \frac{2}{3P} \frac{L_r}{L_m^2} \frac{1}{i_{ds}^*}$$

$$K_2 = \frac{1}{T_r i_{ds}^*}$$

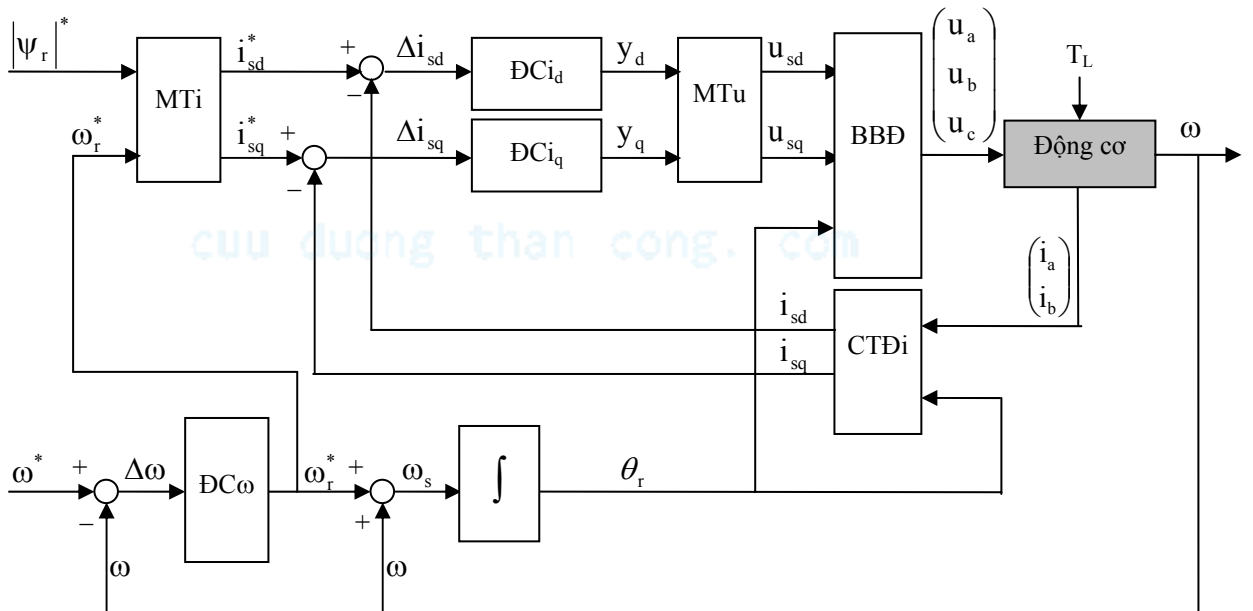


$\phi_r = ???$

IV.4. Điều khiển trực tiếp - tiếp áp



Cấu trúc của hệ thống điều khiển định hướng trường định hướng trường (Field Oriented Control -FOC) trong điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha được trình bày trong hình vẽ sau:



Hình 4.1: Cấu trúc của hệ thống điều khiển ĐCKĐB ba pha dùng FOC

Bằng việc mô tả ĐCKĐB ba pha trên hệ tọa độ từ thông rotor, vector \vec{i}_s sẽ chia thành hai thành phần: i_{sd} để điều khiển từ thông rotor $|\vec{\psi}_r|$, i_{sq} để điều khiển momen quay T_e , từ đó có thể điều khiển tốc độ của động cơ.

$$\begin{cases} i_{sd} \rightarrow |\vec{\psi}_r| \\ i_{sq} \rightarrow T_e \rightarrow \omega \end{cases} \quad (4.1a)$$

$$(4.1b)$$

IV.4.1. Xây dựng thuật toán điều khiển

Giải thuật của từng khối trong hệ thống điều khiển định hướng trường (hình 4.1) được trình bày như sau:

□ **Mạng tính dòng (MTi)**

$$i_{sd}^* = (1 + sT_r) \frac{\Psi_r^*}{L_m} \quad (4.2a)$$

$$i_{sq}^* = \frac{T_r \Psi_r^*}{L_m} \omega_r^* \quad (4.2b)$$

□ **Mạng tính áp (MTu)**

$$u_{sd} = R_s y_d - \frac{L_{\sigma s}}{1 + sT_{\sigma s}} y_q \quad (4.3a)$$

$$u_{sq} = R_s y_q + \frac{L_{\sigma s}}{1 + sT_{\sigma s}} y_d + \frac{L_m}{L_r} \Psi_r^* \quad (4.3b)$$

Trong đó, $T_{\sigma s} = \frac{L_{\sigma s}}{R_s} = \frac{L_s - L_m}{R_s}$

□ **Tính góc θ_r**

$$\theta_r = \frac{\omega_r}{s} \quad (4.4)$$

□ **Chuyển đổi hệ tọa độ dòng điện (CTĐi)**

$$i_{s\alpha} = i_{sa} \quad (4.5a)$$

$$i_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}} (i_{sa} + 2i_{sb}) \quad (4.5b)$$

$$i_{sd} = i_{s\alpha} \cos\theta_r + i_{s\beta} \sin\theta_r \quad (4.6a)$$

$$i_{sq} = -i_{s\alpha} \sin\theta_r + i_{s\beta} \cos\theta_r \quad (4.6b)$$

□ **Bộ biến đổi (BBĐ)**

○ **Chuyển đổi hệ tọa độ dòng điện (CTĐi)**

$$u_{s\alpha} = u_{sd} \cos\theta_r - u_{sq} \sin\theta_r \quad (4.7a)$$

$$u_{s\beta} = u_{sd} \sin\theta_r + u_{sq} \cos\theta_r \quad (4.7b)$$

○ **Bộ biến đổi điện áp (bộ điều chế vector không gian)**

$$u_{sa} = u_{s\alpha} \quad (4.8a)$$

$$u_{sb} = -\frac{1}{2} u_{s\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2} u_{s\beta} \quad (4.8b)$$

$$u_{sc} = -u_{sa} - u_{sb} \quad (4.8c)$$

□ **Khâu điều chế tốc độ quay (ĐC ω)**

Là khâu hiệu chỉnh PI:

$$\omega_r^* = \left(K_{P\omega} + \frac{K_{I\omega}}{s} \right) (\omega^* - \omega) \quad (4.9)$$

□ Các khâu điều chế dòng (DCi_d và DCi_q)

○ Khâu điều chế dòng i_{sd} (DCi_d)

$$y_d = \left(K_{pd} + \frac{K_{ld}}{s} \right) \Delta i_{sd} \tag{4.10}$$

○ Khâu điều chế dòng i_{sq} (DCi_q)

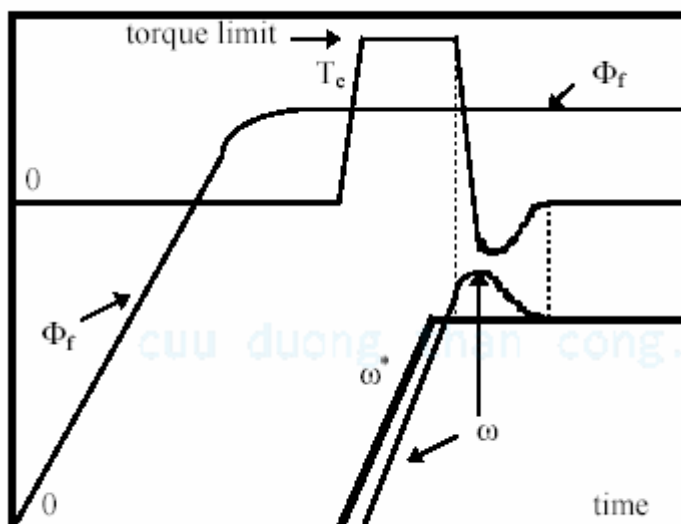
$$y_q = \left(K_{pq} + \frac{K_{lq}}{s} \right) \Delta i_{sq} \tag{4.11}$$

Chú ý: Xét trong hệ tọa độ từ thông rotor nên $\Psi_{rq} = 0$, $|\Psi_r| = \Psi_{rd}$ (4.12)

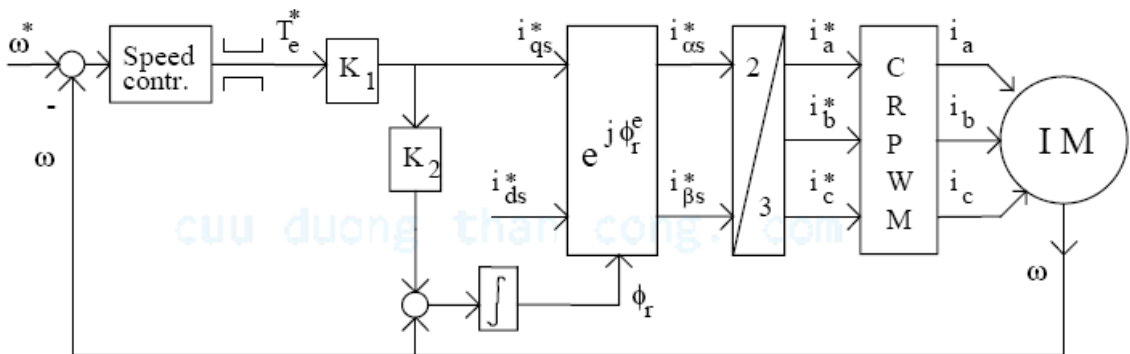
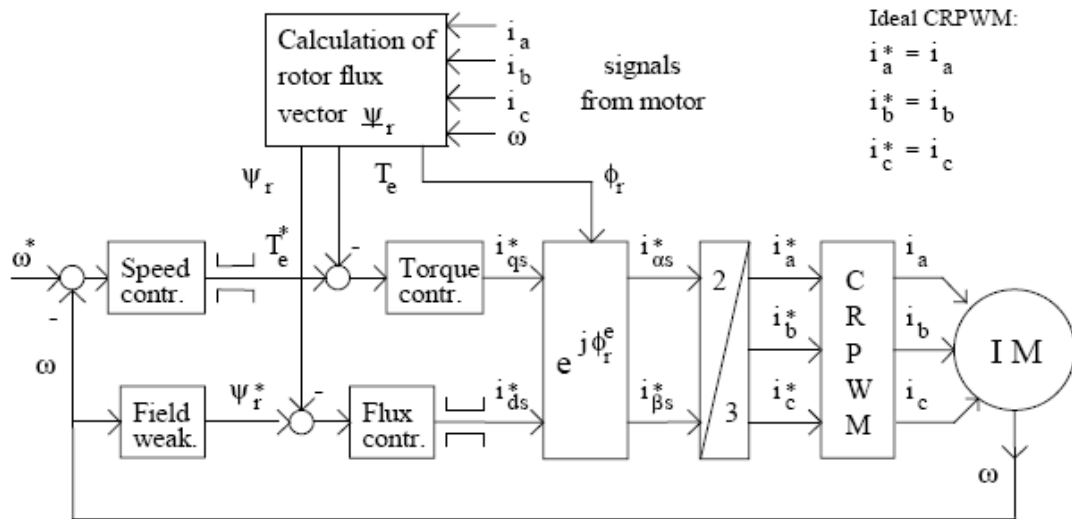
- Các thông số K_p và K_i trong các bộ điều khiển PI được hiệu chỉnh sao cho hệ thống đạt tới đáp ứng tốt nhất.

IV.4.2. Đánh giá đáp ứng của thuật toán điều khiển FOC

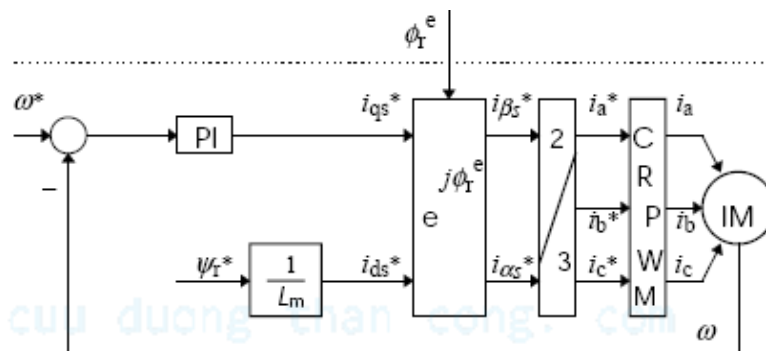
- Hệ thống ổn định.
- Sai số xác lập của tốc độ nhỏ, sai số xác lập của từ thông rotor lớn.
- Thời gian đáp ứng của hệ thống tương đối nhanh.
- Momen tải không tác động nhiều đến đáp ứng của tốc độ, và đáp ứng của từ thông rotor.
- Chất lượng đáp ứng suy giảm khi bị nhiễu tác động lên tín hiệu hồi tiếp.
- Hệ thống dễ mất ổn định khi có sai số mô hình hay bị tác động của nhiễu.
- Dòng điện khởi động lớn so với dòng điện làm việc; dòng khởi động tăng lên khi có sai số mô hình.



V. Tính toán thiết kế hệ thống điều khiển gián tiếp ĐCKĐB theo phương pháp định hướng từ thông rotor



$$K_1 = \frac{2}{3P} \frac{L_r}{L_m^2} \frac{1}{i_{ds}^*} \quad K_2 = \frac{1}{T_r i_{ds}^*}$$



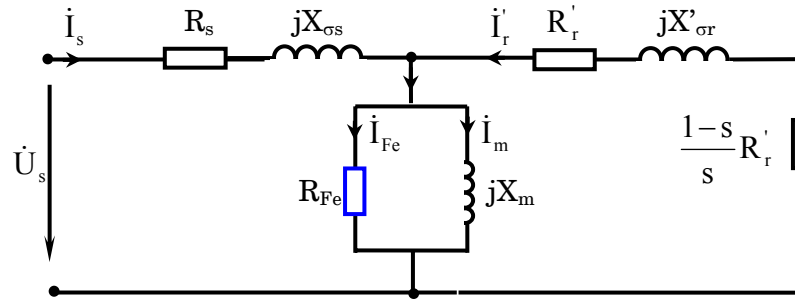
a three-phase four-pole star connected
at 50 Hz

$$R_s = 10 \Omega \quad R_r = 6.3 \Omega \quad X_{\gamma s} = 13.5 \Omega \quad X_{\gamma r} = 12.6 \Omega \quad X_m = 132 \Omega.$$

Rated current and voltage equal 2.1 A and 380 V

The rated torque and inertia of the machine are 5.07 Nm and 0.1 kgm²

Tính I_{sd} , I_{sq} , ω_{sl} , Ψ_r , n_r ?



Mạch tương đương động cơ KĐB với tổn hao sắt từ

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} \qquad L_{\sigma s} = \frac{X_{\sigma s}}{2\pi f} \qquad L_s = L_m + L_{\sigma s} \qquad T_s = \frac{L_s}{R_r}$$

$$L_{\sigma r} = \frac{X_{\sigma r}}{2\pi f} \qquad L_r = L_m + L_{\sigma r} \qquad T_r = \frac{L_r}{R_r}$$

$$\psi_{rd} = \frac{L_m i_{sd}}{1 + T_r s} \qquad \text{Từ thông không đổi,} \qquad \Rightarrow \qquad \Psi_r = L_m i_{ds}$$

$$i_{sq} = \frac{2 L_r T_e}{3P L_m \psi_r} = \frac{2 L_r T_e}{3P L_m L_m i_{sd}} \qquad \Rightarrow \qquad i_{sq} i_{sd} = \frac{2 L_r T_e}{3P L_m^2}$$

$$\text{Mà} \qquad i_s = \sqrt{i_{sq}^2 + i_{ds}^2} = \sqrt{2} I_s$$

Khi biết momen điện T_e và dòng điện I_s ,

Từ 2 phương trình trên tính được i_{sd} và i_{sq} và Ψ_r .

Chú ý: khi động cơ vận hành ở định mức, thì i_{sd} thường nhỏ hơn i_{sq} .

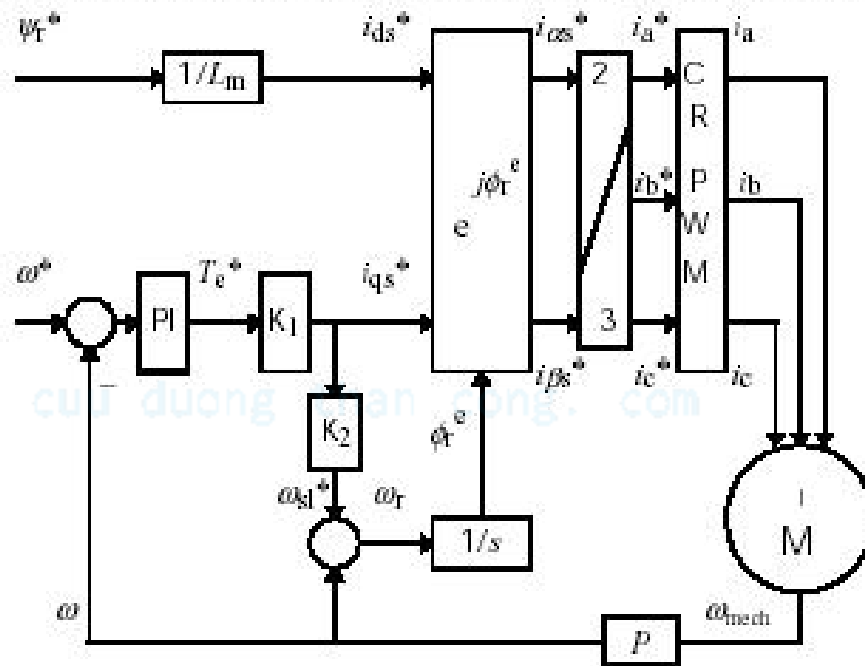
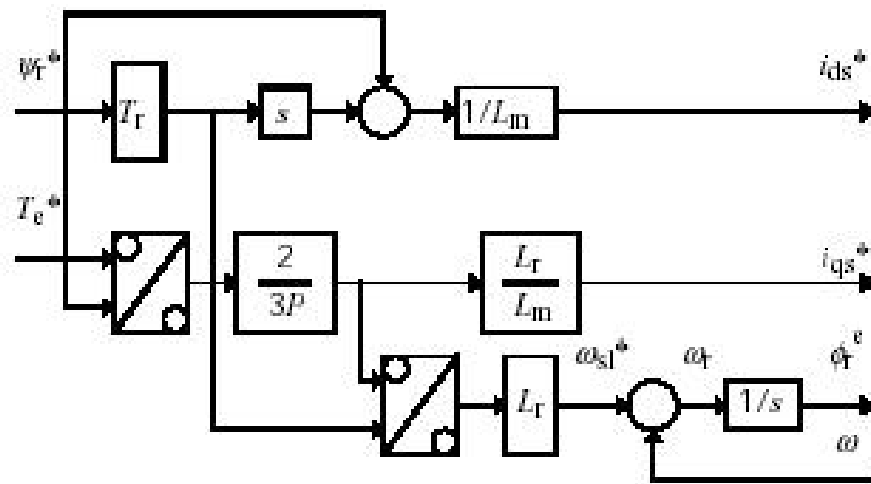
Thông thường i_{sd} bằng 20-40% I_s định mức.

Và tính được $\omega_{sl} = \frac{L_m i_{qs}}{T_r \Psi_r}$.

Từ đó tính được tốc độ góc trượt cơ: $\Omega_{sl} = \omega_{sl_co} = \frac{\omega_{sl}}{p}$ và tính được tốc độ động cơ.

$$i_{sd} = \frac{\psi_{rd} + \psi_{rd} T_r s}{L_m} \qquad i_{sq} = \frac{3 L_m T_e}{2p L_r \psi_r} \qquad \omega_{sl} = \frac{L_m i_{qs}}{T_r \Psi_r} L_r$$

cuu duong than cong. com



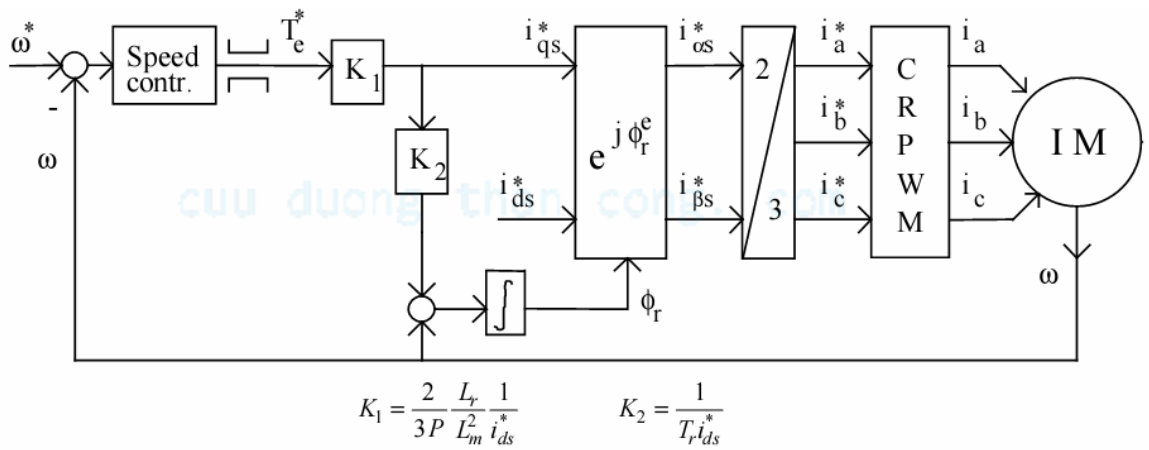
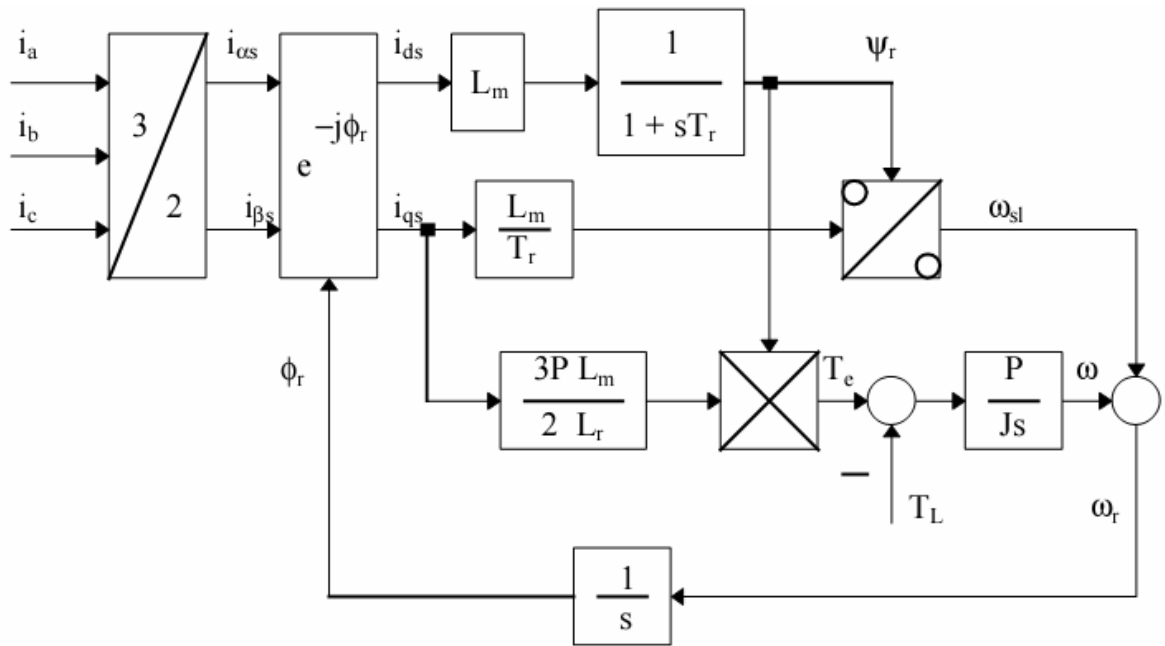
Từ thông không đổi:

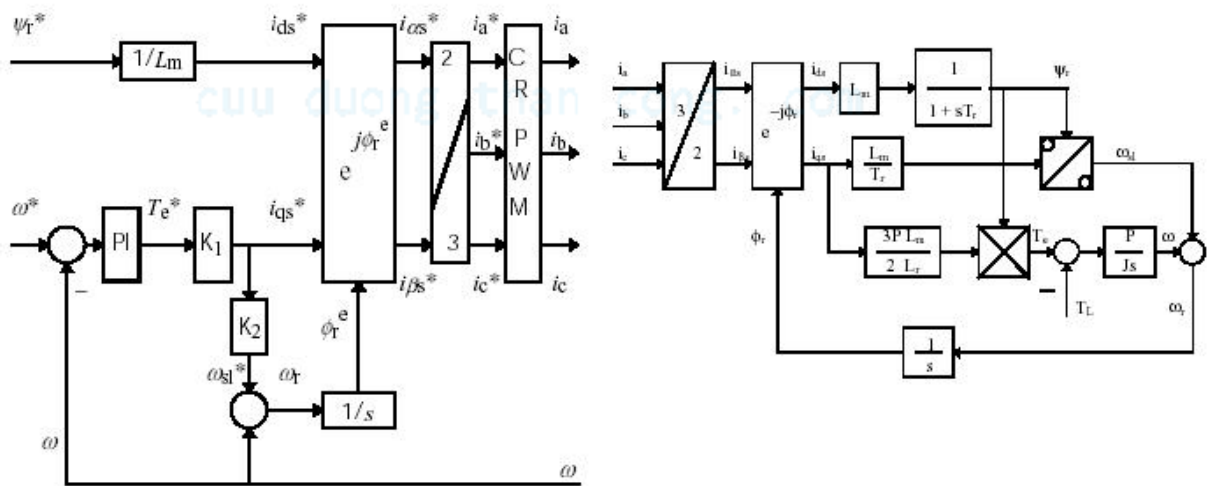
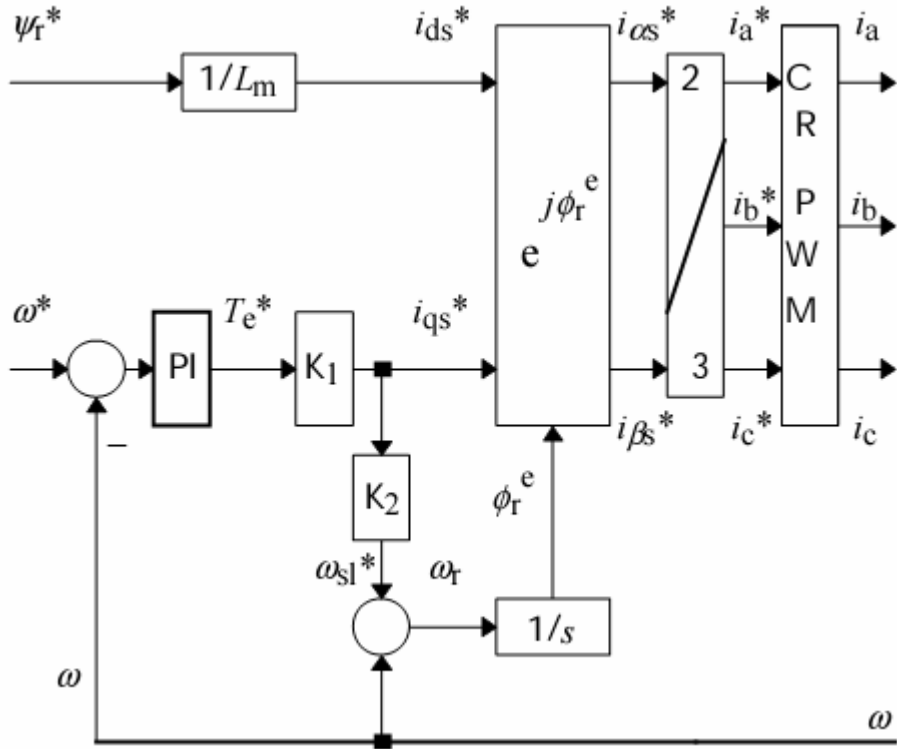
$$\Psi_r^* = L_m i_{ds}^*$$

$$i_{qs}^* = K_1 T_e^* \Rightarrow K_1 = \frac{i_{qs}^*}{T_e^*} = \frac{2}{3p} \frac{L_r}{L_m^2} \frac{1}{i_{ds}^*}$$

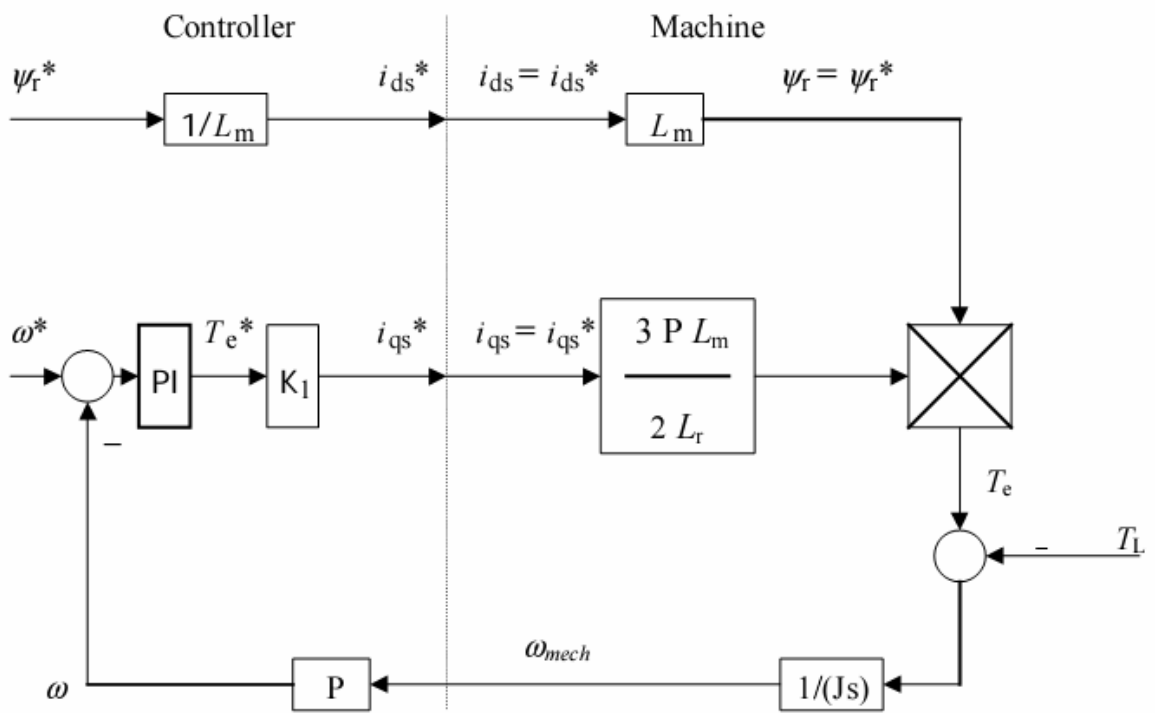
$$\omega_{sl}^* = K_2 i_{qs}^* \Rightarrow K_2 = \frac{\omega_{sl}^*}{i_{qs}^*} = \frac{L_m}{T_r \Psi_r^*} = \frac{L_m}{T_r i_{ds}^*}$$

$$\text{vì } L_m i_{qs}^* = T_r \Psi_r^* \omega_{sl}^*$$

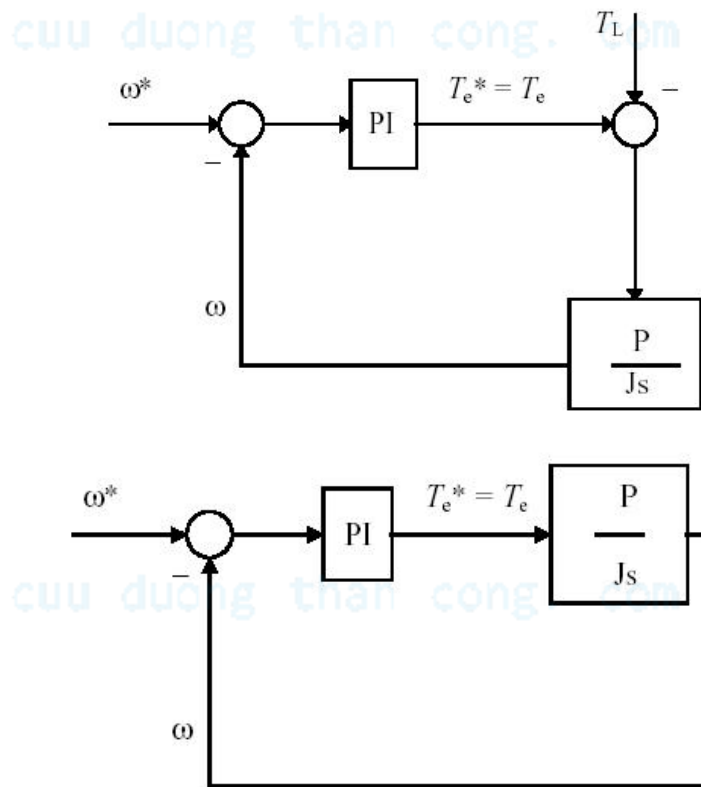


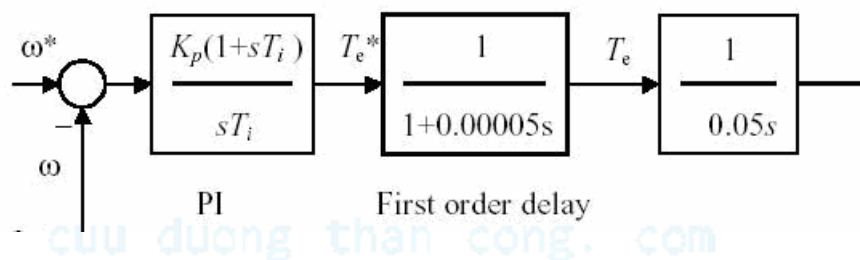
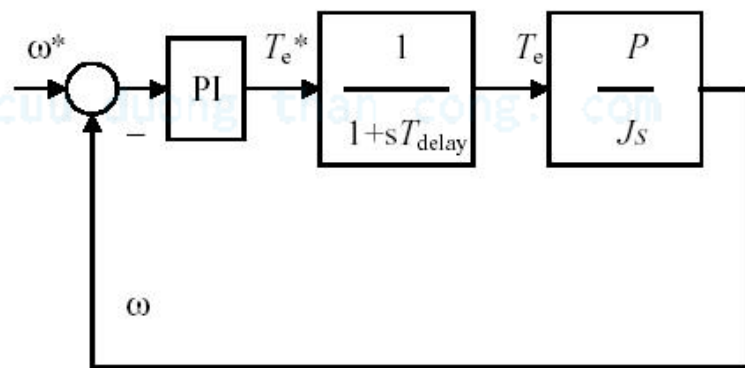
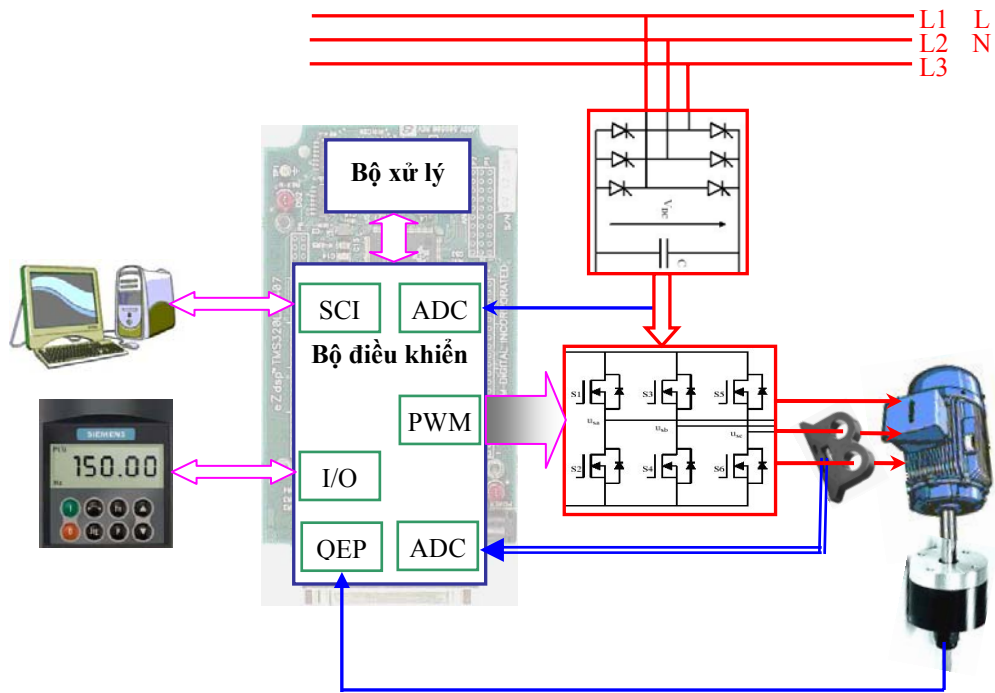


cuu duong than cong. com



Chú ý: $\omega_{sl n(mech)} = \omega_{sl n} / P$





$$G(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} \right) = \frac{K_p(1+sT_i)}{sT_i}$$

Với

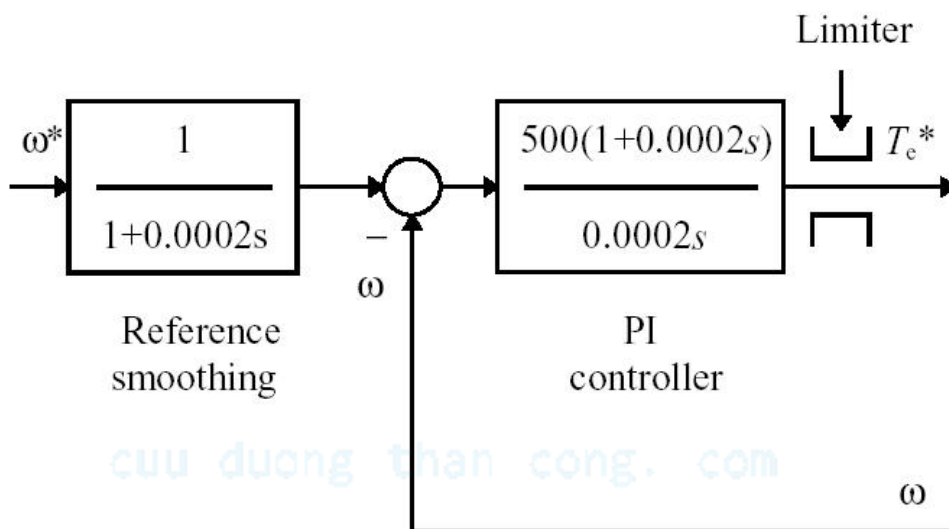
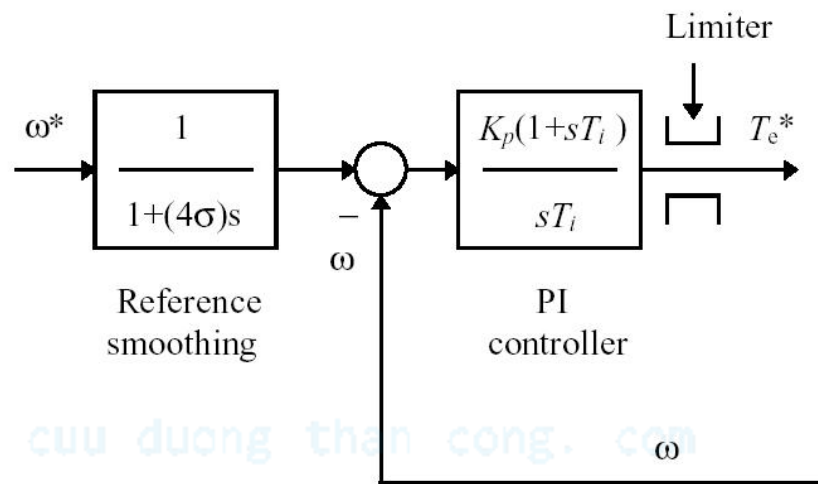
$$K_p = T_{dom} / 2\sigma$$

$$T_i = 4\sigma$$

Với $T_{dom} = J/P$ và $\sigma = T_{delay} =$ chu kỳ xử lý (\geq tổng thời gian trễ).

Thêm khâu smooth:

$$G_{smooth}(s) = \frac{1}{1+(4\sigma)s}$$



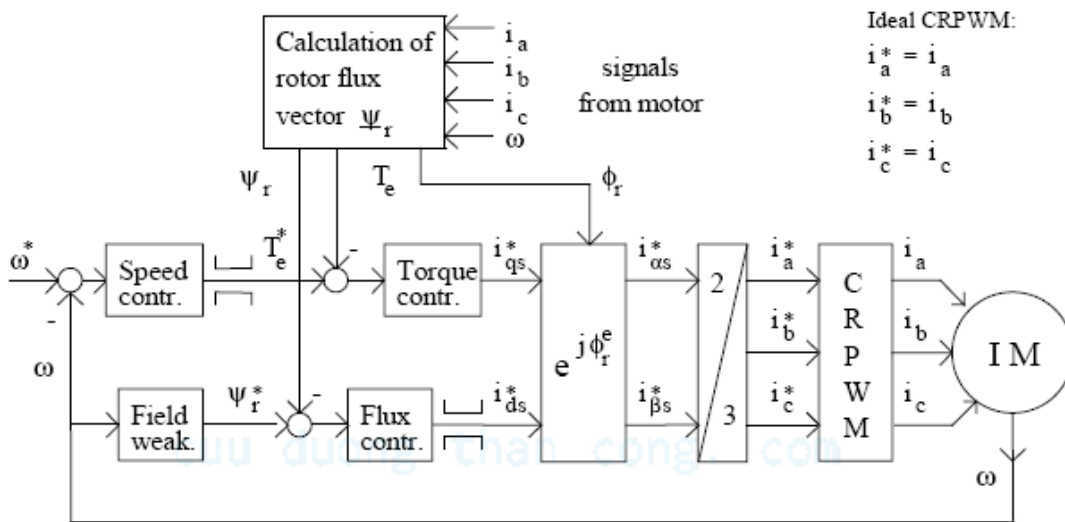
Ví dụ:

Calculation of all the necessary values, required for indirect rotor flux oriented control, will be illustrated using an example. Consider a three-phase four-pole star connected squirrel-cage induction machine, whose parameters at 50 Hz are

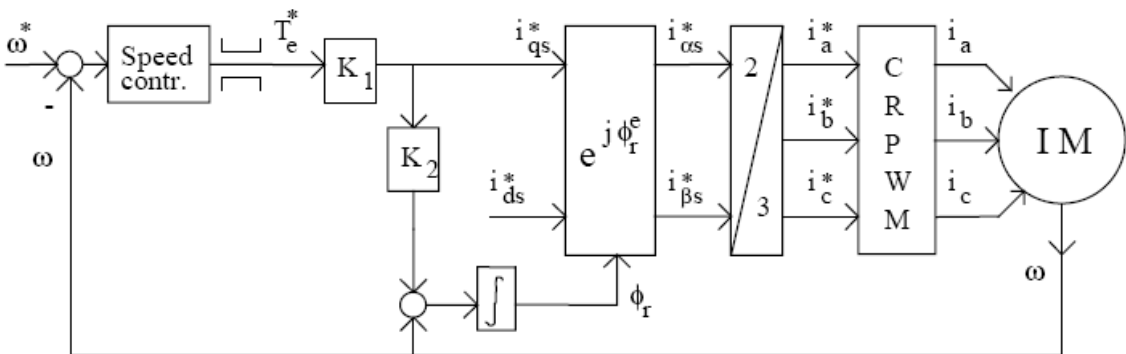
$$R_s = 10 \Omega \quad R_r = 6.3 \Omega \quad X_p = 13.5 \Omega \quad X_p' = 12.6 \Omega \quad X_m = 132 \Omega.$$

Rated current and voltage equal 2.1 A and 380 V. The machine is to be operated as an indirect rotor flux oriented current-fed induction machine. Current control is performed with phase current controllers so that actual and reference phase currents can be assumed to be the same for the purpose of calculation. The speed is to be controlled from zero up to its rated value, using a constant, rated value of rotor flux. The rated torque and inertia of the machine are 5.07 Nm and 0.1 kgm², respectively.

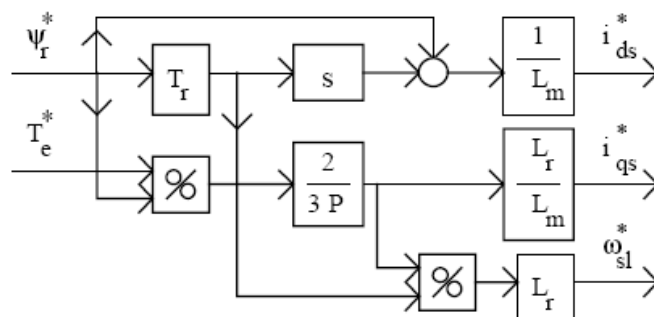
Điều khiển trực tiếp từ giá trị hồi tiếp:



Điều khiển gián tiếp từ giá trị đặt:



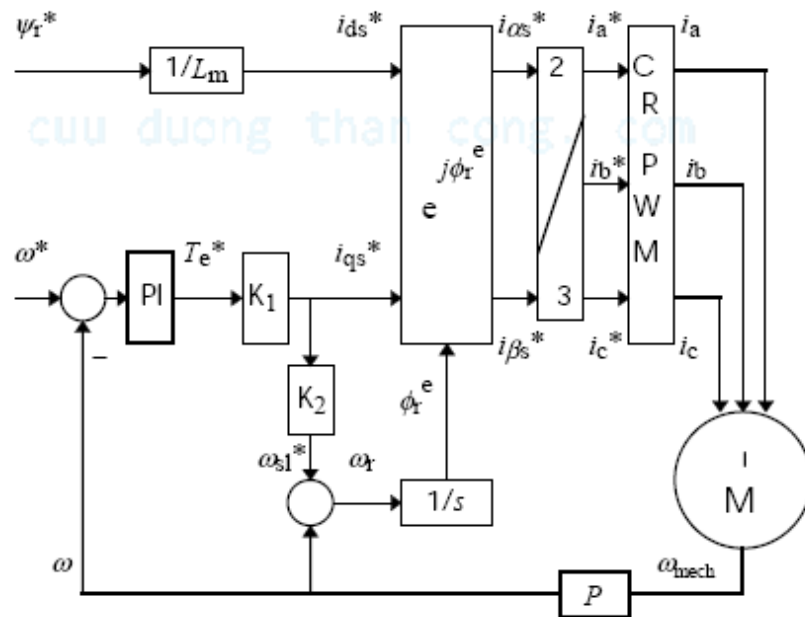
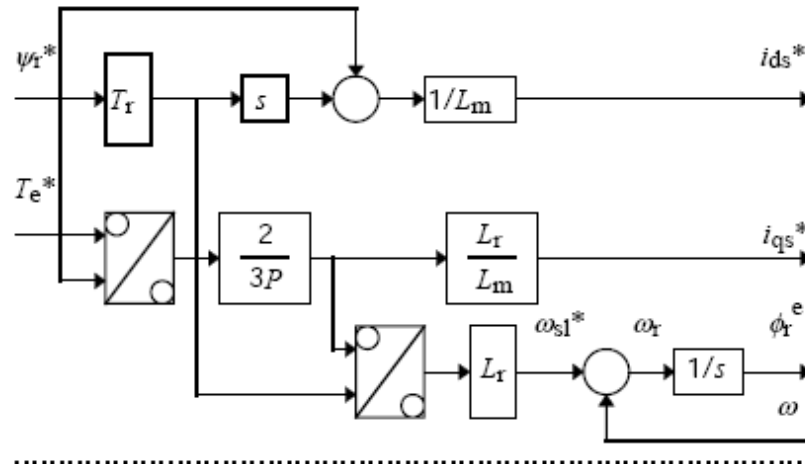
$$K_1 = \frac{2}{3P} \frac{L_r}{L_m^2} \frac{1}{i_{ds}^*} \quad K_2 = \frac{1}{T_r i_{ds}^*}$$



Tính tất cả các giá trị cần thiết để điều khiển gián tiếp từ thông rotor, được minh họa trong ví dụ này. Động cơ KĐB 3 pha 4 cực, nối Y, rotor lồng sóc, các thông số ở 50Hz là:

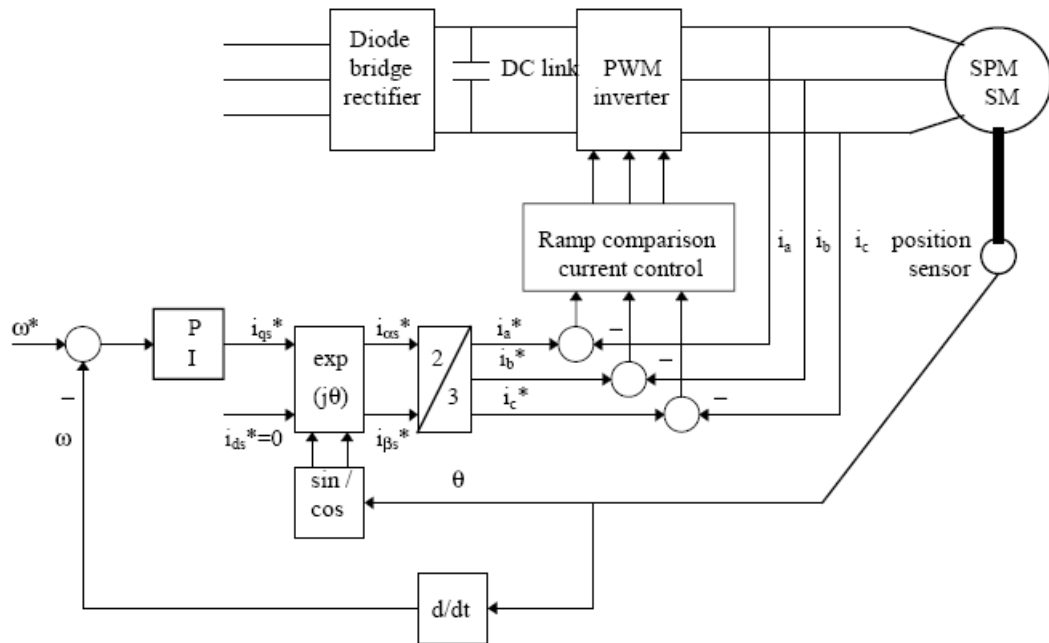
$$R_s = 10 \Omega \quad R_r = 6.3 \Omega \quad X_{\sigma} = 13.5 \Omega \quad X_{\sigma r} = 12.6 \Omega \quad X_m = 132 \Omega.$$

Dòng điện định mức là 2.1A ở 380V. Điều khiển gián tiếp định hướng từ thông rotor (FOC) động cơ KĐB trên.



$$K_1 = \frac{2}{3P} \frac{L_r}{L_m^2} \frac{1}{i_{ds}^*} \quad K_2 = \frac{1}{T_r i_{ds}^*}$$

Bộ điều khiển dòng cần tính toán từ giá trị dòng điện đo về và giá trị dòng điện đặt. Tốc độ động cơ được điều khiển từ 0 đến tốc độ định mức. Từ thông không đổi và bằng giá trị từ thông định mức. Moment định mức là 5.07Nm và moment quán tính là 0.1 kgm². Vì vậy cần tính dòng điện định mức i_{sdn} , i_{sqn} từ moment định mức T_{en} , tính từ thông định mức Ψ_{rn} và tính vận tốc góc định mức ω_{sln} ?
(Chú ý, khi vận hành ở công suất định mức: $i_{sdn} < i_{sqn}$)

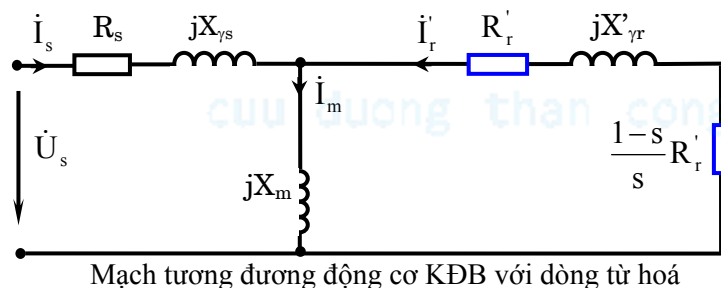
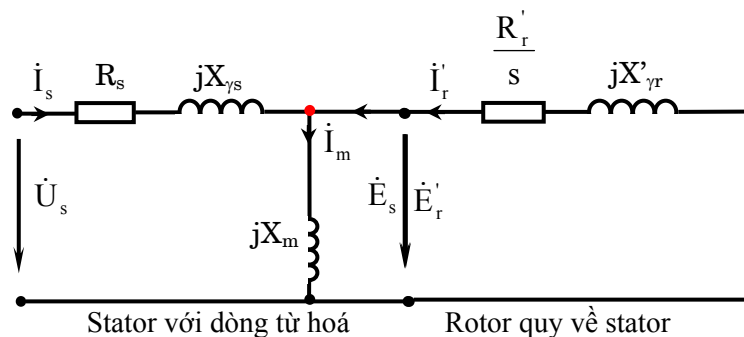


Bài tập:

Một động cơ không đồng bộ có các thông số (tất cả quy về stator) như sau:

$$R_s = 10 \Omega \quad R_r = 6.3 \Omega \quad L_{\gamma s} = L_{\gamma r} = 0.04 \text{ H} \quad L_m = 0.4 \text{ H}$$

Động cơ 3 pha, 4 cực, cuộn dây stator nối Y, 50Hz, 380V, 1400rpm. Tính dòng điện định mức i_{sdn} , i_{sqn} , từ thông định mức Ψ_{rn} và dòng điện định mức I_{sn} ? Tính K_1 , K_2 , K_p , T_i ? Biết chu kỳ xử lý của bộ điều khiển là $20\mu s$, moment quán tính của động cơ là 0.5 kgm^2 .



$$i_{sn} = \sqrt{i_{dsn}^2 + i_{qsn}^2}$$

$$T_{en} = \frac{3}{2} P \frac{L_m}{L_r} \Psi_r i_{qsn} = \frac{3}{2} P \frac{L_m^2}{L_r} i_{dsn} i_{qsn}$$

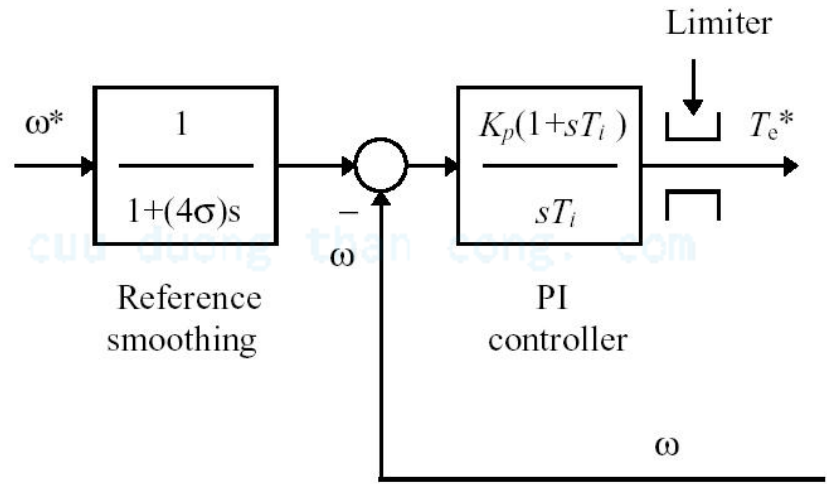
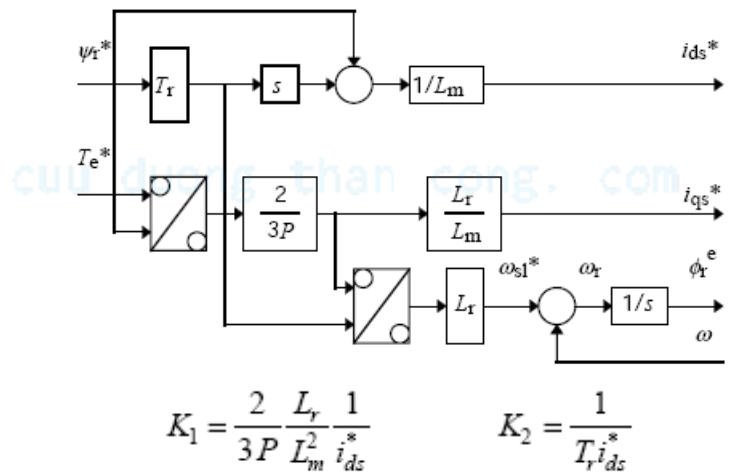
$$i_{qs}^* = K_1 T_e^* \Rightarrow K_1 = \frac{i_{qs}^*}{T_e^*} = \frac{2}{3p} \frac{L_r}{L_m^2} \frac{1}{i_{ds}^*}$$

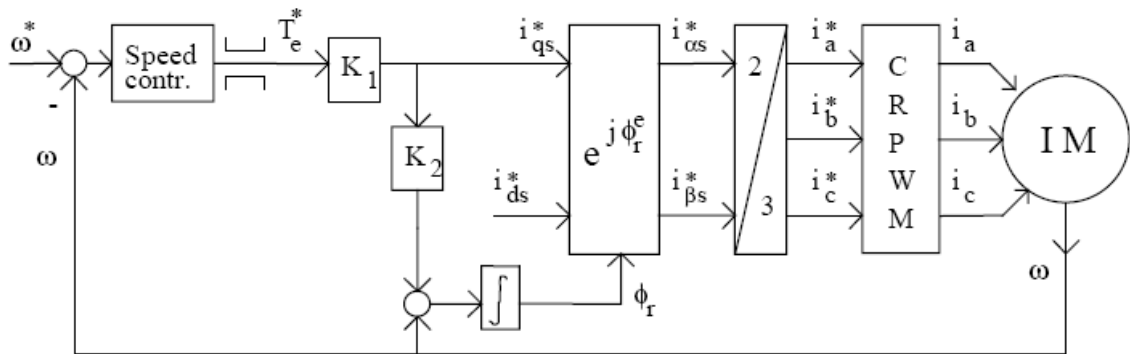
$$\omega_{sl}^* = K_2 i_{qs}^* \Rightarrow K_2 = \frac{\omega_{sl}^*}{i_{qs}^*} = \frac{L_m}{T_r \Psi_r^*} = \frac{L_m}{T_r i_{ds}^*} \quad \text{vì } L_m i_{qs}^* = T_r \Psi_r^* \omega_{sl}^*$$

$$K_p = T_{dom} / 2\sigma$$

$$T_i = 4\sigma$$

Với $T_{dom} = J/P$ và $\sigma = T_{delay} =$ chu kỳ xử lý (\geq tổng thời gian trễ).





Dòng stator: $i_{sn} = 3.549093$

Momen điện từ: $T_e = 6.401969$

$i_{sn} = 3.549093$ A

$T_e = 6.401969$ Nm

$i_{sn} = 3.549093$ A

$i_{sdn} = 1.984$

$i_{sqn} = 2,941$

$K_1 = 0.462$

$K_2 = 2.888$

$K_p = 6.25 \cdot 10^3$

$T_i = 0.00008$

cuu duong than cong. com