

扩展为 IPM 电机

在定子 $\alpha - \beta$ 坐标系中, IPM 动态方程为

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s + pL_\alpha & pL_{\alpha\beta} \\ pL_{\alpha\beta} & r_s + pL_\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} + \omega\psi_m \begin{bmatrix} -\sin\theta \\ \cos\theta \end{bmatrix} \quad (16)$$

其中

$$\begin{aligned} L_\alpha &= L_0 + L_1 \cos(2\theta) \\ L_\beta &= L_0 - L_1 \cos(2\theta) \\ L_{\alpha\beta} &= L_1 \sin(2\theta) \\ L_0 &= \frac{L_d + L_q}{2} \\ L_1 &= \frac{L_d - L_q}{2} \end{aligned}$$

状态变量定义为

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} L_\alpha & L_{\alpha\beta} \\ L_{\alpha\beta} & L_\beta \end{bmatrix} \vec{i}_{\alpha\beta} + \psi_m \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix}$$

则

$$p\vec{x} = \begin{bmatrix} L_\alpha & L_{\alpha\beta} \\ L_{\alpha\beta} & L_\beta \end{bmatrix} p\vec{i}_{\alpha\beta} + \omega\psi_m \begin{bmatrix} -\sin\theta \\ \cos\theta \end{bmatrix} + 2\omega L_1 \begin{bmatrix} -\sin(2\theta) & \cos(2\theta) \\ \cos(2\theta) & \sin(2\theta) \end{bmatrix} \vec{i}_{\alpha\beta}$$

令

$$\begin{aligned} \vec{y} &= -R_s \vec{i}_{\alpha\beta} + \vec{v}_{\alpha\beta} + 2\omega L_1 \begin{bmatrix} -\sin 2\theta & \cos 2\theta \\ \cos 2\theta & \sin 2\theta \end{bmatrix} \vec{i}_{\alpha\beta} \\ &= \begin{bmatrix} L_\alpha & L_\beta \\ L_{\alpha\beta} & L_\beta \end{bmatrix} p\vec{i}_{\alpha\beta} + \omega\psi_m \begin{bmatrix} -\sin\theta \\ \cos\theta \end{bmatrix} + 2\omega L_1 \begin{bmatrix} -\sin 2\theta & \cos 2\theta \\ \cos 2\theta & \sin 2\theta \end{bmatrix} \vec{i}_{\alpha\beta} \\ &= p\vec{x} \end{aligned}$$

构造非线性观测器

$$\vec{\eta}(x) = \vec{x} - \begin{bmatrix} L_\alpha & L_{\alpha\beta} \\ L_{\alpha\beta} & L_\beta \end{bmatrix} \vec{i}_{\alpha\beta} \quad (17)$$

后面观察器公式参考式 (7), (8).