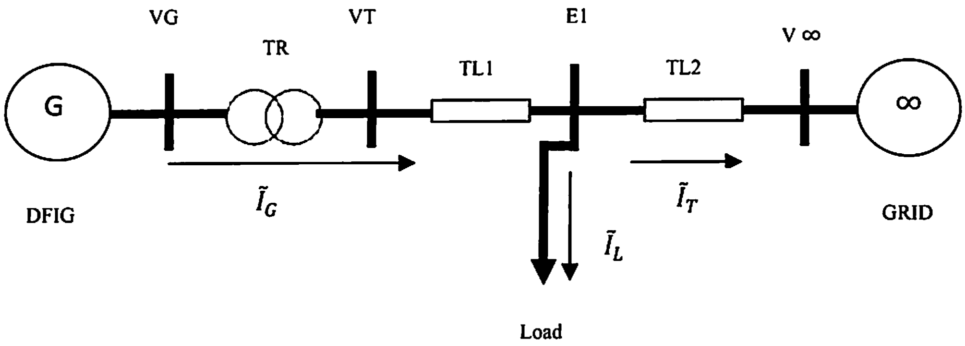
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณแบบจำลองพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมชนิดเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทางร่วมกับสายส่งกำลังไฟฟ้า

ภาคผนวก ก.

การคำนวณแบบจำลองพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมชนิดเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทางร่วมกับสายส่งกำลังไฟฟ้า



ภาพประกอบที่ ก.1 แบบจำลองที่ใช้ทดสอบเมื่อระยะทางสายส่งกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง

$$I_G = \frac{\tilde{V}_G - \tilde{E}_1}{R_{t1} + jX_{t1}} \qquad (ก.1)$$

โดยที่

$$\tilde{V}_G = V_{QS} + jV_{DS}$$

$$\tilde{I}_G = I_{QS} + jI_{DS} \qquad (ก.3)$$

$$\tilde{E}_1 = E_{1Q} + jE_{1D} \qquad (ก.4)$$

นำสมการที่ (ก.2), (ก.3), (ก.4) แทนในสมการที่ (ก.1) จะได้สมการที่ (ก.5) ดังนี้

$$(I_{QS} + jI_{DS}) = \frac{(V_{QS} + jV_{DS}) - (E_{1Q} + jE_{1D})}{R_{t1} + jX_{t1}} \qquad (ก.5)$$

จัดสมการใหม่ จะได้ $E_{1Q} + jE_{1D}$ ตามสมการที่ (ก.6) ดังนี้

$$E_{1Q} + jE_{1D} = (V_{QS} + jV_{DS}) - (I_{QS} + jI_{DS})(R_{t1} + jX_{t1}) \qquad (ก.6)$$

หา $\tilde{I}_G$ จากการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ตามสมการที่ (ก.7) ดังนี้

$$\tilde{I}_G = \tilde{I}_T + \tilde{I}_L \quad \text{(ก.7)}$$

โดยที่

$$\tilde{I}_T = \frac{\tilde{E}_1 - \tilde{V}_{\infty Q}}{R_{t2} + jX_{t2}} \quad \text{(ก.8)}$$

$$\tilde{I}_L = \frac{\tilde{E}_1}{Z_L} \quad \text{(ก.9)}$$

นำสมการที่ (ก.8) และ (ก.9) แทนในสมการที่ (ก.7) จะได้สมการที่ (ก.10) ดังนี้

$$\left(I_{QS} + jI_{DS}\right) = \frac{\left(E_{1Q} + jE_{1D}\right) - V_{\infty Q}}{R_{t2} + jX_{t2}} + \frac{E_{1Q} + jE_{1D}}{Z_L} \quad \text{(ก.10)}$$

จัดสมการใหม่ จะได้ $E_{1Q} + jE_{1D}$ ตามสมการที่ (ก.11) ดังนี้

$$E_{1Q} + jE_{1D} = \frac{\left[\left(I_{QS} + jI_{DS}\right) + \frac{V_{\infty Q}}{R_{t2} + jX_{t2}}\right]}{\left(\frac{1}{R_{t2} + jX_{t2}} + \frac{1}{Z_L}\right)} \quad \text{(ก.11)}$$

นำสมการที่ (ก.6) แทน $E_{1Q} + jE_{1D}$ ในสมการที่ (ก.11) จะได้สมการที่ (ก.12) ดังนี้

$$\left(V_{QS} + jV_{DS}\right) - \left(I_{QS} + jI_{DS}\right)\left(R_{t1} + jX_{t1}\right) = \frac{\left[\left(I_{QS} + jI_{DS}\right) + \frac{V_{\infty Q}}{R_{t2} + jX_{t2}}\right]}{\left(\frac{1}{R_{t2} + jX_{t2}} + \frac{1}{Z_L}\right)} \quad \text{(ก.12)}$$

จัดสมการใหม่ จะได้ $V_{QS} + jV_{DS}$ ตามสมการที่ (ก.13) ดังนี้

$$\left(V_{QS} + jV_{DS}\right) = \frac{\left[\left(I_{QS} + jI_{DS}\right) + \frac{V_{\infty Q}}{R_{t2} + jX_{t2}}\right]}{\left(\frac{1}{R_{t2} + jX_{t2}} + \frac{1}{Z_L}\right)} + \left(I_{QS} + jI_{DS}\right)\left(R_{t1} + jX_{t1}\right) \quad \text{(ก.13)}$$

กำหนดให้

$$\left(V_{QS} + jV_{DS}\right) = H1 + H2 \tag{ก.14}$$

$$H1 = \frac{\left[\left(I_{QS} + jI_{DS}\right) + \frac{V_{\infty Q}}{R_{t2} + jX_{t2}}\right]}{\left(\frac{1}{R_{t2} + jX_{t2}} + \frac{1}{Z_L}\right)} \tag{ก.15}$$

$$H2 = \left(I_{QS} + jI_{DS}\right)\left(R_{t1} + jX_{t1}\right) \tag{ก.16}$$

จัดสมการที่ (ก.15) ใหม่ จะได้สมการที่ (ก.17) ดังนี้

$$H1 = \frac{\left[R_L(R_L + R_{t2})\left(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}\right) - X_L(R_L + R_{t2})\left(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}\right) + R_L(X_L + X_{t2})\left(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}\right) + X_L(X_L + X_{t2})\left(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}\right)\right]}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2}$$

$$+ \frac{j\left[(R_L + R_{t2})R_L\left(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}\right) + X_L(R_L + R_{t2})\left(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}\right) - (X_L + X_{t2})R_L\left(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}\right) + X_L(X_L + X_{t2})\left(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}\right)\right]}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} \quad \text{(ก.17)}$$

จัดสมการที่ (ก.16) ใหม่ จะได้สมการที่ (ก.18) ดังนี้

$$H2 = \left(R_{t1}I_{QS} - X_{t1}I_{DS}\right) + j\left(R_{t1}I_{DS} + X_{t1}I_{QS}\right) \quad \text{(ก.18)}$$

นำ $H1$ ในสมการที่ (ก.17) และ $H2$ ในสมการที่ (ก.18) แทนลงในสมการที่ (ก.14) จะได้ $V_{QS} + jV_{DS}$ ตามสมการที่ (ก.19) ดังนี้

$V_{QS} + jV_{DS}$

$$= \left\{\frac{\left[R_L(R_L + R_{t2})\left(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}\right) - X_L(R_L + R_{t2})\left(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}\right) + R_L(X_L + X_{t2})\left(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}\right) + X_L(X_L + X_{t2})\left(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}\right)\right]}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + \left(R_{t1}I_{QS} - X_{t1}I_{DS}\right)\right\}$$

$$+j\left\{\frac{\left[(R_L + R_{t2})R_L\left(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}\right) + X_L(R_L + R_{t2})\left(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}\right) - (X_L + X_{t2})R_L\left(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}\right) + X_L(X_L + X_{t2})\left(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}\right)\right]}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + \left(R_{t1}I_{DS} + X_{t1}I_{QS}\right)\right\} \quad \text{(ก.19)}$$

จากสมการที่ (ก.19) จะได้ V_{QS} และ V_{DS} ตามสมการที่ (ก.20) และ(ก.21) ดังนี้

$$V_{QS} = \left\{ \frac{\left[R_L(R_L + R_{t2})(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}) - X_L(R_L + R_{t2})(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}) + R_L(X_L + X_{t2})(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}) + X_L(X_L + X_{t2})(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q})\right]}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + (R_{t1}I_{QS} - X_{t1}I_{DS}) \right\} \quad (ก.20)$$

$$V_{DS} = \left\{ \frac{\left[(R_L + R_{t2})R_L(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS}) + X_L(R_L + R_{t2})(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}) - (X_L + X_{t2})R_L(R_{t2}I_{QS} - X_{t2}I_{DS} + V_{\infty Q}) + X_L(X_L + X_{t2})(I_{DS}R_{t2} + X_{t2}I_{QS})\right]}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + (R_{t1}I_{DS} + X_{t1}I_{QS}) \right\} \quad (ก.21)$$

แยก I_{QS} และ I_{DS} ในสมการที่ (ก.20) และ(ก.21) จะได้สมการที่ (ก.22) และ(ก.23) ดังนี้

$$V_{QS} = \left[\frac{(R_L{}^2R_{t2} + R_LR_{t2}{}^2) - (R_LX_LX_{t2} + R_{t2}X_LX_{t2}) + (R_LX_LX_{t2} + R_LX_{t2}{}^2) + (X_L{}^2R_{t2} + X_LX_{t2}R_{t2})}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + (R_{t1}) \right] I_{QS}$$

$$+ \left[\frac{(R_LX_LR_{t2} + R_LX_{t2}R_{t2}) - (R_L{}^2X_{t2} + R_LR_{t2}X_{t2}) - (R_LX_LR_{t2} + R_{t2}{}^2X_L) + (X_LX_{t2}{}^2 - X_L{}^2X_{t2})}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} - (X_{t1}) \right] I_{DS}$$

$$+ \left[\frac{(X_L{}^2 + X_LX_{t2}) + (R_L{}^2 + R_LR_{t2})}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} \right] V_{\infty Q} \quad (ก.22)$$

$$V_{DS} = \left[\frac{\left(R_L{}^2X_{t2} + R_{t2}R_LX_{t2}\right) + \left(R_LX_LR_{t2} + R_{t2}{}^2X_L\right) - (X_LR_LR_{t2} + X_{t2}R_LR_{t2}) + \left(X_L{}^2X_{t2} + X_{t2}{}^2X_L\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + X_{t1}\right] I_{QS}$$

$$+ \left[\frac{(X_LR_LX_{t2} + X_{t2}R_LX_{t2}) + \left(R_LR_{t2}{}^2 + R_LR_{t2}{}^2\right) - (R_LX_LX_{t2} + R_{t2}X_LX_{t2}) + \left(X_L{}^2R_{t2} + X_{t2}X_LR_{t2}\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + R_{t1}\right] I_{DS}$$

$$+ \left[\frac{(R_LX_L + R_{t2}X_L) - (X_LR_L + X_{t2}R_L)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2}\right] V_{\infty Q} \qquad (ก.23)$$

จากสมการพีชคณิตของแรงดันที่สเตเตอร์ ในสมการที่ 3.15 และ 3.16 ในบทที่ 3 จัดสมการใหม่ จะได้ E'_Q และ E'_D ตามสมการที่ (ก.24) และ(ก.25) ดังนี้

$$E'_Q = V_{QS} + X'I_{DS} + R_sI_{QS} \qquad (ก.24)$$

$$E'_D = V_{DS} - X'I_{QS} + R_sI_{DS} \qquad (ก.25)$$

นำ V_{QS} ในสมการที่ (ก.22) แทนในสมการที่ (ก.24) จะได้สมการที่ (ก.26) ดังนี้

$$E'_Q = \left[\frac{\left(R_L{}^2R_{t2} + R_LR_{t2}{}^2\right) - (R_LX_LX_{t2} + R_{t2}X_LX_{t2}) + \left(R_LX_LX_{t2} + R_LX_{t2}{}^2\right) + \left(X_L{}^2R_{t2} + X_LX_{t2}R_{t2}\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + (R_{t1}) + R_s\right] I_{QS}$$

$$+ \left[\frac{(R_LX_LR_{t2} + R_LX_{t2}R_{t2}) - \left(R_L{}^2X_{t2} + R_LR_{t2}X_{t2}\right) - \left(R_LX_LR_{t2} + R_{t2}{}^2X_L\right) + \left(X_LX_{t2}{}^2 - X_L{}^2X_{t2}\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} - (X_{t1}) + X'\right] I_{DS}$$

$$+ \left[\frac{\left(X_L{}^2 + X_LX_{t2}\right) + \left(R_L{}^2 + R_LR_{t2}\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2}\right] V_{\infty Q} \qquad (ก.26)$$

นำ V_{DS} ในสมการที่ (ก.23) แทนในสมการที่ (ก.25) จะได้สมการที่ (ก.27) ดังนี้

$$\bar{E}'_D = \left[\frac{\left(R_L{}^2X_{t2} + R_{t2}R_LX_{t2}\right) + \left(R_LX_LR_{t2} + R_{t2}{}^2X_L\right) - \left(X_LR_LR_{t2} + X_{t2}R_LR_{t2}\right) + \left(X_L{}^2X_{t2} + X_{t2}{}^2X_L\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + X_{t1} - X'\right] I_{QS}$$

$$+ \left[\frac{\left(X_LR_LX_{t2} + X_{t2}R_LX_{t2}\right) + \left(R_LR_{t2}{}^2 + R_LR_{t2}{}^2\right) - \left(R_LX_LX_{t2} + R_{t2}X_LX_{t2}\right) + \left(X_L{}^2R_{t2} + X_{t2}X_LR_{t2}\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + R_{t1} + R_s\right] I_{DS}$$

$$+ \left[\frac{\left(R_LX_L + R_{t2}X_L\right) - \left(X_LR_L + X_{t2}R_L\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2}\right] V_{\infty Q} \qquad (ก.27)$$

จัดสมการที่ (ก.26) และ (ก.27) ให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ จะได้สมการที่ (ก.28) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} E'_Q \\ E'_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K1 & K2 \\ K3 & K4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{QS} \\ I_{DS} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{\infty Q} \end{bmatrix} \qquad (ก.28)$$

โดยที่

$$K1 = \frac{\left(R_L{}^2R_{t2} + R_LR_{t2}{}^2\right) - \left(R_LX_LX_{t2} + R_{t2}X_LX_{t2}\right) + \left(R_LX_LX_{t2} + R_LX_{t2}{}^2\right) + \left(X_L{}^2R_{t2} + X_LX_{t2}R_{t2}\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + (R_{t1}) + R_s$$

$$K2 = \frac{\left(R_LX_LR_{t2} + R_LX_{t2}R_{t2}\right) - \left(R_L{}^2X_{t2} + R_LR_{t2}X_{t2}\right) - \left(R_LX_LR_{t2} + R_{t2}{}^2X_L\right) + \left(X_LX_{t2}{}^2 - X_L{}^2X_{t2}\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} - (X_{t1}) + X'$$

$$K3 = \frac{\left(R_L{}^2X_{t2} + R_{t2}R_LX_{t2}\right) + \left(R_LX_LR_{t2} + R_{t2}{}^2X_L\right) - \left(X_LR_LR_{t2} + X_{t2}R_LR_{t2}\right) + \left(X_L{}^2X_{t2} + X_{t2}{}^2X_L\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + X_{t1} - X'$$

$$K4 = \frac{\left(X_LR_LX_{t2} + X_{t2}R_LX_{t2}\right) + \left(R_LR_{t2}{}^2 + R_LR_{t2}{}^2\right) - \left(R_LX_LX_{t2} + R_{t2}X_LX_{t2}\right) + \left(X_L{}^2R_{t2} + X_{t2}X_LR_{t2}\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2} + R_{t1} + R_s$$

$$V1 = \frac{\left(X_L{}^2 + X_LX_{t2}\right) + \left(R_L{}^2 + R_LR_{t2}\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2}$$

$$V2 = \frac{\left(R_LX_L + R_{t2}X_L\right) - \left(X_LR_L + X_{t2}R_L\right)}{(R_L + R_{t2})^2 + (X_L + X_{t2})^2}$$

จากสมการที่ (ก.28) หา ΔI_{QS} และ ΔI_{DS} จะได้สมการที่ (ก.29) ดังนี้

$$\begin{bmatrix}\Delta I_{QS}\\ \Delta I_{DS}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}K1 & K2\\ K3 & K4\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}\Delta E'_Q\\ \Delta E'_D\end{bmatrix} \qquad (ก.29)$$

อินเวอร์สเมทริกซ์ K ได้ตามสมการที่ (ก.30) ดังนี้

$$K = \begin{bmatrix}K1 & K2\\ K3 & K4\end{bmatrix}$$

$$Dt = detK = (K1\,)(K4) - (K2)(K3)$$

$$K^{-1} = \frac{\begin{bmatrix} K4 & -K2 \\ -K3 & K1 \end{bmatrix}}{Dt} \tag{ก.30}$$

นำ K^{-1} ในสมการที่ (ก.30) แทนในสมการที่ (ก.29) จะได้สมการที่ (ก.31) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta I_{QS} \\ \Delta I_{DS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{K4}{Dt} & \frac{-K2}{Dt} \\ \frac{-K3}{Dt} & \frac{K1}{Dt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta E'_Q \\ \Delta E'_D \end{bmatrix} \tag{ก.31}$$

แทน $\begin{bmatrix} \Delta I_{QS} \\ \Delta I_{DS} \end{bmatrix}$ ในสมการพลวัตเชิงเส้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสมการที่ 3.36 ในบทที่ 3 จะได้สมการที่ (ก.32) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{E}'_Q \\ \Delta \dot{E}'_D \\ \Delta \dot{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_0} & S\omega_S & \omega_s E'_D \\ -S\omega_s & -\frac{1}{T_0} & -\omega_s E'_Q \\ -\frac{I'_{QS}}{2H\omega_s} & -\frac{I'_{DS}}{2H\omega_s} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta E'_Q \\ \Delta E'_D \\ \Delta S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\omega_s L_m}{L_{rr}} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\omega_s L_m}{L_{rr}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2H} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_{DR} \\ \Delta V_{QR} \\ T_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\left(\frac{X_s - X'}{T_0}\right) \\ \frac{X_s - X'}{T_0} & 0 \\ -\frac{E'_D}{2H\omega_s} & -\frac{E'_Q}{2H\omega_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{K4}{Dt} & \frac{-K2}{Dt} \\ \frac{-K3}{Dt} & \frac{K1}{Dt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta E'_Q \\ \Delta E'_D \end{bmatrix} \tag{ก.32}$$

จัดรูปแบบสมการจะได้สมการสถานะ จะได้สมการที่ (ก.33) ดังนี้

$$\begin{bmatrix}\Delta\dot{E}'_Q\\ \Delta\dot{E}'_D\\ \Delta\dot{S}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\left(\frac{X_s-X'}{T_0}\right)\left(\frac{K3}{Dt}\right)-\frac{1}{T_0} & S\omega_S-\left(\frac{X_s-X'}{T_0}\right)\left(\frac{K1}{Dt}\right) & \omega_s E'_D\\ \left(\frac{X_s-X'}{T_0}\right)\left(\frac{K4}{Dt}\right)-S\omega_s & -\left(\frac{X_s-X'}{T_0}\right)\left(\frac{K2}{Dt}\right)-\frac{1}{T_0} & -\omega_s E'_Q\\ \left[\left(\frac{E'_Q}{2H\omega_s}\right)\left(\frac{K3}{Dt}\right)-\left(\frac{E'_D}{2H\omega_s}\right)\left(\frac{K4}{Dt}\right)\right]-\frac{I'_{QS}}{2H\omega_s} & \left[\left(\frac{E'_D}{2H\omega_s}\right)\left(\frac{K2}{Dt}\right)-\left(\frac{E'_Q}{2H\omega_s}\right)\left(\frac{K1}{Dt}\right)\right]-\frac{I'_{DS}}{2H\omega_s} & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta E'_Q\\ \Delta E'_D\\ \Delta S\end{bmatrix}$$

$$+\begin{bmatrix}\frac{\omega_s L_m}{L_{rr}} & 0 & 0\\ 0 & -\frac{\omega_s L_m}{L_{rr}} & 0\\ 0 & 0 & \frac{1}{2H}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta V_{DR}\\ \Delta V_{QR}\\ T_m\end{bmatrix} \qquad (ก.33)$$

เมื่อจัดในรูปแบบสมการสถานะ จะได้สมการที่ (ก.34) ดังนี้

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{AX} + \mathbf{BU} \tag{ก.34}$$

โดยที่

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \left(\frac{X_s - X'}{T_0}\right)\left(\frac{K3}{Dt}\right) - \frac{1}{T_0} & S\omega_S - \left(\frac{X_s - X'}{T_0}\right)\left(\frac{K1}{Dt}\right) & \omega_s E'_D \\ \left(\frac{X_s - X'}{T_0}\right)\left(\frac{K4}{Dt}\right) - S\omega_s & -\left(\frac{X_s - X'}{T_0}\right)\left(\frac{K2}{Dt}\right) - \frac{1}{T_0} & -\omega_s E'_Q \\ \left[\left(\frac{E'_Q}{2H\omega_s}\right)\left(\frac{K3}{Dt}\right) - \left(\frac{E'_D}{2H\omega_s}\right)\left(\frac{K4}{Dt}\right)\right] - \frac{I'_{QS}}{2H\omega_s} & \left[\left(\frac{E'_D}{2H\omega_s}\right)\left(\frac{K2}{Dt}\right) - \left(\frac{E'_Q}{2H\omega_s}\right)\left(\frac{K1}{Dt}\right)\right] - \frac{I'_{DS}}{2H\omega_s} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{\omega_s L_m}{L_{rr}} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\omega_s L_m}{L_{rr}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2H} \end{bmatrix}$$

$$\dot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \Delta\dot{E}'_Q \\ \Delta\dot{E}'_D \\ \Delta\dot{S} \end{bmatrix} \qquad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \Delta E'_Q \\ \Delta E'_D \\ \Delta S \end{bmatrix} \qquad \mathbf{U} = \begin{bmatrix} \Delta V_{DR} \\ \Delta V_{QR} \\ \Delta T_m \end{bmatrix}$$