CAPÍTULO

**5**

# AS COMPONENTES SIMÉTRICAS INSTANTÂNEAS E A MÁQUINA SIMÉTRICA

## 5.1 INTRODUÇÃO

O emprego das componentes simétricas instantâneas permite a obtenção de modelos mais simples que aqueles obtidos com a transformação de PARK. Esses novos modelos são adequados para estudos analíticos para as situações em que a máquina gira em velocidade constante.

## 5.2 OBTENÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO COMPONENTES SIMÉTRICAS INSTANTÂNEAS

Vamos considerar o modelo estabelecido no capítulo IV e representado pelas equações (5.1).

$$\left[\begin{array}{c} v_{S_d} \\ v_{S_q} \\ \hline v_{R_d} \\ v_{R_q} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{cc|cc} R_S + p\mathbb{L}_S & -\mathbb{L}_S\,\dot{\Psi} & p m_{SR} & -m_{SR}\,\dot{\Psi} \\ \mathbb{L}_S\,\dot{\Psi} & R_S + p\mathbb{L}_S & m_{SR}\,\dot{\Psi} & p m_{SR} \\ \hline p m_{SR} & -m_{SR}\left(\dot{\Psi}-\dot{\theta}\right) & R_R + p\mathbb{L}_R & -\mathbb{L}_R\left(\dot{\Psi}-\dot{\theta}\right) \\ m_{SR}\left(\dot{\Psi}-\dot{\theta}\right) & p m_{SR} & \mathbb{L}_R\left(\dot{\Psi}-\dot{\theta}\right) & R_R + p\mathbb{L}_R \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} i_{S_d} \\ i_{S_q} \\ \hline i_{R_d} \\ i_{R_q} \end{array}\right] \tag{5.1}$$

Verifica-se que cada submatriz da matriz é do tipo representado pela expressão (5.2).

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} \tag{5.2}$$

Vamos determinar uma transformação que diagonalize a matriz **Z**. Tomando-se:

$$(a-\lambda)(a-\lambda)+b^2=0 \tag{5.3}$$

encontra-se:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= a+jb\\ \lambda_2 &= a-jb\end{aligned} \tag{5.4}$$

que são os autovalores da matriz **Z**.

A seguir são calculados os autovetores associados aos autovalores $\lambda_1$ e $\lambda_2$.

$$\begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} z_{11} \\ z_{21} \end{bmatrix}=(a+jb)\begin{bmatrix} z_{11} \\ z_{21} \end{bmatrix} \tag{5.5}$$

$$az_{11}-bz_{21}=(a+jb)z_{11} \tag{5.6}$$

Assim:

$$z_{21}=-jz_{11} \tag{5.7}$$

$$\begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} z_{12} \\ z_{22} \end{bmatrix}=(a-jb)\begin{bmatrix} z_{12} \\ z_{22} \end{bmatrix} \tag{5.8}$$

$$az_{12}-bz_{22}=(a-jb)z_{12} \tag{5.9}$$

Assim:

$$z_{22}=jz_{12} \tag{5.10}$$

Assim os autovetores associados aos autovalores $\lambda_1$ e $\lambda_2$ são respectivamente:

$$\mathbf{z_1} = \begin{bmatrix} z \\ -jz \end{bmatrix} \tag{5.11}$$

e

$$\mathbf{z_2} = \begin{bmatrix} z \\ jz \end{bmatrix} \tag{5.12}$$

Consequentemente, a matriz [ $\mathbf{D_2}$ ] que diagonaliza a matriz $\mathbf{Z}$ é dada pela expressão (5.13).

$$\mathbf{D_2} = z\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -j & j \end{bmatrix} \tag{5.13}$$

Para que a transformação mantenha invariante a potência, ela deve ser unitária. Assim:

$$\mathbf{D_2}^{t} = \left(\mathbf{D_2}^{-1}\right)^{*} \tag{5.14}$$

ou

$$\mathbf{D_2}^{-1} = \left(\mathbf{D_2}^{t}\right)^{*} \tag{5.15}$$

onde a matriz inversa é igual à transposta conjugada.

A partir de (5.13), obtém-se:

$$\mathbf{D_2}^{t} = z\begin{bmatrix} 1 & -j \\ 1 & j \end{bmatrix} \tag{5.16}$$

$$\left(\mathbf{D_2}^{-1}\right)^{*} = \frac{1}{2z}\begin{bmatrix} 1 & -j \\ 1 & j \end{bmatrix} \tag{5.17}$$

Para que a relação (5.14) se verifique é necessário que:

$$z = \frac{1}{2z} \tag{5.18}$$

$$z = \frac{1}{\sqrt{2}} \tag{5.19}$$

Assim:

$$\mathbf{D_2} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -j & j \end{bmatrix} \tag{5.20}$$

$$\mathbf{D_2}^{-1} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} 1 & j \\ 1 & -j \end{bmatrix} \tag{5.21}$$

Conhecendo-se as expressões de [ $\mathbf{D_2}$ ] e [ $\mathbf{D_2}^{-1}$ ], pode-se diagonalizar a matriz **Z**, com o emprego da expressão (5.22).

$$\mathbf{Z_D} = \mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z}\mathbf{D_2} \tag{5.22}$$

Assim:

$$\mathbf{Z_D} = \begin{bmatrix} a + jb & 0 \\ 0 & a - jb \end{bmatrix} \tag{5.23}$$

como era de se esperar, pois os termos que aparecem são os autovalores da matriz **Z**.

Sabe-se que:

$$\mathbf{v_{dq}} = \mathbf{z_{dq}}\mathbf{i_{dq}} \tag{5.24}$$

$$\mathbf{v}_{+-} = \mathbf{z}_{+-}\mathbf{i}_{+-} \tag{5.25}$$

onde a notação [ +- ] refere-se às componentes simétricas instantâneas, obtidas a partir das componentes de PARK.

Sabemos que:

$$Z_{+-} = \mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z_{dq}}\mathbf{D_2} \qquad (5.26)$$

Assim

$$\mathbf{v}_{+-} = \mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z_{dq}}\mathbf{D_2}\mathbf{i}_{+-} \qquad (5.27)$$

ou

$$\mathbf{D_2}\mathbf{v}_{+-} = \mathbf{Z_{dq}}\mathbf{D_2}\mathbf{i}_{+-} \qquad (5.28)$$

Comparando-se (5.28) com (5.24) obtém-se:

$$\mathbf{v_{dq}} = \mathbf{D_2}\mathbf{v}_{+-} \qquad (5.29)$$

$$\mathbf{v}_{+-} = \mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{v_{dq}} \qquad (5.30)$$

$$\mathbf{i_{dq}} = \mathbf{D_2}\mathbf{i}_{+-} \qquad (5.31)$$

$$\mathbf{i_{+-}} = \mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{i_{dq}} \qquad (5.32)$$

Assim, a matriz $\mathbf{D_2}^{-1}$ transforma as variáveis de Park ( dq ) em componentes simétricas instantâneas ( +- ).

Pode-se assim estabelecer a expressão (5.33).

$$\begin{bmatrix} v_{S_+} \\ v_{S_-} \\ \hline v_{R_+} \\ v_{R_-} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\begin{array}{cc|cc} 1 & j & 0 & 0 \\ 1 & -j & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 & j \\ 0 & 0 & 1 & -j \end{array}\right] \begin{bmatrix} v_{S_d} \\ v_{S_q} \\ \hline v_{R_d} \\ v_{R_q} \end{bmatrix} \qquad (5.33)$$

A mesma transformação pode ser empregada nas demais variáveis da máquina, como fluxos e correntes.

Quando se trata de transformação trifásica, a forma empregada é a representada pela expressão (5.34).

$$\mathbf{D_2}^{-1} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} \sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & j \\ 0 & 1 & -j \end{bmatrix} \tag{5.34}$$

## 5.3 EQUAÇÕES DAS TENSÕES

Definimos anteriormente a transformação componentes simétricas instantâneas. Vamos a seguir aplicá-la na obtenção de um novo modelo para a máquina simétrica.

As equações (5.1) podem ser reescritas segundo as equações .

$$\left[\begin{array}{c} \mathbf{v}_{S_{dq}} \\ \hline \mathbf{v}_{R_{dq}} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{Z_1} & \mathbf{Z_3} \\ \hline \mathbf{Z_2} & \mathbf{Z_4} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} \mathbf{i}_{S_{dq}} \\ \hline \mathbf{i}_{R_{dq}} \end{array}\right] \tag{5.35}$$

Assim:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{D_2} & 0 \\ 0 & \mathbf{D_2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \mathbf{v}_{S_{+-}} \\ \mathbf{v}_{R_{+-}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z_1} & \mathbf{Z_3} \\ \mathbf{Z_2} & \mathbf{Z_4} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \mathbf{D_2} & 0 \\ 0 & \mathbf{D_2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \mathbf{i}_{S_{+-}} \\ \mathbf{i}_{R_{+-}} \end{bmatrix} \tag{5.36}$$

Podemos então estabelecer que:

$$\left[\begin{array}{c} \mathbf{v}_{S_{+-}} \\ \hline \mathbf{v}_{R_{+-}} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z_1}\mathbf{D_2} & \mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z_3}\mathbf{D_2} \\ \hline \mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z_2}\mathbf{D_2} & \mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z_4}\mathbf{D_2} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} \mathbf{i}_{S_{+-}} \\ \hline \mathbf{i}_{R_{+-}} \end{array}\right] \tag{5.37}$$

Cada submatriz da matriz impedância fica então diagonalizada. Assim:

$$\mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z_1}\mathbf{D_2} = \left[\begin{array}{c|c} R_S + \mathbb{L}_S\left(p + j\dot{\Psi}\right) & 0 \\ \hline 0 & R_S + \mathbb{L}_S\left(p - j\dot{\Psi}\right) \end{array}\right] \tag{5.38}$$

$$\mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z_2}\mathbf{D_2} = \left[\begin{array}{c|c} m_{SR}\left(p + j\dot{\Psi} - j\dot{\theta}\right) & 0 \\ \hline 0 & m_{SR}\left(p - j\dot{\Psi} + j\dot{\theta}\right) \end{array}\right] \tag{5.39}$$

$$\mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z_3}\mathbf{D_2} = \left[\begin{array}{c|c} m_{SR}\left(p + j\dot{\Psi}\right) & 0 \\ \hline 0 & m_{SR}\left(p - j\dot{\Psi}\right) \end{array}\right] \tag{5.40}$$

$$\mathbf{D_2}^{-1}\mathbf{Z_4}\mathbf{D_2} = \left[\begin{array}{c|c} R_R + \mathbb{L}_R\left(p + j\dot{\Psi} - j\dot{\theta}\right) & 0 \\ \hline 0 & R_R + \mathbb{L}_R\left(p - j\dot{\Psi} + j\dot{\theta}\right) \end{array}\right] \tag{5.41}$$

Levando-se as expressões (5.38) a (5.41) na expressão (5.37), obtém-se a expressão (5.42).

$$\begin{bmatrix} v_{S_+} \\ v_{S_-} \\ \hline v_{R_+} \\ v_{R_-} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{cc|cc} R_S + \mathbb{L}_S\left(p + j\dot{\Psi}\right) & 0 & m_{SR}\left(p + j\dot{\Psi}\right) & 0 \\ 0 & R_S + \mathbb{L}_S\left(p - j\dot{\Psi}\right) & 0 & m_{SR}\left(p - j\dot{\Psi}\right) \\ \hline m_{SR}\left(p + j\dot{\Psi} - j\dot{\theta}\right) & 0 & R_R + \mathbb{L}_R\left(p + j\dot{\Psi} - j\dot{\theta}\right) & 0 \\ 0 & m_{SR}\left(p - j\dot{\Psi} + j\dot{\theta}\right) & 0 & R_R + \mathbb{L}_R\left(p - j\dot{\Psi} + j\dot{\theta}\right) \end{array}\right] \begin{bmatrix} i_{S_+} \\ i_{S_-} \\ \hline i_{R_+} \\ i_{R_-} \end{bmatrix} \tag{5.42}$$

A partir da expressão (5.33), constatamos que:

$$v_{S_-} = v_{S_+}^{\ *} \tag{5.43}$$

e

$$v_{R_-} = v_{R_+}^{\,*} \tag{5.44}$$

Portanto as equações de seqüência negativa contém as mesmas informações que as de seqüência positiva e portanto serão desconsideradas. O modelo é representado pelas expressões (5.45)

$$\left[\begin{array}{c} v_{S_+} \\ \hline v_{R_+} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} R_S + \mathbb{L}_S\left(p + j\dot{\Psi}\right) & m_{SR}\left(p + j\dot{\Psi}\right) \\ \hline m_{SR}\left(p + j\dot{\Psi} - j\dot{\theta}\right) & R_R + \mathbb{L}_R\left(p + j\dot{\Psi} - j\dot{\theta}\right) \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} i_{S_+} \\ \hline i_{R_+} \end{array}\right] \tag{5.45}$$

Fica assim estabelecido que a máquina, mesmo para uma situação genérica, fica representada por apenas duas equações. Isto é possível porque as variáveis são complexas e contém sempre duas informações, uma do eixo “d” e outra do eixo “q”.

## 5.4 EQUAÇÃO DO TORQUE

Foi demonstrado que o torque desenvolvido pela máquina é representado pela expressão

$$T = m_{SR}\left(i_{S_q} \cdot i_{R_d} - i_{S_d} \cdot i_{R_q}\right) \tag{5.46}$$

mas,

$$\begin{bmatrix} i_{S_d} \\ i_{S_q} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -j & j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{S_+} \\ i_{S_-} \end{bmatrix} \tag{5.47}$$

$$\begin{bmatrix} i_{R_d} \\ i_{R_q} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -j & j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{R_+} \\ i_{R_-} \end{bmatrix} \tag{5.48}$$

Assim:

$$i_{S_d} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(i_{S_+} + i_{S_-}\right) \tag{5.49}$$

$$i_{S_q} = -\frac{j}{\sqrt{2}}\left(i_{S_+} - i_{S_-}\right) \tag{5.50}$$

$$i_{R_d} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(i_{R_+} + i_{R_-}\right) \tag{5.51}$$

$$i_{R_q} = -\frac{j}{\sqrt{2}}\left(i_{R_+} - i_{R_-}\right) \tag{5.52}$$

Substituindo-se as expressões (5.49) a (5.52) na expressão (5.46), obtém-se

$$T = m_{SR}\left(j i_{S_-} i_{R_+} - j i_{S_+} i_{R_-}\right) \tag{5.53}$$

$$T = m_{SR}\left(j i_{S_+}{}^{*} i_{R_-}{}^{*} - j i_{S_+} i_{R_-}\right) \tag{5.54}$$

$$T = m_{SR} j\left(i_{S_+}{}^{*} i_{R_-}{}^{*} - i_{S_+} i_{R_-}\right) \tag{5.55}$$

se

$$A = a + jb \tag{5.56}$$

e

$$A^{*} = a - jb \tag{5.57}$$

obtém-se

$$A^{*} - A = -2jb \tag{5.58}$$

portanto

$$j\left(A^* - A\right) = 2b \tag{5.59}$$

Assim:

$$T = 2 \cdot m_{SR} \cdot \mathrm{Im}\left(i_{S_+} \cdot i_{R_-}\right) \tag{5.60}$$

$$T = 2 \cdot m_{SR} \cdot \mathrm{Im}\left(i_{S_-} \cdot i_{R_+}\right) \tag{5.61}$$

Assim, o modelo final da máquina para “n” pares de pólos, é representado pelas equações

$$\begin{bmatrix} v_{S_+} \\ \hline v_{R_+} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c|c} R_S + \mathbb{L}_S\left(p + jn\dot{\Psi}\right) & m_{SR}\left(p + jn\dot{\Psi}\right) \\ \hline m_{SR}\left(p + jn\dot{\Psi} - jn\dot{\theta}\right) & R_R + \mathbb{L}_R\left(p + jn\dot{\Psi} - jn\dot{\theta}\right) \end{array}\right] \begin{bmatrix} i_{S_+} \\ \hline i_{R_+} \end{bmatrix} \tag{5.62}$$

$$T = 2 \cdot n \cdot m_{SR} \cdot \mathrm{Im}\left(i_{S_+} \cdot i_{R_-}\right) \tag{5.63}$$

O termo $\mathrm{Im}(\ x\ )$ significa, parte imaginária de x.

Para o motor de indução com rotor em curto, toma-se a $v_{R_+} = 0$.

Para o referencial colocado no estator, toma-se $\dot{\Psi} = 0$.

## 5.5 INTERPRETAÇÃO DAS COMPONENTES SIMÉTRICAS INSTANTÂNEAS

Seja a Fig. 5.1

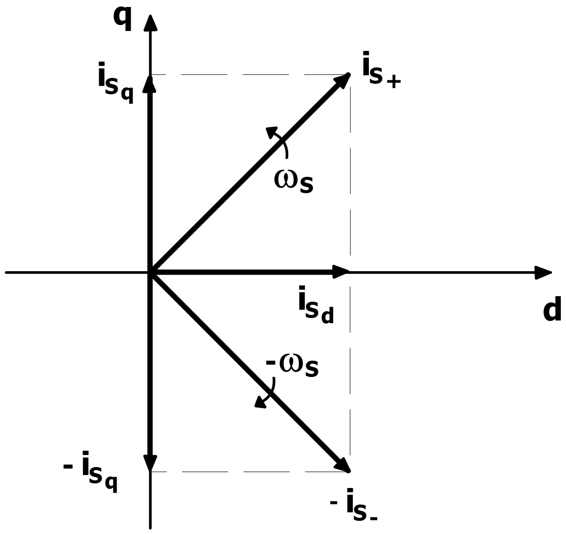


**Fig. 5.1 – Representação das componentes simétricas.**

como

$$i_{S_+} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(i_{S_d} + j i_{S_q}\right) \tag{5.64}$$

a corrente $i_{S_+}$ é um fasor que instantaneamente assume um módulo dado por:

$$\left|i_{S_+}\right| = \sqrt{\frac{{i_{S_d}}^2}{2} + \frac{{i_{S_q}}^2}{2}} \tag{5.65}$$

Se as correntes $i_{S_d}$ e $i_{Sq}$ forem senoidais balanceadas da forma:

$$i_{S_d} = I \cdot \cos\left(\omega_s t\right) \tag{5.66}$$

e

$$i_{S_q} = I \cdot \text{sen}\left(\omega_s t\right) \tag{5.67}$$

obtém-se

$$i_{S_+} = \frac{I}{\sqrt{2}}\left(\cos\left(\omega_s t\right) + j\,\text{sen}\left(\omega_s t\right)\right) = \frac{I}{\sqrt{2}} e^{j\omega_s t} \tag{5.68}$$

Assim a corrente $i_{S_+}$ possui módulo constante, e gira no sentido anti-horário com velocidade constante igual a $\omega_S$.

A corrente $i_{S_-}$ será da forma

$$i_{S_-} = \frac{I}{\sqrt{2}} e^{-j\omega_s t} \tag{5.69}$$

é igual em módulo à $i_{S_+}$ mas gira em sentido oposto.

É preciso fazer uma cuidadosa distinção entre as componentes simétricas instantâneas definidas neste trabalho e as componentes simétricas tradicionais. As tradicionais são definidas para grandezas fasoriais e só são válidas no estudo de regimes permanentes. As instântaneas são válidas para qualquer situação.

## 5.6 MODELO PARA OS PARÂMETROS ROTÓRICOS REFERIDOS AO ESTATOR

A exemplo do que foi feito para o modelo de PARK obtido no capítulo IV, serão estabelecidas as equações da máquina para componentes simétricas instantâneas, representadas pelas expressões (5.70) e (5.71).

$$\left[\begin{array}{c} v_{S_+} \\ \hline v_{R_+}' \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} R_S + \mathbb{L}_S\left(p + jn\dot{\Psi}\right) & m_1\left(p + jn\dot{\Psi}\right) \\ \hline m_1\left(p + jn\dot{\Psi} - jn\dot{\theta}\right) & R_R' + \mathbb{L}_R'\left(p + jn\dot{\Psi} - jn\dot{\theta}\right) \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} i_{S_+} \\ \hline i_{R_+}' \end{array}\right] \tag{5.70}$$

$$T = 2 \cdot n \cdot m_1 \cdot \mathbb{I}\left(i_{S_+} \cdot i_{R_-}'\right) \tag{5.71}$$

onde:

$$m_1 = a \cdot m_{SR} \tag{5.72}$$

$$R_R{}' = a^2 \cdot R_R \tag{5.73}$$

$$\mathbb{L}_R{}' = a^2 \cdot \mathbb{L}_R = l_2 + m_1 \tag{5.74}$$

$$\mathbb{L}_S = l_1 + m_1 \tag{5.75}$$

A obtenção dos parâmetros é conseguida através dos ensaios a vazio e em curto-circuito.

## 5.7 EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1 ) Considere um motor de indução operando com carga nominal. Subitamente as três fases são desconectadas simultaneamente da rede de alimentação. Determinar o comportamento da tensão do estator empregando o modelo deduzido para componentes simétricas instantâneas (ver item 8.3).

---

2 ) Seja um motor de indução alimentado por um inversor trifásico do tipo 180°. A tensão da fase 1 está representada na Fig. 5.2. As tensões das demais fases são idênticas mas defasadas de 120° e 240° em relação a primeira. Aplicando a transformação componentes simétricas instantâneas, obter a tensão $v_{S_+}$ .

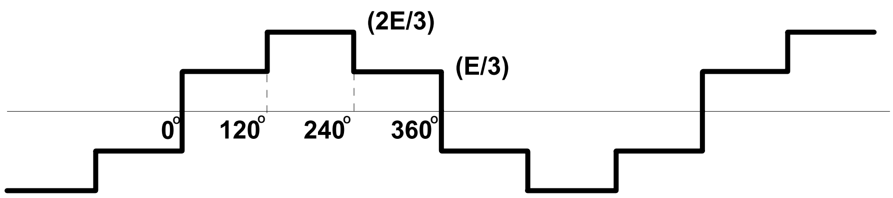


**Fig. 5.2 – Forma de onda da tensão da fase 1.**

---

3 ) Considere um motor de indução alimentado por um par de correntes balanceadas da forma:

$$i_{S_\alpha} = I_S \cdot \cos(\omega_s t) \tag{5.76}$$

$$i_{S_\beta} = I_S \cdot \text{sen}(\omega_s t) \tag{5.77}$$

Obter a expressão do torque médio e instantâneo que o motor produz. Considerar o referencial colocado no campo girante. Empregar o modelo deduzido para componentes simétricas instantâneas.

Obter também a expressão da tensão instantânea nos terminais dos enrolamentos do estator.

---

4 ) Considere uma máquina de indução trifásica com rotor bloqueado alimentado por tensões balanceadas.

$$v_{S_1} = \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega_s t) \tag{5.78}$$

$$v_{S_2} = \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega_s t - 120^o) \tag{5.79}$$

$$v_{S_3} = \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega_s t + 120^o) \tag{5.80}$$

O motor possui 2 pólos.

Os enrolamentos rotóricos são mantidos abertos. Utilizando as componentes simétricas instantâneas, determinar as expressões matemáticas das correntes do estator.

---

5 ) Considere o seguinte modelo:

$$\left[\begin{array}{c} v_{S_+} \\ \hline v_{R_+} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} R_S + \mathbb{L}_S\left(p + j\dot{\Psi}\right) & m_{SR}\left(p + j\dot{\Psi}\right) \\ \hline m_{SR}\left(p + j\dot{\Psi} - j\dot{\theta}\right) & R_R + \mathbb{L}_R\left(p + j\dot{\Psi} - j\dot{\theta}\right) \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} i_{S_+} \\ \hline i_{R_+} \end{array}\right] \tag{5.81}$$

Estabelecer as expressões de $i_{S_+}$ e $i_{R_+}$ em função de $v_{S_+}$ e $v_{R_+}$ .

---