Пространственный вектор потокосцепления ротора АД

$$\begin{aligned}
\psi_{ra} &= l_r \cdot i_{ra} + l_{mr} \cdot (i_{rb} + i_{rc}) + l_{msr} \cdot [i_{sa} \cdot \cos\theta + i_{sb} \cdot \cos(\theta - 120) + i_{sc} \cdot \cos(\theta - 240)] \\
\psi_{rb} &= l_r \cdot i_{rb} + l_{mr} \cdot (i_{ra} + i_{rc}) + l_{msr} \cdot [i_{sa} \cdot \cos(\theta - 240) + i_{sb} \cdot \cos\theta + i_{sc} \cdot \cos(\theta - 120)] \\
\psi_{rc} &= l_r \cdot i_{rc} + l_{mr} \cdot (i_{ra} + i_{rb}) + l_{msr} \cdot [i_{sa} \cdot \cos(\theta - 120) + i_{sb} \cdot \cos(\theta - 240) + i_{sc} \cdot \cos\theta]
\end{aligned}$$

ψ_r ψ_{lr} ψ_{lmsr}

$$\psi_r = \frac{2}{3} \cdot \left(\psi_{ra} \cdot a_1 + \psi_{rb} \cdot a_2 + \psi_{rc} \cdot a_3\right)$$

$$\boxed{\psi_r = \psi_{lr} + \psi_{lmr} + \psi_{lmsr}}$$

$$\psi_{lr} = \frac{2}{3}\cdot l_r\cdot\left[i_{ra}\cdot a_1 + i_{rb}\cdot a_2 + i_{rc}\cdot a_3\right] = \frac{2}{3}\cdot l_r\cdot\Bigg[\underbrace{\frac{I_{mr}}{2}\cdot\left(e^{j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot 1 + e^{-j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot 1\right)}_{i_{ra}}\cdot\underbrace{1\cdot e^{j0}}_{a_1} +$$

$$+\underbrace{\frac{I_{mr}}{2}\cdot\left(e^{j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot e^{-j120} + e^{-j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot e^{j120}\right)}_{i_{rb}}\cdot\underbrace{1\cdot e^{j120}}_{a_2} + \underbrace{\frac{I_{mr}}{2}\cdot\left(e^{j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot e^{j240}\right)}_{i_{rc}}\cdot\underbrace{1\cdot e^{j240}}_{a_3}\Bigg] =$$

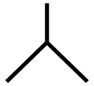
$$= \frac{1}{3}\cdot l_r\cdot I_{mr}\cdot\Big[\; e^{j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot 1\cdot e^{j0} + e^{-j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot 1\cdot e^{j0} +$$

$$+ e^{j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot 1\cdot e^{j(-120+120)} + e^{-j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot 1\cdot e^{j(120+120)} +$$

$$+ e^{j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot \underbrace{1\cdot e^{j(-240+240)}}_{\text{column sum } = 3\cdot 1\cdot e^{j0}} + e^{-j(\omega t-\varphi_{ir})}\cdot \underbrace{1\cdot e^{j(240+240)}}_{\text{column sum } = 0}\;\Big] = l_r\cdot\underbrace{\left(I_{mr}\cdot 1\cdot e^{-j\varphi ir}\right)\cdot e^{j\omega t}}_{I_r} = l_r\cdot I_r$$

$$480 = 360 + 120$$

$$\psi_{lmr} = \frac{2}{3}\cdot l_{mr}\cdot\big[\underbrace{(i_{rb}+i_{rc})}_{=-i_{ra}}\cdot a_1 + \underbrace{(i_{ra}+i_{rc})}_{=-i_{rb}}\cdot a_2 + \underbrace{(i_{ra}+i_{rb})}_{=-i_{rc}}\cdot a_3\big] = -\frac{2}{3}\cdot l_{mr}\cdot\left[i_{ra}\cdot a_1 + i_{rb}\cdot a_2 + i_{rc}\cdot a_3\right] = -l_{mr}\cdot I_r$$

где $i_{ra} + i_{rb} + i_{rc} = 0$ - соединение статорной обмоткив 

$$\vec{\psi}_{lmsr} = \frac{2}{3} \cdot \left[\vec{A}_r + \vec{B}_r + \vec{C}_r \right]$$

$$\vec{A}_r = \vec{a}_1 \cdot l_{msr} \cdot \left[i_{sa} \cdot \cos\theta + i_{sb} \cdot \cos(\theta - 120) + i_{sc} \cdot \cos(\theta - 240) \right] =$$

$$= \left(\vec{1} \cdot e^{j0}\right) \cdot l_{msr} \cdot \left[\underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1\right)}_{i_{sa}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} + e^{-j\theta}\right)}_{\cos\theta} + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j120} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j120}\right)}_{i_{sb}} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j120} + e^{-j\theta} \cdot e^{j120}\right)}_{\cos(\theta - 120)} + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j240}\right)}_{i_{sc}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{-j\theta} \cdot e^{j240}\right)}_{\cos(\theta - 240)} \right] = \frac{I_{ms}}{4} \cdot \left(\vec{1} \cdot e^{j0}\right) \cdot l_{msr} \times$$

$$\times \left[\underbrace{e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta}}_{} \cdot \underbrace{1}_{} + \underbrace{e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta}}_{} \cdot \underbrace{1}_{} + \underbrace{e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta}}_{} \cdot \underbrace{1}_{} + \underbrace{e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta}}_{} \cdot \underbrace{1}_{} + \right.$$

$$+ \underbrace{e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta}}_{} \cdot \underbrace{e^{-j(120+120)}}_{} + \underbrace{e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta}}_{} \cdot \underbrace{e^{j(-120+120)}}_{} + \underbrace{e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta}}_{} \cdot \underbrace{e^{j(120-120)}}_{} + \underbrace{e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta}}_{} \cdot \underbrace{e^{j(120+120)}}_{} +$$

$$\left. + \underbrace{e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta}}_{} \cdot \underbrace{e^{-j(240+240)}}_{} + \underbrace{e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta}}_{} \cdot \underbrace{e^{j(-240+240)}}_{} + \underbrace{e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta}}_{} \cdot \underbrace{e^{j(240-240)}}_{} + \underbrace{e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta}}_{} \cdot \underbrace{e^{j(240+240)}}_{} \right] =$$

$$\underbrace{\qquad}_{=0} \qquad \underbrace{\qquad}_{=3} \qquad \underbrace{\qquad}_{=3} \qquad \underbrace{\qquad}_{=0}$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \left(l_{msr} \cdot e^{-j\theta}\right) \cdot \underbrace{\left(I_{ms} \cdot \vec{1} \cdot e^{-j\varphi_{is}}\right)}_{I_s} \cdot e^{j\omega t} + \left[\frac{3}{4} \cdot l_{msr} \cdot I_{ms} \cdot e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta}\right] \cdot \left(\vec{1} \cdot e^{j0}\right)$$

$$\overline{A}_r = \overline{a}_1 \cdot l_{msr} \cdot \left[i_{sa} \cdot \cos\theta + i_{sb} \cdot \cos(\theta - 120) + i_{sc} \cdot \cos(\theta - 240) \right] =$$

$$= \left(1 \cdot e^{j0}\right) \cdot l_{msr} \cdot \left[\underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1\right)}_{i_{sa}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} + e^{-j\theta}\right)}_{\cos\theta} + \right.$$

$$+ \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j120} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j120}\right)}_{i_{sb}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j120} + e^{-j\theta} \cdot e^{j120}\right)}_{\cos(\theta - 120)} +$$

$$\left. + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j240}\right)}_{i_{sc}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{-j\theta} \cdot e^{j240}\right)}_{\cos(\theta - 240)} \right] =$$

$$= \frac{I_{ms}}{4} \cdot \left(1 \cdot e^{j0}\right) \cdot l_{msr} \times$$

$$\times \left[\begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & 1 \\ e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j(120+120)} \\ e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j(240+240)} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & 1 \\ e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{j(-120+120)} \\ e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{j(-240+240)} \end{vmatrix} + \right.$$

$$\left. + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j120} \\ e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j(120+120)} \\ e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j(240+240)} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{-j120} \\ e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{j(-120+120)} \\ e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{j(-240+240)} \end{vmatrix} + \right.$$

$$= 0 \qquad = 3$$

$$\overline{A}_r = \overline{a}_1 \cdot l_{msr} \cdot \left[i_{sa} \cdot \cos\theta + i_{sb} \cdot \cos(\theta - 120) + i_{sc} \cdot \cos(\theta - 240) \right] =$$

$$= \left(1 \cdot e^{j0}\right) \cdot l_{msr} \cdot \left[\underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1\right)}_{i_{sa}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} + e^{-j\theta}\right)}_{\cos\theta} + \right.$$

$$+ \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j120} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j120}\right)}_{i_{sb}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j120} + e^{-j\theta} \cdot e^{j120}\right)}_{\cos(\theta - 120)} +$$

$$\left. + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j240}\right)}_{i_{sc}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{-j\theta} \cdot e^{j240}\right)}_{\cos(\theta - 240)} \right] =$$

$$+\begin{vmatrix} e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta} & \cdot & 1 \\ e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{j(120-120)} \\ e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{j(240-240)} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{-j\theta} & \cdot & 1 \\ e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{j(120+120)} \\ e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{j(240+240)} \end{vmatrix} + \bigcirc + \bigcirc + \bigcirc] =$$

$$= 3 \qquad = 0$$

$$= \frac{3}{4}\cdot\left(l_{msr}\cdot e^{-j\theta}\right)\cdot\left(I_{ms}\cdot 1\cdot e^{-j\varphi_{is}}\right)\cdot e^{j\omega t} + \left[\frac{3}{4}\cdot l_{msr}\cdot I_{ms}\cdot e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\right]\cdot\left(1\cdot e^{j0}\right)$$

$$I_s$$

$$\vec{B}_r = \vec{a}_2 \cdot l_{msr} \cdot \left[i_{sa} \cdot \cos(\theta - 240) + i_{sb} \cdot \cos\theta + i_{sc} \cdot \cos(\theta - 120) \right] =$$

$$= \left(\vec{1} \cdot e^{j120}\right) \cdot l_{msr} \cdot \left[\underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1\right)}_{i_{sa}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{-j\theta} \cdot e^{j240}\right)}_{\cos(\theta - 240)} + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j120} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j120}\right)}_{i_{sb}} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} + e^{-j\theta}\right)}_{\cos\theta} + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j240}\right)}_{i_{sc}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j120} + e^{-j\theta} \cdot e^{j120}\right)}_{\cos(\theta - 120)} \right] =$$

$$= \frac{I_{ms}}{4} \cdot \left(\vec{1} \cdot e^{j120}\right) \cdot l_{msr} \times$$

$$\times \left[\left| e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \right| \cdot \left| e^{-j240} \right| + \left| e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \right| \cdot \left| e^{j240} \right| + \left| e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \right| \cdot \left| e^{-j240} \right| + \left| e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \right| \cdot \left| e^{j240} \right| + \right.$$

$$+ \left| e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \right| \cdot \left| e^{-j120} \right| + \left| e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \right| \cdot \left| e^{-j120} \right| + \left| e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \right| \cdot \left| e^{j120} \right| + \left| e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \right| \cdot \left| e^{j120} \right| +$$

$$\left. + \underbrace{\left| e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \right|}_{=0} \cdot \left| e^{-j(240+120)} \right| + \underbrace{\left| e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \right|}_{=3 \cdot e^{-j120}} \cdot \left| e^{-j(240-120)} \right| + \underbrace{\left| e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \right|}_{=3 \cdot e^{j120}} \cdot \left| e^{j(240-120)} \right| + \left| e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \right| \cdot \underbrace{\left| e^{j(240+120)} \right|}_{=0} \right] =$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \left(l_{msr} \cdot e^{-j\theta}\right) \cdot \left(I_{ms} \cdot \underbrace{\left(\vec{1} \cdot e^{j120} \cdot e^{-j120}\right)}_{1 \cdot e^{j0}} \cdot e^{-j\varphi_{is}} \right) \cdot e^{j\omega t} + \left[\frac{3}{4} \cdot l_{msr} \cdot I_{ms} \cdot e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \right] \cdot \left(\vec{1} \cdot e^{j120} \cdot e^{j120}\right) =$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \left(l_{msr} \cdot e^{-j\theta}\right) \cdot \underbrace{\left(I_{ms} \cdot \vec{1} \cdot e^{-j\varphi_{is}}\right)}_{I_s} \cdot e^{j\omega t} + \left[\frac{3}{4} \cdot l_{msr} \cdot I_{ms} \cdot e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \right] \cdot \vec{1} \cdot e^{j240}$$

$$\overrightarrow{B_r} = \overrightarrow{a_2} \cdot l_{msr} \cdot \left[i_{sa} \cdot \cos(\theta - 240) + i_{sb} \cdot \cos\theta + i_{sc} \cdot \cos(\theta - 120) \right] =$$

$$= \left(\underline{1} \cdot e^{j120} \right) \cdot l_{msr} \cdot \left[\underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 \right)}_{i_{sa}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{-j\theta} \cdot e^{j240} \right)}_{\cos(\theta - 240)} + \right.$$

$$+ \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j120} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j120} \right)}_{i_{sb}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} + e^{-j\theta} \right)}_{\cos\theta} +$$

$$\left. + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j240} \right)}_{i_{sc}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j120} + e^{-j\theta} \cdot e^{j120} \right)}_{\cos(\theta - 120)} \right] =$$

$$= \frac{I_{ms}}{4} \cdot \left(1 \cdot e^{j120}\right) \cdot l_{msr} \times$$

$$\times \left[\begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j240} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{j240} \end{vmatrix} + \right.$$

$$\bigcirc + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j120} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{-j120} \end{vmatrix} +$$

$$\bigcirc + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j(240+120)} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{-j(240-120)} \end{vmatrix} +$$

$$= 0 \qquad = 3 \cdot e^{-j120}$$

$$\overrightarrow{B_r} = \overrightarrow{a_2} \cdot l_{msr} \cdot \left[i_{sa} \cdot \cos(\theta - 240) + i_{sb} \cdot \cos\theta + i_{sc} \cdot \cos(\theta - 120) \right] =$$

$$= \left(\underline{1} \cdot e^{j120} \right) \cdot l_{msr} \cdot \left[\underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 \right)}_{i_{sa}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{-j\theta} \cdot e^{j240} \right)}_{\cos(\theta - 240)} + \right.$$

$$+ \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j120} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j120} \right)}_{i_{sb}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} + e^{-j\theta} \right)}_{\cos\theta} +$$

$$\left. + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j240} \right)}_{i_{sc}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j120} + e^{-j\theta} \cdot e^{j120} \right)}_{\cos(\theta - 120)} \right] =$$

$$+\left|e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\right|\cdot\left|e^{-j240}\right|+\left|e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{-j\theta}\right|\cdot\left|e^{j240}\right|+\bigcirc$$

$$+\left|e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\right|\cdot\left|e^{j120}\right|+\left|e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{-j\theta}\right|\cdot\left|e^{j120}\right|+\bigcirc$$

$$+\left|e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\right|\cdot\left|e^{j(240-120)}\right|+\left|e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{-j\theta}\right|\cdot\left|e^{j(240+120)}\right|\Big]=$$

$$=3\cdot e^{j120} \qquad =0$$

$$=\frac{3}{4}\cdot\left(l_{msr}\cdot e^{-j\theta}\right)\cdot\left(I_{ms}\cdot\left(1\cdot e^{j120}\cdot e^{-j120}\right)\cdot e^{-j\varphi_{is}}\right)\cdot e^{j\omega t}+\left[\frac{3}{4}\cdot l_{msr}\cdot I_{ms}\cdot e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\right]\cdot\left(1\cdot e^{j120}\cdot e^{j120}\right)=$$

$$1\cdot e^{j0}$$

$$=\frac{3}{4}\cdot\left(l_{msr}\cdot e^{-j\theta}\right)\cdot\left(I_{ms}\cdot 1\cdot e^{-j\varphi_{is}}\right)\cdot e^{j\omega t}+\left[\frac{3}{4}\cdot l_{msr}\cdot I_{ms}\cdot e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\right]\cdot 1\cdot e^{j240}$$

$$I_s$$

$$\vec{C}_r = \vec{a}_3 \cdot l_{msr} \cdot \left[i_{sa} \cdot \cos(\theta - 120) + i_{sb} \cdot \cos(\theta - 240) + i_{sc} \cdot \cos\theta \right] =$$

$$= \left(\vec{1} \cdot e^{j240}\right) \cdot l_{msr} \cdot \left[\underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1\right)}_{i_{sa}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j120} + e^{-j\theta} \cdot e^{j120}\right)}_{\cos(\theta - 120)} + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j120} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j120}\right)}_{i_{sb}} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{-j\theta} \cdot e^{j240}\right)}_{\cos(\theta - 240)} + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j240}\right)}_{i_{sc}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} + e^{-j\theta}\right)}_{\cos\theta} \right] =$$

$$= \frac{I_{ms}}{4} \cdot \left(\vec{1} \cdot e^{j240}\right) \cdot l_{msr} \times$$

$$\times \left[\underbrace{e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \cdot e^{-j120}}_{=0} + \underbrace{e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \cdot e^{j120}}_{=3 \cdot e^{-j240}} + \underbrace{e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \cdot e^{-j120}}_{=3 \cdot e^{-j120}} + \underbrace{e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \cdot e^{j120}}_{=0} + \right.$$

$$+ e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \cdot e^{-j(120+240)} + e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \cdot e^{j(-120+240)} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \cdot e^{j(120-240)} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \cdot e^{j(120+240)} +$$

$$\left. + e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \cdot e^{j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} \cdot e^{j240} \right] =$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \left(l_{msr} \cdot e^{-j\theta}\right) \cdot \left(I_{ms} \cdot \underbrace{\left(\vec{1} - e^{j240} \cdot e^{-j240}\right)}_{1 \cdot e^{j0}} \cdot e^{-j\varphi_{is}} \right) \cdot e^{j\omega t} + \left[\frac{3}{4} \cdot l_{msr} \cdot I_{ms} \cdot e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \right] \cdot \left(\vec{1} \cdot e^{j240} \cdot e^{-j120}\right) =$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \left(l_{msr} \cdot e^{-j\theta}\right) \cdot \underbrace{\left(I_{ms} \cdot \vec{1} \cdot e^{-j\varphi_{is}}\right)}_{I_s} \cdot e^{j\omega t} + \left[\frac{3}{4} \cdot l_{msr} \cdot I_{ms} \cdot e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} \right] \cdot \vec{1} \cdot e^{j120}$$

$$\overline{C}_r = \overline{a}_3 \cdot l_{msr} \cdot \left[i_{sa} \cdot \cos(\theta - 120) + i_{sb} \cdot \cos(\theta - 240) + i_{sc} \cdot \cos\theta \right] =$$

$$= \left(\overline{1} \cdot e^{j240}\right) \cdot l_{msr} \cdot \left[\underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1\right)}_{i_{sa}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j120} + e^{-j\theta} \cdot e^{j120}\right)}_{\cos(\theta - 120)} + \right.$$

$$+ \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j120} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j120}\right)}_{i_{sb}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{-j\theta} \cdot e^{j240}\right)}_{\cos(\theta - 240)} +$$

$$\left. + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j240}\right)}_{i_{sc}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} + e^{-j\theta}\right)}_{\cos\theta} \right] =$$

$$= \frac{I_{ms}}{4} \cdot \left(1 \cdot e^{j240}\right) \cdot l_{msr} \times$$

$$\times \left[\begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j120} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{j120} \end{vmatrix} + \right.$$

$$\bigcirc + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j(120+240)} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{j(-120+240)} \end{vmatrix} +$$

$$\left. \bigcirc + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{j\theta} & \cdot & e^{-j240} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e^{j(\omega t-\varphi_{is})} \cdot e^{-j\theta} & \cdot & e^{-j240} \end{vmatrix} + \right.$$

$$= 0 \qquad = 3 \cdot e^{-j240}$$

$$\overline{C}_r = \overline{a}_3 \cdot l_{msr} \cdot \left[i_{sa} \cdot \cos(\theta - 120) + i_{sb} \cdot \cos(\theta - 240) + i_{sc} \cdot \cos\theta \right] =$$

$$= \left(\overline{1} \cdot e^{j240}\right) \cdot l_{msr} \cdot \left[\underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1 + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot 1\right)}_{i_{sa}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j120} + e^{-j\theta} \cdot e^{j120}\right)}_{\cos(\theta - 120)} + \right.$$

$$+ \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j120} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j120}\right)}_{i_{sb}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} \cdot e^{-j240} + e^{-j\theta} \cdot e^{j240}\right)}_{\cos(\theta - 240)} +$$

$$\left. + \underbrace{\frac{I_{ms}}{2} \cdot \left(e^{j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{-j240} + e^{-j(\omega t - \varphi_{is})} \cdot e^{j240}\right)}_{i_{sc}} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(e^{j\theta} + e^{-j\theta}\right)}_{\cos\theta} \right] =$$

$$+\left[e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\cdot e^{-j120}+e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{-j\theta}\cdot e^{j120}+\right.$$

$$+\left[e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\cdot e^{j(120-240)}+e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{-j\theta}\cdot e^{j(120+240)}+\right.$$

$$\left.+\left[e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\cdot e^{j240}+e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{-j\theta}\cdot e^{j240}\right]\right]=$$

$$=3\cdot e^{-j120} \qquad =0$$

$$=\frac{3}{4}\cdot\left(l_{msr}\cdot e^{-j\theta}\right)\cdot\left(I_{ms}\cdot\underbrace{1\cdot e^{j240}\cdot e^{-j240}}_{1\cdot e^{j0}}\cdot e^{-j\varphi_{is}}\right)\cdot e^{j\omega t}+\left[\frac{3}{4}\cdot l_{msr}\cdot I_{ms}\cdot e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\right]\cdot\left(1\cdot e^{j240}\cdot e^{-j120}\right)=$$

$$=\frac{3}{4}\cdot\left(l_{msr}\cdot e^{-j\theta}\right)\cdot\underbrace{\left(I_{ms}\cdot 1\cdot e^{-j\varphi_{is}}\right)}_{I_s}\cdot e^{j\omega t}+\left[\frac{3}{4}\cdot l_{msr}\cdot I_{ms}\cdot e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\right]\cdot 1\cdot e^{j120}$$

$$\psi_{lmsr} = \frac{2}{3}\cdot\left[\frac{9}{4}\cdot\left(l_{msr}\cdot e^{-j\theta}\right)\cdot\underline{I}_s + \left(\frac{3}{4}\cdot l_{msr}\cdot I_{ms}\cdot e^{-j(\omega t-\varphi_{is})}\cdot e^{j\theta}\right)\cdot\left(1\cdot e^{j0}+1\cdot e^{j240}+1\cdot e^{j120}\right)\right] = 0$$

$$= \left(\frac{3}{2}\cdot l_{msr}\cdot e^{-j\theta}\right)\cdot\underline{I}_s$$

$$\psi_r = \frac{2}{3}\cdot\left(\psi_{ra}\cdot a_1+\psi_{rb}\cdot a_2+\psi_{rc}\cdot a_3\right) = \psi_{lr}+\psi_{lmr}+\psi_{lmsr} = l_r\cdot\underline{I}_r+\left(-l_{mr}\cdot\underline{I}_r\right)+\left(\frac{3}{2}\cdot l_{msr}\cdot e^{-j\theta}\right)\cdot\underline{I}_s =$$

$$= \underbrace{\left(l_r-l_{mr}\right)}_{L_r}\cdot\underline{I}_r+\underbrace{\left(\frac{3}{2}\cdot l_{msr}\right)\cdot e^{-j\theta}}_{L_m}\cdot\underline{I}_s = L_r\cdot\underline{I}_r+\left(L_m\cdot e^{-j\theta}\right)\cdot\underline{I}_s$$

$$\boxed{\psi_r = L_r\cdot\underline{I}_r+\left(L_m\cdot e^{-j\theta}\right)\cdot\underline{I}_s}$$