

МОДЕЛЬ АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБМОТКИ ДВИГАТЕЛЯ

И. В. Дорощенко

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь

Научный руководитель В. И. Луковников

Для оценки энергоэффективности и качества энергопотребления испытательного стенда на основе асинхронно-вентильного каскада необходимо использовать имитационную модель каскада с учетом реальной схемы включения обмоток статора и ротора двигателя. Имеющиеся разработки составлены на основе математической модели двигателя в координатной системе $ABCabc$ (3.221), (3.222) [2], которая справедлива только для схемы соединения обмоток статора и ротора – звезда с нейтралью. А также имеются другие недостатки, например, в работе [1] принято, что фазные обмотки асинхронного двигателя и трансформатора имеют одинаковые активные сопротивления и индуктивности рассеяния, что не соответствует действительности.

В связи с этим необходимо составить имитационную модель асинхронно-вентильного каскада, которая бы учитывала вышеуказанные особенности. Нами была составлена такая модель, в которой уравнения ротора и цепи промежуточного тока находятся по методу узловых потенциалов. Схема модели асинхронно-вентильного каскада представлена на рис. 1.

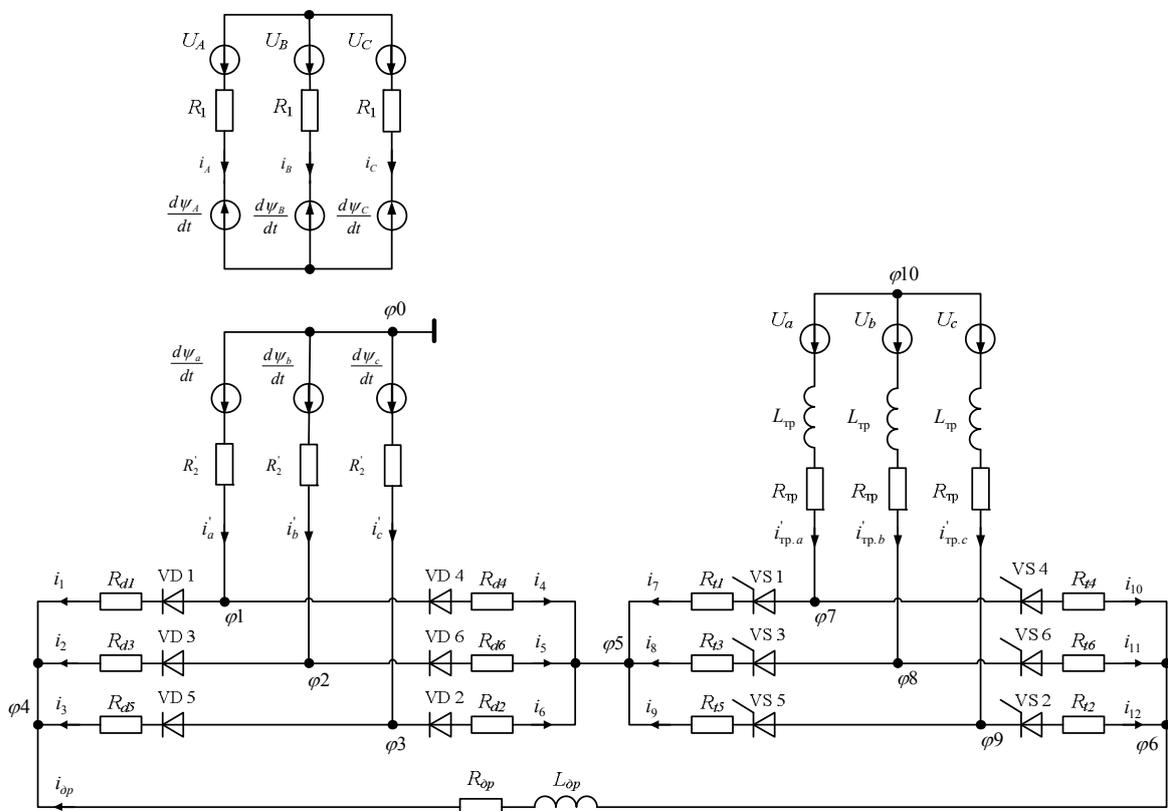


Рис. 1. Схема замещения асинхронно-вентильного испытательного стенда

Заземляем узел с потенциалом φ_0 , тогда уравнения для роторной цепи примут вид:

$$\begin{aligned}
 & \frac{L_1 di_A}{dt} - \frac{0,5L_{11} di_B}{dt} - \frac{0,5L_{11} di_C}{dt} + \frac{L_m \cos \gamma_{\text{эл}} di'_a}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right) di'_b}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right) di'_c}{dt} = \\
 & = -R_1 i_A + u_A + L_m \omega i'_a \sin \gamma_{\text{эл}} + L_m \omega i'_b \sin \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right) + L_m \omega i'_c \sin \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right); \\
 & - \frac{0,5L_{11} di_A}{dt} + \frac{L_1 di_B}{dt} - \frac{0,5L_{11} di_C}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right) di'_a}{dt} + \frac{L_m \cos \gamma_{\text{эл}} di'_b}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right) di'_c}{dt} = \\
 & = -R_1 i_B + u_B + L_m \omega i'_a \sin \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right) + L_m \omega i'_b \sin \gamma_{\text{эл}} + L_m \omega i'_c \sin \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right); \\
 & - \frac{0,5L_{11} di_A}{dt} - \frac{0,5L_{11} di_B}{dt} + \frac{L_1 di_C}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right) di'_a}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right) di'_b}{dt} + \frac{L_m \cos \gamma_{\text{эл}} di'_c}{dt} = \\
 & = -R_1 i_C + u_C + L_m \omega i'_a \sin \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right) + L_m \omega i'_b \sin \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right) + L_m \omega i'_c \sin \gamma_{\text{эл}}; \\
 & \frac{L_2 di'_a}{dt} - \frac{0,5L_{22} di'_b}{dt} - \frac{0,5L_{22} di'_c}{dt} + \frac{L_m \cos \gamma_{\text{эл}} di_A}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right) di_B}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right) di_C}{dt} = \\
 & = \varphi_1 - R_2 i'_a + L_m \omega i_A \sin \gamma_{\text{эл}} + L_m \omega i_B \sin \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right) + L_m \omega i_C \sin \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right); \\
 & - \frac{0,5L_{22} di'_a}{dt} + \frac{L_2 di'_b}{dt} - \frac{0,5L_{22} di'_c}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right) di_A}{dt} + \frac{L_m \cos \gamma_{\text{эл}} di_B}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right) di_C}{dt} = \\
 & = \varphi_2 - R_2 i'_b + L_m \omega i_A \sin \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right) + L_m \omega i_B \sin \gamma_{\text{эл}} + L_m \omega i_C \sin \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right); \\
 & - \frac{0,5L_{22} di'_a}{dt} - \frac{0,5L_{22} di'_b}{dt} + \frac{L_2 di'_c}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right) di_A}{dt} + \frac{L_m \cos \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right) di_B}{dt} + \frac{L_m \cos \gamma_{\text{эл}} di_C}{dt} = \\
 & = \varphi_3 - R_2 i'_c + L_m \omega i_A \sin \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2}{3} \right) + L_m \omega i_B \sin \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2}{3} \right) + L_m \omega i_C \sin \gamma_{\text{эл}};
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{d\psi_a}{dt} = L_2 \cdot \frac{di'_a}{dt} - \frac{1}{2} \cdot L_{22} \cdot \left(\frac{di'_b}{dt} + \frac{di'_c}{dt} \right) + L_m \cdot \left(\frac{di_A}{dt} \cdot \cos(\gamma_{\text{эл}}) - i_A \cdot \sin(\gamma_{\text{эл}}) \cdot \frac{d\gamma_{\text{эл}}}{dt} + \frac{di_C}{dt} \cdot \cos \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2\pi}{3} \right) - \right. \\
 & \left. - i_C \cdot \sin \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \frac{d\gamma_{\text{эл}}}{dt} + \frac{di_B}{dt} \cdot \cos \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2\pi}{3} \right) - i_B \cdot \sin \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \frac{d\gamma_{\text{эл}}}{dt} \right); \\
 & \frac{d\psi_b}{dt} = L_2 \cdot \frac{di'_b}{dt} - \frac{1}{2} \cdot L_{22} \cdot \left(\frac{di'_a}{dt} + \frac{di'_c}{dt} \right) + L_m \cdot \left(\frac{di_B}{dt} \cdot \cos(\gamma_{\text{эл}}) - i_B \cdot \sin(\gamma_{\text{эл}}) \cdot \frac{d\gamma_{\text{эл}}}{dt} + \frac{di_A}{dt} \cdot \cos \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2\pi}{3} \right) - \right. \\
 & \left. - i_A \cdot \sin \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \frac{d\gamma_{\text{эл}}}{dt} + \frac{di_C}{dt} \cdot \cos \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2\pi}{3} \right) - i_C \cdot \sin \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \frac{d\gamma_{\text{эл}}}{dt} \right); \\
 & \frac{d\psi_c}{dt} = L_2 \cdot \frac{di'_c}{dt} - \frac{1}{2} \cdot L_{22} \cdot \left(\frac{di'_b}{dt} + \frac{di'_a}{dt} \right) + L_m \cdot \left(\frac{di_C}{dt} \cdot \cos(\gamma_{\text{эл}}) - i_C \cdot \sin(\gamma_{\text{эл}}) \cdot \frac{d\gamma_{\text{эл}}}{dt} + \frac{di_B}{dt} \cdot \cos \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2\pi}{3} \right) - \right. \\
 & \left. - i_B \cdot \sin \left(\gamma_{\text{эл}} + \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \frac{d\gamma_{\text{эл}}}{dt} + \frac{di_A}{dt} \cdot \cos \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2\pi}{3} \right) - i_A \cdot \sin \left(\gamma_{\text{эл}} - \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \frac{d\gamma_{\text{эл}}}{dt} \right);
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $\psi_A, \psi_B, \psi_C, R_1, i_A, i_B, i_C, u_A, u_B, u_C$ – соответственно потокосцепления, активное сопротивление, токи и напряжения фаз A, B, C статора; $\psi_a, \psi_b, \psi_c, R_2, i'_a, i'_b, i'_c$ – соответственно потокосцепления, приведенное к статору активное сопротивление и

токи фаз a, b, c ротора; $L_1 = L_{1y} + L_m$ – собственная индуктивность обмотки фаз статора; $L_{1\sigma}$ – индуктивность рассеивания обмотки фазы статора (по T -образной схеме замещения); L_m – главная взаимная индуктивность между обмотками фазы статора и фазы ротора; L_{11} – взаимная индуктивность между обмотками фаз статора; $\gamma_{эл}$ – угол поворота ротора в эл. рад; $L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m$ – приведенная к статору индуктивность обмотки фаз ротора; $L'_{2\sigma}$ – приведенная к статору индуктивность рассеивания обмотки фазы ротора (по T -образной схеме замещения); L'_{22} – приведенная к статору взаимная индуктивность между обмотками фаз ротора.

$$\left. \begin{aligned} i_{др} &= \frac{\varphi_6 - \varphi_4}{R_{др}} - \frac{L_{др}}{R_{др}} \cdot \frac{di_{др}}{dt}; \\ i_1 &= \frac{\varphi_1 - \varphi_4}{R_{d1}}; & i_2 &= \frac{\varphi_2 - \varphi_4}{R_{d3}}; & i_3 &= \frac{\varphi_3 - \varphi_4}{R_{d5}}; \\ i_4 &= \frac{\varphi_1 - \varphi_5}{R_{d4}}; & i_5 &= \frac{\varphi_2 - \varphi_4}{R_{d6}}; & i_6 &= \frac{\varphi_1 - \varphi_4}{R_{d2}}; \\ i_7 &= \frac{\varphi_7 - \varphi_5}{R_{t1}}; & i_8 &= \frac{\varphi_8 - \varphi_5}{R_{t3}}; & i_9 &= \frac{\varphi_9 - \varphi_5}{R_{t5}}; \\ i_{10} &= \frac{\varphi_7 - \varphi_6}{R_{t4}}; & i_{11} &= \frac{\varphi_8 - \varphi_6}{R_{t6}}; & i_{12} &= \frac{\varphi_9 - \varphi_6}{R_{t2}}; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $i_{др}$ – выпрямленный ток дросселя; i_1-i_6 – токи выпрямителя; i_7-i_{12} – токи инвертора; $\varphi_0 - \varphi_{10}$ – потенциалы узлов.

Л и т е р а т у р а

1. Вилячкин, Л. В. Компьютерная модель асинхронно-вентильного каскада / Л. В. Вилячкин, Ю. П. Галишников // Электротехника. – 1997. – № 9. – С. 40–45.
2. Фираго, Б. И. Теория электропривода: учеб. пособие / Б. И. Фираго, Л. Б. Палявчик. – Минск : Техноперспектива, 2004. – 527 с.