ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 262 1973

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С НЕСИНУСОИДАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПИТАНИЯ

А. А. ЕФИМОВ, В. И. ПАНТЕЛЕЕВ, Б. П. СОУСТИН

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Если ступенчатое напряжение трансформировать к системе отсчета, вращающейся с частотой поля статора, то напряжение по двум осям запишется

$$U_{\alpha s}^{\kappa} = \frac{2U_I'}{\pi}\left(1 + \frac{2}{35}\cos 6\omega_{\kappa} t - \frac{2}{143}\cos 12\,\omega_{\kappa} t + \ldots\right), \tag{1}$$

$$U_{\beta s}^{\kappa} = \frac{2\,U_I'}{\pi}\left(\frac{12}{35}\sin 6\,\omega_{\kappa} t - \frac{24}{143}\sin 12\,\omega_{\kappa} t + \ldots\right). \tag{2}$$

Ось $\alpha$ и магнитные оси фаз статора и ротора совпадают в нулевой момент времени. 5 и 7 гармоники трансформируются в величины 6 гармоники, а 11 и 13 гармоники в величины 12 и т. д. [2]. На рис. 1 представлена эквивалентная схема системы [3], которая может быть выпол-

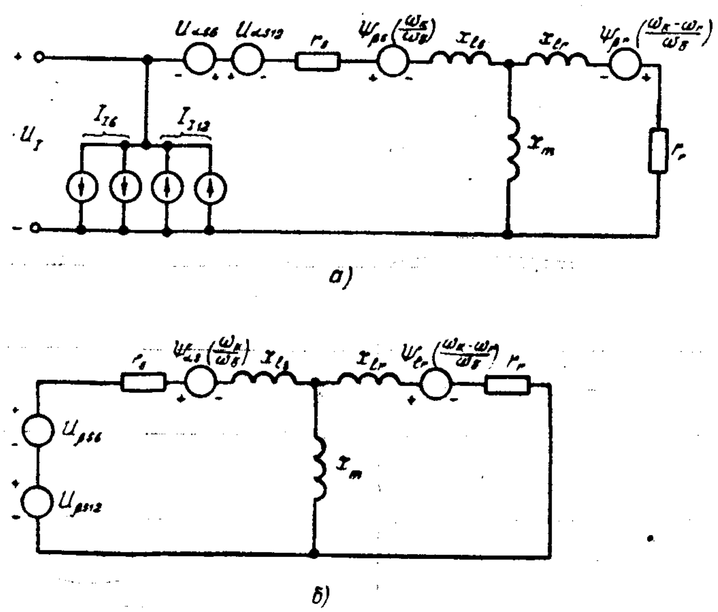

Рис. 1

нена с любой степенью точности добавлением в нее источников тока и напряжения. Установившиеся величины напряжения и тока, скорости ротора, а также напряжения и тока инвертора определяются постоянными составляющими (нулевой частотой) и гармониками 6, 12 и т. д.

Если ввести базовую электрическую угловую частоту $\omega_б$, принять относительные величины частоты $\alpha=\frac{\omega_к}{\omega_б}$ и абсолютного скольжения $\beta=\alpha s$, то уравнения асинхронной машины в матричной форме запишутся

$$\begin{vmatrix} R_s+\left(\frac{p}{\omega_б}\right)x_s & \alpha x_s & \left(\frac{p}{\omega_б}\right)x_m & \alpha x_m \\ -\alpha s & R_s+\left(\frac{p}{\omega_б}\right)x_s & -\alpha x_m & \left(\frac{p}{\omega_б}\right)x_m \\ \left(\frac{p}{\omega_б}\right)x_m & \alpha s x_m & R_r+\left(\frac{p}{\omega_б}\right)x_r & \alpha s x_r \\ -\alpha s x_m & \left(\frac{p}{\omega_б}\right)x_m & -\alpha s x_r & R_r+\left(\frac{p}{\omega_б}\right)x_r \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} i_{\alpha s} \\ i_{\beta s} \\ i_{\alpha r} \\ i_{\beta r} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U_{\alpha s} \\ U_{\beta s} \\ U_{\alpha r} \\ U_{\beta r} \end{vmatrix} \quad (3)$$

$$M=x_m(i_{\alpha s}\cdot i_{\beta r}-i_{\beta s}\cdot i_{\alpha r}), \quad (4)$$

$$M-M_с=\left(\frac{2H}{\omega_б}\right)p\cdot\omega_r. \quad (5)$$

Эти уравнения можно разбить на три системы: для величин нулевой частоты, 6, 12 и т. д. гармоник. Для нулевой частоты

$$\begin{vmatrix} U_{l0} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_s & \alpha x_s & 0 & \alpha x_m \\ -\alpha x_s & R_s & -\alpha x_m & 0 \\ 0 & \alpha s_0 x_m & R_r & \alpha s_0 x_r \\ -\alpha s_0 x_m & 0 & -\alpha s_0 x_r & R_r \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} i_{\alpha s0} \\ i_{\beta s0} \\ i_{\alpha r0} \\ i_{\beta r0} \end{vmatrix} \quad (6)$$

$$M_0=x_m(i_{\alpha s0}\cdot i_{\beta r0}-i_{\beta s0}\cdot i_{\alpha r0}), \quad (7)$$

$$s_0=\left(\frac{\omega_к-\omega_{r0}}{\omega_к}\right), \tag{8}$$

$$M_0 - M_{c0} - 0. \tag{9}$$

Для величин 6 гармоники справедливы уравнения

$$\begin{vmatrix} R_s+j\,6\,\alpha\,x_s & \alpha\,x_s & j\,6\,\alpha\,x_m & \alpha\,x_m \\ -\alpha\,x_s & R_s+j\,6\alpha x_s & -\alpha x_m & j\,6\,\alpha\,x_m \\ j(K_м\Psi_{\beta r0}\cdot i_{\beta r0}+6\alpha\,x_m) & \alpha s_0 x_m-jK_м\Psi_{\beta r0}\cdot i_{\alpha r0} & R_r+j(6\,\alpha\,x_r-K_м\Psi_{\beta r0}\cdot i_{\beta s0}) & \alpha\,s_0 x_r+jK_м\Psi_{\beta r0}\cdot i_{\alpha s0} \\ -\alpha s_0 x_m-jK_m\Psi_{\alpha r0}\cdot i_{\alpha r0} & j(6\alpha x_m+K_м\Psi_{\alpha r0}\cdot i_{\alpha r0}) & -\alpha s_0 x_r+jK_м\Psi_{\alpha r0}\cdot i_{\beta r0} & R_r+j(6\alpha\,x_r-K_м\Psi_{\alpha r0}\cdot i_{\alpha s0}) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \bar{i}_{\alpha s6} \\ \bar{i}_{\beta s6} \\ \bar{i}_{\alpha r6} \\ \bar{i}_{\beta r6} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{2}{35}U_{l0} \\ -j\frac{12}{35}U_{l0} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \tag{10}$$

$$|\bar{M}_6|=[\mathrm{Re}(\bar{M}_6)^2+\mathrm{Im}(\bar{M}_6)^2]^{1/2}. \tag{11}$$

Относительные отклонения скорости, вызываемые 6 гармоникой,

$$\left|\frac{\bar{\omega}_{r6}}{\omega_к}\right|=\frac{1}{12\alpha^2\omega_6 H}\cdot|\bar{M}_6|. \tag{12}$$

Выражение (10) представляет собой матричное линейное уравнение, учитывающее отклонение скорости при вычислении пульсаций момента шестой гармоники. Влияние отклонения скорости учитывается соответствующими коэффициентами при импедансах в третьем и четвертом ряду.

Для величин 12 гармоники вывод уравнений и их вид аналогичен, но

$$\frac{p}{\omega_6}=j\,12\,\alpha, \tag{13}$$

$$\bar{M}_{12}=x_m\cdot\begin{vmatrix} i_{\beta s0} & -i_{\alpha r0} & -i_{\beta s0} & i_{\beta s0} \end{vmatrix}\cdot\bar{i}_{12}. \tag{14}$$

Относительные отклонения скорости

$$\left|\frac{\bar{\omega}_{r12}}{\omega_к}\right|=\frac{1}{24\alpha^2\omega_6 H}|\bar{M}_{12}|. \tag{15}$$

Аналогичным способом вычисляются отклонения скорости от 18, 24 и т. д. гармоник, однако практически даже для двигателей с очень малым моментом инерции достаточно определения этих двух.

Пульсации момента двигателя ДАТ 250-8, вычисленные на ЭЦВМ по предложенной методике при номинальной частоте, составляют для 6 гармоники 12,1% от номинального, для 12 — 1,78%.

## Выводы

Предложено математическое описание асинхронной машины при несинусоидальном напряжении, позволяющее определить пульсации момента с учетом изменения скорости ротора. Полученные выражения представляют собой матричные линейные уравнения. Влияние отклонения скорости учитывается соответствующими составляющими коэффициентов при импедансах.

## ЛИТЕРАТУРА


1. К. Н. Ковач, И. Рац. Переходные процессы в машинах переменного тока. ГЭИ, 1963.
2. И. Ф. Калинин, В. И. Пантелеев, Б. П. Соустин, Асинхронный электропривод, питаемый прямоугольным напряжением. Тезисы докладов к XXIV научно-технической конференции ЛИАПа, Л., 1971.
3. Lipo T. A., Krause P. C., Jordan Howard E. „Harmonic torque and speed pulsation in a rectifier — inverter induction motor drive.". „JEEE Trans. Power. Appar. and Syst". № 5, Part I, 1969.