

НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ К ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Булахов В.В.

Донецкий национальный технический университет

e-mail: bulik@kita.dgtu.donetsk.ua

Abstract – Vector control systems of induction motors without mechanical speed or position sensors requires the estimation of internal state variables of the machine. The assessment is based exclusively on measured terminal voltages and currents. High-performance systems rely on compensation of stator and rotor resistance variation. This paper proposes useful calculation method for the speed sensor-less system. The method operates with enough stability at large machine parameters variation. It allows to make set-up of an adaptive system at large errors of preliminary identification. Thus, the given method can become the constituent of a system for low-zero speed operation.

В данной статье рассматривается новый метод определения частоты вращения поля ротора. Этот метод основан на возможности представления расчетной угловой скорости в виде функции угла ошибки ориентирования. При этом, если данный угол будет положительным (наблюдается отставание расчетной частоты от реальной), то значение функции будет больше, чем реальная частота вращения. И наоборот, если угол будет отрицательным, то значение функции будет меньшим. Такое представление позволяет построить контур вычисления угла пространственного положения вектора поля ротора, содержащий замкнутый обратными связями интегратор. При исследовании метод показал великолепные результаты и устойчивость к разбросу параметров.

Определение частоты вращения и угла поворота вектора потока намагничивания осуществляется с помощью статорной модели в α, β -системе координат. Уравнение статора асинхронной машины может быть записано в следующем виде:

$$\bar{U}_1 = R_1 \bar{i}_1 + \sigma L_1 \frac{d\bar{i}_1}{dt} + \frac{d\bar{\Psi}_\mu}{dt} \quad (1)$$

Вектор потока намагничивания может быть задан в неподвижной системе координат с помощью угла приведения ρ , отсчитываемого от реальной оси.

$$\bar{\Psi}_\mu = \Psi_\mu e^{j\rho} \quad (2)$$

Подставив выражение (2) в уравнение (1) и положив $\Psi_\mu = \text{const}$, имеем:

$$\bar{U}_1 = R_1 \bar{i}_1 + \sigma L_1 \frac{d\bar{i}_1}{dt} + j\Psi_\mu \omega_1 e^{j\rho} \quad (3)$$

Из чего, путем разделения мнимой и вещественной частей, получаем два дифференциальных уравнения статора:

$$U_{1\alpha} = R_1 i_{1\alpha} + \sigma L_1 \frac{di_{1\alpha}}{dt} - \Psi_\mu \omega_1 \sin(\rho) \quad (4)$$

$$U_{1\beta} = R_1 i_{1\beta} + \sigma L_1 \frac{di_{1\beta}}{dt} + \Psi_\mu \omega_1 \cos(\rho) \quad (5)$$

Рассматриваемый в данной статье метод основан на возможности получения информации о текущем значении угла ошибки ориентирования, который, по определению, равен разности между реальным и расчетным значением угла приведения ($\Delta\rho = \rho - \hat{\rho}$). Применяв широко известные тригонометрические соотношения, имеем:

$$\omega_1 \sin(\Delta\rho) = \omega_1 \sin(\rho - \hat{\rho}) = \omega_1 \sin(\rho) \cos(\hat{\rho}) - \omega_1 \cos(\rho) \sin(\hat{\rho}) \quad (6)$$

$$\omega_1 \cos(\Delta\rho) = \omega_1 \cos(\rho - \hat{\rho}) = \omega_1 \cos(\rho) \cos(\hat{\rho}) + \omega_1 \sin(\rho) \sin(\hat{\rho}) \quad (7)$$

В последних двух выражениях угол пространственного положения вектора поля ротора, используемый при проведении координатных преобразований между неподвижной и вращающейся системами координат, обозначен с помощью символа $\hat{\rho}$.

Величины $\omega_1 \sin(\rho)$ и $\omega_1 \cos(\rho)$ могут быть непосредственно определены из уравнений (4) и (5) на основании измеренных токов и приложенных напряжений.

$$\omega_1 \sin(\rho) = \left(-U_{1\alpha} + R_1 i_{1\alpha} + \sigma L_1 \frac{di_{1\alpha}}{dt} \right) / \hat{\Psi}_\mu \quad (8)$$

$$\omega_1 \cos(\rho) = \left(+U_{1\beta} - R_1 i_{1\beta} - \sigma L_1 \frac{di_{1\beta}}{dt} \right) / \hat{\Psi}_\mu \quad (9)$$

Используя величины $\omega_1 \sin(\Delta\rho)$ и $\omega_1 \cos(\Delta\rho)$ из уравнений (6) и (7), расчетную угловую скорость $\hat{\omega}_1$ можно представить как функцию угла ошибки $\Delta\rho$.

Для положительного значения ω_1 :

$$\hat{\omega}_1 = f(\Delta\rho) = \omega_1 \cos(\Delta\rho) + k \cdot \omega_1 \sin(\Delta\rho), \quad (10)$$

где $k = 1$, если $\omega_1 \sin(\Delta\rho) < 0$

$k = 3$, если $\omega_1 \sin(\Delta\rho) > 0$

Для отрицательного значения ω_1 :

$$\hat{\omega}_1 = f(\Delta\rho) = \omega_1 \cos(\Delta\rho) - k \cdot \omega_1 \sin(\Delta\rho), \quad (11)$$

где $k = 1$, если $\omega_1 \sin(\Delta\rho) < 0$

$k = 3$, если $\omega_1 \sin(\Delta\rho) > 0$

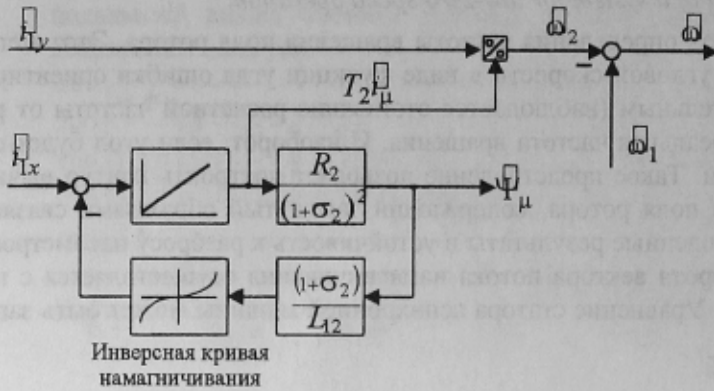


Рисунок 1. Структурная схема потоковой модели с учетом эффекта насыщения.

Поток намагничивания Ψ_μ и круговая частота скольжения ω_2 определяются с помощью потоковой модели, представленной на рис.1. Приведенная на данном рисунке модель адаптирована к работе в диапазоне выше основной скорости, что потребовало учета кривой намагничивания двигателя в режиме ослабления поля. Это достигается включением в цепи обратной связи апериодического звена первого порядка обратной кривой, экспериментально получаемой для конкретного двигателя на стадии идентификации его параметров.

По выражениям (6)-(11) была разработана структурная схема определения частоты вращения поля ротора. Эта схема изображена на рис.2. Принцип ее действия основан на том, что расчетная угловая скорость поля может быть равна реальной только в том случае, если расчетный угол приведения совпадает с реальным, т.е. угол ошибки ориентирования $\Delta\rho = 0$, $\cos(\Delta\rho) = 1$, $\sin(\Delta\rho) = 0$.

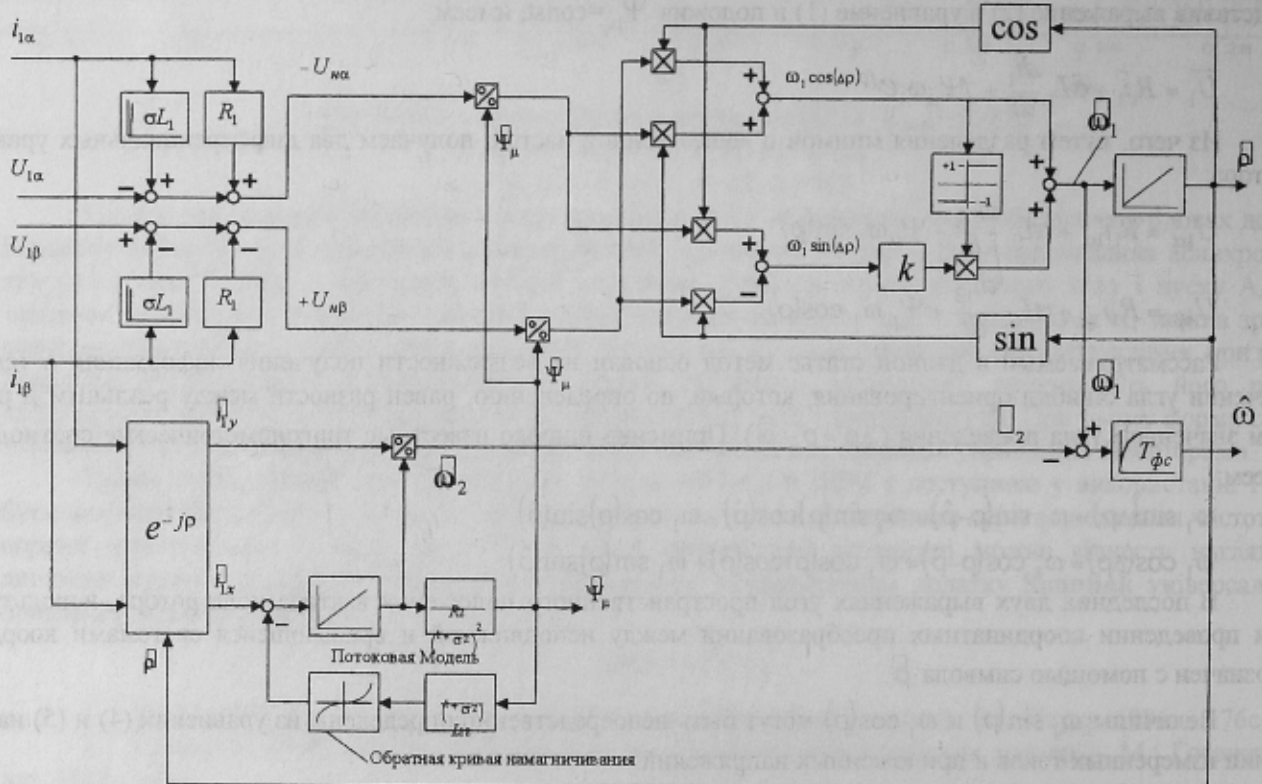


Рисунок 2 - Структурная схема определения угловой скорости поля и частоты вращения ротора асинхронного двигателя.

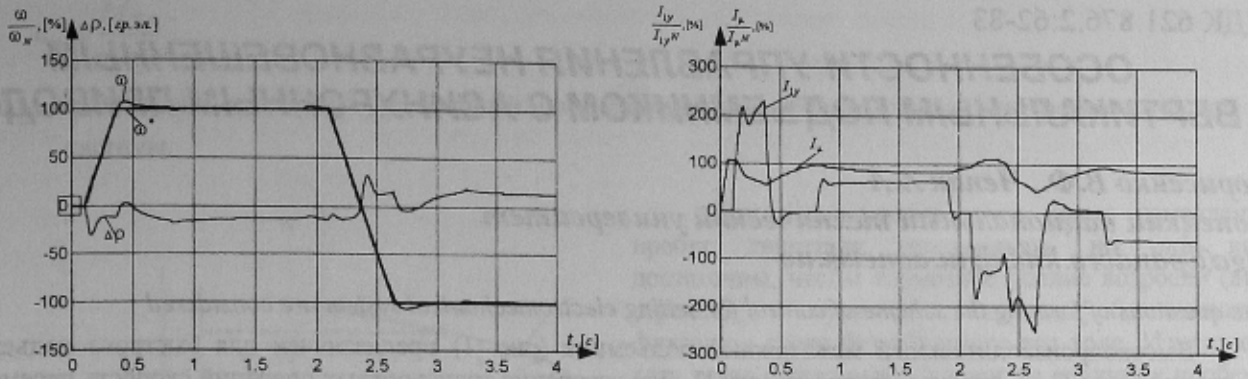


Рисунок 3. - Переходные процессы в системе векторного управления при следующих условиях:
 $R_{1\text{физ.}}/R_{1\text{рег.}} = 1.5$, $R_{2\text{физ.}}/R_{2\text{рег.}} = 1.5$, $L_{12\text{физ.}}/L_{12\text{рег.}} = 1.5$, $m_c = 0.75 \cdot m_n$.

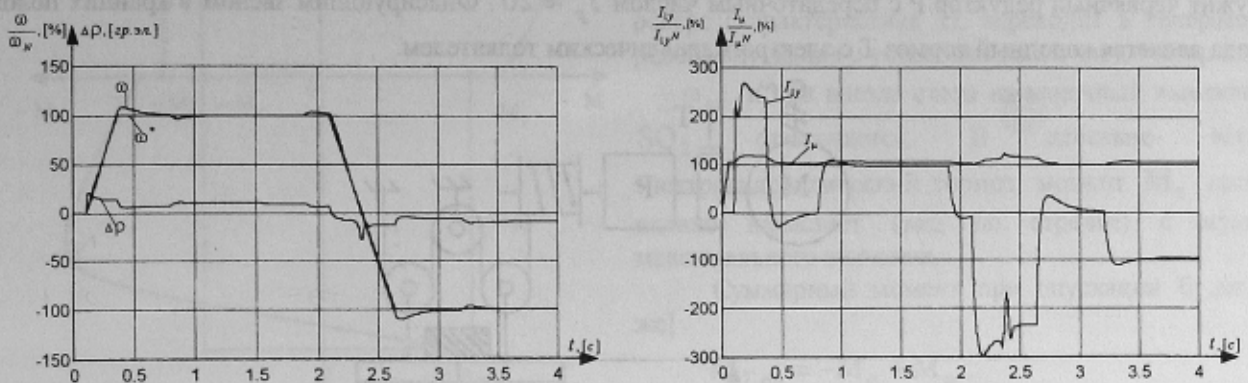


Рисунок 4. - Переходные процессы в системе векторного управления при следующих условиях:
 $R_{1\text{физ.}}/R_{1\text{рег.}} = 0.75$, $R_{2\text{физ.}}/R_{2\text{рег.}} = 0.75$, $L_{12\text{физ.}}/L_{12\text{рег.}} = 0.75$, $m_c = 0.75 \cdot m_n$.

В установившемся режиме работы угол ошибки ориентирования - постоянен, что означает равенство реальной и расчетной частот вращения поля. Величина угла в основном зависит от точности определения потока намагничивания ротора. Преобразование координат, проведенное с некорректным углом приведения, является причиной появления продольной составляющей в напряжении намагничивания. Используя эту информацию в качестве сигнала ошибки для проведения коррекции величины модуля вектора потока намагничивания, можно добиться значительного увеличения точности определения текущего положения поля ротора асинхронной машины и, как следствие, снижения токовой нагрузки двигателя [2].

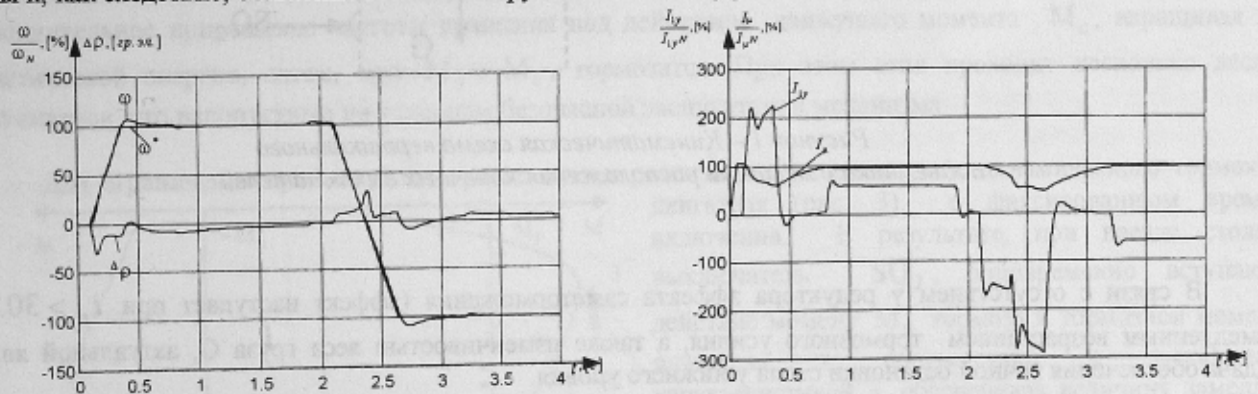


Рисунок 5 - Переходные процессы в адаптивной системе векторного управления при следующих условиях:
 $R_{1\text{физ.}}/R_{1\text{рег.}} = 1.5$, $R_{2\text{физ.}}/R_{2\text{рег.}} = 1.5$, $L_{12\text{физ.}}/L_{12\text{рег.}} = 1.5$, $m_c = 0.75 \cdot m_n$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников В.И. Основы векторного управления асинхронным электроприводом без датчика скорости // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Сборник трудов научно-технической конференции – Харьков: Основа, 1998. - С.128-129.
2. Калашников В.И., Булахов В.В. Глубоко-регулируемые системы векторного управления // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Сборник трудов научно-технической конференции – Харьков: Основа, 2000. - С.132-134.
3. J. Hu, B. Wu, New Integration Algorithms for Estimating Motor Flux over a Wide Speed Range, IEEE Transactions on power electronics, Vol. 13, No. 5, September 1998, pp 969-977.