

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА ВЫТЕСНЕНИЯ ТОКА В РОТОРЕ

Для исследования динамики асинхронного двигателя (АД) и решения задач синтеза динамических режимов асинхронного электропривода наиболее часто применяются математические модели на основе уравнений Парка – Горева [1] и уравнения Клосса, не учитывающие потери в стали, эффекты насыщения магнитной системы и вытеснения тока в стержнях ротора. В некоторых режимах это приводит к существенным количественным и качественным отклонениям расчетных динамических и статических характеристик привода от реальных.

Для повышения пусковых моментов АД с короткозамкнутым ротором используют эффект вытеснения тока. Он заключается в неравномерном распределении тока по поперечному сечению стержней обмотки ротора: плотность тока уменьшается в нижней, ближайшей к пазу части каждого стержня и увеличивается в верхней части, обращенной к воздушному зазору. Вызванное этим увеличение электрических потерь в стержнях эквивалентно увеличению активного сопротивления обмотки ротора по сравнению с ее сопротивлением постоянно-му току. Эффект вытеснения тока возрастает с увеличением частоты тока в роторе [2].

Эффект вытеснения можно учесть, если при расчётах характеристик во всех выражениях умножить R_2' на некоторую функцию $k_r(s)$, сходящуюся при $s \rightarrow 0$ к единице, а при $s \rightarrow 1$ – к значению, обеспечивающему справочную величину пускового момента [3]. В качестве функции можно использовать полином вида $k_r(s) = 1 + \alpha \cdot s^\beta$. Величина α определяется решением уравнения Клосса при $s = 1$ из условия

$$\alpha = \frac{(\lambda_k - \lambda_n) \frac{R_1 s_k}{C_1 R_2'} + \lambda_k - \sqrt{\left((\lambda_k - \lambda_n) \frac{R_1 s_k}{C_1 R_2'} + \lambda_k \right)^2 - \lambda_n^2}}{\lambda_n s_k} \quad (1)$$

Величина β определяет форму механической характеристики и выбирается из условия получения требуемого индекса характеристики. Зависимость сопротивления ротора от скольжения описываем уравнением

$$R_r = k_r R_r' = R_r' (1 + \alpha s^\beta) \quad (2)$$

Момент можно найти по уточненной формулы Клосса [4]

$$M = \frac{2M_{kp} \left(1 + \frac{R_s}{R_r} s_{kp} \right)}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s} + 2s_{kp}}, \quad s_{kp} = \frac{R_s}{\sqrt{R_s^2 + (x_{s\delta} + x_{r\delta})^2}} \quad (3)$$

Тогда уточненное уравнение, описывающее механическую характеристику АД с учетом эффекта вытеснения тока будет иметь вид

$$M = \frac{2M_{kp} \left(1 + \frac{R_s}{\sqrt{R_s^2 + (x_{s\delta} + x_{r\delta})^2}} \right)}{\frac{s \sqrt{R_s^2 + (x_{s\delta} + x_{r\delta})^2}}{R_r' (1 + \alpha s^\beta)} + \frac{R_r' (1 + \alpha s^\beta)}{s \sqrt{R_s^2 + (x_{s\delta} + x_{r\delta})^2}} + 2 \frac{R_s}{\sqrt{R_s^2 + (x_{s\delta} + x_{r\delta})^2}}} \quad (4)$$

Построим статические и динамические характеристики АД по уточненной формуле Клосса без и с учетом эффекта вытеснения тока для АД 4АС250М6УЗ в программе MATLAB (рис. 1).

Найдем параметры двигателя по формулам, изложенным в [4] и занесем их в таблицу 1.

Исходные данные							Расчетные параметры						
$U_\phi, В$	$P_H, кВт$	$n_{синхр}, об/мин$	$\eta, \%$	$S_H, \%$	$\cos\phi$	$\lambda_n = M_n / M_H$	$\lambda_k = M_{kp} / M_H$	$I_n, А$	I_n / I_H	$R_s, Ом$	$R_r', Ом$	$L_s = L_r, Ом$	$L_{s\delta} = L_{r\delta}, Ом$
220	45	1000	0,865	0,05	0,88	1,9	2,1	90	6,5	0,0668	0,1235	0,0535	0,0525

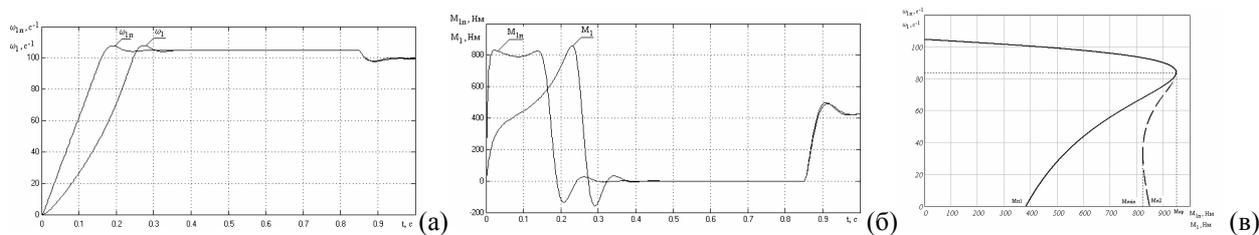


Рис. 1 Графики скорости (а), момента (б) и статическая характеристика АД(в) без и с учетом эффекта вытеснения тока

Метод пространственных векторов [1] позволяет записать систему уравнений движения двухфазной обобщенной электрической машины в единой системе координат, которая оборачивается с произвольной скоростью в координатной плоскости $\alpha - \beta$

$$\begin{aligned} \frac{di_{s\alpha}}{dt} &= \frac{L_s}{L_s L_r - L_m^2} U_{s\alpha} - \frac{L_r R_s}{L_s L_r - L_m^2} i_{s\alpha} - \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt}, \\ \frac{di_{s\beta}}{dt} &= \frac{L_s}{L_s L_r - L_m^2} U_{s\beta} - \frac{L_r R_s}{L_s L_r - L_m^2} i_{s\beta} - \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} \frac{d\psi_{s\beta}}{dt}, \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r} \psi_{r\alpha} + \frac{L_m R_r}{L_r} i_{s\alpha} - z_n \omega \psi_{r\beta}, \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r} \psi_{r\beta} + \frac{L_m R_r}{L_r} i_{s\beta} + z_n \omega \psi_{r\alpha}, \\ M &= 1,5 z_n \frac{L_m}{L_r} (\psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \psi_{r\beta} i_{s\alpha}), \\ \omega &= \frac{M - M_c}{J_1 p}. \end{aligned} \quad (5)$$

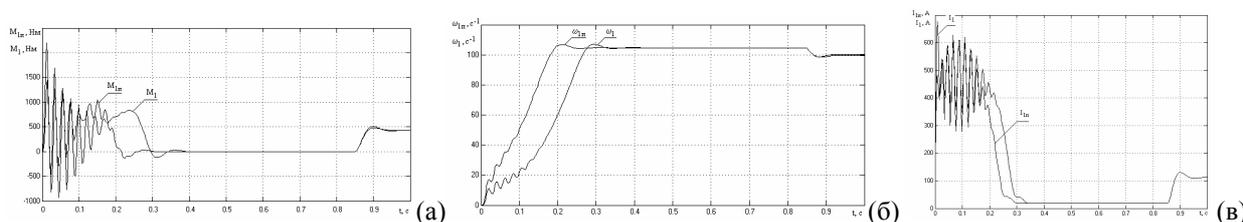


Рис. 2 Графики момента (а), скорости (б) и тока (в) асинхронного двигателя без и с учетом эффекта вытеснения тока

Таким образом получены уравнения статических и динамических характеристик асинхронного двигателя с учетом эффекта вытеснения тока в стержнях короткозамкнутой обмотки ротора. Модель может использоваться как для решения задач анализа, так и для синтеза динамических процессов в асинхронном электроприводе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин – М.: Высш. шк., 2001.– 327с.
2. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. Под общим руководством И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т. 1.–М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
3. Усольцев А.А. Определение параметров схемы замещения АД по справочным данным. - Электронный ресурс: http://ets.ifmo.ru/usolzev/wopros/op_ad.pdf. - 4 с.
4. Квашнин В.О. Разработка методики определения статических механических характеристик асинхронных двигателей с повышенным пусковым моментом Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», – Харків: НТУ «ХПИ», 2005 , №45. – С. 378-381.

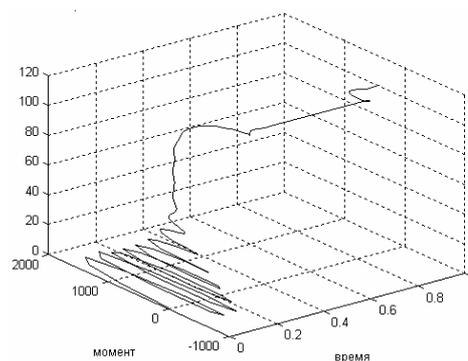


Рис. 3 Объемный график динамической характеристики двигателя с учетом пускового момента