

УДК 62-83-52:62-573

В.Г. Каширских, В.М. Завьялов, С.С. Переверзев

ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВНЫМ ПУСКОМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СКОРОСТНОГО ГРАДИЕНТА

Одной из серьезных проблем при эксплуатации нерегулируемых электроприводов технологических установок на базе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (АД) является неудовлетворительная динамика пусковых процессов. Особенно это важно для электроприводов с частыми пусками или работающими в повторно-кратковременном режиме. Возникающие при пуске АД пульсации пускового тока и электромагнитного момента приводят к резкопеременному характеру нагружения механических элементов электропривода, ускоренному износу изоляции обмотки статора и, как следствие, сокращению срока службы АД и электропривода.

Улучшение пусковых процессов АД возможно при использовании устройства плавного пуска (УПП), представляющего собой специальный пускатель на основе силовых полупроводниковых приборов (СПП). Известно несколько способов управления пуском АД на основе УПП. Для сравнения рассмотрим некоторые из них.

В [1] описан способ пуска с использованием тиристорного регулятора напряжения (ТРН) с фазовым управлением, в котором происходит ограничение скорости нарастания приложенного к обмоткам электродвигателя напряжения и тем самым достигается подавление знакопеременных электромагнитных моментов. К недостаткам этого способа относится уменьшение среднего пускового момента и, как следствие, снижение быстродействия привода, а также изменение гармонического состава питающего напряжения из-за коммутации силовых ключей с фазовым управлением.

Здесь же рассмотрен способ пуска АД, согласно которому обмотки статора подключаются к питающей сети не одновременно. Сначала происходит подключение двух фаз статора в максимуме линейного напряжения этих фаз, а затем происходит включение третьей фазы статора в максимуме её фазного напряжения. К недостаткам данного метода относится возникновение в процессе пуска несимметричной нагрузки сети, вызванной неодновременным подключением фаз питающего напряжения к статорным обмоткам электродвигателя, что негативным образом оказывается на работу потребителей, работающих в одной сети с запускаемым электродвигателем.

Известен также квазиоптимальный способ пуска АД, согласно которому первоначально на статорные обмотки электродвигателя подают напряжение сети в течение промежутка времени равного $\pi/3$ эл. град., (0,0033 с при частоте сети 50

Гц), затем электродвигатель отключают от питающей сети и переводят в режим динамического торможения на такой же промежуток времени, после чего обмотки статора вновь подключают к сети. Основным недостатком этого способа является сложность его технической реализации. Тем не менее, нами было изготовлено УПП, реализующее этот способ, а экспериментальные исследования подтвердили его высокую эффективность.

В данной статье рассматривается еще один подход к формированию закона управления плавным пуском АД на основе метода скоростного градиента [3].

Допустим, что при неизменной частоте питающего напряжения пускового устройство способно изменять амплитуду питающего напряжения с неограниченно большой скоростью.

Для описания процесса пуска в этом случае используем математическую модель обобщенной двухфазной электрической машины, записанную для системы координат $x-y$, вращающихся синхронно с вектором напряжения статора. Направив ось x по вектору напряжения статора, получим систему уравнений:

$$\dot{x} = A(x) + D(x) \cdot u, \quad (1)$$

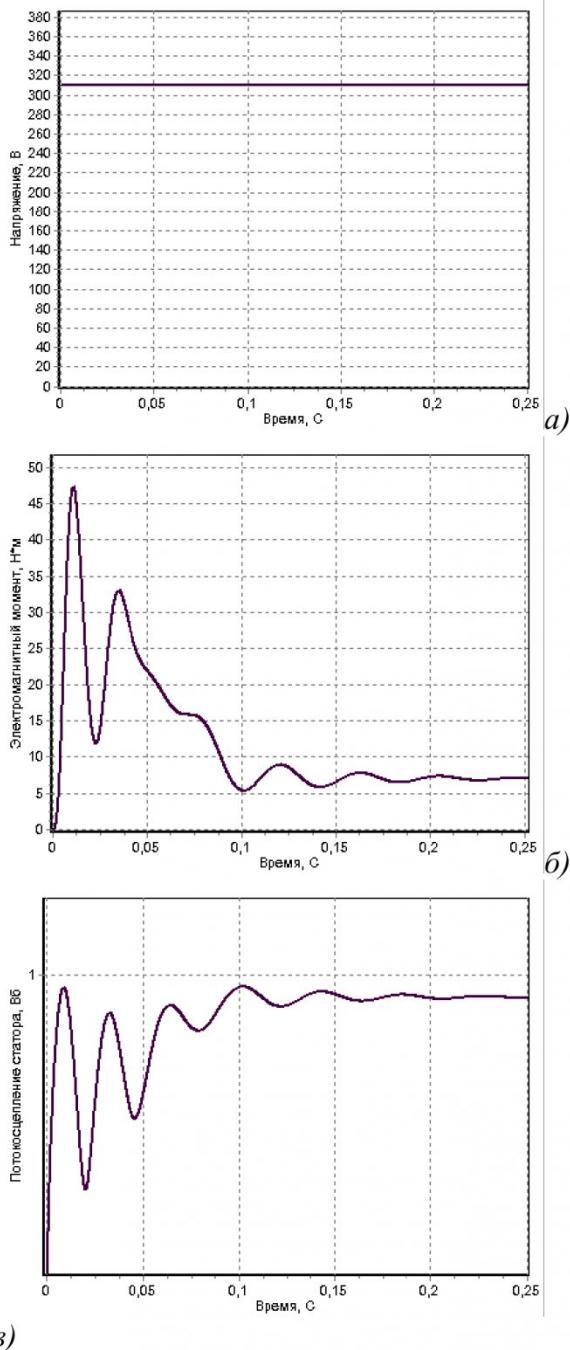
где

$$A(x) = \begin{bmatrix} -\frac{R_1}{L_1}\psi_{1x} + \frac{R_1}{L_1}k_2\psi_{2x} + \omega_0\psi_{1y} \\ -\frac{R_1}{L_1}\psi_{1y} + \frac{R_1}{L_1}k_2\psi_{2y} - \omega_0\psi_{1x} \\ -\frac{R_2}{L_2}\psi_{2x} + \frac{R_2}{L_2}k_1\psi_{1x} + (\omega_0 - p\omega)\psi_{2y} \\ -\frac{R_2}{L_2}\psi_{2y} + \frac{R_2}{L_2}k_1\psi_{1y} - (\omega_0 - p\omega)\psi_{2x} \\ \frac{1}{J}(M - M_C) \end{bmatrix}$$

$$B(x) = [1 \ 0 \ 0 \ 0];$$

$$u = U_m; x = [\Psi_{1x} \ \Psi_{1y} \ \Psi_{2x} \ \Psi_{2y} \ \omega]^T;$$

$\Psi_{1x}, \Psi_{1y}, \Psi_{2x}, \Psi_{2y}$ - составляющие потокосцеплений статора (индекс 1) и ротора (индекс 2); R_1, R_2, L_1, L_2 - соответственно активные сопротивления и полные индуктивности статора и ротора; ω_0, ω - соответственно частота вращения поля и частота вращения ротора; p - число пар



б)

Рис. 1. Переходные процессы при пуске прямым включением в сеть: а) напряжение статора; б) электромагнитный момент; в) потокосцепление статора

полюсов ; $M=c(\Psi_{ly} \Psi_{2x} - \Psi_{lx} \Psi_{2y})$ – электромагнитный момент, развиваемый двигателем; M_c – момент сопротивления; J – момент инерции электропривода; $k_1=L_m/L_1$; $k_2=L_m/L_2$; L_m – индуктивность цепи намагничивания.

Для синтеза системы управления поставим две цели управления: стабилизацию момента и стабилизацию модуля вектора потокосцепления. Первая цель направлена на минимизацию пульсаций электромагнитного момента, а вторая - для исключения

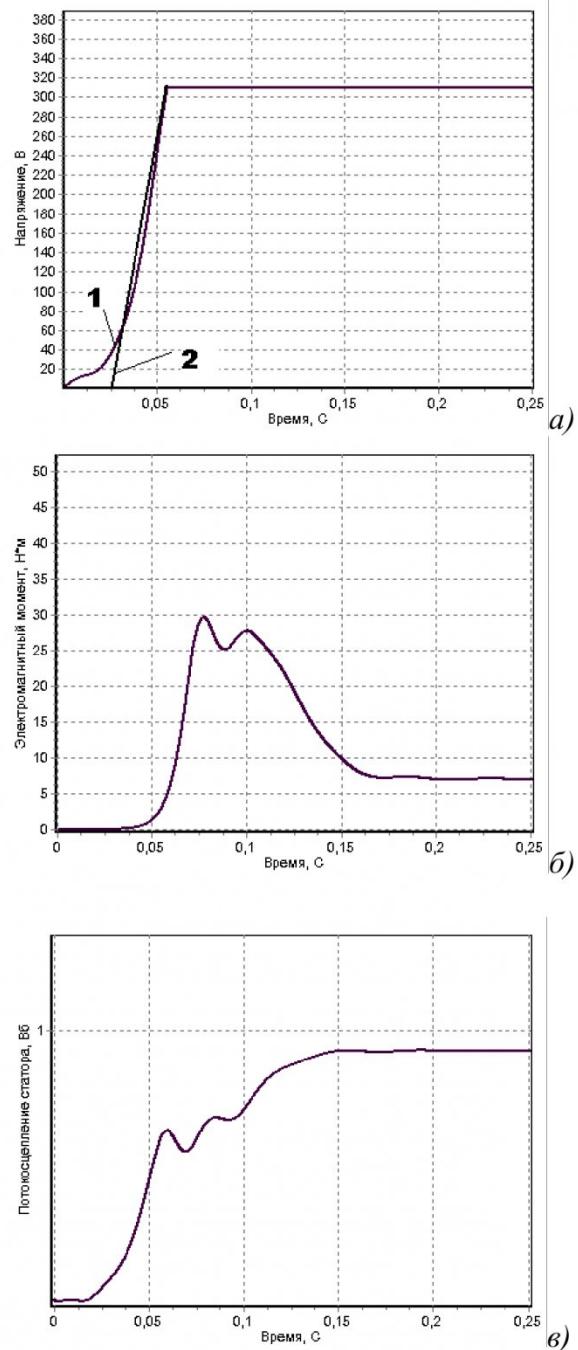


Рис. 2. Переходные процессы при пуске по алгоритму (4): а) напряжение статора; б) электромагнитный момент; в) потокосцепление статора

насыщения магнитной системы. В результате получим локальный целевой функционал:

$$Q(x, t) = \frac{1}{2} [y - y^*]^T H [y - y^*], \quad (2)$$

где $y=[M \psi_1^2]^T$ – вектор регулируемых величин; $y^*=[M^* \psi_1^{*2}]$ – вектор задающих воздействий; H – единичная матрица размерностью 2×2 ; $\psi_1^2 = \psi_{lx}^2 + \psi_{ly}^2$ – квадрат модуля вектора потокосцепления статора; M^* , ψ_1^{*2} – соответственно

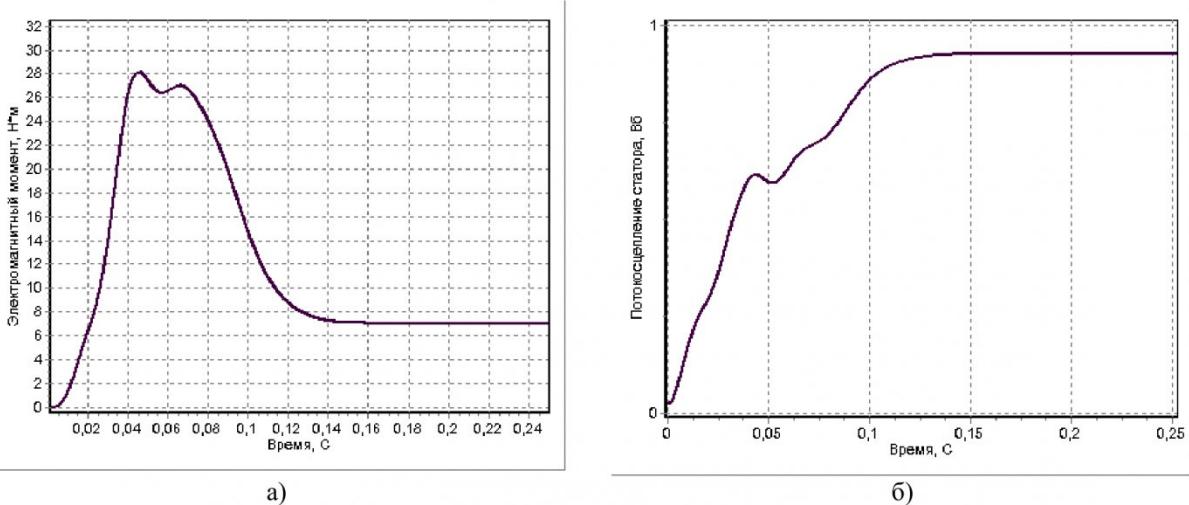


Рис. 3. Переходные процессы пуска с медленным нарастанием напряжения:
а) электромагнитный момент; б) потокосцепление статора

заданные значения электромагнитного момента и квадрата модуля вектора потокосцепления статора.

Объект управления (1) в нашем случае является линейным по входу, в связи с чем алгоритм управления можно представить зависимостью:

$$u = \int \{-\Gamma B(x)^T C^T H[y - y^*]\} dt, \quad (3)$$

где Γ – симметричная положительно определенная матрица; $C = \frac{\partial y(x)}{\partial x}$ – матрица Якоби для вектора регулируемых величин.

Решив (3) относительно (1) и (2), получим алгоритм управления:

$$U_m = -\gamma \int [2\psi_{1x}(\psi_1^2 - \psi_1^{*2}) - \psi_{2y}(M - M^*)] dt \quad (4)$$

где γ – положительное действительное число.

Апробация полученного алгоритма управления была проведена моделированием переходных процессов для двигателя 4A80A4У3 на персональном компьютере. Результаты моделирования показали, что при использовании алгоритма управления (4), временные зависимости электромагнитно-

го момента и модуля потокосцепления (рис. 2), имеют гораздо меньшие пульсации, чем при пуске прямым включением в сеть (рис. 1).

Недостатком управления процессом пуска по алгоритму (4) является то, что для его реализации необходимо знать текущее значение потокосцепления статора, а, значит, использовать систему измерения и наблюдающее устройство. Данный недостаток можно исключить путем аппроксимации линии 1 на рис. 2,а прямой 2.

Результаты моделирования пуска с линейным нарастанием напряжения показали (рис. 3), что качество переходного процесса по критерию колебательности момента в этом случае практически не уступает пуску по алгоритму (4).

Эффективность данного алгоритма пуска была проверена с помощью специально разработанного нами на основе полностью управляемых СПП пускателя, плавность нарастания напряжения в котором обеспечивалась путем широтно-импульсной модуляции. Изменения момента при этом соответствуют полученным при моделировании переходным процессам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров Л.П. Управление пуском и торможением асинхронных двигателей. – М.: Энергоиздат, 1981. – 184 с.
2. Патент РФ № 2235410 МПК Н 02 Р 1/26. Способ пуска асинхронного электродвигателя / Е.К. Ешин, И.А. Соколов, В.Л. Иванов, В.Г. Каширских, Д.В. Соколов, Заявл. 04.01.03. № 2003100098. Опубл. 27.08.04. Бюл. № 24.
3. Мирошник И.В. Нелинейное и адаптивное управление сложными объектами / И.В. Мирошник, А.Л. Фрадков – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.

□ Авторы статьи:

Каширских
Вениамин Георгиевич
- канд. техн. наук, доц., зав. каф.
электропривода и автоматизации

Завьялов
Валерий Михайлович
- канд. техн. наук, доц. каф. электро-
привода и автоматизации

Переверзев
Сергей Сергеевич
- аспирант каф. электропривода и
автоматизации