

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.313.33

В.Г. Каширских, А.В.Нестеровский

ДИНАМИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ЗНАЧИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ

Задача совместной оценки состояния и всех параметров асинхронного электродвигателя (АД) в реальном времени, даже при наиболее простой модели, не имеет известного решения, удовлетворяющего требованиям практической реализации, из-за необходимости обеспечения устойчивости процесса оценки в условиях естественных шумов системы измерения и различий между реально протекающими в АД процессами и их математической моделью. Кроме того, практическая реализация часто требует исключения частоты вращения ротора из измеряемых значений, усложняя задачу.

Существующие методы, как правило, предназначены для совместной оценки одной-двух, а реже трех-четырех величин. Это вызвано малым числом измеряемых данных - обычно, это фазные токи и напряжения статора АД. Остальные параметры машины считаются известными, или определяются на начальном этапе каким-либо способом, а затем считаются постоянными. Поэтому, необходимо определиться с тем, какие параметры следует считать постоянными и известными, а какие нужно оценивать в процессе работы АД.

Активное сопротивление статора доступно для прямого измерения и не сильно меняется в процессе работы. Существуют способы его определения в процессе работы введением постоянной составляющей в фазные напряжения, а также способы его оценки, например из опыта пуска [1], не требующие схемных изменений в силовой части электропривода. Активное сопротивление и индуктивность рассеяния ротора наиболее сложны для определения из-за их недоступности для прямого измерения. Кроме того, именно они подвержены наибольшему изменению в процессе работы электропривода, например активное сопротивление ротора изменяется в 1,5 раза и более.

Использование соответствующей модели также позволяет упростить задачу идентификации АД. Запишем уравнения, описывающие АД в системе координат, привязанной к статору, в виде:

$$\dot{\Psi}_s = U_s - I_s \cdot R_s; \quad (1)$$

$$\dot{\Psi}_r = -I_r \cdot R_r + j \cdot p \cdot \omega_r \Psi_r;$$

$$I_r = [\Psi_r - k_r \Psi_s] / L'_r; I_s = [\Psi_s - k_s \Psi_r] / L'_s,$$

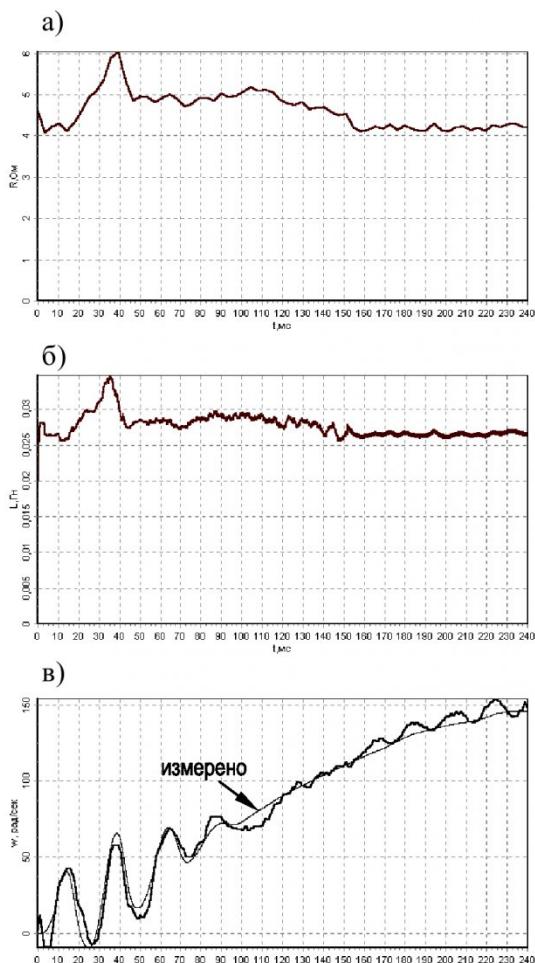
где Ψ_s , Ψ_r - векторы потокосцепления статора и ротора; U_s , I_s - векторы напряжения и тока стато-

ра; I_r - вектор тока ротора; R_s , R_r - активные сопротивления статора и ротора; p - число пар полюсов; ω_r - частота вращения ротора; $k_s = \frac{L_m}{L_m + L_{sl}}$, $k_r = \frac{L_m}{L_m + L_{rl}}$ - коэффициенты электромагнитной связи статора и ротора; $L'_s = L_{sl} + k_r \cdot L_{rl}$, $L'_r = L_{rl} + k_s \cdot L_{sl}$ - переходные индуктивности статора и ротора; L_m - индуктивность цепи намагничивания; L_{sl} , L_{rl} - индуктивности рассеяния статора и ротора.

Такая модель АД удобна тем, что позволяет использовать следующие упрощения: поскольку индуктивность цепи намагничивания значительно больше, чем индуктивности рассеяния, коэффициенты электромагнитной связи близки по значению к единице, а переходные индуктивности примерно равны друг другу, и, в свою очередь, равны сумме индуктивностей рассеяния статора и ротора. Таким образом, считаем, что при оценке параметров и состояния АД величина индуктивности цепи намагничивания мало влияет на точность оценки, при условии ее достаточно большого по сравнению с индуктивностями рассеяния значения, что справедливо для всех реальных АД.

Таким образом, поставим задачу следующим образом: требуется определить параметры АД (R_r , L'_s , L'_r) и переменные величины, характеризующие его состояние (Ψ_s , Ψ_r , I_r , ω_r), измеряя только фазные напряжения и токи статора, и имея информацию о текущем значении активного сопротивления статора.

Наиболее широко для оценки параметров АД используются различные модификации фильтра Калмана. Несмотря на существенные достоинства этих методов, такие как относительно низкие требования к вычислительным ресурсам и возможность реализации процесса оценки в реальном времени, есть и недостатки. Так, поскольку фильтр Калмана в применении к нелинейным системам является фактически градиентным методом, то возможно не только попадание в локальный минимум с неточно оцененными параметрами, но и вообще неустойчивый процесс оценки. Кроме того, фильтр Калмана для правильной настройки требует определения ковариационных матриц шу-



Оцененные сопротивление ротора (а), переходная индуктивность статора (б) и частота вращения ротора (в)

ма состояния и шума измерения, которые могут изменяться со временем, и не всегда имеется возможность их автоматического определения.

Поскольку величину R_s считаем известной, то потосцепление статора может быть получено согласно (1) прямым интегрированием:

$$\Psi_s(t) = \int_0^t (U_s - I_s \cdot R_s) dt,$$

что возможно на небольшом промежутке времени, если имеющаяся погрешность измерения при интегрировании не успеет значительно вырасти, либо заменой интегрирования на демпфирование согласно общепринятым методам. Преобразуя (1), получим следующие выражения:

$$\dot{\Psi}_r = -\frac{R_r}{L'_s} \cdot (\Psi_r - k_r \cdot \Psi_s) + j p \cdot \omega_r \Psi_r \quad (2)$$

$$L'_s = \frac{\Psi_s - k_s \cdot \Psi_r}{I_s}. \quad (3)$$

Эти выражения являются основой для процесса оценки. Идея метода состоит в следующем – для относительно небольшой выборки по времени (порядка 1-5мс) согласно (2) численно методом Эйлера считается Ψ_r . При этом отношение R_r / L'_s и частота вращения ротора линейно аппроксимируется на выбранном временному интервале. Затем, по полученной таким образом выборке Ψ_r , согласно (3) получается выборка L'_s , для которой считается среднее значение и среднеквадратичное отклонение. В самом процессе оценки осуществляется минимизация этого среднеквадратичного отклонения в некотором пространстве поиска, определяемым числом оцениваемых величин.

Число оцениваемых величин и их состав можно менять, а сам метод при этом остается неизменным. Так, если исходить из того, что система измерения начала свою работу одновременно с пуском двигателя, то на начальном этапе имеет смысл принять частоту вращения ротора равной нулю и осуществлять поиск в пространстве $[R_r / L'_s, k_r, k_s]$. Затем, зафиксировав найденные значения k_r и k_s , можно уже осуществлять поиск в пространстве $[R_r / L'_s, \omega]$. Если в системе имеется возможность измерения частоты вращения ротора, то размерность поиска уменьшается, что ускоряет процесс идентификации.

Изложенный метод был проверен на двигателях 4AM80A4 мощностью 1.1кВт и 4AMX90L2УЗ мощностью 3кВт. При этом частота вращения ротора для сравнения измерялась датчиком скорости. Средняя ошибка оценки скорости составила 3%, а максимальная не превышает 10%, что говорит о достаточной точности предлагаемого метода. На рисунке для примера приведены процессы оценивания сопротивления ротора, переходной индуктивности статора и частоты вращения ротора.

Таким образом, на основе предложенного метода возможна динамическая идентификация АД, являющаяся основой для создания устройства, способного осуществлять мониторинг параметров и состояния АД в процессе его работы в составе технологического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каширских В.Г., Нестеровский А.В. Оценка активного сопротивления ротора асинхронного электродвигателя с помощью искусственной нейронной сети // Вестн. КузГТУ.-2004.-№6.-С.64-65.

□ Авторы статьи:

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

Нестеровский
Александр Владимирович
- аспирант каф.
электропривода и автоматизации