

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.313.333:045.028

А.В. Нестеровский, В.Г. Каширских

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕМПФИРОВАНИЯ И ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Для построения современных систем управления асинхронных электроприводов необходимо знание текущего значения потокосцепления статора [1], которая является одной из наиболее важных переменных величин, характеризующих состояние асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (АД) в процессе его работы. При известном потокосцеплении и токе статора АД возможен расчет электромагнитного момента, а также, если известны индуктивности обмоток статора и ротора, то и тока и потокосцепления ротора. Уравнение равновесия для статорной обмотки машины в системе координат, привязанной к статору, выглядит следующим образом:

$$U_1 = I_1 R_1 + \dot{\Psi}_1,$$

где U_1 - вектор напряжения, подведенного к обмотке статора; I_1 - вектор тока статора; Ψ_1 - вектор потокосцепления статора.

Потокосцепление статора может быть получено при известном активном сопротивлении статора согласно зависимости:

$$\Psi_1(t) = \int_0^t U_1 dt - \int_0^t I_1 R_1 dt.$$

Непосредственное использование данного выражения на практике приводит к проблемам, вызванным всегда имеющимися погрешностями с неизвестными постоянными составляющими в измеряемых токах и напряжениях в реальной системе измерения. Интегрирование в этом случае приводит к постоянно возрастающему во времени смещению величины рассчитанного потокосцепления. Для решения этой проблемы, как правило, используется замена интегрирования на демпфирование [2], что в операторной форме записи может быть представлено зависимостями:

$$\Psi_1(p) = (U_1(p) - R_1 I_1(p)) \frac{1}{p + \omega_c};$$

$$W(p) = \frac{\Psi_1(p)}{U_1(p) - R_1 I_1(p)} = \frac{1}{p + \omega_c}. \quad (1)$$

Такое преобразование между ($U_1 - R_1 I_1$) и Ψ_1

соответствует апериодическому звену, представляющему собой фильтр низких частот (ФНЧ) с АЧХ, имеющей наклон -20 дБ/дек, и ФЧХ, стремящейся к -90° в области высоких частот, значительно больших сопрягающей частоты ω_c .

На высоких частотах свойства апериодического звена совпадают со свойствами интегрирующего звена.

В области низких частот, напротив, коэффициент передачи ограничен значением $1/\omega_c$, а не стремится в бесконечность при уменьшении частоты, как у интегрирующего звена.

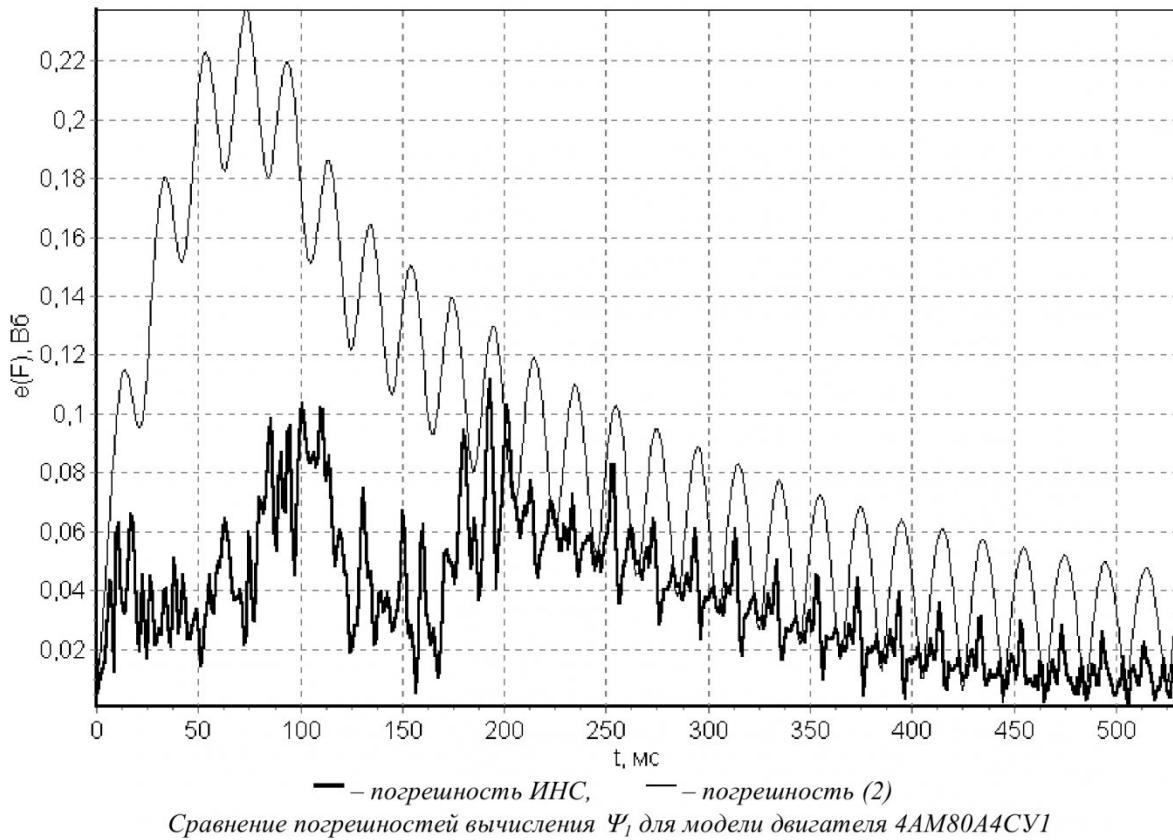
Выбор значения сопрягающей частоты ω_c зависит от частоты питающего напряжения и возможных значений постоянных составляющих. Чем меньше сопрягающая частота, тем ближе апериодическое звено по своим свойствам к интегрирующему, а значит, и меньше будет погрешность вычислений, вызванная использованием апериодического звена для расчета потокосцепления вместо интегрирования. С другой стороны, с уменьшением сопрягающей частоты растет коэффициент передачи постоянной составляющей, а значит, увеличивается погрешность, вызванная ее наличием.

При работе АД в установившемся режиме, когда в фазных напряжениях и токах присутствует преимущественно основная гармоника некоторой угловой частоты ω , возможен простой подход к коррекции неточностей, вызванных применением апериодического звена вместо интегрирования, основанный на анализе частотных характеристик.

АЧХ интегрирующего звена выражается зависимостью $A_u(\omega) = 1/\omega$, а апериодического звена -

$$A_{an}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + \omega_c^2}}.$$

ФЧХ апериодического звена выражается зависимостью $\varphi_{an}(\omega) = -\arctg(\frac{\omega}{\omega_c})$, а у интегрирующего запаздывание выходного сигнала относительно входного всегда больше и на всех частотах составляет 90° .



Отсюда можно рассчитать уточненный коэффициент передачи апериодического звена $K = \frac{A_u(\omega)}{A_{an}(\omega)}$ и дополнительное время запаздывания $\tau = (\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg}(\frac{\omega}{\omega_c})) \cdot \frac{1}{\omega}$.

Уточненная передаточная функция имеет следующее выражение:

$$W(p) = \frac{1}{p + \omega_c} \cdot K \cdot e^{-p \cdot \tau},$$

$$W(p) = \frac{1}{p + \omega_c} \cdot \frac{\sqrt{\omega^2 + \omega_c^2}}{\omega} \cdot e^{-p \cdot (\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg}(\frac{\omega}{\omega_c})) \cdot \frac{1}{\omega}}$$
(2)

Это преобразование полностью эквивалентно интегрированию в установившемся режиме работы при синусоидальных токах и напряжениях, изменяющихся с угловой частотой ω .

Для уменьшения погрешности вычисления потокосцепления, неизбежно возникающей в переходных режимах, при использовании выражений (1), (2) можно использовать искусственную нейронную сеть (ИНС). Для решения задач аппроксимации функциональных зависимостей хорошо подходит ИНС со структурой многослойного персептрона [3].

В результате серии вычислительных и практических экспериментов для решения поставленной задачи была выбрана ИНС, показавшая наилуч-

Сравнение точности метода

Двигатель	Погрешность метода на основе	
	(2), %	ИНС, %
4AM80A4CY1 модель	5,294	2,195
4AM80A4CY1	4,8	2,03
4AMX90L2Y3	6,2	2,67

шие результаты и имеющая структуру:

- архитектура ИНС – многослойный персептрон;
- число слоев – 3 (входной, теневой, выходной);
- активационная функция – экспоненциальный сигмоид;
- четыре комплексных величины на входе:
 - ток статора;
 - задержанный ток статора;
 - дважды задержанный ток статора;
 - потокосцепление статора, вычисленное по (2);
- величина задержки токов – 1 мс;
- величина на выходе – потокосцепление статора;
- число нейронов в теневом слое – 8 -12.

В результате работы ИНС производилось уточнение рассчитанного потокосцепления статора на основе информации о значениях текущих и задержанных токов статора. Обучающая выборка для ИНС была подготовлена путем моделирования динамических процессов в конкретном АД с использованием действительных значений его

параметров, которые определялись с помощью разработанных нами методов динамической идентификации. При этом рассчитанные согласно модели АД значения потокосцепления статора предъявляются ИНС в качестве истинных, а вычисленные согласно (2) – как входные, вместе с токами статора.

Была проведена как практическая проверка предложенного метода, так и проверка на матема-

тической модели АД. Результаты представлены на рисунке и в таблице. Значение сопрягающей частоты было выбрано равным 5 рад/сек.

Приведенные здесь результаты показывают, что разработанная ИНС позволяет значительно уменьшить погрешность расчета потокосцепления статора, вызванную необходимостью применения апериодического звена для решения этой задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. T.G. Habetler, F. Profumo, M. Pastorelli, and L.M. Tolbert. Direct Torque Control of Induction Machines using Space Vector Modulation / IEEE Transactions on Industry Applications Vol. 28, No 5, Sept/Oct 1992.
2. Joachim Holtz. Drift and Parameter Compensated Flux Estimator for Persistent Zero State Stator Frequency Operation of Sensorless Controlled Induction Motors / IEEE Transactions on Industry Applications, 2003.
3. Горбань А.Н. Нейронные сети на персональном компьютере/ А.Н. Горбань, Д.А. Россинев. - Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН. 1996.-276с.

□ Авторы статьи:

Нестеровский

Каширских

Александр Владимирович

Вениамин Георгиевич

- канд. техн. наук, доц. каф.

- докт. техн. наук, проф., зав. каф.

электропривода и автоматизации

электропривода и автоматизации

УДК 621.822.538

В.А. Старовойтов

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КОМПРЕССИОННЫЙ УЗЕЛ С МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Невозможно представить себе промышленное, и не только, предприятие, где бы в том или ином качестве не использовались бы компрессорные или холодильные установки. Однако большинству из них, особенно поршневым, присущ общий недостаток – загрязнение компримируемого газа смазочными маслами. Нейтрализация или минимизация вредного влияния последних требует привлечения разнообразного дополнительного оборудования.

В этом плане определенный интерес представляет идея удерживания смазочного масла в пределах зоны трения системы поршень-цилиндр с помощью широко известных магнитных жидкостей (МЖ). Здесь имеются в виду жидкостные системы, состоящие из стабилизированных высокодисперсных ферро-

магнитных частиц, распределенных в жидкой дисперсной

среде. В качестве последней может выступать практически

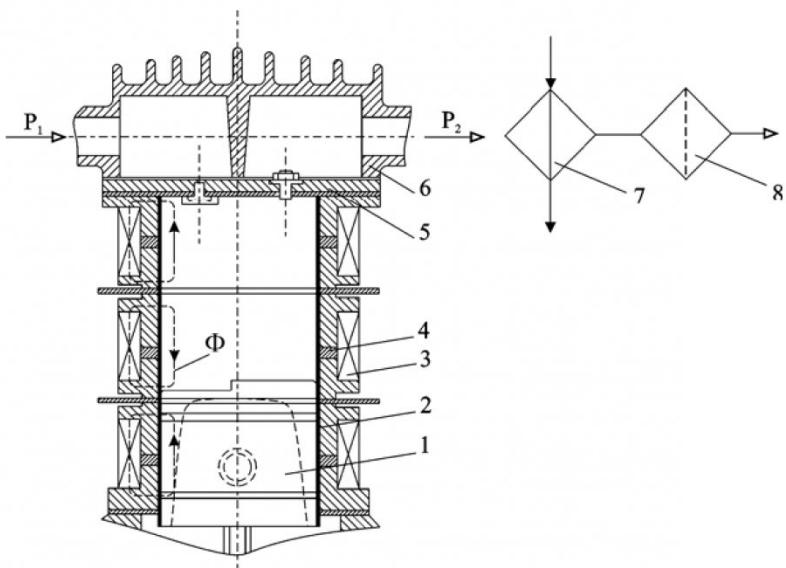


Схема компрессора на МЖ: 1 – поршень (без колец); 2 – магнитная жидкость; 3 – катушка возбуждения; 4 – диамагнитная проставка; 5 – плита клапанная; 6 – головка; 7 – холодильник; 8 – фильтр