

УДК 621.313

И.А.Орловский, канд.техн.наук (Запорожский нац.техн.ун-т)

Идентификация внутренних параметров тиристорного электропривода постоянного тока по его моделям на рекуррентных нейронных сетях

Анализ исследований по применению интеллектуальных систем для управления тиристорными электроприводами постоянного тока (ТЭПТ) показывает, что в большинстве случаев настройка системы управления выполняется на модели объекта. Это приводит к необходимости предварительного получения модели ТЭПТ. В статье получены зависимости для вычисления внутренних параметров ТЭПТ по значениям весовых коэффициентов его моделей на рекуррентных нейронных сетях.

Аналіз досліджень щодо застосування інтелектуальних систем для керування тиристорними електроприводами постійного струму (ТЕПС) показує, що у більшості випадків налагодження системи керування виконується на моделі об'єкту. Це призводить до необхідності попереднього створення моделі ТЕПС. В статті одержано залежності для розрахунку внутрішніх параметрів ТЕПС в залежності від значень вагових коефіцієнтів його моделі на рекуррентних нейронних мережах.

Для построения тиристорных электроприводов постоянного тока (ТЭПТ), обеспечивающих нормированное количество переходных электро-механических процессов и статических регулировочных характеристик, требуется непрерывная идентификация внутренних параметров электропривода во время его эксплуатации. В реальных условиях внутренние параметры ТЭПТ и механизма (к которым относятся эквивалентный приведенный к валу двигателя момент инерции, эквивалентные активное и индуктивное сопротивления якорной цепи, магнитный поток, коэффициент передачи и постоянная времени тиристорного преобразователя) не являются постоянными. Это связано с нагревом двигателя, изменением момента инерции механизма, нелинейностью регулировочной характеристики и варьированием временного запаздывания тиристорного преобразователя. Идентифицированные значения внутренних параметров ТЭПТ могут использоваться в математических выражениях расчета регуляторов классическими способами. Применение микропроцессоров в электроприводе позволяет выполнять необходимые для идентификации вычисления.

В последнее время для нахождения параметров регуляторов и реализации самих регуляторов в системах управления электроприводами все шире используются интеллектуальные средства. Обучение интеллектуальных систем требует выполнения

сотен и тысяч повторных запусков и, как правило, выполняется не на реальном объекте, а на его модели. Реализацию модели объекта, согласно [4, 8, 10], обычно предлагается выполнять на рекуррентных нейронных сетях (РНС), структура которых способна представлять объект в пространстве состояний, либо на прямонаправленных нейронных сетях (с использованием обратных связей с задержками выходных сигналов модели [1]), либо в виде адаптивных дискретных фильтров [5] или нечеткой многомодельной РНС [9]. Параметры РНС могут рассчитываться по текущим показаниям датчиков (для линейных объектов) [4], либо находиться с помощью генетических и градиентных алгоритмов обучения РНС.

При создании электроприводов будущего, как отмечено в [2], будет возрастать роль и значение теоретических методов анализа и оптимизации систем электропривода как научной базы для практической реализации в них новейших достижений силовой электроники и компьютерных технологий. В [7], рассматривая вопросы идентификации, авторы отмечают, что из условий наблюдаемости параметры электро-механической системы могут быть определены только в динамическом режиме. Предлагается идентифицировать параметры электропривода при специальных входных воздействиях — в виде гармонических изменений напряжения, приложенного к якорю двигателя. В [9]

рассмотрено применение нечеткой нейронной рекуррентной многомодельной сети для систем идентификации сложных нелинейных объектов на примере электропривода постоянного тока. Такая система позволяет обеспечить высокую точность модели привода (примерно, равную 2%) через несколько периодов задающего сигнала, однако, требует значительных вычислительных ресурсов и не обеспечивает идентификацию всех параметров, необходимых для настройки регуляторов скорости и положения.

В [1] модели токового и скоростного контуров ТЭПТ выполнены на нейронных сетях прямого распространения. Входами сетей являются задержанные сигналы выходов соответствующих контуров и задающие сигналы. Регуляторы тока и скорости ТЭПТ выполнены также на нейронных сетях. Процесс самонастройки регуляторов тока и скорости ТЭПТ выполняется на моделях токового и скоростного контуров. При этом для выполнения самонастройки (обучения) регуляторов требуется задать значения входных и выходных сигналов регуляторов в каждый момент времени, однако при изменяющихся параметрах объекта желаемые выходы регуляторов, как правило, неизвестны.

В [5] адаптивные регуляторы системы управления настраиваются на модели электропривода постоянного тока гребного винта подводного аппарата, выполненной в виде адаптивных дискретных фильтров (представленных в виде "матриц состояний"). Параметры матриц определяются решением матричных уравнений методом наименьших квадратов. Такой адаптивный дискретный фильтр сравнительно просто представляется в виде РНС.

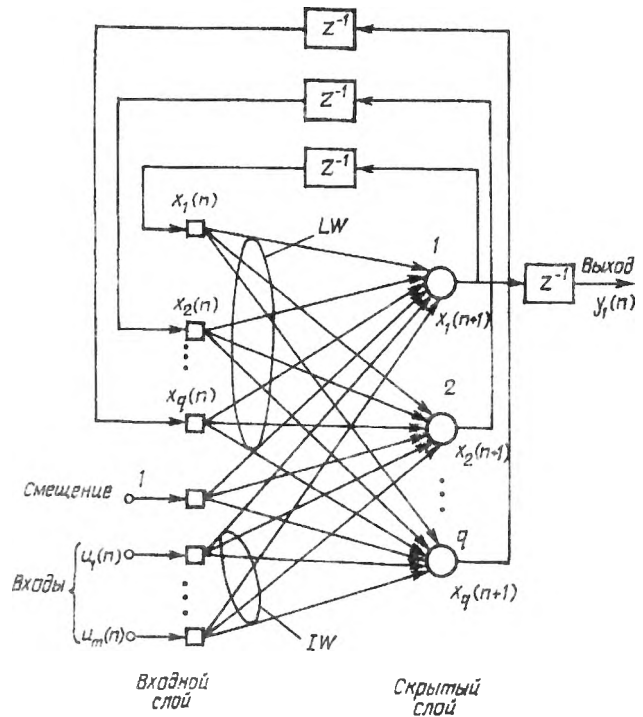
В [10] рассмотрена идентификация в реальном времени и управление скоростью и положением двигателя постоянного тока с применением РНС Джордана. При этом отмечается, что модель на РНС является нелинейной глобально, но линейной локально (за счет обучения в реальном времени матриц, описывающих объект, в пространстве состояний). Адаптация весовых коэффициентов РНС придает модели робастность. В данной работе выполняется идентификация вектора состояния электропривода, а параметры регуляторов скорости и положения (выполненных также на РНС) находят с помощью алгоритмов обучения.

Анализ существующих исследований по применению интеллектуальных систем для управления ТЭПТ показывает, что в подавляющем большинстве случаев настройка системы управления выполняется на модели объекта. Это приводит к необходимости предварительного получения модели ТЭПТ (в большинстве случаев такая модель выполняется на РНС). Однако до настоящего времени не выполнялась идентификация параметров ТЭПТ по его модели на РНС (в т.ч. и в перечисленных выше работах).

Целью статьи является получение зависимостей для вычисления внутренних параметров ТЭПТ

по значениям весовых коэффициентов его моделей на РНС.

Расчет весовых коэффициентов РНС, представляющих модель ТЭПТ. Общая структура РНС, согласно [8], представляющая объект в пространстве состояний, показана на рисунке. Определение структуры РНС и выражения для расчета весовых коэффициентов, реализующих модели ТЭПТ, рассмотрены в [4]. Идентификация внутренних параметров ТЭПТ будет выполняться из уравнений расчета весовых коэффициентов РНС. Для полноты изложения приведем кратко последовательность получения этих уравнений.



Пусть объект в пространстве состояний описывается в виде линейной системы уравнений

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (1)$$

где $x = [x_1, x_2, \dots, x_q]^T$ — вектор состояния объекта; $u = [u_1, u_2, \dots, u_m]^T$ — вектор входных сигналов; A — матрица коэффициентов размером $q \times q$; B — матрица коэффициентов размером $q \times m$.

Запись системы уравнений объекта (1) в виде разностных дифференциальных уравнений в зависимости от представления производной имеет различный вид, что приводит к различным структурам РНС, представляющих модель этого объекта [4]. Наиболее простая модель объекта на РНС (назовем ее РНС1) получается при вычислении производной на последующем такте счета. В этом случае матрица весовых коэффициентов нейронов РНС от входных сигналов определяется уравнением [4]

$$IW = B \cdot T_0. \quad (2)$$

Матрица весовых коэффициентов от сигналов обратной связи имеет вид

$$L1W = [I + A \cdot T_0], \quad (3)$$

где I — единичная матрица; T_0 — такт счета.

Если в разностном дифференциальном уравнении производная в текущем такте определяется как среднее значение производной в предыдущем и последующем тактах счета, то модель объекта на РНС (назовем ее РНС2), рассчитанная для такого случая, имеет более высокую точность. Уравнения расчета весовых коэффициентов РНС2 представлены в виде [4]

$$L2W = 0,5 \cdot [B + [I - A \cdot T_0]^{-1} \cdot B] \cdot T_0, \quad (4)$$

$$L2W = 0,5 \cdot [[I + A \cdot T_0] + [I - A \cdot T_0]^{-1}].$$

Если параметры объекта известны, то значения весовых коэффициентов РНС могут быть вычислены по формулам (2)–(4); если параметры объекта неизвестны, то весовые коэффициенты РНС определяются в процессе обучения РНС.

Рассмотрим вычисление весовых коэффициентов РНС, представляющих модели электропривода, по известным внутренним параметрам привода. Функционирование привода постоянного тока, в составе которого содержится тиристорный преобразователь и двигатель независимого возбуждения, при непрерывном токе якоря описывается системой уравнений [6]

$$T_\mu \frac{dU_{\text{я}}}{dt} + U_{\text{я}} = k U_{\text{у}},$$

$$T_d \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + I_{\text{я}} = R_d^{-1} U_{\text{я}} - R_d^{-1} \cdot c \Phi \cdot \omega, \quad (5)$$

$$J d\omega/dt = c \Phi I_{\text{я}} - M_c,$$

где k , T_μ — усредненные значения коэффициента усиления и постоянной времени тиристорного преобразователя соответственно; R_d , T_d — эквивалентное активное сопротивление и эквивалентная постоянная времени цепи постоянного тока соответственно; $c \Phi$ — произведение конструктивной постоянной двигателя на значение магнитного потока двигателя; J — приведенный (к валу двигателя) момент инерции привода; $U_{\text{я}}$ — напряжение управления на якоре двигателя; $I_{\text{я}}$ — ток якорной цепи двигателя; ω — угловая частота вращения (скорость) ротора двигателя, M_c — момент нагрузки механизма.

Для данной системы векторы переменных состояния x и входных сигналов u имеют вид

$$x = [U_{\text{я}}, I_{\text{я}}, \omega]^T,$$

$$u = [U_{\text{у}}, M_c]^T. \quad (6)$$

Матрицы коэффициентов A и B согласно уравнению (1) имеют вид

$$A = \begin{bmatrix} -T_\mu^{-1} & 0 & 0 \\ (R_d \cdot T_d)^{-1} & -T_d^{-1} & -(R_d T_d)^{-1} \cdot c \Phi \\ 0 & J^{-1} \cdot c \Phi & 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$B = \begin{bmatrix} T_\mu^{-1} \cdot k & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -J^{-1} \end{bmatrix}.$$

Согласно уравнениям (2) и (3) получим выражения расчета весовых коэффициентов РНС1: $L1W11, \dots, L1W33$ и $L1W11, \dots, L1W32$, которые образуют матрицу весовых коэффициентов $L1W$ от сигналов обратной связи рекуррентного слоя и матрицу весовых коэффициентов $I1W$ от входных сигналов

$$L1W = T_0 \begin{bmatrix} T_0^{-1} - T_\mu^{-1} & 0 & 0 \\ (R_d \cdot T_d)^{-1} & T_0^{-1} - T_d^{-1} & -(R_d T_d)^{-1} \cdot c \Phi \\ 0 & J^{-1} \cdot c \Phi & T_0^{-1} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$I1W = T_0 \begin{bmatrix} T_\mu^{-1} \cdot k & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -J^{-1} \end{bmatrix}.$$

Две последние цифры в обозначениях весовых коэффициентов обозначают: предпоследняя цифра — номер нейрона, на вход которого поступает данная связь; последняя цифра — номер нейрона или номер входа, от которого поступает сигнал. Матрицы весовых коэффициентов на рис. 1 обозначены как LW и IW соответственно.

Согласно [4] выражения расчета весовых коэффициентов РНС2 следующие:

$$L2W11 = 0,5 [(1 - T_\mu^{-1} T_0) + (1 + T_\mu^{-1} T_0)^{-1}],$$

$$L2W21 = 0,5 (R_d T_d)^{-1} T_0 [1 + (1 + T_\mu^{-1} T_0)^{-1} (1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2)^{-1}],$$

$$L2W31 = 0,5 T_d^{-1} T_m^{-1} (c \Phi)^{-1} T_0^2 \times (1 + T_\mu^{-1} T_0)^{-1} (1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2)^{-1},$$

$$L2W12=0,$$

$$L2W22=0,5 \left[1 - T_d^{-1} T_0 + (1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2)^{-1} \right],$$

$$L2W32=0,5 T_m^{-1} (c\Phi)^{-1} R_d T_0 \times \\ \times \left[1 + (1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2)^{-1} \right],$$

$$L2W13=0,$$

$$L2W23=-0,5 (R_d T_d)^{-1} (c\Phi) T_0 \times$$

$$\times \left[1 + (1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2)^{-1} \right],$$

$$L2W33=0,5 \left[1 + (1 + T_d^{-1} T_0) \times \right.$$

$$\left. \times (1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2)^{-1} \right],$$

$$I2W11=0,5 \left[T_\mu^{-1} k T_0 + (1 + T_\mu^{-1} T_0)^{-1} T_\mu^{-1} k T_0 \right],$$

$$I2W21=0,5 (R_d T_d)^{-1} T_\mu^{-1} k T_0^2 (1 + T_\mu^{-1} T_0)^{-1} \times \\ \times (1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2)^{-1},$$

$$I2W31=0,5 T_d^{-1} T_m^{-1} T_\mu^{-1} (c\Phi)^{-1} k T_0^3 \times$$

$$\times (1 + T_\mu^{-1} T_0)^{-1} (1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2)^{-1},$$

$$I2W12=0,$$

$$I2W22=0,5 T_d^{-1} (c\Phi)^{-1} T_m^{-1} T_0^2 \times$$

$$\times (1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2)^{-1},$$

$$I2W32=-0,5 (c\Phi)^{-2} T_m^{-1} R_d T_0 \left[1 + (1 + T_d^{-1} T_0) \times \right.$$

$$\left. \times (1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2)^{-1} \right].$$

Результаты выполненного расчета весовых коэффициентов РНС1 и РНС2 с шагом счета $T_0=0,01$ с для ТЭПТ (со следующими параметрами: $R_d=0,476$ Ом; $T_\mu=0,01$ с; $k=17,55$; $c\Phi=0,634$ В·с; $T_d=0,159$; $J=0,144$ кг·м²) приведены в табл. 1.

Если внутренние параметры ТЭПТ неизвестны, а получена модель этого привода на РНС с помощью различных алгоритмов обучения, то значения внутренних параметров ТЭПТ могут быть рассчитаны из весовых коэффициентов РНС по

предлагаемым ниже выражениям.

Таблица 1

Наимен. весовых коэффициентов	Расчетн. знач. весовых коэффициентов	
	для РНС1	для РНС2
$IW11$	17,55	13,163
$IW12$	0	0
$IW21$	0	0,54352
$IW22$	0	0,0027271
$IW31$	0	0,02393
$IW32$	-0,069444	-0,069324
$LIW11$	0	0,25
$LIW12$	0	0
$LIW13$	0	0
$LIW21$	0,13213	0,097034
$LIW22$	0,93711	0,93734
$LIW23$	-0,08377	-0,081155
$LIW31$	0	0,0013635
$LIW32$	0,044028	0,042654
$LIW33$	1	0,99827

Выполнить обучение модели на РНС наиболее просто, если известны значения напряжения управления, момента сопротивления и вектора состояния в каждый момент времени. На практике обучение можно выполнить для приводов с постоянным моментом сопротивления, значения которого определяются различными известными методами. Например, в установившемся режиме момент сопротивления может вычисляться по значениям тока якоря. Возможна идентификация момента сопротивления при пуске двигателя, когда изменяется значение отсечки регулятора скорости [3].

Идентификация внутренних параметров ТЭПТ по значениям весовых коэффициентов РНС1. Взаимосвязь внутренних параметров привода для модели РНС1 описывается матрицами (8), в которых содержатся шесть неизвестных. Эти параметры из матриц (8) выражаются через весовые коэффициенты в виде

$$T_\mu = T_0 (1 - L1W11)^{-1}, \\ k = I1W11 (1 - L1W11)^{-1}, \\ T_d = T_0 (1 - L1W22)^{-1}, \\ R_d = (1 - L1W22) / L1W21, \\ c\Phi = -L1W23 / L1W21, \\ J = -T_0 / I1W32.$$

Эквивалентную индуктивность якорной цепи

L_d и электромеханическую постоянную времени T_m привода вычислим из соотношений

$$\begin{aligned} T_m &= JR_d (c\Phi)^{-2}, \\ L_d &= T_0 / L1W21. \end{aligned} \quad (11)$$

Идентификация параметров ТЭПТ по значениям весовых коэффициентов РНС2. Взаимосвязь параметров привода для модели РНС2 описывается системой уравнений (9). В ней содержится двенадцать уравнений и шесть неизвестных. Параметры преобразователя T_μ и k определяются из первого и десятого уравнения системы (9) следующим образом:

$$\begin{aligned} T_\mu &= T_0 / \left[-L2W11 + (L2W11^2 - 2 \cdot L2W11 + 2)^{0.5} \right], \\ k &= 2 \cdot I2W11 / \left[\left((1 + T_0 T_\mu^{-1})^{-1} + 1 \right) T_0 T_\mu^{-1} \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Остальные значения внутренних параметров привода могут быть вычислены различным способом. Например, из пятого и девятого уравнений системы (9) получим значения электромагнитной и электромеханической постоянных времени привода T_d и T_m в виде

$$\begin{aligned} T_d &= T_0 \left[-L2W22 + (L2W22^2 - 2 \cdot (L2W22 - L2W33))^{0.5} \right]^{-1}, \\ T_m &= T_0^2 (L2W33 - 0,5) (T_d + T_0)^{-1} (1 - L2W33)^{-1}. \end{aligned} \quad (13)$$

Используя полученные значения T_μ , T_d , T_m , из второго уравнения системы (9) определим активное сопротивление

$$\begin{aligned} R_d &= T_0 \left[\left(1 + T_0 / T_\mu \right)^{-1} \times \right. \\ &\left. \times \left(1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2 \right)^{-1} + 1 \right] / (2 T_d L2W21). \end{aligned} \quad (14)$$

Из двенадцатого уравнения системы (9) найдем $c\Phi$ в виде

$$c\Phi = T_0 (I2W21 / I2W31) R / T_m. \quad (15)$$

Момент инерции и эквивалентную индуктивность якорной цепи определим из формул

$$J = T_m (c\Phi)^2 / R_d, \quad L_d = T_d R_d. \quad (16)$$

Заметим, что для расчета параметров использовались не все (только первое, второе, пятое, девя-

тое, десятое и двенадцатое) уравнения системы (9).

Если исходить из того, что РНС1 достаточно точно описывает ТЭПТ, определим параметры привода, исключив из системы (9) уравнения, которые в (8) обращаются в тождества. Тогда в системе (9) остается первое, второе, пятое, шестое, восьмое, десятое и пятнадцатое уравнения. Значения T_μ , k вычисляются по уравнениям (12). Далее для удобства введем обозначения

$$H = \left(1 + T_0 / T_\mu \right)^{-1}, \quad (17)$$

$$D = \left(1 + T_d^{-1} T_0 + T_d^{-1} T_m^{-1} T_0^2 \right)^{-1},$$

$$P = L2W23 \cdot I2W32 / (L2W21 \cdot L2W32).$$

С учетом этого значения внутренних параметров привода можно вычислить по следующим формулам:

$$D = L2W22 - 1 + 0,5PH +$$

$$+ \left[(L2W22 - 1 + 0,5PH)^2 + P - 1 \right]^{0.5}, \quad (18)$$

$$T_d = T_0 / (1 - 2L2W22 + D),$$

$$c\Phi = -L2W23 (1 + HD) / [L2W21 (1 + D)],$$

$$R_d = 0,5 T_e^{-1} T_0 (1 + HD) / L2W21,$$

$$T_m = 0,5 (c\Phi)^{-1} R_d T_0 (1 + D) / L2W21.$$

При этом момент инерции J и эквивалентная индуктивность якорной цепи L_d определяются из формул (16). Результаты расчетов параметров привода по формулам (16)–(18) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры привода	Реальн. значен. парам. ТЭПТ	Идентификация по коэффициентам РНС2			Ошибка по форм. (16)–(18), %
		Формулы			
		(10)–(11)	(12)–(16)	(16)–(19)	
T_μ , с	0.01	0.01	0.01	0.01	0
k	17.55	17.55	17.5507	17.5507	0.00399
R_d , Ом	0.476	0.47596	0.476	0.47589	-0.02311
L_d , мГн	75.684	75.683	75.684	75.684	0
$c\Phi$, В·с	0.634	0.634	0.63438	0.63401	0.00158
T_d , с	0.159	0.15901	0.159	0.15904	0.02516
T_m , с	0.17053	0.17052	0.17042	0.17048	-0.02932
J , кг·м ²	0.144	0.144	0.14409	0.144	0

На реальном объекте весовые коэффициенты РНС, представляющие модель привода, определяются непосредственно в процессе работы привода с использованием алгоритмов обучения РНС и показаний от датчиков, установленных на приводе. В этом случае при определении весовых коэффициентов РНС всегда существует ошибка, зависящая от ошибок измерений датчиками, ошибок обучения РНС и нелинейности ТЭПТ (даже в течение короткого промежутка времени). Данное обстоятельство при идентификации внутренних параметров привода приводит к ошибкам, для снижения которых искомые внутренние параметры привода могут быть определены с учетом всех уравнений системы (8) либо (9) численным методом с минимизацией суммарной квадратичной ошибки для всех уравнений системы.

Выводы. 1. Приведенные в табл. 2 результаты подтверждают правильность полученных выше выражений для расчета внутренних параметров привода из значений весовых коэффициентов РНС.

2. Погрешность расчета параметров ТЭПТ по приведенным в статье выражениям из известных с точностью пяти значащих цифр весовых коэффициентов РНС1 и РНС2 не превышает 0,03%.

1. Буякин В.М. Двухконтурная система нейрорегулирования электроприводом с нейросамонастройкой // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2006. — № 8-9. — С. 90—94.

2. Денисов А.И., Денисов Ю.А. Современное состояние и перспективы развития электропривода // Техн. электродинамика. Тем. вып. "Проблемы современной электротехники". Ч. 6. — 2006. — С. 46—48.

3. Орловский И.А. Идентификация момента инерции и момента сопротивления в электроприводе постоянного тока // Радиоэлектроника, информатика, управления. — 2005. — № 1. — С. 140—144.

4. Орловский И.А. Модель электропривода постоянного тока на рекуррентных нейронных сетях // Радиоэлектроника, информатика, управления. — 2006. — № 1. — С. 151—159.

5. Палис Ф., Филаретов В.Ф., Цепковский Ю.А. и др. Синтез прогнозирующих систем с нейрофазными сетями для управления нелинейными динамическими объектами с переменными параметрами. Электромашинобудовання та електрообладнання. — К.: Техніка. 2006. — Вып. 66. — С. 357—360.

6. Перельмутер В.М., Сидоренко В.А. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока. — М.: Энергоатомиздат. 1988. — 304 с.

7. Сисюк Г.Ю., Родькин Д.И., Корольев Ю.Г. К вопросу об идентификации параметров тиристорных электроприводов постоянного тока на основе моделей энергообразования // Проблемы создания новых машин и технологий. Научн. тр. КГПИ. — Кременчуг. — 1999. — № 2. — С. 47—50.

8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. Пер. с англ. — М.: Издательский дом "Вильямс". 2006. — 1104 с.

9. Baruch I.S., Flores J.M., Garrido R. A fuzzy neural recurrent multi-model for systems identification and control // Proceeding of the European Control Conference. — 2001. — P. 3540—3545.

10. Baruch I.S., Palacios I., Flores J.M., Garrido R. An adaptive neural control system of a DC motor drive // 15th Triennial World Congress of the International of Automatic Control. Barcelona, Spain. — 2002, Session Slot: T-Th-Mo4, Area Code: 3a.

Надійшла 21.12.2006

УДК 621.316.728.016.25

В.С.Федій, докт.техн.наук, С.Г.Наместник, канд.техн.наук (Ин-т электродинамики НАН України, Київ)

Исследование трехфазного вентильно-реакторного источника реактивной мощности (ИРМ) в индуктивном и емкостном режимах

Исследовано влияние частоты и фазы импульсов управления в трехфазном ИРМ на основе последовательного RLC-контура и вентильного коммутатора, циклически переключающего индуктивность этого контура на отстающую фазу питающей сети, на величину основной гармоники и несинусоидальность сетевого тока (при работе в индуктивном и емкостном режимах).

Досліджено вплив частоти і фази імпульсів керування в трифазному ДРП на основі послідовного RLC-контуру і вентильного коммутатора, що циклічно перемикає індуктивність цього контуру на відстаючу фазу мережі живлення, на величину основної гармоніки струму та несинусоїдальність струму мережі (при роботі в індуктивному та емкостному режимах).

© Федій В.С., Наместник С.Г., 2007