

УДК 621.314

Нейросетевой алгоритм системы управления топливоподачей дизель-генератора переменной скорости вращения

О.С. Хватов, А.Б. Дарьенков, И.С. Поляков
ФГБОУВПО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева»,
г. Н. Новгород, Российская Федерация
E-mail: fae@nntu.nnov.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Вопрос о разработке сервопривода управления топливоподачей автономных дизель-генераторов переменной скорости вращения, которые могут применяться для электроснабжения удаленных районов и автономных объектов, в силу своей неизученности представляет научный интерес. Актуальность разработки таких сервоприводов определяется тем, что их применение в составе автономных дизель-генераторов позволяет получить существенную экономию топлива и продлить моторесурс электростанций.

Материалы и методы: Имитационная модель дизель-генератора переменной скорости вращения с системой управления топливоподачей на основе нейросетевого алгоритма разработана в пакете MATLAB. Для обучения нейронной сети использован метод обратного распространения ошибки.

Результаты: Разработаны функциональная схема дизель-генератора переменной скорости вращения на базе синхронного генератора, а также функциональная схема и алгоритм работы интеллектуального сервопривода топливного насоса дизель-генераторной установки переменной скорости вращения.

Выводы: Реализация сервопривода управления топливоподачей на основе нейросетевого алгоритма позволяет осуществлять оптимальное управление дизель-генератором при отсутствии многопараметровой характеристики дизеля и при изменяющихся внешних (атмосферное давление, температура и влажность воздуха) и внутренних (степень износа дизеля, марка и качество топлива) условиях его работы.

Ключевые слова: электростанция, дизель-генератор, синхронный генератор, преобразователь частоты.

Neural Network Algorithm of Control System of Fuel Supply of Frequency Rotation Diesel Generator Set

O.S. Khvatov, A.B. Daryenkov, I.S. Polyakov
Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation
E-mail: fae@nntu.nnov.ru

Abstract

Background: The authors consider the designing problem of control servo-driver of fuel supply of autonomous diesel generators characterized by alternating frequency shaft rotation, which can be applied to power supply of remote areas and autonomous objects. This problem is urgent in science because of the lack of studying. The urgency of the designing a such servo-drivers is defined by means of the fact, that their application as a part of autonomous diesel generators allows to receive the essential fuel economy and prolong engine potential period of electric power stations.

Materials and methods: The imitating model of the diesel generator characterized by alternating frequency rotation of shaft with the control system of fuel supply on the basis of neural network algorithm is developed in MATLAB. For training the neural network the method of the return mistake distribution is used.

Results: The functional scheme of the diesel generator of frequency rotation based on a synchronous generator as well as the functional scheme and operation work of intellectual servo-drive of fuel pump of frequency rotation diesel generator set are developed.

Conclusions: Servo-driver implementation of fuel supply control on the basis of neural network algorithm allows to provide the optimum control of the diesel generator in the absence of the multiparameter characteristic of the diesel and at changing external (atmospheric pressure, temperature and humidity of air) and internal (wear degree of the diesel, brand and fuel quality) conditions of its operation.

Key words: electric power station, diesel generator, synchronous generator, converter.

Системы «дизель-генератор» (Д-Г) строятся, как правило, на базе синхронных генераторов (СГ). Требование обеспечения стабильной частоты выходного напряжения ($f_1 = \text{const}$) СГ обуславливает необходимость стабилизации скорости вращения (ω) вала дизеля независимо от мощности нагрузки (P). Такой режим работы дизеля является неоптимальным с точки зрения потребления топлива. Оптималь-

ного режима работы дизеля можно достигнуть, если с изменением P изменять ω дизеля [1].

Исследования показывают, что уменьшение ω при снижении нагрузки позволяет сократить удельный расход топлива на 20–30 %. Одновременное изменение ω и P нагрузки обеспечивает также оптимальный тепловой режим работы дизеля, снижение износа и, следовательно, повышает его моторесурс. Од-

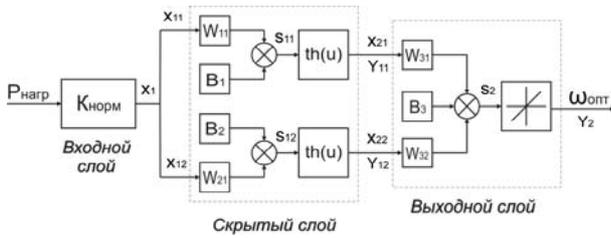


Рис. 3. Структурная схема нейронной сети АП

При расчете значения $\omega_{\text{опт}}$ для текущего значения P в модели АП производится решение следующих уравнений:

$$x_{i1} = P K_{\text{норм}},$$

$$x_{i2} = \text{th}(x_{i1} W_{i1} + B_i),$$

$$\omega_{\text{опт}} = \left(\sum_{i=1}^n W_{i2} x_{i2} + B_i \right) \cdot 1 / K_{\text{норм}},$$

где x_{i1} , x_{i2} – входы i -го нейрона слоев 1 и 2 АП соответственно; $K_{\text{норм}}$ – коэффициент нормализации, служащий для приведения значения мощности нагрузки к единичному базису нейронной сети.

Основными параметрами расчета по приведенным выше формулам являются значения весовых коэффициентов W_{ij} и смещений активационной функции нейрона B_j , определяемых в результате обучения нейронной сети АП.

Обучение нейронной сети АП осуществляется КО (рис. 2), в модель которого заложен алгоритм обратного распространения ошибки, подробно описанный в литературе, посвященной данной тематике [3]. Целью обучения сети в соответствии с данным алгоритмом является такая настройка ее весов, при которой приложение некоторого множества входов приводило бы к требуемому множеству выходов.

На шаге прямого расчета АП осуществляется прямой проход АП от входного слоя к выходному. При этом на входы сети подается входной вектор мощности нагрузки P . Значения выходов рассчитываются по следующим формулам:

$$s_j^{(n)} = \sum_{i=0}^M y_i^{(n-1)} \cdot W_{ij}^{(n)},$$

$$y_j^{(n)} = \text{th}(s_j^{(n)}), \quad \omega_q \equiv P_q,$$

где M – число нейронов в слое n ; $y_{i(j-1)}^n$ – выход i -го нейрона $(j-1)$ -го слоя n ; x_{ij}^n – вход i -го нейрона (j) -го слоя n ; P_q – компонента q входного вектора P ; ω_q – компонента q выходного массива скоростей ω .

Для выходного слоя и скрытого слоя n (рис. 4) рассчитывается величина ошибки δ :

$$\delta_j^{(n)} = (y_j^{(n)} - d_j) \frac{\partial y_j}{\partial s_j},$$

где d_j – идеальное (желаемое состояние нейрона).

Также для выходного слоя n рассчитываются изменения весов:

$$\Delta W_{ij}^{(n)} = -\beta \cdot \delta_j^{(n)} y_i^{(n-1)},$$

где β – коэффициент обучения, выбираемый меньше единицы (для придания «инерционности» процессу обучения).

Расчет повторяется до тех пор, пока ошибка работы сети АП E_{ω} не станет меньше допустимой.

Алгоритм обратного распространения ошибки использует разновидность градиентного спуска, то есть осуществляет спуск вниз по поверхности ошибки, непрерывно подстраивая веса в направлении к минимуму ошибки. Однако в процессе обучения сеть может попасть в локальный минимум. В точке локального минимума все направления градиента ведут вверх, и сеть неспособна из него «выйти». На этот случай в разработанном нами алгоритме обучения предусмотрено смещение одного из текущих значений весовых коэффициентов W_{ij} на некоторую случайную величину. Если повторение данной процедуры несколько раз приведет алгоритм в одно и то же состояние, то можно с уверенностью считать, что найден глобальный минимум и процесс обучения может быть завершен. На рис. 4 приведены кривые изменения функции ошибки E_{ω} , весовых коэффициентов W_{ij} и смещений B_j в зависимости от количества эпох обучения n (пунктирной линией показан момент достижения допустимой величины ошибки). Необходимым условием для корректного обучения нейронной сети АП является наличие «обучающего множества» – множества логических пар $\omega_{\text{опт}} = f(P)$, полнота и точность значений которого в конечном итоге определяет точность и скорость работы блока ЗЭР в целом. Табличный массив значений $\omega_{\text{опт}} = f(P)$ для дискретных значений P хранится в памяти данных блока ЗЭР (рис. 2). Алгоритм формирования этого массива подробно описан в [4].

На рис. 5 приведена кривая, полученная в результате работы модели ЗЭР совместно с моделью Д-Г типа SDMO DIESEL 4000 E XL (мощность 4 кВт, номинальная скорость вращения 1500 об/мин). При этом система управления топливоподачей Д-Г формирует задание на изменение скорости вращения дизеля с периодом не менее 0,5 с, чтобы скачки напряжения на выходе ПЧ не превышали 5 %. Моделирование проводилось для относительных значений мощностей нагрузки в диапазоне от 0,00 до 1,00 с шагом 0,05 (точками на рис. 5 обозначены дискретные значения, рассчитанные с помощью КО; сплошной линией показана непрерывная зависимость $\omega_{\text{опт}} = f(P)$, полученная на основе дискретных значений с помощью АП). При этом значения $\omega_{\text{опт}}$, рассчитанные с помощью АП, отличаются от дискретных значений, определенных КО для соответствующих

значений P , на величину, не превышающую 0,03 % от номинального значения скорости вращения ω вала дизеля.

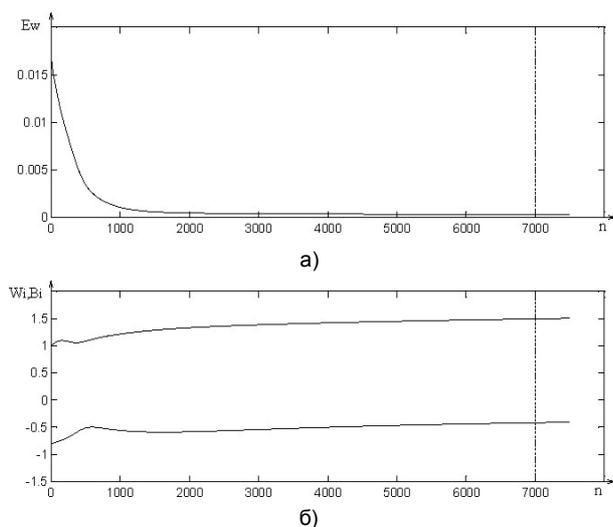


Рис. 4. Зависимости ошибки E_w (а), весовых коэффициентов W_i и смещений B_i (б) в функции количества эпох обучения n

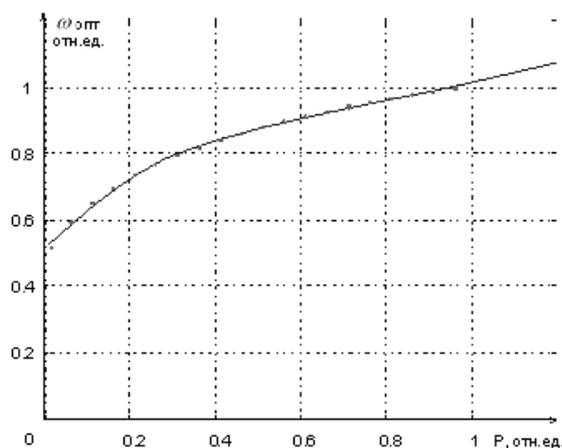


Рис. 5. Результат работы модели ЗЭР совместно с Д-Г

Анализ полученных значений показывает, что наибольшая погрешность работы АП приходится на граничные точки диапазона обучения. В случае выхода за его пределы

Хватов Олег Станиславович,
ФГБОУВПО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева»,
доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования судов,
телефон (831) 4-36-17-68,
e-mail: khvatov@aquasci.nnov.ru

Дарьенков Андрей Борисович,
ФГБОУВПО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева»,
кандидат технических наук, декан факультета автоматики и электромеханики,
телефон (831) 4-36-93-59;
e-mail: fae@nntu.nnov.ru.

Поляков Иван Сергеевич,
ФБОУВПО «Волжская государственная академия инженеров водного транспорта»,
аспирант кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта,
телефон (831) 4-19-34-39,
e-mail: khvatov@aquasci.nnov.ru

значения $\omega_{\text{опт}}$, определяемые АП, в целом согласуются с критериями минимального расхода, не являясь случайными величинами.

Погрешность при этом возрастает по мере удаления от границ диапазона обучения и может достигать единиц процента.

Разработанные при моделировании в Matlab алгоритмы реализуются на базе современной микропроцессорной техники на созданном нами экспериментальном образце Д-Г переменной скорости вращения.

Список литературы

1. Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Тарасов И.М. Дизель-генераторная электростанция с переменной частотой вращения вала // Вестник ИГЭУ. – 2010. – Вып. 2. – С. 53–56.
2. Патент 2412513 РФ МПК Н 02 J 3/34. Автономная электростанция переменного тока / А.Б. Дарьенков, О.С. Хватов; опубл. 20.02.2011. Бюл. №5.
3. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. – М.: Изд-во «Вильямс», 2001. – 287 с.
4. Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Поляков И.С. Модель задатчика экономичного режима работы дизель-генераторной установки с переменной скоростью вращения // Мат-лы XXX науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы электроэнергетики». – Н.Новгород, 2011. – С. 65–70.

References

1. Khvatov, O.S., Dar'enkov, A.B., Tarasov, I.M. Dizel'-generatornaya elektrostantsiya s peremennoy chastotoy vrashcheniya vala [Diesel-generator Electric Power Station of Frequency Shaft Rotation]. *Vestnik IGEU*, 2010, issue 2, pp. 53–56.
2. Dar'enkov, A.B., Khvatov, O.S. *Avtonomnaya elektrostantsiya peremennogo toka* [Autonomous Electric Power Station of Alternating Current]. Patent RF, no. 2412513, 2011.
3. Kallan, R. *Osnovnye kontseptsii neyronnykh setey* [Main Concepts of Neural Networks]. Moscow, Vil'yams, 2001. 287 p.
4. Khvatov, O.S., Dar'enkov, A.B., Polyakov, I.S. Model' zadatchika ekonomichnogo rezhima raboty dizel'-generatornoy ustanovki s peremennoy skorost'yu vrashcheniya [Model of a Set-point Device of Economic Operating Mode of Diesel-generator Set of Frequency Shaft Rotation]. *Materialy XXX nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy elektroenergetiki»* [Materials of the XXXth Scientific and Research Conference «Urgent Issues of Power Engineering»]. Nizhniy Novgorod, 2011, pp. 65–70.