№ 9 2006

ТРАНСПОРТНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

623.19.47

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОМ СМЕСИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Асп. А.Б. СМИРНОВ

Статья принципиально состоит из двух частей. Первая часть посвящена анализу различных способов применения искусственных нейронных сетей для задачи динамического управления подачей топлива. Вторая часть статьи посвящена практической реализации многорежимного динамического корректора подачи топлива (ДКТ) бензинового двигателя на основе искусственной нейронной сети (ИНС) с целью обеспечения стехиометрического состава смеси при резком перемещении дроссельной заслонки.

This article essentially consists of two parts. The first part is observing various methods of application artificial neural networks to the task of dynamic fuel delivery control and their analysis. The second part is about practical realization of the multimode dynamic fuel control unit (FCU) of a gasoline engine on the basis of artificial neural network (ANN) with the purpose of maintenance stochiometric composition in a mixture at sharp conveyance of a throttle valve.

Выполнение жестких норм по токсичности автомобиля невозможно без обеспечения точного управления составом смеси (ALF) на динамических режимах работы двигателя, характеризуемых резким перемещением дроссельной заслонки (ДЗ). В современных системах уменьшения токсичности отработавших газов двигателя применяется трехкомпонентный каталитический нейтрализатор, требующий поддержания ALF на стехиометрическом уровне в узком диапазоне. Задача поддержания стехиометрического ALF на статических режимах работы двигателя не очень сложна и решается за счет введения контура лямбда-регулирования, в противоположность динамическому управлению. Большинство современных микропроцессорных систем управления (МСУ) имеют отдельный алгоритм: динамический корректор подачи топлива — для коррекции ALF на динамических режимах работы двигателя. В большинстве случаев, структура стандартного ДКТ основана на модели топливной пленки, находящейся во впускном трубопроводе [1]. Для адекватной компенсации ALF на большинстве характерных динамических режимов работы двигателя коэффициенты ДКТ должны быть распределенными. Калибровка системы ДКТ, чаще всего, проводится с помощью неавтоматизированных методик из-за трудности организации автоматизированной настройки одно и двумерных таблиц управления. Последнее обстоятельство приводит к значительным временным затратам на настройку ДКТ в процессе проведения процедуры калибровки МСУ.

Для устранения указанных недостатков стандартного ДКТ предлагается применять алгоритм управления и калибровки, основанный на искусственной нейронной сети (ИНС). В силу свойства самообучения, ИНС возможно применить для создания более эффективных структур ДКТ, организации автоматизации процедуры калибровки ДКТ и решения

задачи классификации данных, включающих большое количество динамических режимов работы двигателя.

Принципиально можно применить три способа реализации управления подачей топлива с использованием ИНС. Первый подход заключается в аппроксимации таблиц управления стандартного ДКТ с помощью радиально-базисной ИНС. В этом случае необходимо найти значения коэффициентов управления стандартного ДКТ на базовых режимах работы двигателя и после этого провести процедуру аппроксимации поверхности управления с помощью ИНС. Второй подход заключается в замене таблиц управления стандартного ДКТ на структуру ИНС прямого распространения для определения текущих значений коэффициентов. В этом случае настройку параметров ИНС целесообразно проводить с помощью процедуры глобальной оптимизации в базисе $N + 1$-ой переменной, например с помощью генетического алгоритма (ГА) (N — количество настраиваемых параметров ИНС, $N + 1$-ая размерность — интегральная ошибка отклонения реального значения ALF от заданного значения). Третий подход заключается в непосредственном использовании структуры ИНС для определения цикловой подачи топлива (GTCINJ). В этом случае возможно применить мощное средство при реализации процедуры оптимизации параметров ИНС: метод обратного распространения ошибки, позволяющий значительно сократить требуемые вычислительные мощности по сравнению с процедурой глобальной оптимизации параметров [2].

Нами предлагаются результаты стендовых моторных испытаний стандартного ДКТ с нейронными коэффициентами в блоке электронного управления (БЭУ). Целью данной серии экспериментов была проверка принципиальной возможности настройки ДКТ с нейронными коэффициентами на нескольких характерных динамических режимах работы двигателя.

Структура ДКТ с нейронными коэффициентами и методика его настройки

Разработанный ДКТ с нейронными коэффициентами (рис. 1) состоит из двух частей: непосредственно ДКТ, основанного на модели топливной пленки во впускном трубопроводе, и ИНС, определяющей коэффициенты a, b ДКТ (GBC — цикловое наполнение воздухом; FREQ — частота вращения двигателя; FILM — значение массы топливной пленки; GTCSTAT — статическое значение цикловой подачи топлива; GTCINJ — цикловая подача топлива, впрыскиваемая форсункой (GTCSTATi + ΔDGTCDYN); ΔDGTCDYN — коррекция подачи топлива, рассчитываемая ДКТ; i — номер цикла работы двигателя.)

ИНС имеет структуру прямого распространения сигнала и состоит из трех слоев: входного, скрытого и выходного. Входами ИНС являются цикловое наполнение воздухом двигателя (GBC) и его частота вращения (FREQ). Входной слой имеет два нейрона с линейными функциями активации и реализует нормирование сигналов GBC и FREQ к диапазону от 0 до 1. Скрытый слой имеет один нейрон с сигмоидальной функцией активации. Именно за счет изменения количества нейронов этого слоя можно увеличивать вычислительную мощность ИНС. Выходной слой имеет два нейрона с сигмоидальными функциями активации (коэффициенты a и b).

Принципиальная схема настройки предусматривает наличие ДКТ с нейронными коэффициентами в БЭУ, а алгоритм обучения (генетический алгоритм) — ПК (рис. 2). При проведении экспериментов задействовано 7 настроечных параметров ИНС. В качестве критерия оптимизации использовалась сумма квадратов отклонений заданного и рассчитываемого ДКТ вектора подачи топлива в двигатель (GTCINJ) при постоянном объеме выборки в 5000 циклов работы двигателя.

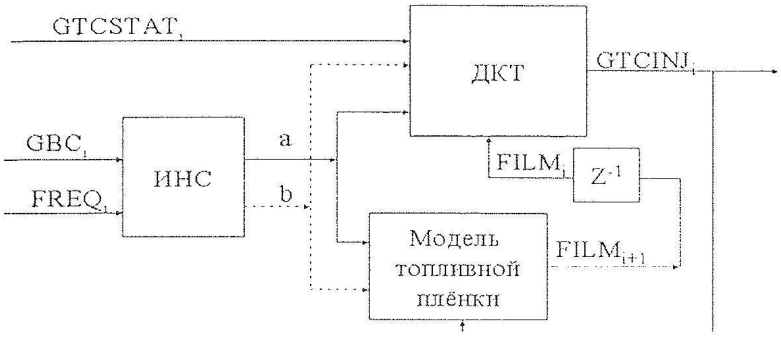


Рис. 1. Структура ДКТ с нейронными коэффициентами для i-го цикла работы двигателя

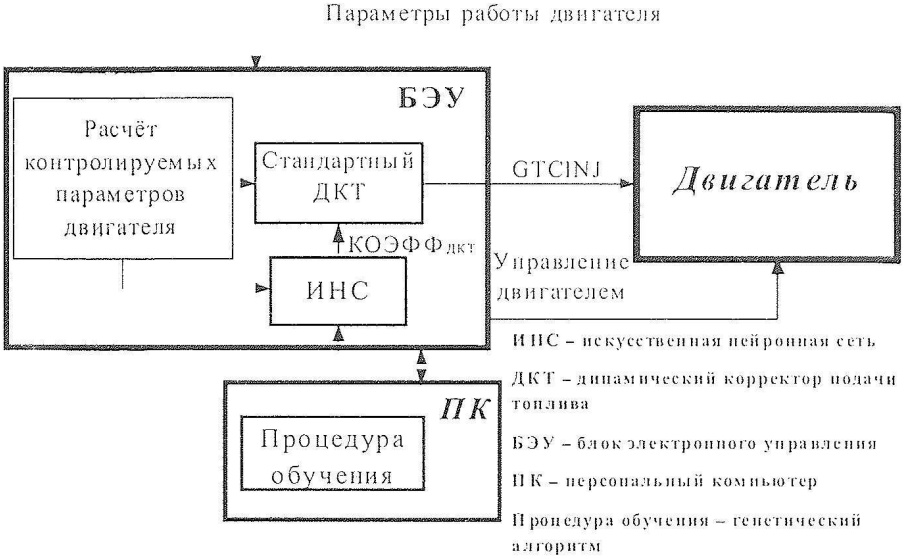


Рис. 2. Структура управления динамической подачей топлива (GTCINJ) и ее настройки с помощью ДКТ, имеющего структуру ИНС для определения текущих значений коэффициентов управления

В качестве объекта управления использовался прогретый 4-х цилиндровый бензиновый двигатель с электронной системой распределенного впрыскивания топлива. Особенностью МСУ является наличие электронно-управляемой дроссельной заслонки (ДЗ) и линейного лямбда-зонда фирмы Bosch, позволяющего измерять динамический состав смеси.

Принципиально важно то обстоятельство, что при настройке параметров ДКТ применялась методика ограниченного количества обращений к двигателю. Она заключается в том, что основной объем вычислений проводится с копией модели ДКТ, которая реализована на персональном компьютере. Каждое обращение к двигателю позволяет уточнить необходимый закон подачи топлива, обеспечивающий стехиометрический ALF, который рассчитывается на основе информации о реализованной цикловой подаче топлива (GTCINJ) и соответствующем сигнале реального ALF.

Результаты моторных стендовых испытаний ДКТ с нейронными коэффициентами

Для настройки многорежимного ДКТ выбрано 13 динамических режимов работы двигателя, характеризуемых резким перемещением ДЗ от 12 до 60 %.

На основе результатов (табл.) можно заключить, что после трех последовательных уточняющих обращений к двигателю на 13 выбранных динамических режимах удалось уменьшить больше чем в 2 раза максимальное отклонение ALF с 19 до 8 %. Значительное уменьшение ALF также наблюдается и на остальных оптимизируемых режимах. Исключение составляет только режим №10 при перемещении ДЗ от 60 до 25 %, где без работы ДКТ значение максимального отклонения ALF составляет 3 %, а с работающим ДКТ — 8 %. Такое протекание может быть связано со значительной динамической ошибкой в прогнозе циклового наполнения воздухом двигателя.

Таблица

№ обращения к двигателю	№ итерации обучения	№ динамического режима												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	выкл. DFC	4	10	–10	19	2	2	10	–9	19	3	–5	11	–8
2	1	2	–6	8	5	5	6	–2	12	7	9	5	–6	10
3	2	2	–4	5	8	5	4	4	8	8	9	5	–5	7
4	3	2	–2	2	8	4	4	3	5	6	8	2	–5	4

Выводы

1. Получение 8-процентного уровня компенсации ALF в результате проведения моторного эксперимента по настройке ДКТ с нейронными коэффициентами, подтвердило принципиальную работоспособность ИНС для задачи динамического управления подачей топлива бензинового двигателя. Для получения более высокого уровня компенсаций состава смеси необходимо увеличить количество настраиваемых параметров, хотя более целесообразно перейти к использованию структуры нейронного ДКТ.

2. Реализация ДКТ со структурой ИНС в БЭУ показала, что разработанная методика программной реализации ИНС позволяет внедрять структуры ИНС в общий алгоритм управления двигателем на базе любой промышленно-выпускаемой МСУ только за счет изменения программного управляющего модуля.

3. Постепенное внедрение лямбда-зонда с линейной характеристикой в состав МСУ и увеличение вычислительных мощностей микроконтроллера позволяет считать перспективным применение нейросетевых самообучающихся методов динамического управления подачей топлива бензинового двигателя непосредственно на борту автомобиля в ближайшем будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aquino C. F., Transient A/F Control Characteristics of the 5 Liter Central Fuel Injection Engine», SAE Technicial Paper 810494, 1981.
2. Медведев В. С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. MATLAB 6 / Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. — С. 496.