

УДК 621.865.8-8

## Разработка адаптивного инверсного нейрорегулятора для системы управления пьезоэлектрическим мехатронным модулем

# 08, август 2012

Загоруйко С.Н.

*Студент*

*кафедры «Специальная робототехника и мехатроника»*

*Научный руководитель: Бошляков А.А.,*

*к.т.н., доцент кафедры «Специальная робототехника и мехатроника»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана

bauman@bmstu.ru

### Введение

В работе [1] была разработана инверсная схема нейрорегулятора для системы управления пьезоприводом. Весовые коэффициенты в такой схеме не меняются во время работы нейрорегулятора, в то время как параметры привода зависят от многих внешних факторов и существенно меняются во времени. Целью работы является построение адаптивного инверсного нейрорегулятора.

### 1. Схема обучения с сетью-эмулятором и сетью-регулятором

Простейшая схема инверсного нейрорегулятора представлена на рис.1.

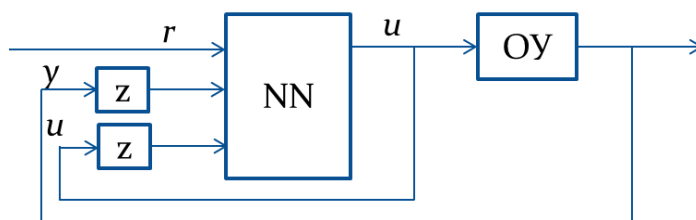


Рис.1. Схема инверсного нейрорегулятора

Нейросеть в такой схеме обучается инверсной передаточной функции объекта управления  $W^{-1}(s)$ , где  $W(s)$  - передаточная функция объекта управления. Таким образом, передаточная функция системы с регулятором:

$$G(s) = W^{-1}(s) \cdot W(s) = 1 \quad (1)$$

В качестве адаптивной схемы была выбрана схема с эмулятором и регулятором (рис.2), называемая также схемой со специализированным обучением [2].

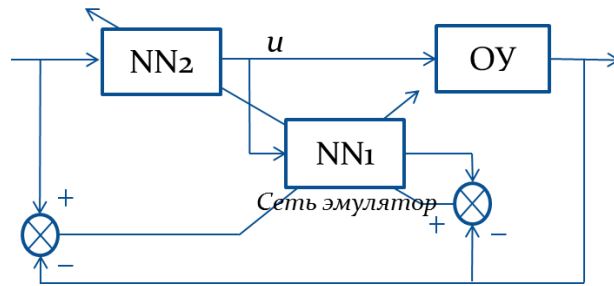


Рис.2. Схема с эмулятором и регулятором.

Сеть-регулятор в такой схеме выполняет те же функции, что и в схеме на рис.1, но ее весовые коэффициенты подстраиваются во время работы контроллера.

## 2. Структура сети-эмулятора

Сетью-эмулятором была выбрана многослойная нейросеть с 4 нейронами во входном слое, 5 нейронами в скрытом слое с тангенциальной функцией активации и одним нейроном на выходе с линейной функцией активации (рис.3).

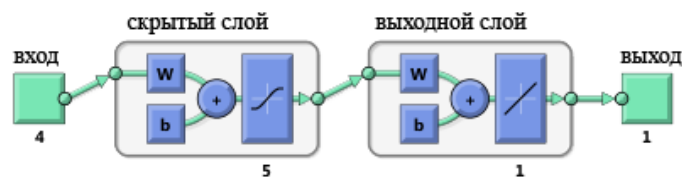


Рис.3. Структура сети-эмулятора

Сеть-эмулятор восстанавливает функцию:

$$y[n] = f(y[n-1], y[n-2], u[n], u[n-1]) \quad (2)$$

Сеть-эмулятор используется для получения матрицы Якоби объекта управления и ее весовые коэффициенты необязательно подстраивать во время работы контроллеры, поэтому было решено предварительно обучать сеть с помощью алгоритма сопряженных градиентов.

## 3. Структура сети-регулятора

Для простоты для сети-регулятора была выбрана та же структура, что и у сети-эмулятора (рис.3). Сеть-регулятор восстанавливает функцию:

$$u[n] = f(r[n], y[n], y[n-1], u[n-1]) \quad (3)$$

Весовые коэффициенты сети-регулятора должны подстраиваться во время обучения. Было решено обучать сеть на каждом шагу работы нейрорегулятора и

использовать метод обучения Гаусса-Ньютона, использующий матрицу Якоби и матрицу Гессе объекта управления. Матрицы Якоби и Гессе вычисляются с помощью сети-эмулятора.

Сеть-регулятор также предварительно обучается с помощью алгоритма сопряженных градиентов.

#### 4. Моделирование

##### 4.1. Моделирование по данным с математической модели

По данным, полученным со стенда, была построена математическая модель привода (рис. 4)



Рис. 4. Математическая модель привода

Передаточная функция привода имеет вид:

$$W(s) = \frac{472}{s(0.00000039s^2 + 0.0002s + 1)} \quad (4)$$

Было решено использовать управление по скорости, по этому для генерации выборок обучения использовалась следующая передаточная функция:

$$H(s) = \frac{472}{0.00000039s^2 + 0.0002s + 1} \quad (5)$$

Выборки для обучения сети-эмулятора и сети-регулятора генерировались при подаче на модель (5) тестового входного сигнала.

Моделирование работы адаптивного нейрорегулятора проводилось после предварительного обучения эмулятора и регулятора. Был сгенерирован тестовый сигнал, первая часть которого являлась синусоидой, вторая – прямоугольным сигналом.

##### 4.1.1. Прямоугольный входной сигнал

Обучающей выборкой в данном случае является последовательность, генерируемая следующим образом:

$$u[n] = \begin{cases} u[n-1], & a > 1 - \alpha, \\ r, & a < 1 - \alpha; \end{cases} \quad (6)$$

где  $a$  - число из потока случайных чисел, распределенных равномерно в интервале  $[0,1]$ ,  $\alpha$  - некоторая константа, задающая длину импульса,  $r$  - число из потока случайных чисел, имеющих нормальное распределение со стандартными параметрами.

Результаты моделирования работы адаптивной системы, обученной по прямоугольному сигналу, показаны на рис. 5

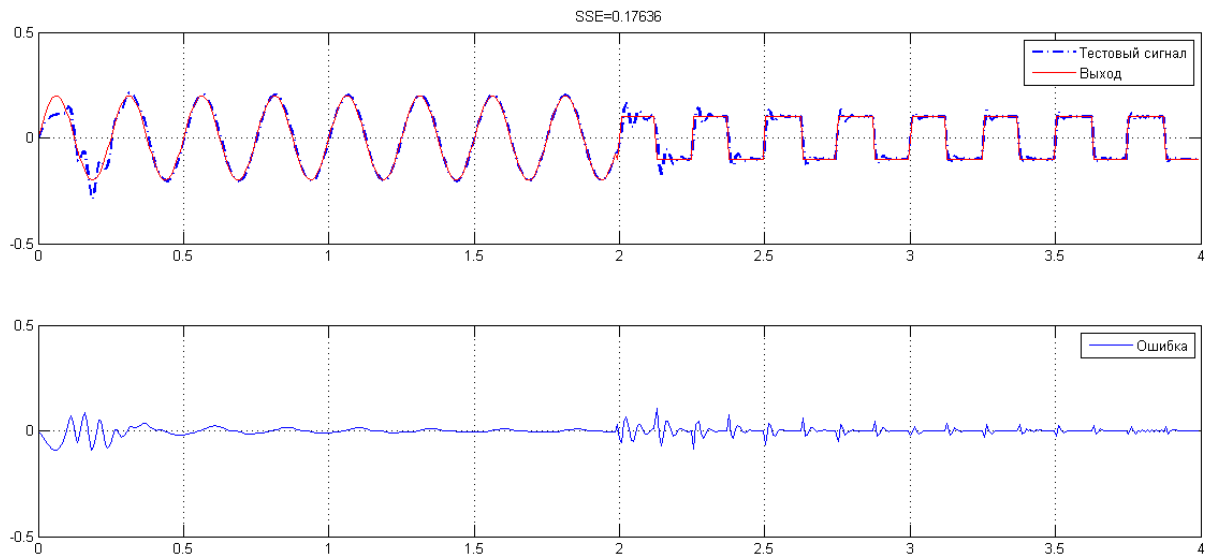


Рис. 5.

#### 4.1.2. Гармонический входной сигнал

Обучающей выборкой в данном случае является сигнал, представляющий собой сумму  $n$  синусоид с различными амплитудами и частотами, т.е.

$$u(t) = \sum_{i=1}^n a_i \sin(w_i t) \quad (7)$$

где  $a_i$  - амплитуды, распределенные равномерно в интервале  $[0,1]$ , а  $w_i$  - частоты, распределенные равномерно в интервале  $[w_{\min}, w_{\max}]$ . После генерации такой сигнал должен быть нормирован до интервала  $[-1,1]$ .

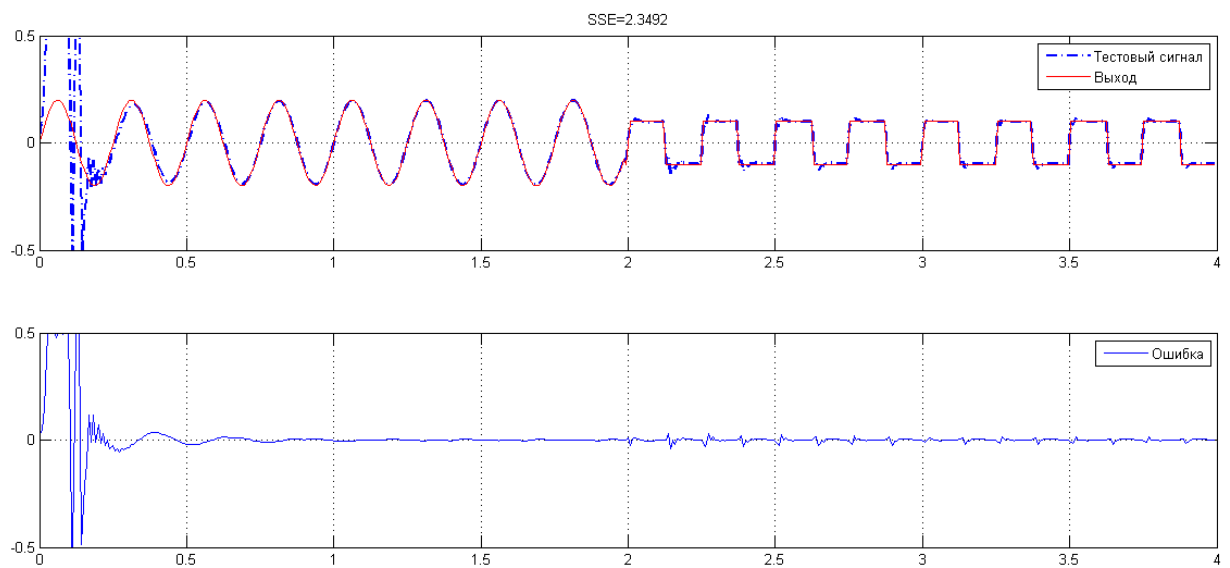


Рис. 6.

Моделирование по обучающей выборке, полученной с помощью с математической модели, показало удовлетворительные результаты как по прямоугольному сигналу (рис. 5), так и по гармоническому (рис.6).

#### 4.2. Моделирование по реальным данным

С помощью стенда пьезопривода были получены реальные обучающие выборки при подаче на стенд сигналов, сгенерированных аналогично пунктам 4.1.1-4.1.2.

##### 4.2.1. Прямоугольный входной сигнал

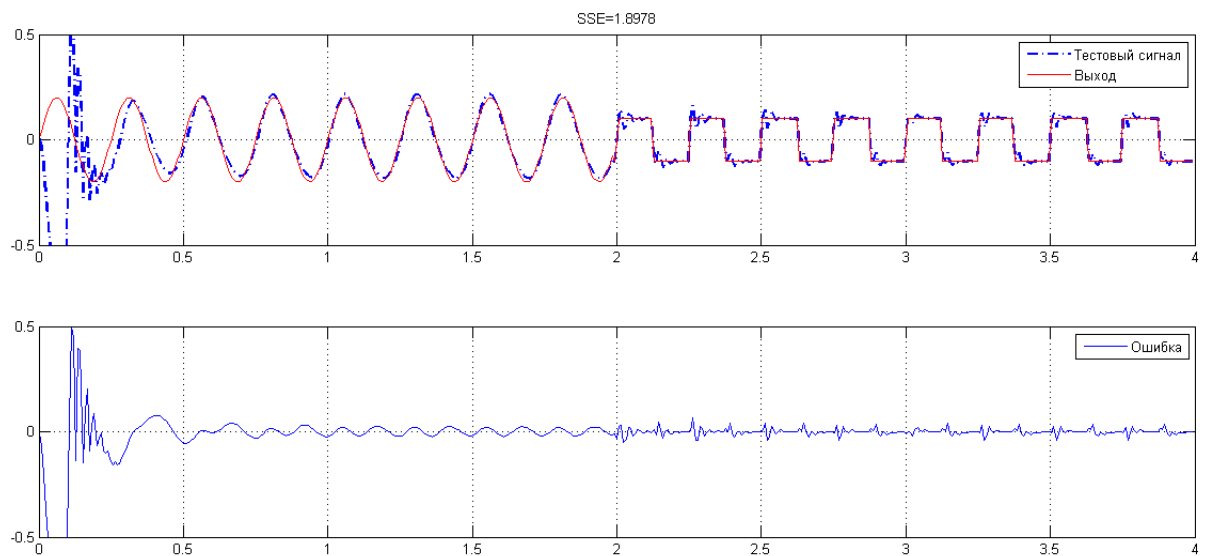


Рис. 7.

##### 4.2.2. Гармонический входной сигнал

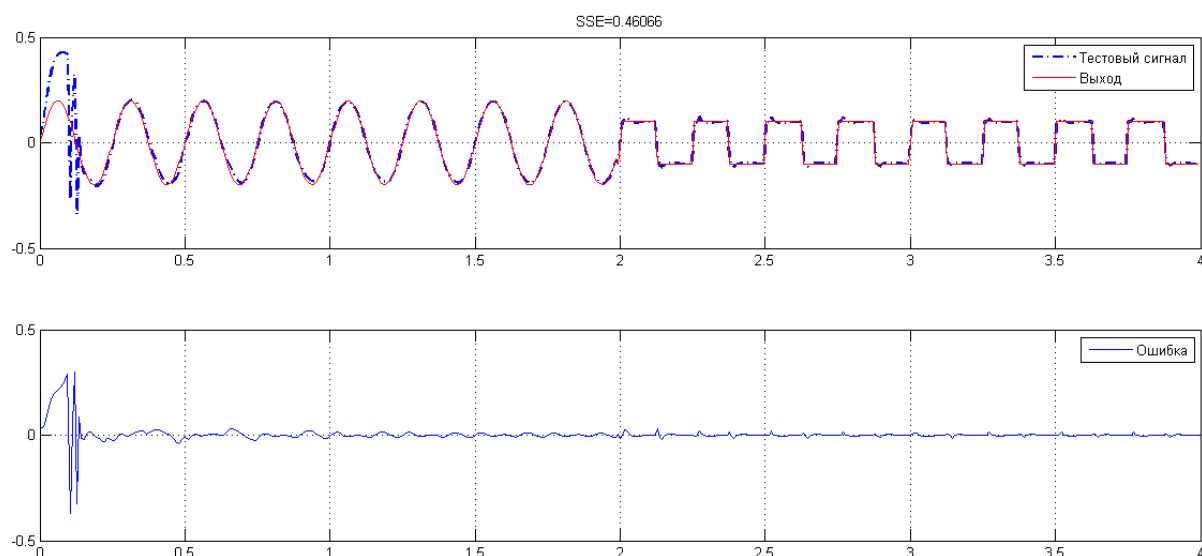


Рис. 8.

Моделирование по обучающим выборкам, полученным по реальным данным, показало неудовлетворительные результаты в случае подачи прямоугольных импульсов (рис. 7) и удовлетворительные результаты в случае подачи гармонического сигнала (рис. 8).

### Заключение

Выбрана архитектура адаптивного нейрорегулятора с сетью-эмулятором и сетью-регулятором.

Проведено предварительное обучение нейрорегулятора по данным с математической модели и по реальным данным.

Проведено моделирование адаптивного режима работы нейрорегулятора. Выявлена важность влияния предварительного обучения на работу адаптивного режима. Удовлетворительные результаты показало обучение по сумме синусоид со случайными параметрами.

Таким образом разработана схема адаптивного нейрорегулятора для системы управления пьезоприводом, подстраивающаяся под систему на каждом шагу работы регулятора, и проведено моделирование, показавшее удовлетворительные результаты.

### Список литературы

1. Лебедев А.Ю., Борисов В.В., Иванов Д.А., Бошляков А.А. «Реализация нейросетевого регулятора для управления пьезоэлектрическим двигателем». Сборник материалов Пятой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С.57-59.
2. Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф, Нейроуправление и его приложения. Пер. с англ Н.В. Батина; Под ред. А.И. Галушкина, В.А. Птичкина. – М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с.: ил. (Нейрокомпьютеры и их применение).