

К РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ С ЗАДАНЫМИ РЕГУЛИРОВОЧНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РЕГУЛЯТОРОВ МОЩНОСТИ ДУГОВЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ

Иванушкин Виктор Андреевич,

доцент, кандидат технических наук, Нижнетагильский технологический институт (филиал) ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижний Тагил, e-mail: atps_nt@mail.ru

Исаков Дмитрий Викторович,

заведующий кафедрой, кандидат технических наук, Нижнетагильский технологический институт (филиал) ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижний Тагил, e-mail: Isakov-DV@ntiustu.ru

Гамов Александр Валентинович,

доцент, к.п.н., Нижнетагильский технологический институт (филиал) ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижний Тагил, e-mail: atps_nt@mail.ru

Сарапулов Федор Никитич,

профессор, доктор технических наук, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: sarapulovfn@yandex.ru

IMPLEMENTATION OF MODELS OF CONTROL DEVICES WITH DESIRED REGULATING CHARACTERISTICS OF THE POWER REGULATORS ELECTRIC ARC FURNACES

Ivanushkin Viktor Andreevich,

Docent, Ph.D., Nizhny Tagil technological Institute (branch) Ural Federal University, Nizhny Tagil, e-mail: atps_nt@mail.ru

Isakov Dmitry Viktorovich,

Head of the Department, Ph.D., Nizhny Tagil technological Institute (branch) Ural Federal University, Nizhny Tagil, e-mail: Isakov-DV@ntiustu.ru

Gamov Alexander Valentinovich,

Docent, Ph.D., Nizhny Tagil technological Institute (branch) Ural Federal University, Nizhny Tagil, e-mail: atps_nt@mail.ru

Sarapulov Fedor Nikitich,

Professor, Doctor of Sciences, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin», Ekaterinburg, e-mail: sarapulovfn@yandex.ru

Аннотация. Предложен метод реализации желаемых моделей управляющих устройств на симметричных типовых элементарных нелинейностях.

Abstract. The proposed method of realization of desired models of control devices on a symmetric model the elementary nonlinearities.

Ключевые слова. Модель, управляющее устройство, регулятор, функциональный преобразователь.

Key words. Model, control device, regulator, functional converter.

Применение в автоматических регуляторах мощности дуговых электропечей промышленных контроллеров (ПК) и современных частотно-управляемых электроприводов переменного тока обуславливает актуальность вопросов выбора и обоснования способов реализации моделей управляющих устройств, реализующих адаптированные (заданные, желаемые) к различным периодам технологического процесса плавки регулировочные характеристики их исполнительных механизмов (ИМ). В ра-

боте рассматривается один из возможных подходов к решению этой задачи и предлагается метод, позволяющий реализовать желаемые модели управляющих устройств на симметричных типовых элементарных нелинейностях.

Анализ заданных (энергоэффективных) регулировочных характеристик действующих регуляторов мощности дуговых печей прямого и косвенного действия показывает, что указанные характеристики могут быть симметричными и несимметричными относительно осей координат и представляют собой в основном комбинацию участков кусочно-линейных и кусочно-постоянных функций [1].

В [2] приводится аналитическое описание (математические модели) функциональных преобразователей, реализующих желаемые регулировочные характеристики применительно к регуляторам дуговых печей по участкам (интервалам между узловыми точками) с использованием переключающих функций с предварительным определением интервалов линейности или постоянства. Опыт реализации моделей ФНП регуляторов мощности показал, что использование функций $\text{sign}(X)$ и $\text{abs}(X)$ [3] позволяет аналитически описать практически любую задаваемую в форме графика кусочно-линейную или кусочно-постоянную функцию без предварительного определения интервалов линейности или постоянства нелинейной характеристики. При использовании этого способа наиболее удобным приемом реализации таких сложных нелинейностей является декомпозиция исходных характеристик ФНП в композицию более простых симметричных типовых элементарных нелинейностей (замена сложной нелинейной характеристики суммой элементарных характеристик) с последующим аналитическим описанием каждой из них и дальнейшей программной реализацией на базе современных ПК.

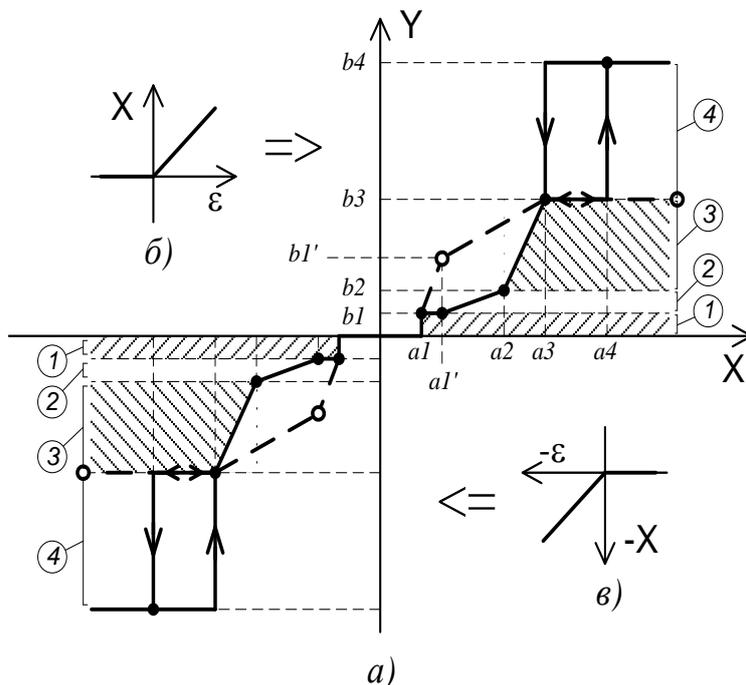


Рис.1. Характеристика ФНП (а), элементы выделения знака сигнала рассогласования ε (б, в) и элементарные нелинейные составляющие 1- 4 (результат декомпозиции): а – 1 - трехпозиционная «прямая» без зон неоднозначности; 2 - ограничение по выходу с зоной нечувствительности; 3 - ограничение по выходу с зоной нечувствительности; 4 - трехпозиционная «прямая» с зонами неоднозначности.

В табл.1 приводятся математические модели некоторых типовых (элементарных) нелинейных элементов, в совокупности обеспечивающих реализацию желаемых симметричных характеристик ФНП регулятора фазы дуговой печи (рис.1) с ис-

пользованием функций $\text{sign}(X)$ и $\text{abs}(X)$. Изложенный выше подход (метод элементарных нелинейностей) реализации иллюстрируется ниже примером (рис.1), на котором приведена одна из возможных желаемых характеристик ФНП заданной координатами узловых точек a_i, b_i (настроечными параметрами) и ее элементарные нелинейные составляющие - 1,2,3,4. Выходной (результатирующий) управляющий сигнал Y_Σ такого композиционного преобразователя в данном случае определяется результатом суммирования выходных сигналов Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 (табл.1) его составляющих 1,2,3,4 (рис.1).

Таблица 1

Математические модели элементарных нелинейных элементов

№	Тип нелинейности	Математическое описание	Значение коэффициентов
1	Трехпозиционная «прямая» без зон неоднозначности (I-III квадранты)	$Y_1 = K_1/2[\text{sign}(X-a_1) + \text{sign}(X+a_1)]$	$K_1 = b_1$
2	Ограничение по выходу с зоной нечувствительности	$Y_2 = K_2/2[X+a_2 - X-a_2 - X+a_1' + X-a_1']$	$K_2 = (b_2-b_1)/(a_2-a_1')$
3	Ограничение по выходу с зоной нечувствительности	$Y_3 = K_3/2[X+a_4 - X-a_4 - X+a_3 + X-a_3]$	$K_3 = (b_3-b_2)/(a_3-a_2)$
4	Трехпозиционная «прямая» с зонами неоднозначности (I-III квадранты)	$Y_4 = K_4/2[\text{sign}(X - a_4 \text{sign } dX/dt) + \text{sign}(X + a_3 \text{sign}(X + a_3 \text{sign } dX/dt))]$	$K_4 = b_4 - b_3$
5	Ограничение по выходу (насыщение)	$X_1 = K_1/2(\varepsilon + a_1 - \varepsilon - a_1)$	$K_1 = b_1/a_1$
6	Трехпозиционная «обратная» без зон неоднозначности (II-IV квадранты)	$X_2 = -K_2/2[\text{sign}(\varepsilon - a_1) + \text{sign}(\varepsilon + a_1)]$	$K_2 = b_1$
7	Трехпозиционная «единичная» с зонами неоднозначности (I-III квадранты)	$Y_5 = 1/2[\text{sign}(X - a_4 \text{sign } dX/dt) + \text{sign}(X + a_3 \text{sign}(X + a_3 \text{sign } dX/dt))]$	-

Предлагаемый подход позволяет реализовать различные модели управляющих устройств рассматриваемого класса регуляторов: симметричные и несимметричные, трехпозиционные и многопозиционные, пропорциональные (с одной и более зонами пропорциональности) с ограничением и зоной нечувствительности, пропорционально-релейные с зоной нечувствительности и т.п. При симметричных характеристиках (подобных рис.1) модель управляющего устройства полностью определяется выра-

жением $Y_{\Sigma} = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4$ (табл.1, №№ 1-4) и реализуется одноканальной структурой с входной переменной $X = \varepsilon$.

Характеристика с координатами узловых точек $a1 - b1$, $a1' - b1'$, $a3 - b3$ (обозначена на рис.1 пунктиром), желательная для периода доплавления шихты и подогрева металла, реализуется суммированием управляющих воздействий составляющих 1,2,3 с параметрами настройки, соответственно равными: $K_1 = b1$, $K_2 = (b1' - b1) / (a1' - a1)$ и $K_3 = (b3 - b1') / (a3 - a1')$.

При необходимости реализации несимметричных характеристик структура ФНП выполняется двухканальной, для этого переменная X предварительно вычисляется в соответствии с выражениями $X_+ = 1/2(\varepsilon + |\varepsilon|)$ и $X_- = 1/2(\varepsilon - |\varepsilon|)$ (рис.1 - элементы б и в). Этим обеспечивается раздельное вычисление результирующих воздействий по каналам подъема и опускания электродов печи, рациональных для конкретного периода плавки. Естественно, что в этом случае для каждого канала аналогично формируются свои композиционные математические модели, определяемые результатами декомпозиции желаемых характеристик соответственно в I и III квадрантах.

Модель 7 (табл.1) используется при реализации режима неререверсивного регулирования для блокировки (при $X \geq a4$) и деблокировки (при $X < a3$) результирующего выходного сигнала в канале отработки положительного рассогласования. С помощью моделей №5 и №6 (табл.1) решаются задачи контроля, индикации и снятия остаточного рассогласования в пределах порогов зоны нечувствительности. Смещение характеристики по оси X (позиционирование), необходимое для повышения энергетических показателей работы печи в периоды проплавления колодцев и образования жидкой ванны, при данном подходе реализуется также применением двухканальной структуры ФНП путем соответствующего изменения внешним сигналом порога $a1$ зоны нечувствительности ($a1' = 2 a1$).

Излагаемый подход является практически наиболее удобным методом реализации моделей управляющих устройств на базе ПК с заданными регулировочными характеристиками регуляторов мощности дуговых электропечей. Метод существенно упрощает процедуру реализации моделей, обеспечивает регулятору ряд качественно новых свойств: возможность выбора вида желаемых регулировочных характеристик, изменение их настроечных параметров в широких пределах, а также возможность перехода с одной характеристики на другую по внешним сигналам.

Список использованных источников

1. Иванушкин В.А., Исаков Д.В., Сарапулов Ф.Н., Поздеев С.А., Рабек А.А. Формирование энергоэффективных алгоритмов управления электрическим режимом дуговых сталеплавильных печей // Промышленная энергетика №7, 2015. – С.32-35.

2. Иванушкин В.А., Сарапулов Ф.Н., Исаков Д.В., Рабек А.А. Формирование статических характеристик функциональных преобразователей регуляторов мощности электродуговых печей // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: сб. докл. 4-ой междунар. науч.-практ. конф. в рамках выст. «Энергосбережение. Отопление. Водоснабжение» (Екатеринбург, 26-28 мая 2015 г.) / науч. ред. Ф.Н. Сарапулов. – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2015.- С. 110-113.

3. Моделирование и основы автоматизированного проектирования приводов: Учеб. Пособие для студентов высших технических учеб. Заведений / В.Г. Стеблецов, А.В. Сергеев, В.Д. Новиков, О.Г. Камладзе. – М.: Машиностроение, 1999. -224 с.: ил.