

УДК 621.34

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАКЛОНА ТИГЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

ГОНЕНКО Татьяна Владимировна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования

РУДИ Дмитрий Юрьевич

старший преподаватель кафедры электротехники и электрооборудования

Омский институт водного транспорта – филиал

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

г. Омск, Россия

В статье представлена разработка математической модели автоматизированной системы управления электропривода наклона тигля индукционной печи.

Ключевые слова: электропривод, математическая модель, преобразователь частоты, индукционная печь.

Свойства любой системы проявляются в процессе ее функционирования. Для определения этих свойств, следует подать на входы некоторые возмущающие воздействия и проанализировать выходы системы. Однако почти всегда проведение таких экспериментов с реальной системой экономически невыгодно, а с проектируемой системой невозможно. В связи с этим эксперименты для изучения свойств системы проводят не с реальными системами, а с их моделями.

Моделирование – процесс проведения экспериментов на модели вместо прямых экспериментов на самой системе. В настоящее время широко применяют метод моделирования как способ научного познания реальной действительности, а в ряде случаев он оказывается единственным средством познания сложных систем.

Основой моделирования является теория подобия, которая утверждает, что абсолютное подобие моделируемого объекта или процесса и модели имеет место лишь при замене изучаемого объекта точно таким же.

Модель должна отображать сущность исследуемого процесса, соответствовать цели конкретной задачи исследования, давать все необходимые данные для вычисления целевой функции и не содержать второстепенных связей. Модель, являясь абстракцией опре-

деленного варианта решения, дает возможность многократного проведения опытов для познания сущности процесса и получения удовлетворительных результатов решения задачи. Изменяя характеристики системы, можно познать ее поведение при этих характеристиках и анализировать влияние различных факторов: наблюдать будущие ситуации в виде, не искаженном посторонним влиянием, производить обобщение и оценивать новые идеи по совершенствованию организации исследуемого процесса. Поведение модели и реального объекта должно подчиняться одинаковым закономерностям. Изучив их на доступной для исследователя модели, оказывается возможным предсказать свойства проектируемого объекта или процесса.

Многообразие исследуемых объектов и процессов, целей и задач моделирования породило множество типов моделей. Выбор аппарата для построения модели зависит как от природы и свойств моделируемого объекта, или процесса, так и от характера решаемой задачи. По способу построения все множество моделей можно разделить на физические и абстрактные.

Для получения математического описания автоматизированной системы управления (АСУ) обычно составляют описание ее отдельных элементов. В частности, для полу-

чения уравнений АСУ составляют уравнения каждого входящего в нее элемента. Совокупность полученных уравнений дает аналитическое описание АСУ. При получении математического описания исходят из противоречивых требований. С одной стороны, математическая модель должна как можно полнее отражать свойство оригинала, а с другой стороны, быть по возможности простой, чтобы не усложнять исследование.

Для получения математической модели в теории автоматического управления используют один из двух путей:

– получение системы дифференциальных уравнений на основе аналитического анализа

процессов (физических, механических и др.) или экспериментальным путем;

– получение косвенных оценок динамических процессов, к которым относятся передаточные функции, временные характеристики, частотные характеристики.

Для получения математического описания исходной АСУ используем второй путь. Составим описание отдельных элементов АСУ, образующих типовые динамические звенья, которые будут представлены в виде передаточных функций.

На рисунке 1 представлена структурная схема линейаризованной системы ПЧ-АД с обратной связью по скорости.

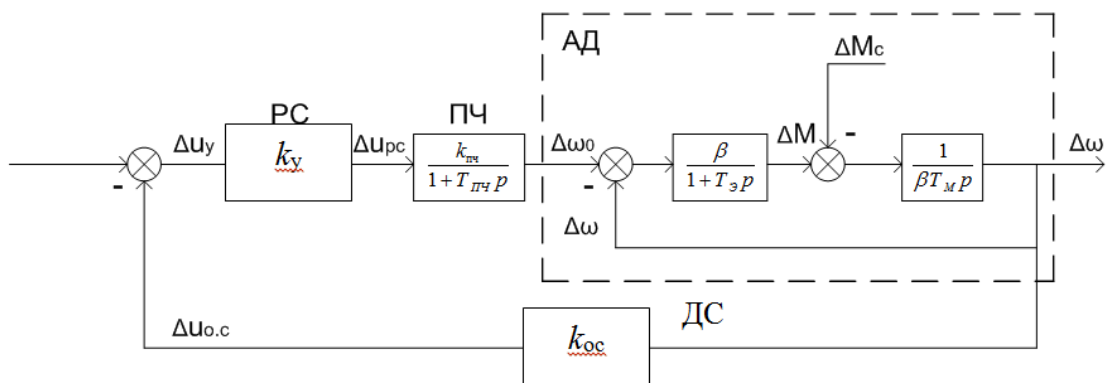


Рисунок 1. Структурная схема системы ПЧ-АД с обратной связью по скорости

На рисунке 1 обозначено следующее:

- РС – регулятор скорости (корректирующее устройство);
- ПЧ – преобразователь частоты;
- АД – асинхронный двигатель;
- ДС – датчик скорости.

Преобразователь частоты описывается уравнением

$$\omega_0 = k_{\pi} \cdot U_y. \quad (1)$$

Из этого уравнения передаточная функция преобразователя частоты определится как

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{\omega_0}{U_y} = k_{\pi}. \quad (2)$$

Коэффициент передачи преобразователя частоты найдём из формулы

$$k_{\pi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot k_{yч}}{p_{\pi}}; \quad (3)$$

$$k_{yч} = \frac{f_1}{U_{y,\max}}.$$

Математическое описание асинхронного двигателя соответствует уравнению

$$M = \frac{\beta_e}{1 + T_{\text{э}} p} (\omega_0 - \omega). \quad (4)$$

Отсюда передаточная функция асинхронного двигателя имеет вид

$$W_{\text{АД}}(p) = \frac{M}{\omega_0 - \omega} = \frac{\beta_e}{1 + T_{\text{э}} p}. \quad (5)$$

Модуль жёсткости естественной характеристики асинхронного двигателя

$$\beta_e = \frac{2 \cdot M_{\kappa}}{\omega_{0\text{н}} \cdot s_{\kappa}}; \quad (6)$$

$$\omega_{0\text{н}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}}{p_{\pi}}. \quad (7)$$

Электромагнитная постоянная времени асинхронного двигателя

$$T_{\text{э}} = \frac{1}{\omega_{0\text{э}} \cdot s_{\kappa}}. \quad (8)$$

Механическая часть привода описывается уравнением

$$\omega = \frac{1}{J_{\Sigma} p} \cdot (M - M_{\text{ст}}). \quad (9)$$

Тогда передаточная функция механической части привода

$$W_{\text{мех}}(p) = \frac{\omega}{M - M_{\text{ст}}} = \frac{1}{J_{\Sigma} \cdot p} \quad (10)$$

Для расчёта регулятора скорости мы пренебрегаем внутренней э.д.с. двигателя и моментом статического сопротивления, тогда передаточная функция разомкнутой системы запишется

$$W_{\text{раз}}(p) = W_{\text{ПЧ}}(p) \cdot W_{\text{АД}}(p) \cdot W_{\text{м}}(p). \quad (11)$$

Подставляя выражения, получим

$$W_{\text{раз}}(p) = k_n \cdot \frac{\beta_e}{T_{\Sigma} p + 1} \cdot \frac{1}{J_{\Sigma} p} = \frac{k_n \cdot \beta_e}{J_{\Sigma} p \cdot (T_{\Sigma} p + 1)}. \quad (12)$$

При настройке контура регулирования на технический оптимум желаемая передаточная функция будет иметь вид

$$W_{\text{ж}}(p) = \frac{1/k_{\text{oc}}}{a_c \cdot T_{\mu} p (T_{\Sigma} p + 1)}, \quad (13)$$

$$k_{\text{oc}} = \frac{U_{\text{зи, max}}}{\omega_3}. \quad (14)$$

Передаточную функцию регулятора скорости определяем как

$$W_{\text{pc}}(p) = \frac{W_{\text{ж}}(p)}{W_{\text{раз}}(p)} \quad (15)$$

или после подстановки выражений

$$W_{\text{pc}}(p) = \frac{\frac{1/k_{\text{oc}}}{a_c \cdot T_{\mu} p (T_{\Sigma} p + 1)}}{\frac{k_n \cdot \beta_e}{J_{\Sigma} p (T_{\Sigma} p + 1)}} = \frac{J_{\Sigma}}{a_c \cdot T_{\mu} \cdot k_{\text{oc}} \cdot k_n \cdot \beta_e}. \quad (16)$$

Передаточная функция регулятора скорости имеет вид пропорционального регулятора. Коэффициент передачи регулятора скорости определим из формулы

$$k_{\text{pc}} = \frac{J_{\Sigma}}{a_c \cdot T_{\Sigma} \cdot k_{\text{oc}} \cdot k_n \cdot \beta_e}, \quad (17)$$

Это значит, что переходные процессы в системе будут иметь колебательный характер.

Для правильного выбора типа регулятора скорости (корректирующего устройства КУ), необходимо провести анализ данной АСР, определить тип переходного процесса, имеющиеся запасы по амплитуде и по фазе.

Для анализа полученной АСР воспользуемся пакетом математического моделирования MATLAB с применением компонента Simulink. Составим модель АСУ в обозначениях Simulink. Структурная схема АСУ электропривода наклона тигля приведена на рисунке 2.

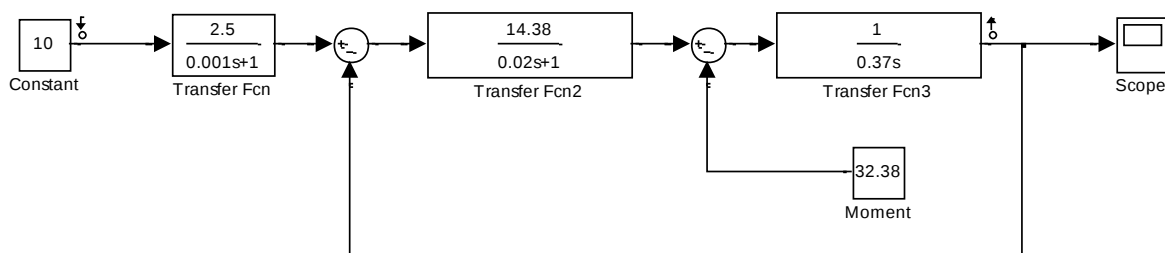


Рисунок 2. Структурная схема АСР электропривода наклона тигля

По переходной характеристике (рисунок 3) данной системы, определим показатели качества переходного процесса.

Из графика (рисунок 3) видно:

– время переходного процесса (характеризующее быстродействие системы) $t_{\text{пн}} = 0,134$ с;

– перерегулирование $\delta = 11,5$ %.

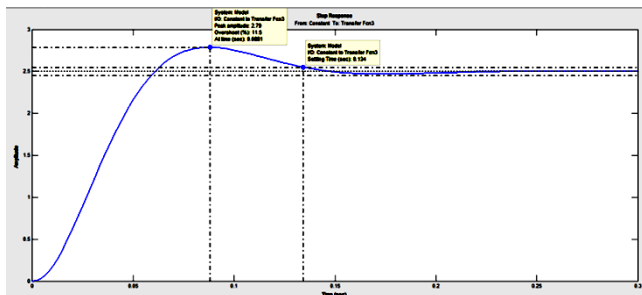


Рисунок 3. Переходная характеристика

По графику (рисунок 4) определим запасы устойчивости.

- запасы устойчивости по фазе 43,9 градусов;
- по амплитуде 20,7 дБ.

Данные показатели построенной модели не удовлетворительны из-за большого пере-регулирования.

Принципиальная особенность требований к техническим средствам автоматизации обусловлена тем, что приборы и устройства в составе систем используются не индивидуально и независимо, а непрерывно и тесно взаимодействуют друг с другом, причем каждый прибор или устройство в этом взаимодействующем комплексе выполняет часть общего алгоритма управления.

Поэтому технические средства автоматизации должны удовлетворять следующим требованиям:

- быть серийной продукцией приборостроительной и других отраслей промышленности;
- иметь агрегатно-блочный принцип построения и унифицированные связи между отдельными устройствами;
- являться аппаратно и программно-совместимыми с техническими устройствами из других комплексов, применяемых в системах автоматизации;
- обеспечивать реализацию возможно большего числа функций за счет наличия полного набора устройств;
- иметь высокие показатели надежности и предъявлять умеренные требования к численности обслуживающего персонала.

Реализация этих требований при разработке систем автоматизации зависит от рациональной преемственности ранее создан-

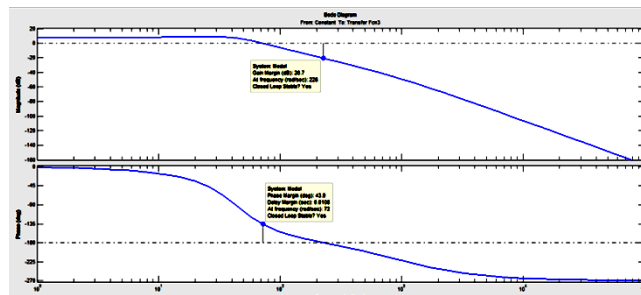


Рисунок 4. ЛАХ и ЛФХ

ных систем.

Составляющими частями преемственности являются унификация, нормализация, стандартизация.

- унификация представляет собой процесс уменьшения многообразия конструкций, устройств и узлов автоматики;

– нормализация сводится к применению уже разработанных и освоенных промышленностью приборов, блоков, узлов. Нормализации подвергаются материалы, детали, узлы и типовые изделия;

– стандартизация представляет собой метод ограничения разнообразия, регламентирования единства качественных показателей продукции, классификации, кодирования, терминологии, технических требований, методов испытаний и т. п.

Современные системы автоматизации любых уровней должны строиться, как правило, на базе серийно выпускаемых средств автоматизации и вычислительной техники. В качестве локальных средств сбора и накопления первичной информации, приборов для представления ее наблюдателю, регулирующих и исполнительных устройств следует использовать приборы и средства автоматизации «Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП)», а в качестве средств централизованного сбора, передачи и переработки информации – средства агрегатных комплексов (АК).

Всякая система автоматизации должна быть простой, экономичной, быстродействующей, надежной, гибкой и удобной в управлении и обслуживании, как при нормальном, так и при аварийном режиме работы. Она должна обеспечивать легкий контроль исправности системы и удобство

нахождения повреждения.

Простота и экономичность системы зависят от количества аппаратуры, ее качества, количества и длины связей. Наиболее простой и экономичной является система, которая при прочих равных условиях имеет минимальное количество простой и дешевой аппаратуры при наименьшем количестве связей.

Быстродействие – продолжительность процесса управления – складывается из технологического времени, отсчитываемого от момента выдачи воздействия на исполнительный механизм до момента формирования датчиком реакции на это воздействие, и из задержки, которую вносит система управления. При выборе технических средств необходимо учитывать, что задержка системы управления должна быть, по крайней мере, на порядок ниже минимального технологического времени. Быстродействие современной микроэлектронной аппаратуры очень высоко и колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен наносекунд.

Надежность работы системы автоматиза-

ции не может быть обеспечена только высокими требованиями к безотказности отдельных ее элементов. Потеря устойчивости системы автоматического управления приводит к ее отказу и при совершенно исправных в техническом отношении элементах. Поэтому необходимым условием надежной устойчивой работы системы автоматического управления является правильный выбор ее структуры и параметров, обеспечивающих достаточный запас устойчивости.

Выбор технических средств автоматизации, как правило, определяется видом энергии технологического объекта. Применяют технические средства электрического, пневматического и гидравлического типов. Среди них наибольшее распространение получили электрические средства автоматизации, что объясняется преимуществом электрической энергии, как в смысле питания, так и в смысле передачи сигнала.

Смоделируем математическую модель в программе Simulink с ПИД-регулятором (рисунок 5), оценим его показатели качества.

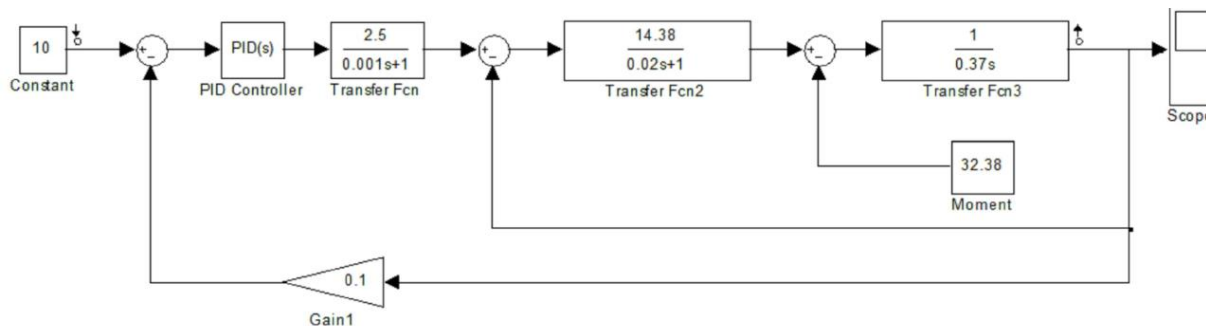


Рисунок 5. Структурная схема АСУ электропривода наклона тигля с ПИД-регулятором

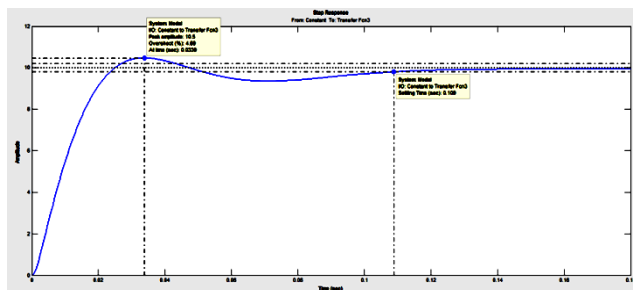


Рисунок 6. Переходная характеристика с ПИД-регулятором

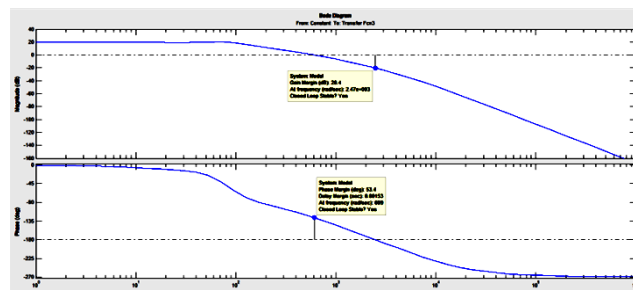


Рисунок 7. ЛАХ и ЛФХ с ПИД-регулятором

На рисунке 6 изображен переходный процесс.

Из графика (рисунок 6) видно:

– время переходного процесса (характеризующее быстродействие системы) $t_{\text{пп}} = 0,109$ с;

– перерегулирование $\delta = 4,69$ %.

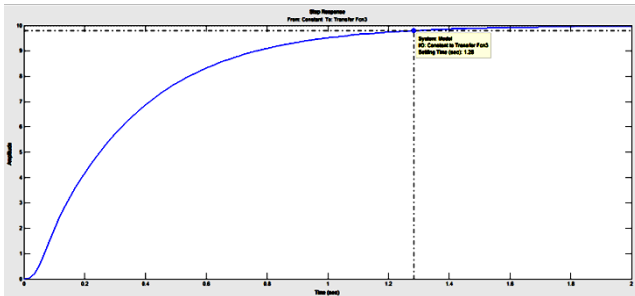


Рисунок 8. Переходная характеристика с автоматической настройкой ПИД-регулятора

Из графика (рисунок 8) видно:

– время переходного процесса (характеризующее быстродействие системы) $t_{\text{пп}} = 1,28$ с;

– перерегулирование $\delta = 0$ %.

На рисунок 9 представлена ЛАХ и ЛФХ с

На графиках (рисунок 7) видно:

– запасы устойчивости по фазе 53,4 градусов;

– по амплитуде 20,4 дБ.

Для получения удовлетворительных результатов, воспользуемся автоматической настройкой ПИД-регулятора.

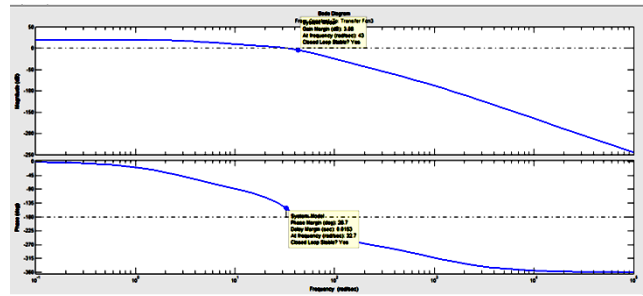


Рисунок 9. АФЧХ с автоматической настройкой ПИД-регулятора

автоматической настройкой ПИД-регулятора.

Из графиков (рисунок 9) видно:

– запасы устойчивости по фазе 32,7 градусов;

– по амплитуде 3,88 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баклин В.С. Математическая модель частотно-регулируемого асинхронного двигателя / В.С. Баклин, А.С. Гимпельс // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 148-53.
2. Грязев М.В. Математические модели асинхронного двигателя как объекта для построения системы управления / М.В. Грязев, И.В. Степаничев, Е.В. Александров, О.Ю. Бибишев // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2009. – № 3(61). – С. 40-51.
3. Омельченко Е.Я. Статическая математическая модель электропривода по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2011. – № 4. – С. 65-69.

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC DRIVE OF TILT OF INDUCTION FURNACE

GONENKO Tatyana Vladimirovna

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment

RUDI Dmitry Yurievich

Senior Lecturer of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment

Omsk Institute of Water Transport – branch of the Siberian State University of Water Transport
Omsk, Russia

The article presents the development of a mathematical model of an automated control system for an electric drive for tilting the crucible of an induction furnace.

Key words: electric drive, mathematical model, frequency converter, induction furnace.
