

Раздел VI. Новые информационные технологии в энергетике

УДК 681.513.66

Е.В. Заргарян, В.В. Соловьев, В.Ю. Степанова

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАДИЕНТНОГО АЛГОРИТМА АДАПТАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Реализован алгоритм комплексного автоматического управления параметрами теплоносителя для системы отопления многоэтажного здания. Представлена разработанная схема двухконтурной системы управления теплоснабжением абонентского пункта. Разработана адаптивная система управления с явной эталонной моделью основного контура. Реализован градиентный алгоритм адаптации для управления температурой и расходом теплоносителя. Определено выражение для настройки параметров адаптивного регулятора. Приведены полученные результаты моделирования для регулируемой температуры теплоносителя и контролируемой температуры воздуха в объекте.

Эталонная модель; адаптивный регулятор; управление параметрами теплоносителя.

E.V. Zargaryan, V.V. Soloviev, V.Y. Stepanova

RESEARCH OF THE GRADIENT ALGORITHM OF ADAPTATION FOR MANAGEMENT OF HEAT CARRIER PARAMETERS

The algorithm of integrated automatic control by parameters of the heat carrier is realized for system of heating of the multistoried building. The developed scheme of a double-circuit control system by a heating supply of subscriber point is submitted. The adaptive control system is developed with obvious reference model of the main contour. The gradient algorithm of adaptation is realized for management of temperature and a heat carrier expense. Expression is defined for control of parameters of the adaptive regulator. The received results of modeling are given for the adjustable of temperature of the heat carrier and controlled of air temperature in object.

Reference model; adaptive regulator; management of heat carrier parameters.

Введение. Проблемы нерегулируемого отпуска тепловой энергии, низкой эффективности и высокой стоимости автоматизированных локальных индивидуальных тепловых пунктов, а также слабой согласованности программных алгоритмов управления с динамическими свойствами многоэтажных зданий, приводят к необходимости разработки адаптивных систем управления теплоснабжением зданий. При решении задачи построения системы управления сложным объектом с распределенными параметрами применение традиционных методов управления оказывается недостаточно эффективным [1]. Решение задачи синтеза алгоритма управления параметрами теплоносителя в системе теплоснабжения в условиях неполноты априорной информации и нестационарности объекта, позволяет реализовать алгоритм комплексного автоматического регулирования, обеспечивающий компенсацию неопределенности за счет накопления и обработки информации в рабочем режиме функционирования системы теплоснабжения. В данной работе исследуется градиентный алгоритм адаптации для управления расходом и температурой теплоносителя у абонентов теплопотребления системы центрального отопления.

Описание энергосберегающей системы управления теплоснабжением абонентского пункта. Разработана и исследована автоматическая система регулирования отпуска тепла потребителям, объектом автоматизации является многоэтажное жилое здание с зависимой схемой центрального отопления с искусственной циркуляцией и смешением теплоносителя. Данная схема системы управления отличается от традиционных высокой эффективностью предлагаемых алгоритмов управления, сниженным энергопотреблением, высокой надежностью, а также безопасной обработкой внештатных ситуаций [2]. Для решения задачи синтеза адаптивной системы управления необходимо знать динамику изменения температуры воздуха в помещении по различным каналам возмущающих и управляющих воздействий. С этой целью автоматическое управление отпуском теплоносителя на объекте производится по возмущению с обратной связью по температуре теплоносителя обратного трубопровода (рис. 1).

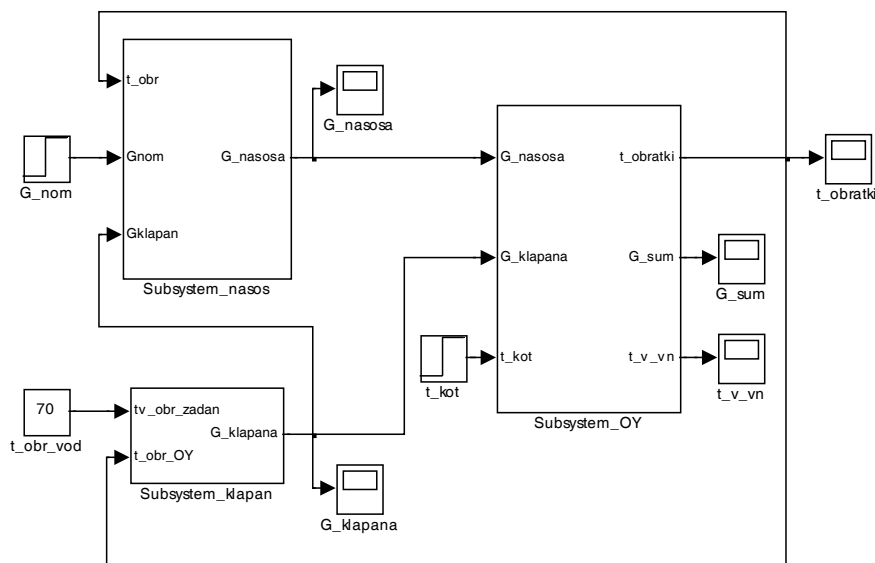


Рис. 1. Структурная схема двухконтурной системы управления в среде Matlab

На схеме показаны: *Subsystem_nasos* – модель насоса, *Subsystem_klapan* – модель клапана, *Subsystem_OY* – модель помещения в здании и узла смешения, G_{nom} – расчетный расход теплоносителя от котельной, $G_{klapana}$ – расход теплоносителя через клапан, G_{nasosa} – расход теплоносителя через насос, t_{kot} – температура теплоносителя в подающем трубопроводе, $t_{obratki}$ – температура теплоносителя в обратном трубопроводе.

В данной работе реализовано комплексное автоматическое управление температурой и расходом теплоносителя системы отопления здания в зависимости от температуры наружного воздуха. Поддержание температуры воздуха в жилых помещениях в заданных пределах в течение отопительного периода достигается за счет изменения количества тепловой энергии, передаваемой отопительными приборами, а также за счет изменения расхода теплоносителя от котельной и смешения его с низкотемпературным теплоносителем после объекта управления.

Реализация данного метода позволяет повысить надежность системы управления, устойчивость объектов теплотребления к возмущающим воздействиям, исключить влияние случайных отклонений режима работы тепловой сети на тепловой режим здания [3].

Основные теоретические положения метода градиента. Существенное транспортное запаздывание управляемого объекта по температуре теплоносителя и неконтролируемые изменения параметров модели системы отопления в локальных узлах регулирования, расположенных в помещениях на отопительных приборах, приводят к неэффективности применения типовых моделей регуляторов для управления параметрами теплоносителя, которые не учитывают динамику характеристик объекта регулирования и параметров внешних воздействий.

Анализ принципов адаптивного управления показал возможность применения беспоисковых самонастраивающихся систем управления параметрами теплоносителя в силу их эффективности при изменении свойств объекта управления и внешних условий, а также в условиях априорной неопределенности. Поэтому в синтезированной системе управления отоплением многоэтажных зданий реализована адаптивная система с эталонной моделью [4].

В качестве эталонной модели, отражающей желаемую динамику температуры воздуха в помещениях, принято апериодическое звено первого порядка. Основным источником измерительной информации для блока адаптации служит ошибка $e(t) = y_M(t) - y(t)$, где $y_M(t)$ – выходной сигнал эталонной модели, $y(t)$ – выходной сигнал объекта управления. В блоке адаптации вычисляются параметры настройки регулятора основного контура в результате минимизации текущего функционала $Q(\sigma(e(\Delta\hat{b}, t)))$ по рекуррентному алгоритму:

$$\Delta\dot{\hat{b}}(t) = -\Gamma\Delta_b Q[\sigma(e(b^*, \hat{b}(t), t))], \quad (1)$$

где Γ – положительно определенная числовая матрица коэффициентов, которая выбирается в зависимости от условий функционирования основного контура адаптивной системы, $\Delta_b Q(\cdot)$ – градиент Q_i по аргументу \hat{b} , $\sigma(t)$ – обобщенная ошибка адаптации, которая является линейной формой ошибки адаптации $e(t)$ и конечного числа ее производных:

$$\sigma = L(p, e(t), \Delta\hat{b}(t)) = p^n + \sum_{j=0}^{n-1} \ell_j(\Delta\hat{b}_j) p^j e(t),$$

где $\ell_j(\Delta\hat{b}_j)$ – коэффициенты, которые несут информацию о мгновенных отклонениях параметров настройки \hat{b}_j , $j = \overline{1, m}$, от их оптимальных значений b^* .

Функционал Q приняли квадратичным $Q = 0,5\sigma^2$, для которого алгоритм (1) имеет вид

$$\Delta\dot{\hat{b}}(t) = -\Gamma\sigma e(b^*, \hat{b}(t), t)(\partial\sigma / \partial\hat{b}), \quad (2)$$

где $G_j(\cdot) = \partial\sigma / \partial\hat{b}_j$ – частные производные обобщенной ошибки адаптивного управления к изменению настраиваемых параметров \hat{b}_j .

В реализованном алгоритме адаптации (2) производную обобщенной ошибки $\sigma(t)$ по настраиваемому коэффициенту вычислили по формуле

$$\frac{\partial\sigma(t)}{\partial k} = [b_1^n \dot{e}(t) + b_0^n e(t)].$$

Окончательное выражение для вычисления коэффициента $\dot{k}(t)$ в адаптивном регуляторе имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{k}(t) &= \gamma[(a_1^n + kb_1^n)\dot{e}(t) + (a_0^n + kb_0^n)e(t)] \frac{\partial\sigma(t)}{\partial k} = \\ &= \gamma[(a_1^n + kb_1^n)\dot{e}(t) + (a_0^n + kb_0^n)e(t)][b_1^n \dot{e}(t) + b_0^n e(t)], \end{aligned}$$

где $k = \hat{b}_1$ – настраиваемый коэффициент регулятора, $\gamma > 0$ – коэффициент, выбирается из условия сходимости и качества процедуры [5].

Сигнал управления на клапан формируется в виде

$$u(t) = e(t) \int \dot{k}(\tau) d\tau.$$

Особенностями синтезированной адаптивной системы управления параметрами теплоносителя являются:

- ◆ разработка градиентного алгоритма адаптации системы прямого адаптивного управления с полученной эталонной моделью объекта управления согласно заданным показателям качества и адаптивным регулятором с настраиваемыми коэффициентами, что позволяет повысить быстродействие системы и обеспечить заданные показатели качества;
- ◆ учет транспортного запаздывания в объекте управления за счет его компенсации в эталонной модели и алгоритма выдачи управляющего воздействия, что позволяет повысить надежность и снизить энергопотребление техническими устройствами системы управления;
- ◆ реализация алгоритма расчета области допустимых параметров регулятора на каждом шаге выдачи управляющего воздействия, что позволяет обеспечить устойчивость системы и нулевую статическую ошибку.

Модельные эксперименты. Проведенные экспериментальные исследования доказали, что принцип действия синтезированной адаптивной системы управления параметрами теплоносителя с эталонной моделью объекта теплопотребления обеспечивает достижение поставленной цели управления при неконтролируемых изменениях параметров объекта управления, однако адаптивная система может стать неустойчивой при неограниченном росте настраиваемых коэффициентов регулятора при ненулевой ошибке $e_{уст}$. Реализованный в системе адаптивный алгоритм настройки П-регулятора содержит статическую ошибку по регулируемому параметру. Качество переходных процессов зависит от выбора настроечных коэффициентов γ , выбор которых при моделировании должен быть подчинен необходимым условиям.

Переходные процессы по регулируемой температуре обратного теплоносителя в адаптивной системе, содержащей явную эталонную модель объекта с включенным ($\gamma = 1$) контуром настройки коэффициентов пропорциональности регулятора клапана в основном контуре, и контролируемой температуре воздуха в помещении здания приведены на рис. 2. Переходные процессы при $\gamma = 15$ приведены на рис. 3.

Параметры эталонной модели выбраны согласно желаемой переходной характеристике: $K = 0,99$, $T = 70,03$.

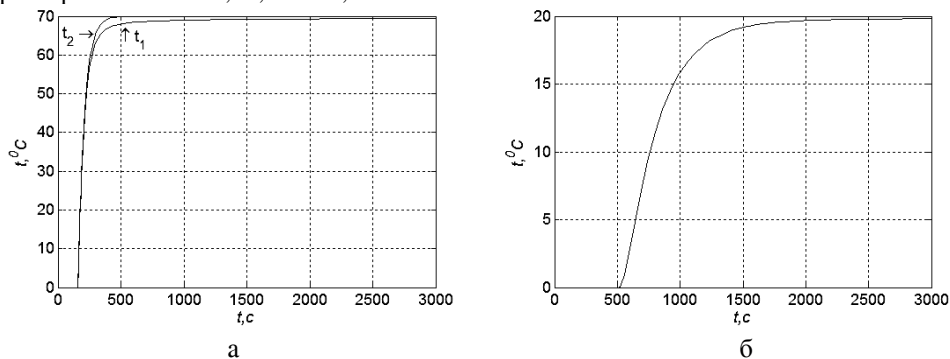


Рис. 2. График переходного процесса ($\gamma=1$): а – по температуре теплоносителя (t_1 – на выходе объекта управления, t_2 – на выходе эталонной модели); б – по температуре воздуха в помещении

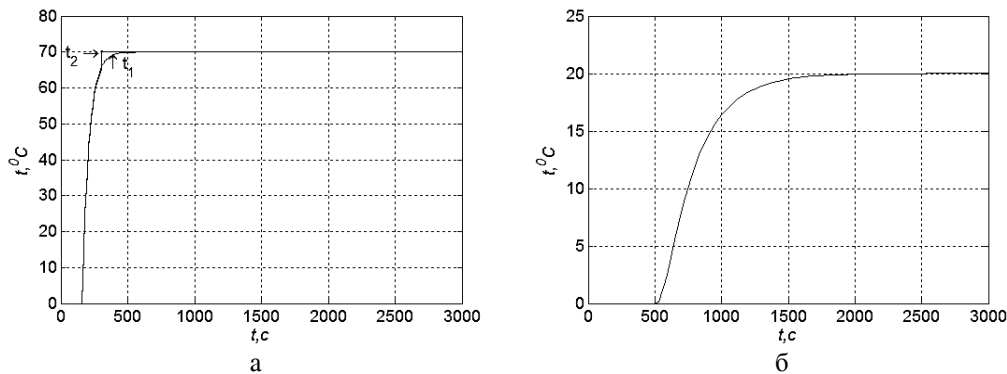


Рис. 3. График переходного процесса ($\gamma=15$): а – по температуре теплоносителя (t_1 – на выходе объекта управления, t_2 – на выходе эталонной модели); б – по температуре воздуха в помещении

Заклучение. По эталонной передаточной функции замкнутой системы управления определены параметры настройки адаптивного регулятора. В дальнейшем авторами будет исследован и реализован адаптивный алгоритм настройки ПИ-регулятора для канала управления регулирующим клапаном.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловьев В.В., Степанова В.Ю., Шадрин В. В. Математическая модель системы отопления многоэтажного здания // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 2 (127). – С. 226-231.
2. Соловьев В.В., Степанова В.Ю. Система автоматического управления теплоснабжением здания. – XIX Научная конференция «Современные информационные технологии: тенденции и перспективы развития»: Тезисы докладов. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – С. 273-275.
3. Соловьев В.В., Степанова В.Ю. Разработка и исследование модели системы управления теплоснабжением здания. – Сборник работ победителей отборочного тура Всероссийского смотра-конкурса научно-технического творчества студентов вузов «ЭВРИКА», Новочеркасск, май-июль 2012 г./Мин-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.(НПИ). – Новочеркасск: ЛИК, 2012. – С. 40-43.
4. Соловьев В.В., Степанова В.Ю. Разработка адаптивного алгоритма управления теплоснабжением здания. – XI Всероссийская научная конференция молодых ученых, студентов и аспирантов «Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления»: Сборник материалов. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – Т.1. – С. 193-194.
5. Антонов В.А., Терехов В.А., Тютюкин И.Ю. Адаптивное управление в технических системах: Учеб.пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2001. – 244 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

Заргарян Елена Валерьевна – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: e.zargaryan@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371689; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

Соловьев Виктор Владимирович – e-mail: soloviev-tti@mail.ru; кафедра систем автоматического управления; ст. преподаватель.

Степанова Виктория Юрьевна – e-mail: stevika1@rambler.ru; кафедра систем автоматического управления; магистрантка.

Zargaryan Elena Valerevna – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: e.zargaryan@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371689; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Soloviev Victor Vladimirovich – e-mail: soloviev-tti@mail.ru; the department of automatic control systems; senior lecturer.

Stepanova Viktoriya Yurievna – e-mail: stevika1@rambler.ru; the department of automatic control systems; magister.

УДК530.234.04

В.И. Финнаев, И.М. Скубилин, Ю.А. Заргарян

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Рассматривается возможность совершенствования техники преобразования электроэнергии с применением оптических трансформаторов тока и напряжения. Приводятся конструкция, основные свойства и характеристики оптического волокна. Дается классификация оптического волокна по характеру распространения оптического сигнала, рассматриваются пути повышения поляризационной стабильности оптического волокна. Приводятся теоретическое обоснование, конструкции трансформаторов и их технические характеристики. Указываются преимущества использования оптических технологий в электроэнергетике и промышленности.

Оптическое волокно; трансформаторы тока и напряжения; электроэнергетика.

V.I. Finaev, I.M. Skubilin, J.A. Zargaryan

FIBER-OPTICAL CONVERTERS IN ELECTROENERGETICS

The paper considers the possibility to develop electrical power converting methods by means of optical current and voltage transformers. The structure, main features and characteristics of optical fiber are given. The classification of optical fiber by optical signal propagation types is introduced, the methods of optical fiber polarizing stability increasing are specified. Theoretical foundation, transformers' structures and their technical features are shown. The advantages of optical technologies application in electroenergetics and industry are considered.

Optical fiber; current and voltage transformer; electroenergetics.

Возможность применения эффекта Фарадея для бесконтактного измерения в токопроводе величины постоянного тока очевидным образом вытекает из закона Верде. Постоянный ток порождает вокруг токопровода постоянное магнитное поле, поместив в которое чувствительный элемент с линейно поляризованным светом, можно определить по углу поворота последнего величину напряженности магнитного поля, а по ней и величину самого тока в токопроводе за те или иные фиксированные промежутки времени.

Сложнее обстоит дело с переменным током. Его магнитное поле является переменным не только по величине, но и по направлению, изменяясь на противоположное каждый полупериод, т.е. каждые 10 мс для промышленного тока с частотой $f_T = 50$ Гц. Вращение плоскости поляризации света в чувствительном элементе также изменяется на противоположное каждый полупериод. Поэтому для полного периода синусоидального тока (и кратных ему периодов) угол Фарадея равен нулю. Следовательно, все измерения угла Фарадея необходимо проводить раздельно для положительных и отрицательных полупериодов тока, синхронизируя с ними начало и конец соответствующих измерений.