

70 Секция IV. Радиоэлектроника, автоматизация, телекоммуникации и связь

ствяет обмен данными между устройствами и базовыми станциями на расстояние 3,5 км в плотной городской застройке. При этом модуль имеет невысокое энергопотребление – 11 мА при приеме и 100 мА – при передаче;

4) блок микроконтроллера модуля управления;

5) блок клавиатуры. Клавиатура позволяет выбрать модуль контроля, показания счетчиков которого будут отображаться на ЖК-дисплее. В случае, если модуль контроля не выбран, то на экране ЖК-дисплея отображается суммарный расход всех показаний счетчиков;

6) блок дисплея;

7) блок интерфейса. Устройство имеет связь с удаленным компьютером или устройством дальнейшей обработки информации по интерфейсу USB;

8) блок питания модуля контроля и управления выполнен по одной схеме. Питание осуществляется от сети 220 В частотой 50 Гц. В блоке питания предусмотрено резервное питание. При отсутствии питания от сети 220 В модуль контроля и управления питается от аккумуляторной батареи 3,6 В. При наличии напряжения 220 В питание от аккумуляторной батареи автоматически отключается.

Литература

1. Журба, М. Г. Водоснабжение. Проектирование автоматизированных систем / М. Г. Журба. – М. : АСВ, 2003.
2. Шешалевич, В. В. LPWAN – низкопотребляющие сети большого радиуса действия. Связь для интернета вещей / В. В. Шешалевич // Безопасность информационных технологий. – 2017. – № 3. – С. 6–16.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ КОТЛОМ

Г. И. Кандыба

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Э. М. Виноградов

Рассмотрена разработка микроконтроллерной система управления для нагревательного котла.

Ключевые слова: система автоматического управления, нагревательный котел, Scilab, передаточная функция, переходная характеристика.

Современные вычислительные средства позволяют без особого труда и затрат времени решать сложные задачи управления в технических системах с использованием математического аппарата любой степени сложности. В последнее время начинает широко использоваться бесплатный, свободно распространяемый программный продукт – Scilab.

В докладе рассмотрен пример применения пакета Scilab для исследования системы автоматического управления (САУ) электрическим водонагревателем. Он используется для поддержания температуры в резервуаре на желаемом уровне.

Температура воды измеряется с помощью аналогового датчика, реализованного на интегральной схеме LM35DZ. Выходной сигнал датчика преобразуется в цифровую форму и сравнивается с желаемой температурой для формирования сигнала

ошибки. Для нахождения передаточной функции системы надо рассмотреть математические модели ее элементов.

Математическую модель бака можно описать следующим образом. Теплоту, поступающую в систему (E), примем равной сумме нагрева и тепловых потерь системы. Здесь m_1 – масса воды внутри бака; c_1 – теплоемкость воды; m_2 – масса бака; c_2 – теплоемкость бака; S – площадь поверхности бака; h – постоянная; зависит от внешних условий.

Таким образом:

$$E = (m_1c_1 + m_2c_2) \frac{dT}{\tau} + hS(T - T_a).$$

Если предположить, что температура окружающей среды постоянна и введем $T_q = T - T_a$, то предыдущую формулу возможно записать в виде:

$$E = (m_1c_1 + m_2c_2) \frac{dT_q}{\tau} + hST_q.$$

Или же приняв $k_1 = m_1c_1 + m_2c_2$, $k_2 = hS$ и выполнив преобразование Лапласа, получим выражение, описывающее систему первого порядка с постоянными времени k_1 / k_2 :

$$\frac{T_q(s)}{E(s)} = \frac{1}{sk_1 + k_2}.$$

Для управления нагревателем используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). График ШИМ показан на рис. 1.

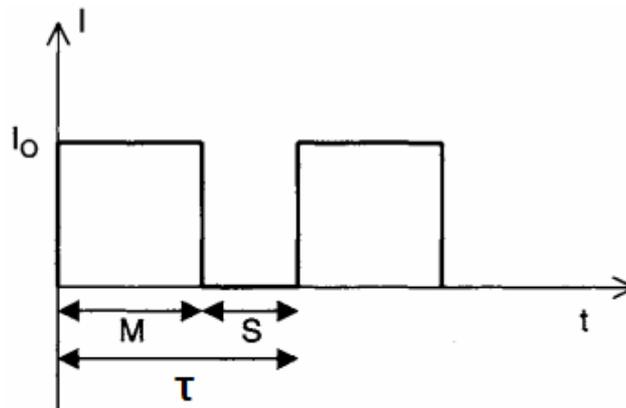


Рис. 1. График широтно-импульсной модуляции:

M – время открытого состояния широтно-импульсной модуляции;
 S – время закрытого состояния широтно-импульсной модуляции

Среднеквадратичное значение тока через нагревающий элемент может быть вычислено:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^M I_0^2 dt} = \sqrt{\frac{MI_0^2}{\tau}} = I_0 \sqrt{\frac{M}{\tau}}$$

72 Секция IV. Радиоэлектроника, автоматизация, телекоммуникации и связь

Предполагая, что нагревательный элемент имеет чистое сопротивление R , средняя мощность, подаваемая на нагреватель, может быть рассчитана:

$$P_{AV} = RI_{rms}^2 = RI_0^2 \frac{M}{\tau} = \alpha M,$$

где

$$\alpha = \frac{RI_0^2}{\tau}.$$

Данное уравнение показывает, что мощность, подаваемая на нагреватель, линейно пропорциональна времени открытого состояния M . Примем: $R = 1,2$ Ом, $I_0 = 10$ А, $\tau = 1$ мс.

Передаточная функция примет вид: $P_{AV} = \frac{1,2 \cdot 100}{10^{-s}} M$ или $\frac{P_{AV}}{M} = 1,2 \cdot 10^5$.

В системе автоматического управления используется датчик температуры LM35DZ, имеющий аналоговый выход с соотношением 10 мВ/°С, иначе говоря: $V_0 = 0,01T$, где V_0 – выходное напряжение датчика; T – температура, °С. Структурная схема САУ, состоящей из двух динамических звеньев, приведена на рис. 2.

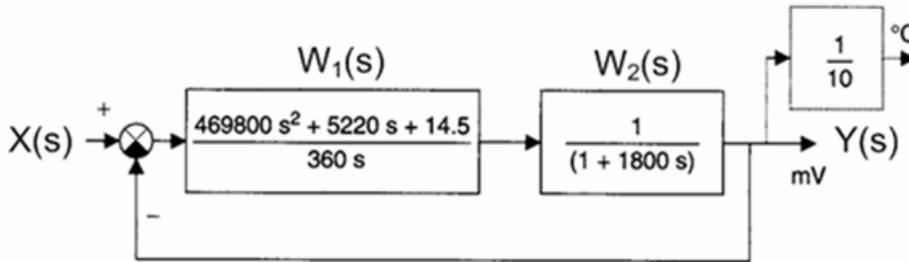


Рис. 2. Структурная схема САУ

Передаточные функции звеньев: $W_{1(s)} = \frac{469800 s^2 + 5220s + 14,5}{360s}$; $W_{2(s)} = \frac{1}{(1+1800s)}$.

Для исследования САУ требуется выполнить следующее: преобразовать структурную схему и найти эквивалентную передаточную функцию САУ; определить устойчивость САУ; построить графики переходной и импульсно-переходной характеристик.

Для решения поставленных задач было создано несколько скрипт-файлов с помощью редактора SciNotes, входящего в пакет Scilab.

Передаточная функция САУ: $W = \frac{0,000013 + 0,0046699 s + 0,4202899 s^2}{0,000013 + 0,0049919 s + s^2}$.

Текст скрипта для вычисления корней характеристического уравнения САУ с целью определения устойчивости:

```
den = W.den; // вычисление знаменателя передаточной функции САУ
r = roots(den); // вычисление корней характеристического уравнения
disp("Корни характеристического уравнения САУ равны: ");
```

`disp(r);`

Результат выполнения скрипта имеет следующий вид:

Корни характеристического уравнения САУ равны:

$$-0.002496 + 0.0025965i$$

$$-0.002496 - 0.0025965i$$

Все корни характеристического уравнения имеют отрицательные вещественные части, поэтому можно сделать вывод, что заданная САУ будет устойчивой.

Текст скрипта для построения графиков временных функций САУ:

```
t = 0 : 0.01 : 10000; // диапазон времени и шаг
h = csim('step', t, W);
plot(t, h); // график функции h(t) в окне с номером 0
xlabel("Переходная характеристика h(t)", "Время, с", "Амплитуда");
xgrid(); // отобразить сетку
scf(1); // открыть новое графическое окно с номером 1
g = csim('impulse', t, W);
plot(t, g); // график функции g(t) в окне с номером 1
xlabel("Импульсно-переходная характеристика g(t)", "Время, с", "Амплитуда");
xgrid(); // отобразить сетку
```

Результат выполнения скрипта представлен на рис. 3.

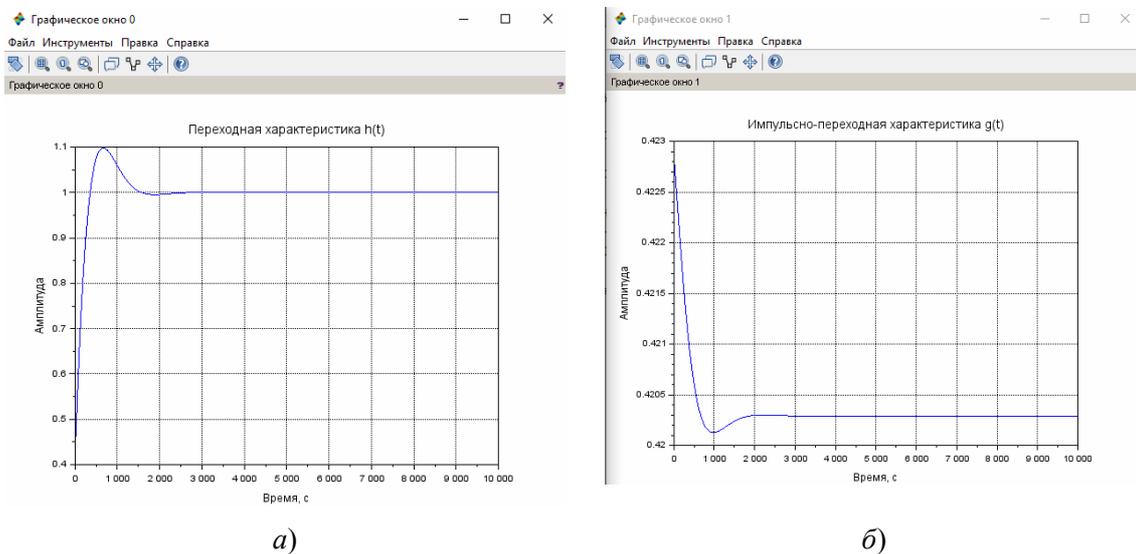


Рис. 3. Графики переходной (а) и импульсно-переходной (б) характеристик системы автоматического управления