

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ИЗВЕСТКОВОЙ ПЕЧИ

д.ф. – м.н., проф. А.К. Гнап, к.т.н. Н.И. Коваленко

Разработана информационно-измерительная система температурного поля шахтной обжиговой печи. Она позволяет оператору контролировать положение рабочей высокотемпературной зоны шахтной печи и обеспечивает получение выходных данных для ее оптимального регулирования. Система использует оптико - электронные методы бесконтактного измерения температуры. Для индикации температурного поля используют два информационных табло на основе светодиодных матриц.

Объектом разработки является информационно - измерительная система для контроля температурного поля шахтной обжиговой печи.

В настоящее время контроль температурного поля шахтных печей ведется контактными методами (термопары и терморезисторы). Эти методы не обеспечивают надежного контроля температурного поля, не позволяют однозначно интерпретировать характер технологического процесса в шахтной печи, не обеспечивают безопасной эксплуатации оборудования и безопасности обслуживающего персонала. Это обусловлено изменением структуры и геометрии футеровочных слоев в процессе эксплуатации, изменением взаимного расположения слоев, их подвижек.

Необходимо отметить отсутствие в эксплуатации систем, позволяющих оператору контролировать положение рабочей высокотемпературной зоны шахтной печи и обеспечивающих выходные данные для ее оптимального регулирования. Для определения температурного поля обжиговой печи разработана система, которая использует оптико-электронные методы бесконтактного контроля измерения температуры. Такие системы необходимо вводить в состав автоматизированных систем управления технологическими процессами шахтной печи.

В системе для индикации температурного поля печи используют два информационных табло на основе светодиодных матриц. Первое табло позволяет контролировать распределение температуры по сечению шахтной печи снизу вверх (рис. 1, а - расположение датчиков контроля распределения температуры по трем горизонтальным сечениям А, В, С и расположение датчиков для индикации распределения температурного поля по высоте 1-10; рис. 1,б - табло контроля температурного поля по высоте). Второе табло предназначено для наблюдений и контроля температурного поля печи в трех горизонтальных сечениях (рис. 2). Оно также позволяет контролировать отклонение рабочей зоны шахтной печи от оптимального горизон-

тального расположения.

В качестве датчиков электромагнитного излучения наши экспериментальные исследования показали эффективность использования фотосопротивлений, обеспечивающих устойчивую работу приемных устройств в диапазоне электромагнитных волн 0,7–2,0 мкм.

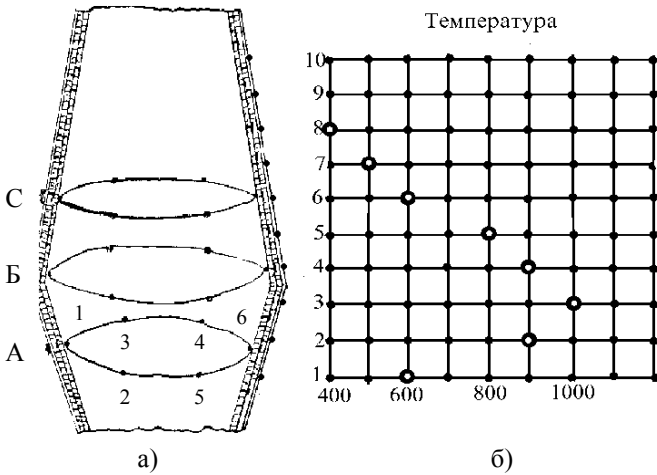


Рис. 1. Индикация температурного поля печи

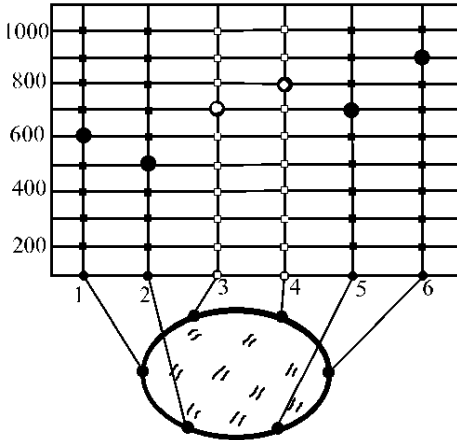


Рис. 2. Табло распределения температуры по горизонтальному сечению А, или В, или С:
1, 2, 5, 6 – ряды красных светодиодов;
3, 4 – ряды желтых светодиодов

ных систем со значительными расстояниями между объектами контроля и местом обработки информации большую роль играет способ представления информации о состоянии объекта. Наиболее полно информацию

Передача рабочего сигнала после преобразования аналоговой информации в цифровую в информационном табло ведется в виде высокочастотного сигнала, частота которого пропорциональна

температуре. Это обеспечивает минимальные искажения передаваемой информации.

Для устранения влияния температуры на приемные элементы датчики выносят за пределы корпуса шахтной печи и обеспечивают температурную компенсацию. Разработан узел крепления датчика температуры на корпусе шахтной печи, учитывающий возможность деформации футеровочных слоев и их подвижек (рис. 3).

Информационная система. При построении информационно - измерительных систем со значительными расстояниями между объектами контроля и местом обработки информации большую роль играет способ представления информации о состоянии объекта. Наиболее полно информацию

можно представить в виде цифрового кода. Однако это требует большого числа сложных узлов и деталей и четкой организации их взаимодействия. Наиболее простым является способ передачи аналогового сигнала, в котором информацию о состоянии объекта несет его амплитуда. Однако, при этом необходимо учитывать изменение электрических характеристик передающей линии и влияние внешних электромагнитных полей.

Нами выбран способ представления информации о состоянии объектов периодическим сигналом, в котором период сигнала и его частота зависят от измеряемой характеристики объекта контроля. К достоинствам этого способа относятся независимость периода сигнала от состояния линии передачи и достаточно простое преобразование сигнала в цифровой код в месте обработки информации.

Блок - схема информационно - измерительной системы приведена на рис. 4. Она включает в себя первичные датчики D_1, \dots, D_N , преобразователи информационного сигнала в последовательность прямоугольных импульсов P_1, \dots, P_N , линию связи ЛС, платы индикации информации (ПИИ) $ПИИ_1, \dots, ПИИ_N$. В состав каждой платы ПИИ входят: преобразователь сигнала ПС, частотные детекторы $ЧД_1, \dots, ЧД_n$, схемы фиксации результатов $СФ_1, \dots, СФ_n$, элементы отображения информации $ЭОИ_1, \dots, ЭОИ_n$, схема управления СУ. Все элементы отображения информации собраны в информационное табло, содержащее $N \times n$ элементов, где N - число измерительных каналов; n - число градаций измерительного сигнала. При контроле в каждом измерительном канале одних и тех же параметров объекта (например, температуры), изменяющихся в одинаковых пределах, для информационного сигнала должны выполняться соотношения

$$X_{1i} = X_{2i} = \dots = X_{(N-1)i} = X_{Ni} = X_i$$

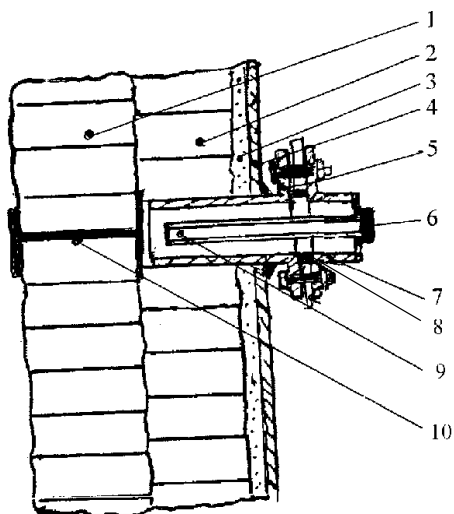


Рис. 3. Узел крепления датчика температуры на корпусе печи:

1,2 - футеровочные слои, 3 - засыпка, 4 - корпус печи, 5 - вставка для крепления датчика, 6 - датчик электромагнитного излучения, 7 - держатель датчика, 8 - теплоизоляционная прокладка, 9 - ограничитель потока инфракрасных лучей, 10 - теплопередающая вставка из нержавеющей стали

для всех $i = 1, 2 \dots n$ (X_i - элемент матрицы $N \times n$).

Значения X_i выбираются исходя из желаемой градации контролируемого параметра и характеристики преобразования преобразователя Π сигнала датчика D в частоту сигнала

$$Y_k = f(\varphi_k) \text{ для } k = 1, 2 \dots N.$$

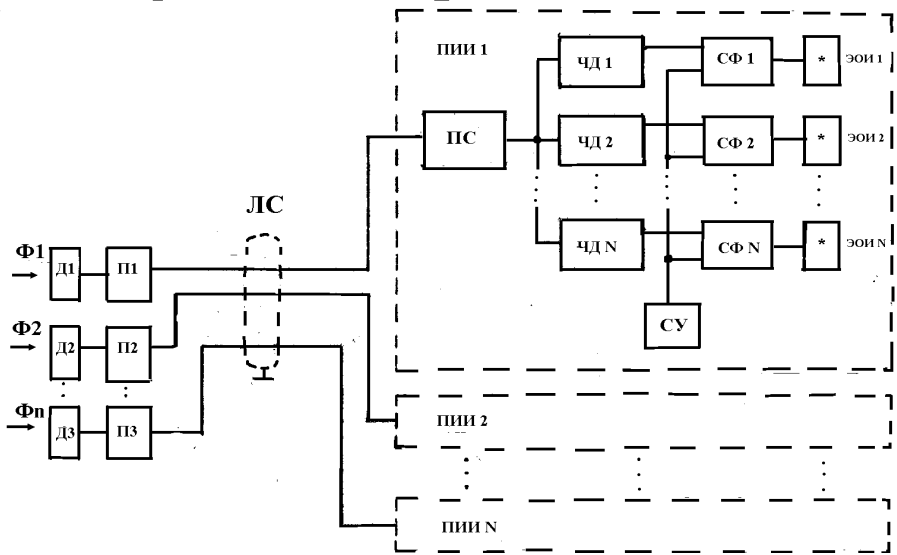


Рис. 4. Блок - схема информационно - измерительной системы

Датчик электромагнитного излучения. В качестве приемника электромагнитного излучения (датчика) D использовано фотосопротивление. Оно включено в схему мультивибратора, показанного на рис. 5.

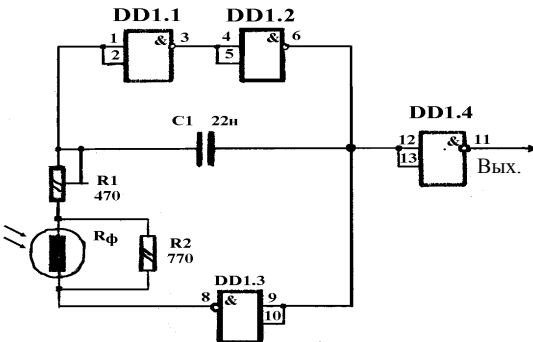


Рис. 5. Приемник и преобразователь электромагнитного (инфракрасного) излучения

Оно включено в схему мультивибратора, показанного на рис. 5.

Сопротивления R_1 и R_2 служат для обеспечения генерации в выбранном диапазоне частот и линейаризации частотной характеристики преобразователя Π . Общее сопротивление между точками A и B равно

$$R_{AB} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_\varphi}{R_2 + R_\varphi} \quad (1)$$

Тогда

$$\frac{dR_{AB}}{dR_{\phi}} = \frac{R_2^2}{(R_2 + R_{\phi})^2}. \quad (2)$$

Период прямоугольных импульсов, генерируемых мультивибратором, приблизительно равен

$$T \approx R_{AB} \cdot C_1. \quad (3)$$

При указанных номиналах элементов компонент частота сигнала изменяется в пределах от 20 до 70 кГц.

Плата индикации информации. Принципиальная схема платы индикации информации ПИИ показана на рис. 6. Она состоит из схемы формирования сигнала СФ, схемы согласования СС, схемы управления СУ и схем индикации СИ.

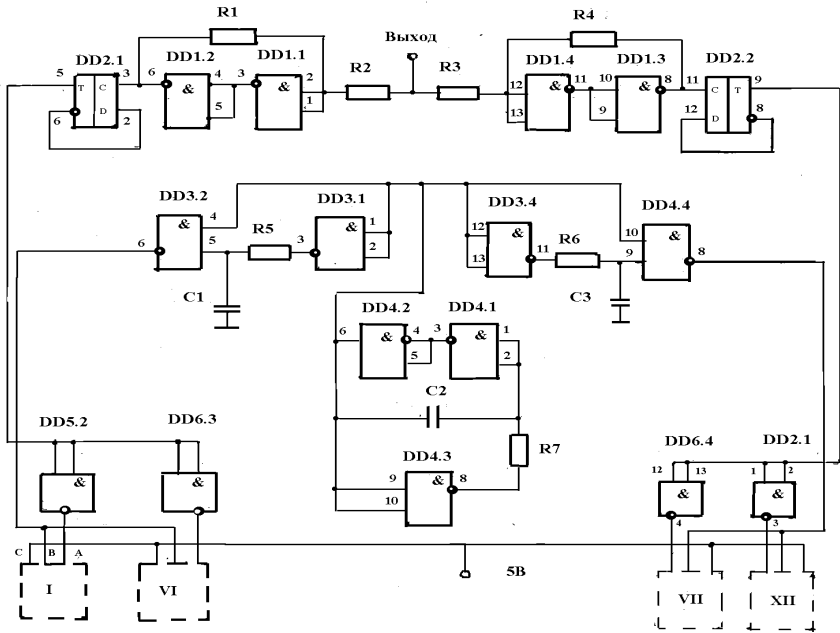


Рис. 6. Схема платы индикации информации

Рассмотрим назначение, состав, принцип работы и взаимодействие каждой из этих схем. Для более полного использования возможностей примененных электронных элементов и возможности индуцировать большее число градаций информационного сигнала ПИИ составлена из двух одинаковых ветвей с общей схемой на элементе ДД4.

Схема формирования сигнала состоит из элементов ДД1.1, ДД1.2, ДД2.1, R1, R2 (аналогично для второй ветви ДД1.3, ДД1.4, ДД2.2, R3,

R4). На элементах ДД1.1, ДД1.2, R1, R2 собрана схема триггера Шмитта, а на элементе ДД2.1 – делитель частоты на два. Сигнал в точке «Вход» представляет собой некий периодический процесс. Из него с помощью триггера Шмитта формируется последовательность прямоугольных импульсов (выводы 6 и 8 ДД1), период следования которых совпадает с периодом входного сигнала, а длительность импульса зависит от формы входного сигнала и сопротивлений R1, R2 (R3, R4). Этот сигнал поступает на вход делителя частоты на два на элементе ДД2.1 (ДД2.2), на выходе 5 (9) которого формируется сигнал типа «меандр» с длительностью импульса, равной периоду повторения входного сигнала и скважностью 2.

Схема согласования предназначена для исключения взаимного влияния друг на друга схем индикации и представляет собой набор инверторов, выполненных на элементах ДД5, ДД6, ДД7.

Схема управления предназначена для формирования сигнала управления, поступающего на схемы индикации. Она выполнена на элементах ДД3 и ДД4. На элементе ДД4 собран самовозбуждающийся мультивибратор с периодом следования импульсов, определяемым компонентами R7 и C2 и скважностью больше двух. На элементах ДД3.1, ДД3.2, R5, C1 (ДД3.3, ДД3.4, R6, C3) реализован детектор фронта импульсов. На выводах 6 (8) элемента ДД3 возникают короткие (длительностью ≈ 5 мкс) импульсы «отрицательной» полярности, период следования которых совпадает с периодом следования импульсов от мультивибратора ($T_0 \approx 50$ мс).

В изготовленной ПИИ имеется 12 схем индикации, обозначенных на рис. 6 элементами 1-Х11. Их принципиальная схема показана на рис. 7.

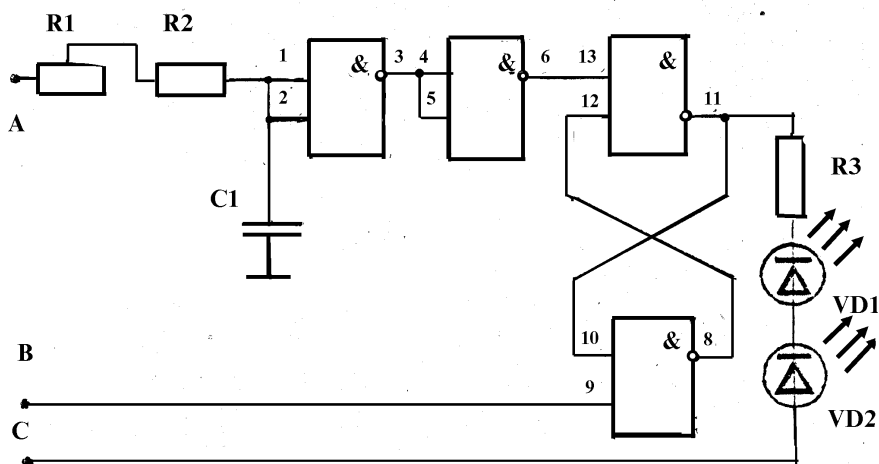


Рис. 7. Схема индикации электрическая

Собраны схемы индикации на одной микросхеме типа К155ЛА3 и состоят из схемы задержки, асинхронного **RS**-триггера и элементов индикации. На вход схемы индикации поступает сформированный ДД1 и ДД2 входной сигнал. За счет процессов заряда-разряда конденсатора С1 на входах 1,2 микросхемы формируется сигнал с периодом повторения **2Т**. Минимальная и максимальная величина сигнала зависит от номиналов **R1**, **R2** и **C1**. На выходе 3 формируется сигнал «положительной» полярности, длительность которого равна $(T - \tau_z)$, где $\tau_z \approx (R1 + R2)C1$. Этот сигнал поступает на вход инвертора, на выводе 6 которого формируется «отрицательный» сигнал с резкими фронтами, периодом повторения **2Т** и длительностью, определяемой временем, в течении которого сигнал на входах 4,5 превышает уровень логической единицы для ТТЛ - схем. Этот сигнал поступает на s-вход асинхронного **RS**-триггера (вывод 13) и в зависимости от состояния на выводах 9 и 11 микросхемы устанавливает состояние триггера на выводе 11. На вход 9 поступает сигнал со схемы управления, играющий роль сигнала сброса для **RS**-триггера. Состояние вывода 11 **RS**-триггера индицируется элементами индикации **VD1**, **VD2**, **R3**.

Состояние **RS**-триггера на выводе 11 можно определить либо с помощью логической функции $Q_n = \overline{S_n} \cdot \overline{R_n} Q_{n-1}$, либо по карте Карно

$$Q_{n-1} \cdot \overline{R_n S_n} \begin{array}{c|c|c|c} 00 & 01 & 11 & 10 \\ \hline 0 & * & 0 & 0 & 1 \\ \hline 1 & * & 0 & 1 & 1 \end{array},$$

($\overline{S_n}$ - состояние на выводе 13; $\overline{R_n}$ - состояние на выводе 9; Q_{n-1} - состояние на выводе 11 в момент времени t_{n-1} ; Q_n - состояние на выводе 11 в момент времени t_n) в терминах периода повторения импульсов на выводе 13 и уровней логических нуля и единицы для ТТЛ - схем. Комбинация $\overline{RS} = 00$ является запрещенной и состояние триггера при ней устанавливается произвольно.

На вход \overline{S} (вывод 13) может поступать сигнал двух типов. Если частота сигнала $f < f_0$, где $f_0 = \tau_3^{-1}$, то на него поступает серия «отрицательных» импульсов, которые при условии $\overline{R} = 1$ устанавливают на выводе триггера $Q = 1$. При этом, так как на вход **S** схемы индикации подан потенциал **+5В**, то через **VD1** и **VD2** мал и светодиоды не горят. Если на входе **RS**-триггера будет сохраняться состояние $\overline{R} = 1$, то любые изменения состояния входа **S** не приведут к изменению состояния выхода **Q**, т.е. схема индикации будет фиксировать состояние, которое реализовалось при первом появлении комбинации на входах **RS** = **10**. Фиксация этого состояния будет происходить в течение периода повторения импульсов сброса, вырабатываемых схемой управления (выводы 6 и 8 ДД3). В момент $\overline{R} = 0$ происходит изменение состояния выхода **Q** и через **VD1** и **VD2** проходит кратковременный импульс тока. Если

выполняется условие $f > f_0$, то на выходе **Q** триггера формируется сигнал низкого уровня и через **VD1**, **VD2** протекает ток, вызывая их свечение.

Учитывая вышесказанное, можно считать, что работа ПИИ происходит следующим образом. Если частота входного сигнала f меньше граничной частоты f схемы индикации **1-X11**, то на выходе **RS**-триггера формируется высокий логический уровень, сбрасываемый с частотой сброса T_C^{-1} , в результате чего наблюдается слабое свечение светодиодов. Если $f > f_0$, то на выходе **RS**-триггера формируется сигнал низкого уровня и светодиоды загораются ярко.

ПИИ выполнена на элементах K155ЛА3 и K155ТМ2. Граничная частота f схем индикации определяется значениями элементов **R1**, **R2** и **C1** (рис. 5) и параметрами входных цепей микросхемы K155ЛА3. По порядку величины она равна

$$F_0 \approx \frac{1}{(R_1 + R_2) \cdot C_1}.$$

В заключение можно отметить, что схема индикации может быть легко перестроена так, чтобы светодиоды загорались при выполнении условия $f < f_0$. Для этого необходимо подсоединить цепочку из элементов **VD1**, **VD2**, **R3** к выходу 8 микросхемы, на которой реализуется выход **Q** триггера. Можно также сделать вывод о том, что оптимизация формирования рабочей зоны обжиговой печи путем контроля ее температурного поля позволяет значительно снизить расход газа или другого энергетического источника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля. – М.: Машиностроение, 1991. – 240 с.
2. Шкатов Е.Ф. Лабораторный практикум по приборам контроля и регулирования. – М.: Химия, 1990. – 214 с.
3. Табунчиков Н.П. Производство извести. – М.: Химия, 1974. – 340 с.
4. Температурные измерения: Справочник. – К.: Наук. думка, 1989. – 704 с.
5. Поскачей А.А. Опτικο-электронные измерения температуры. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 248 с.
6. Справочник по цифровой схемотехнике / В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро. – К.: Техника, 1990. – 448 с.
7. Нарышкин А.К. Импульсные устройства ЭВМ, приборов и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 248 с.
8. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник / В.И. Иванов, А.И. Аксенов, А.М. Юшин. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 448 с.
9. Шило В.Л. Популярные цифровые схемы: Справочник. – Челябинск, 1992. – 316 с.

Поступила 04.01.2002

ГНАП Арлен Карлович, доктор физ. – мат. наук, профессор, профессор кафедры высшей математики и физики Харьковского национального аграрного университета. Окончил ХГУ в 1965 году. Область научных интересов – физика твердого тела.

КОВАЛЕНКО Николай Иосифович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры высшей математики и физики Харьковского национального аграрного университета. Окончил ХГУ в 1971 году. Область научных интересов – физика твердого тела.
