

УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ НАГРЕВА В НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЕ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА V&R 2003

Microcontrollers nowadays are among most progressive and fast evolving components in information system and technologies. High quality photo-forms using most varies materials require precise adjusting their thermal processing.

Введение. В настоящее время микроконтроллеры являются одной из самых передовых и быстро развивающихся компонентов информационных систем и технологий. Высокое качество фотоформ на самых разнообразных материалах требует высокоточного регулирования термообработки.

Параметры процесса нагрева. Алгоритм управления нагревом на микроконтроллере (PLC) состоит из трех задач, работающих в реальном масштабе времени с различными приоритетами. Задача 1 — управление нагревом образца; задача 2 — управление циклом движения установки нагрева; задача 3 — ввод/вывод информации, визуализация и диагностика режимов работы. Задача управления нагревом имеет наивысший приоритет и наименьшее время цикла — $T_c = 2$ мс. Задача управления движением имеет приоритет ниже и время выполнения — 30 мс. Самый низкий приоритет и наибольшее время цикла — 100 мс имеет задача 3. Связь PLC с объектом управления осуществляется через датчик мощности (interface), включающий в себя аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

Структурная схема системы стабилизации мощности нагрева представлена на рис. 1.

Система управления имеет три вида нелинейностей:

нелинейность тиристорного преобразователя [1]

$$W_n : U_{\sim} = f(UPR);$$

нелинейная зависимость сопротивления нагрузки от тока нагрева

$$R_0 = R_0(I_{\sim});$$

нелинейность, обусловленная перемножением координат объекта управления, для вычисления мощности нагрева

$$W_2 = U \cdot I.$$

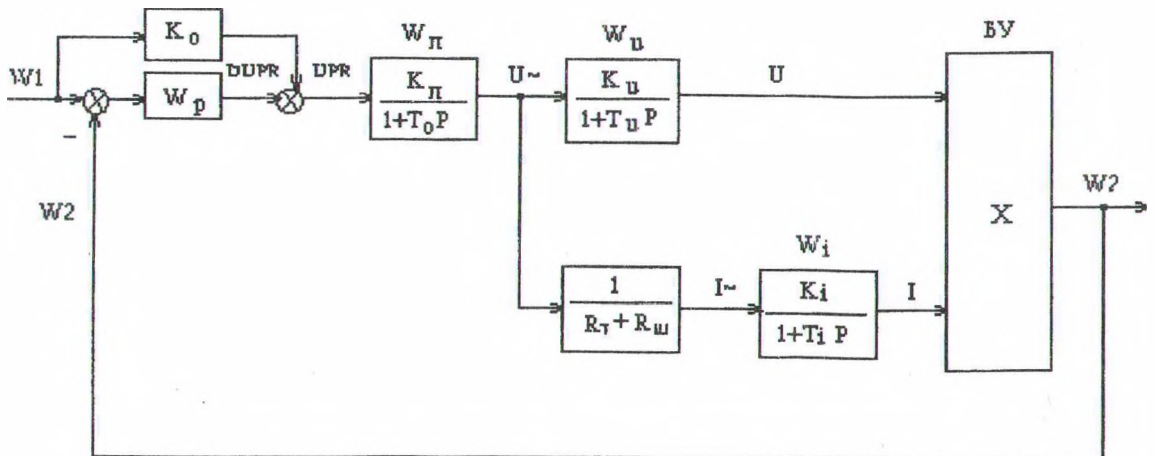


Рис. 1. Структурная схема системы регулирования мощности нагрева

Для учета влияния инерционности датчика мощности в систему включены два инерционных звена в контурах напряжения

$$W_U = \frac{K_u}{1 + T_u p}$$

и тока

$$W_i = \frac{K_i}{1 + T_i p}$$

Линеаризация системы осуществляется в точке равновесия $W_1 = W_2 = U_0 \cdot I_0$ при помощи комбинированного регулятора мощности с передаточными функциями K_0 и W_P . K_0 — обеспечивает вывод траектории системы в заданную точку линеаризации, а W_P — обеспечивает стабилизацию режима нагрева при малых отклонениях мощности W_2 от заданной точки линеаризации.

Математическая модель объекта управления. На основании структурной схемы (рис.1) составим систему дифференциальных уравнений объекта управления [2]:

$$T_u \frac{dU}{dt} + U = K'_u U \sim$$

$$T_i \frac{dI}{dt} + I = K'_i U \sim (t) \quad (1)$$

$$T_3 \frac{dW_2}{dt} + W_2 = K_w(U, I) \cdot U \sim (t),$$

где обозначено:

$$T_3 = \frac{T_u \cdot T_i}{T_u + T_i} \quad (2)$$

и

$$K_w = \frac{U(t) \cdot T_u \cdot K'_i + I(t) \cdot T_i \cdot K'_u}{T_u + T_i}$$

Так как основное уравнение объекта представляет собой дифференциальное уравнение 1-го порядка с постоянной времени T_3 и переменным коэффициентом усиления K_w , то в качестве регулятора мощности в зоне малых отклонений от точки линеаризации I_0 ; U_0 примем ПИ-регулятор с передаточной функцией по Лапласу:

$$W_P = \frac{T_3 p + 1}{K_w T_a p} = \frac{DUPR}{DW} \quad (3)$$

где $DUPR$ — приращение управляющего напряжения регулятора; $DW = W_1 - W_2$ — ошибка по мощности нагрева материала; T_a — постоянная времени ПИ-регулятора.

Дифференциальное уравнение регулятора нагрева получим из (3), заменив оператор Лапласа $p = d/dt$. Тогда

$$K_w T_a \frac{dDUPR(t)}{dt} = T_3 \frac{dDW(t)}{dt} + DW(t). \quad (4)$$

Управляющее воздействие на n -ом интервале управления вычислим из уравнения (4), используя метод Рунге-Кутты 4-го порядка:

$$DUPR_n = DUPR_{n-1} + \frac{1}{6} \left(k_1^{(n-1)} + 2k_2^{(n-1)} + 2k_3^{(n-1)} + k_4^{(n-1)} \right). \quad (5)$$

Структурная схема универсального программного PID-регулятора, работающего по уравнению (5), представлена на рис.2. Регулятор обеспечивает работу в пропорциональном, интегральном и дифференциальном режимах регулирования. Выбор режима и его параметров осуществляется программно в процессе настройки управляющей программы.

Синтез регулятора нагрева материала. На вход регулятора подаются мощность задания W_1 и мощность с датчика мощности W_2 по быстродействующему CAN интерфейсу. Выходная величина $DUPR$ используется для формирования управляющего воздействия для преобразователя нагрева.

Мгновенные значения напряжения и тока получают путем квантования входных сигналов с частотой fd на периоде частоты питающей сети fc .

Мощность рассчитывается программно микроконтроллером датчика мощности путем перемножения мгновенных значений тока и напряжения с последующим цифровым интегрированием:

$$W_2 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt.$$

Датчик мощности также производит формирование предварительных данных для расчета действующих значений напряжения и тока:

$$U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot u(t) dt;$$

$$I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) \cdot i(t) dt.$$

Точность получаемых интегральных оценок сигнала определяется выбором частоты квантования входных сигналов fc . Оценка точности производится по следующей методике.

Полупериод сети разбивается на 180 интервалов дискретности длительностью 55,55 мкс.

Ошибка измерения синусоидальной величины вычислим по формуле

$$U_i - U_{i-1}; I_i - I_{i-1}; W_i - W_{i-1}.$$

Исходные данные для вычислений приведены в табл.1.

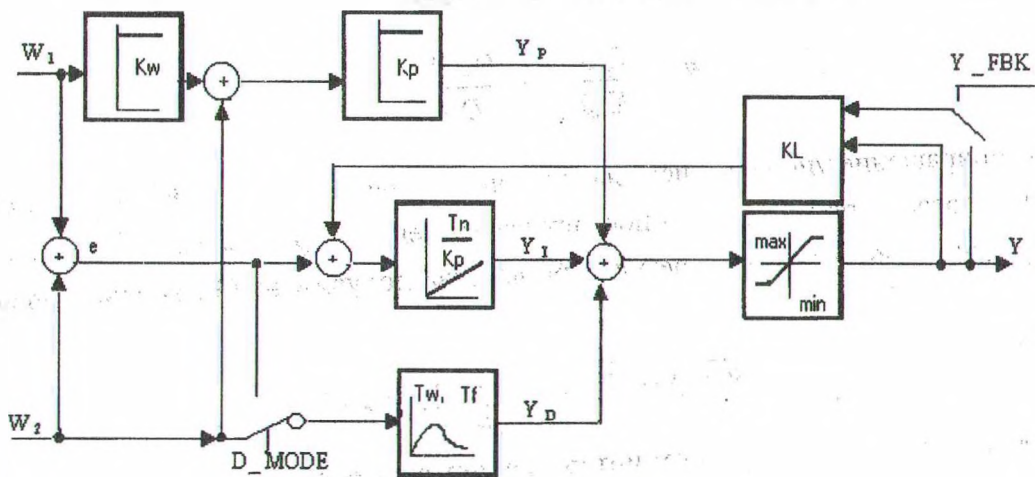


Рис.2. Структурная схема PID- регулятора

Исходные данные для расчета погрешности измерения мощности нагрева при термообработке фотоформ

Расчеты для полупериода	
Полупериод, мс	10 мс
N_{\max}	180
T_d , мкс	55,55
Расчетные формулы и величины	
Угол, град.	$360 \cdot N / N_{\max}$
Мгновенная амплитуда	$A(N), \% = \sin(2 \times \pi I \times N / N_{\max})$
Ошибка	$dA(N), \% = A(N) - A(N - 1)$
Мгновенная мощность	$P(N), \% = A(N) \times A(N)$
Ошибка	$dP(N), \% = P(N) - P(N - 1)$
Средняя мощность	$P_{\text{ср}}, \% = \text{SUM}(P(1) \dots P(N)) / N_{\max}$
Ошибка средняя	$dP_{\text{ср}}, \% = P_{\text{ср}}(N) - P_{\text{ср}}(N - 1)$

На рис.3 представлены результаты расчета абсолютных значений погрешностей измерения напряжения и тока, а также мгновенной и средней мощностей.

На рис.4 представлены результаты расчета по данным табл.1 относительных значений погрешностей измерения напряжения и тока, а также мгновенной и средней мощностей.

Анализ графиков (рис.4) показывает, что относительные погрешности смещены на 90 эл. град. друг относительно друга. Этот фактор способствует уменьшению суммарной погрешности измерения параметров нагрева фотоматериала. Максимальная погрешность по измерению мощности нагрева составила 1,75% при периоде измерения $T_d = 55,55$ мкс.

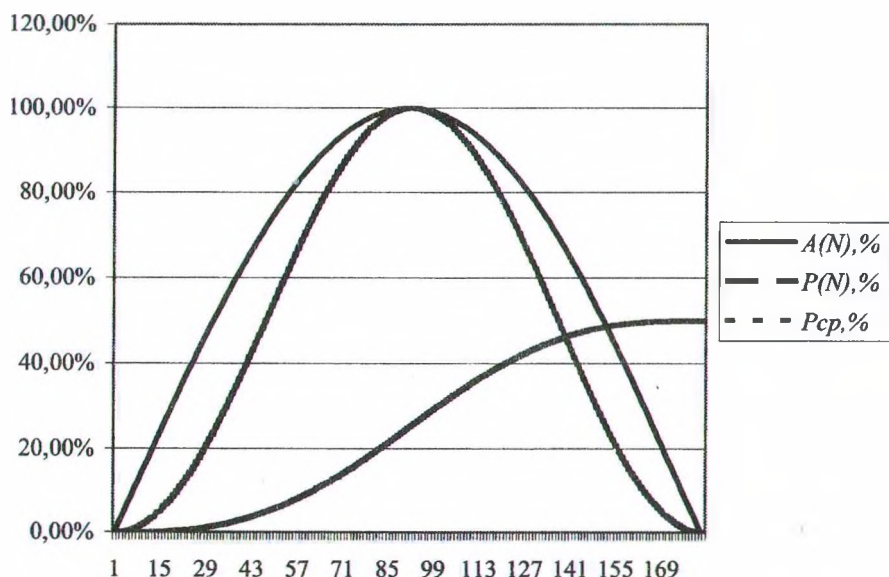


Рис.3. Зависимость абсолютной погрешности измерения мощности от момента считывания

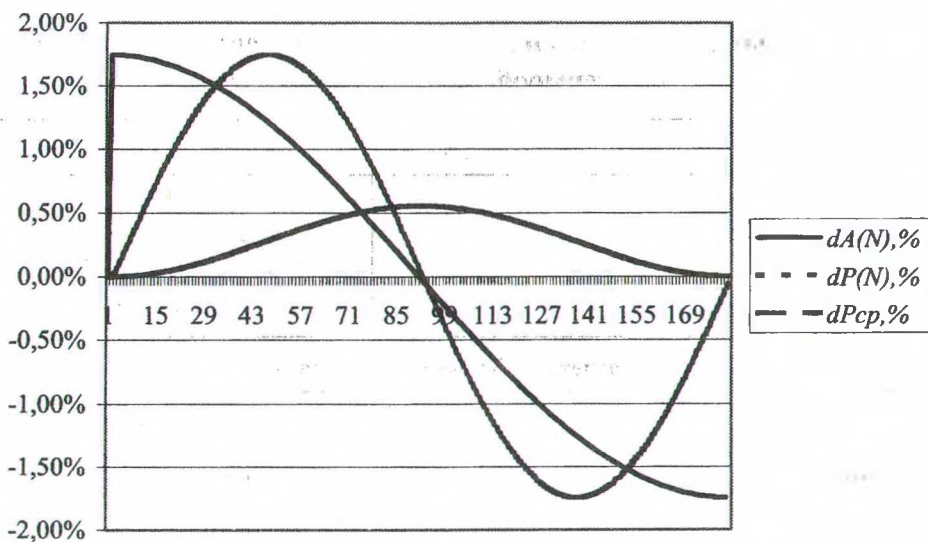


Рис.4. Зависимость относительной погрешности измерения мощности от момента считывания

ЛИТЕРАТУРА

1. Анхимюк В. Л., Шейна Г. П., Юденков В. С. Повышение эффективности импульсных преобразователей постоянного тока с искусственной коммутацией // Электромеханика. — 1982. — № 7. — С.28—32.
2. Юденков В. С., Дудяк А. И. Синтез регулятора нагрева материала при производстве порошков алмаза // Энергетика (Изв. Высш. Учебных заведений). — 2000. — № 5. — С.49—57.