

УДК 62-5

МОДИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ЭНЕРГОБЛОКА 300 МВт ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ ПАРА ПЕРЕД ТУРБИНОЙ

Тимофеев В.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.

В соответствии с СТО СО-ЦДУ ЕЭС 001-2005 ужесточились требования к регулированию частоты и потоков активной мощности в ЕЭС (Единой Энергетической Системе) России.

Согласно пункту 4.2.10 СТО СО-ЦДУ ЕЭС 001-2005: «В случае скачкообразного изменения частоты соответствующее изменение мощности энергоблока под действием системы первичного регулирования должно происходить таким образом, чтобы полная требуемая величина изменения мощности в пределах заданного нормального резерва первичного регулирования была достигнута за 30 секунд. При этом достижение 50% требуемой величины изменения мощности должно осуществляться в течение не более 10 секунд.

При аварийном скачкообразном изменении частоты соответствующее изменение мощности энергоблока под воздействием системы первичного регулирования должно происходить таким образом, чтобы полная требуемая величина изменения мощности в пределах заданного аварийного резерва первичного регулирования была достигнута за 2 минуты. При этом достижение 50% требуемой величины изменения мощности должно осуществляться в течение не более 10 секунд.

Система автоматического регулирования частоты и мощности энергоблока должна обеспечивать выполнение требований нормированного первичного регулирования в диапазоне первичного регулирования не менее $\Delta N(\Delta f) = \pm 5\% N_{ном}$ для нормальных режимов работы энергосистемы (нормальный резерв первичного регулирования) и не менее $\Delta N(\Delta f) = \pm 12,5\% N_{ном}$ для возможных аварийных режимов работы энергосистемы (аварийный резерв первичного регулирования), где $N_{ном}$ - номинальная мощность энергоблока.»

Типовая САУМБ с котельным регулятором мощности (далее – КРМ), турбинным регулятором мощности (далее – ТРМ) и без дифференциатора инвариантности [1], представленная на рисунке 1, не удовлетворяет требованиям СТО СО-ЦДУ ЕЭС 001-2005, а именно: время регулирования равно 300 секунд при заданной зоне нечувствительности регулятора, равной 1% от номинальной мощности блока 300 МВт.

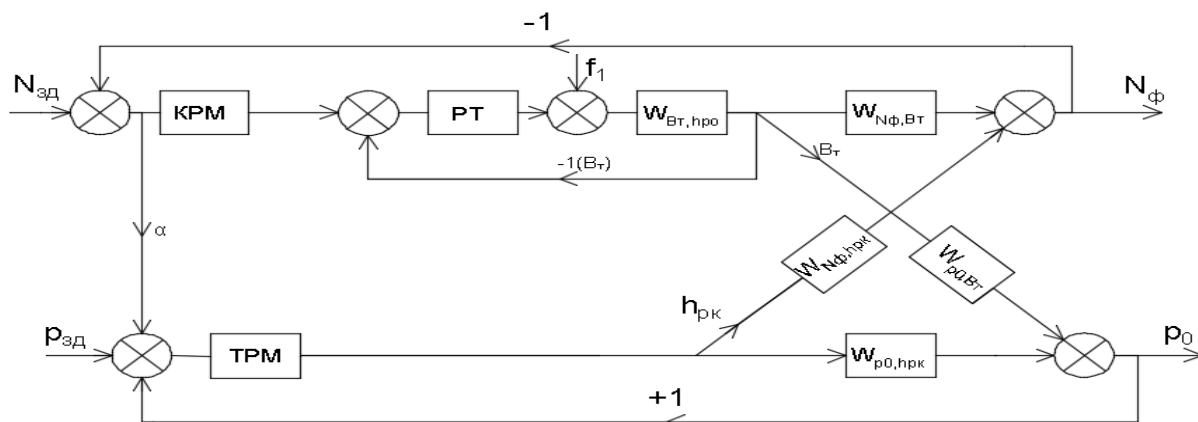


Рисунок 1. Структурная схема типовой САУМБ

Здесь: $N_{зд}$ – задание изменения мощности, $N_{ф}$ – фактическая мощность блока, B_T – расход топлива, h_{po} – положение регулирующего органа, влияющего на расход топлива, p_0 –

давление свежего пара перед турбиной, $h_{рк}$ - положение регулирующих клапанов турбины, КРМ – котельный регулятор мощности, РТ – регулятор топлива, ТРМ – турбинный регулятор мощности, f_1 – внутреннее возмущение, α – коэффициент усиления ошибки регулирования КРМ на входе ТРМ.

Для существенного улучшения качества регулирования предлагается использовать модифицированную САУМБ, представленную на рисунке 2. Параметры динамической настройки (ПДН) основных регуляторов типовой САУМБ адекватны ПДН модифицированной САУМБ.

Отличительными особенностями модифицированной САУМБ являются:

1. Наличие сигнала по давлению свежего пара перед турбиной, который поступает со знаком «минус» на КРМ [2].
2. Наличие форсирующего устройства коррекции задания КРМ, представленного звеном быстрого реагирования.

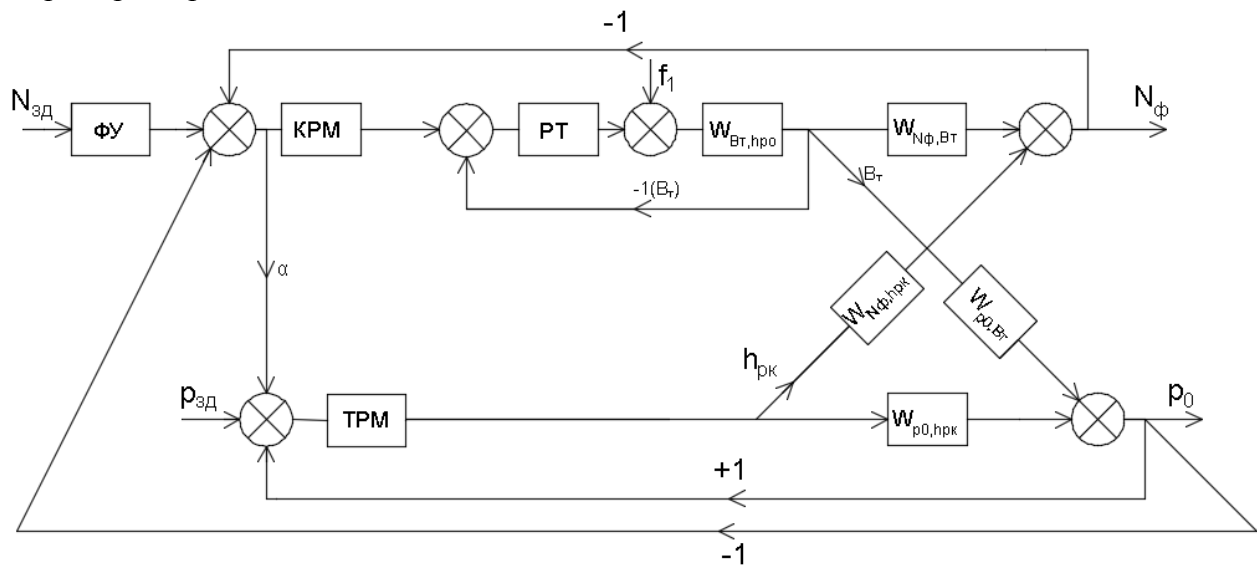


Рисунок 2. Модифицированная САУМБ с форсирующим устройством (ФУ)

Порядок настройки основных регуляторов типовой САУМБ:

Исходные данные :

$$W_{N_{\phi 1}, \mu_k}(p) = \frac{K_1 e^{-T_1 p}}{(T_1 p + 1)(\sigma_1 p + 1)} = \frac{1.617 e^{-11.4 p}}{(100 p + 1)(18.7 p + 1)}; \tag{1}$$

$$W_{p_0, \mu_k}(p) = \frac{K_2 e^{-T_2 p}}{(T_2 p + 1)(\sigma_2 p + 1)} = \frac{1.65 e^{-6.4 p}}{(56.1 p + 1)(14 p + 1)}; \tag{2}$$

$$W_{N_{\phi 1}, h_{рк}}(p) = \frac{T_0 p (T_3 p + 1)}{(T_4 p + 1)(T_5 p + 1)} = \frac{170 p (2.35 p + 1)}{(170 p + 1)(48 p + 1)}; \tag{3}$$

$$W_{p_0, h_{рк}}(p) = \frac{-K_3 (T_6 p + 1)}{T_7 p + 1} = \frac{-0.256 (4.68 p + 1)}{90 p + 1}; \tag{4}$$

$$W_{Эт, h_{po}}(p) = \frac{1}{T_8 p + 1} = \frac{1}{5 p + 1}. \tag{5}$$

РТ настраивают как оптимальный регулятор [3] по передаточной функции (5) с учетом максимальной относительной величины регулирующего воздействия $x_p^{max} = 1$.

В результате получают типовой ПИ регулятор вида:

$$W_{РТ} = K_p * \frac{T_n p + 1}{T_n p}, \tag{6}$$

параметры динамической настройки которого будут равны: $K_p = 1$ и $T_n = 5c$.

Аналогично находят параметры динамической настройки КРМ при $x_p^{max} = 1.2$ по передаточной функции (1).

В результате получают типовой ПИД регулятор вида

$$W_{\text{КРМ}} = K_p * \frac{(T_{иp}+1)(T_{дp}+1)}{T_{иp}(T_{бp}+1)}, \tag{7}$$

параметры динамической настройки которого равны:

$$K_p = \frac{1}{1.617} = 0.618, T_{и} = 100\text{с}, T_{д} = 30\text{с}, T_{б} = 25\text{с}.$$

ТРМ настраивают как оптимальный регулятор по передаточной функции (4).

В результате получают реальный ПИ регулятор вида:

$$W_{\text{ТРМ}} = K_p * \frac{T_{иp}+1}{T_{иp}(T_{бp}+1)}, \tag{8}$$

параметры динамической настройки которого будут равны:

$$K_p = \frac{90}{0.256 * 52} = 6.676, T_{и} = 90\text{с}, T_{б} = 4.68\text{с}.$$

Коэффициент усиления ошибки регулирования КРМ на входе ТРМ α в данном случае равен единице.

Порядок настройки форсирующего устройства:

Форсирующее устройство представляет собой звено быстрого реагирования:

$$W_{\text{ФУ}} = \frac{T_{1p}+1}{T_{2p}+1}. \tag{9}$$

Форсирующее устройство имеет два параметра динамической настройки T_1 и T_2 . Для нахождения численных значений этих параметров, следует снять переходную характеристику $N_{зд} \rightarrow N_{\Phi}$ САУМБ при подключенном сигнале давления свежего пара, подаваемого на КРМ и при отключенном ФУ, либо при подключенном ФУ с параметрами $T_1 = T_2$.

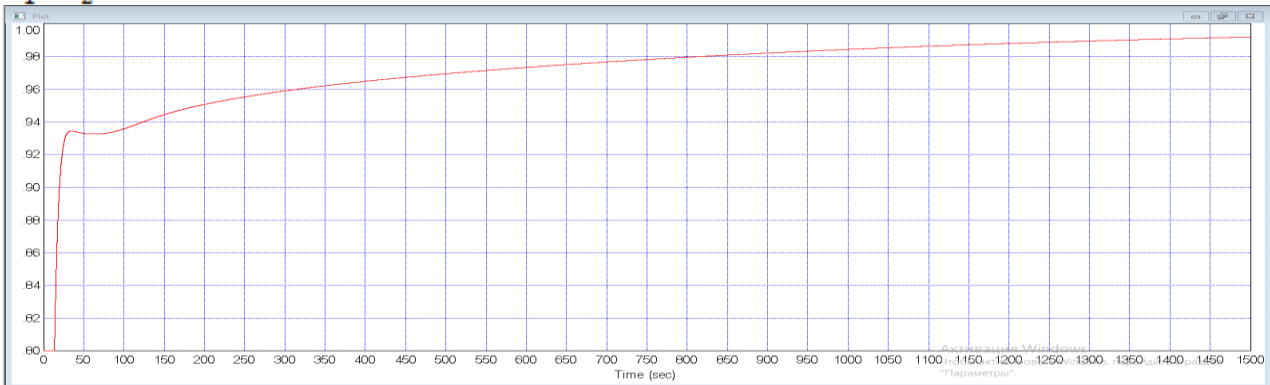


Рисунок 3. Кривая переходного процесса N_{Φ} при скачкообразном изменении $N_{зд}$.

Затем, задавшись двумя точками на кривой и воспользовавшись переходной функцией звена быстрого реагирования, составить систему уравнений следующего вида:

$$\begin{cases} 1 + \left(e^{\frac{t_1}{T_2}} * \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \right) = 1 + \left(1 - N_{\Phi}^{t_1} \right); \\ 1 + \left(e^{\frac{t_2}{T_2}} * \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) \right) = 1 + \left(1 - N_{\Phi}^{t_2} \right), \end{cases} \tag{10}$$

где t_1 и t_2 – моменты времени, требуемые для расчета параметров динамической настройки ФУ КРМ.

$N_{\Phi}^{t_1}$ и $N_{\Phi}^{t_2}$ – значения фактической мощности энергоблока в относительных единицах

$\left(N_{\Phi} = \frac{N_{\Phi}^{абс}}{N_{зд}} \right)$ в моменты времени t_1 и t_2 соответственно.

Момент времени t_1 выбирается таким образом, что бы $\frac{dN_{\Phi}}{dt} = 0$ и $N_{\Phi} = \min$, то есть в точке локального минимума переходного процесса. В случае отсутствия локального

минимума, рекомендуется брать t_1 в точке резкого уменьшения значения производной кривой переходного процесса (в момент резкого замедления переходного процесса).

Момент времени t_2 выбирается таким образом, что бы мощность $N_{\Phi}^{t_2}$ была равна 0.99.

Для данного случая $t_1 = 65\text{с}$, $t_2 = 1350\text{с}$. Соответственно $N_{\Phi}^{t_1} = 0.9325$ и $N_{\Phi}^{t_2} = 0.99$.

Подставив $t_1, t_2, N_{\Phi}^{t_1}, N_{\Phi}^{t_2}$ в (10) получим : $T_1 = 723\text{с}$, $T_2 = 673\text{с}$.

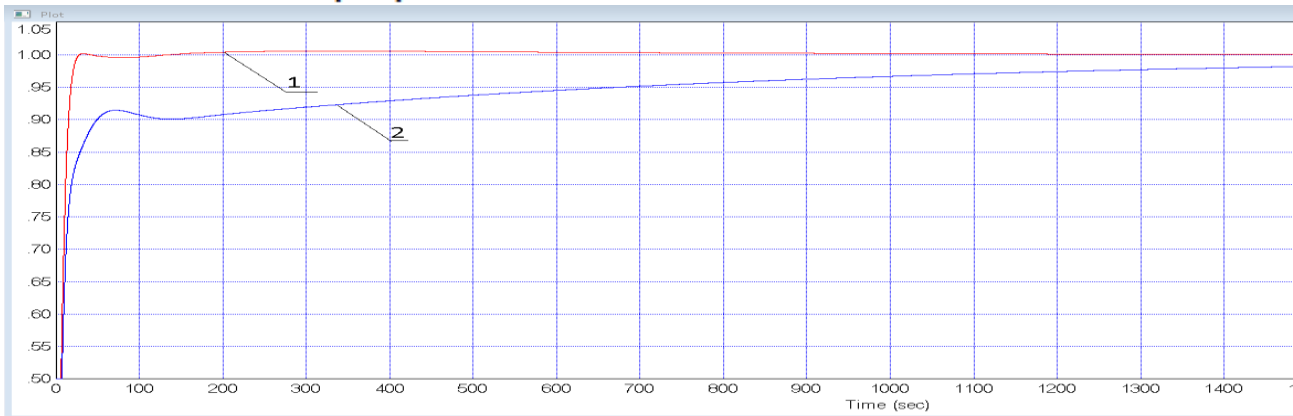


Рисунок 4. График переходного процесса по N_{Φ} при обработке скачка задания модифицированной (1) и типовой (2) САУМБ

Как видно из рисунка 4, добавление в типовую САУМБ сигнала по давлению свежего пара перед турбиной, который поступает со знаком «минус» на КРМ и форсирующего устройства в виде звена быстрого реагирования позволяет существенно улучшить качество регулирования мощности энергоблока при ступенчатом изменении задания мощности, равном 12,5% от номинальной мощности блока 300 МВт.

В результате модифицированная САУМБ полностью удовлетворяет требованиям СТО СО-ЦДУ ЕЭС 001-2005. При скачкообразном изменении задания величина изменения мощности, равная 50% от скачка задания, достигается за 6 секунд, полная мощность достигается за 16 секунд при заданной зоне нечувствительности регулятора, равной 1% номинальной мощности блока 300 МВт.

При этом максимальная относительная величина регулирующего воздействия РТ составляет 0.73, то есть отсутствует перерегулирование по топливу. Максимальная относительная величина регулирующего воздействия ТРМ составляет 1.01.

Литература

1. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – Мн.: Выш. шк., 1984. – 192 с.
2. Зорченко Н.В., Давыдов Н.И., Григоренко А.А. Исследование влияния форсирующих сигналов в системе автоматического управления мощностью энергоблока на его приемистость // Теплоэнергетика. - 2006. №10.
3. Кулаков, Г.Т. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами/ Под ред. Г.Т. Кулакова. – Мн.: Изд-во Выш. Шк., 2017. – 240с.