



В режиме постоянного давления пара перед турбиной турбинный регулятор мощности (ТРМ) настраивают на поддержание давления перегретого пара перед турбиной возле номинального значения.

В качестве первого варианта настройки используем типовой ПИ-регулятор, настроенный в среде Simulink Matlab [1]. Этот регулятор имеет следующие настройки:  $K_p = 0,961$  и  $T_i = 0,029$  с, т.е. передаточная функция первого варианта настройки ТРМ имеет следующий вид:

$$W_{\text{ТРМ 1}}(p) = \frac{0,961(0,029 p + 1)}{0,029 p}.$$

Структуру второго варианта ТРМ формируем на основе передаточной функции оптимального регулятора с использованием передаточной функции по давлению пара перед турбиной при возмущении перемещением регулирующих клапанов [2]:

$$W_{\text{ТРМ 2}}(p) = \left[ W_{p_0, h_{\text{ПК}}}(p) \right] W_{\text{зд1}}^{\text{pc}(n=1)}(p), \quad (1)$$

где  $W_{\text{зд1}}^{\text{pc}(n=1)}(p)$  – передаточная функция разомкнутой системы в виде идеального интегрирующего звена:

$$W_{\text{зд1}}^{\text{pc}(n=1)}(p) = \frac{1}{T_{\text{зд1}} p}. \quad (2)$$

Здесь  $T_{\text{зд1}}$  – единственный расчётный параметр динамической настройки ТРМ.

С учётом передаточных функций (1) и (2) передаточная функция второго варианта ТРМ примет вид реального ПИ-регулятора:

$$W_{\text{ТРМ 2}}(p) = \frac{T_7 p + 1}{K_3 (T_6 p + 1) T_{\text{зд1}} p}. \quad (3)$$

Численное значение  $T_{\text{зд1}}$  рассчитывают по формуле с учетом дополнительного ряда чисел правила золотого сечения [3]:

$$T_{\text{зд1}} = 0,56 \cdot T_7. \quad (4)$$

Подставив в передаточную функцию (3) уравнение (4) и все коэффициенты передаточной функции по давлению пара перед турбиной при возмущении перемещением регулирующих клапанов, получим:

$$W_{\text{ТРМ 2}}(p) = 8,12 \frac{69,4 p + 1}{69,4 p (3,7 p + 1)}.$$

Корректор ТРМ представляет собой пропорциональное звено с коэффициентом усиления, который может принимать следующие значения:

$$W_{\text{КТРМ}} = \alpha = 1; 3; 5; 7.$$

По своей сути коэффициент усиления корректора ТРМ представляет собой ту долю ошибки регулирования по мощности с выхода измерительного блока КРМ, которая попадает на вход турбинного регулятора мощности.

Прямые показатели качества переходных процессов САУМБ с типовым (вариант 1) и предлагаемым ТРМ (вариант 2) с коэффициентом

усиления  $\alpha = 1$  при увеличении заданной мощности  $N_{зд}$  с 90 % номинальной мощности до 100 % [4] приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Прямые показатели качества сравниваемых вариантов структур и параметров динамической настройки ТРМ

Вариант	Возмущение	$t_p$ , с	$\sigma_m$ , %	$B_T^{M^*}$ , о.е.	$h_{p_k}^{M^*}$ , о.е.	$p_0^M$ , %
1	$N_{зд}$	253	1,74	1,5	1,0	+ 4,78
2	$N_{зд}$	150	0	0,98	1,08	- 1,57

Обозначения:  $t_p$  – полное время регулирования;  $\sigma_m$  – максимальное перерегулирование;  $B_T^{M^*}$  – относительное изменение расхода топлива (отношение максимального значения к установившемуся);  $h_{p_k}^{M^*}$  – относительное изменение положения регулирующих клапанов турбины;  $p_0^M$  – максимальное изменение давления перегретого пара перед турбиной;

При скачке задания у обоих вариантов полное время регулирования меньше требуемых 300 секунд [4], но половина регулировочного диапазона (5 % номинальной мощности) достигается первым вариантом за 36 с, а вторым – за 9 с, т.е. за 15 секунд [4] набрать 5 % номинальной мощности может только предлагаемый реальный ПИ-регулятор. У типового ПИ-регулятора перерегулирование равно 1,74 %, что больше допустимого 1 % [4]. Перерегулирование во втором варианте отсутствует. Также при втором варианте настройки относительный максимальный расход топлива меньше на 34,7 %, чем при первом; максимальное изменение давления перегретого пара перед турбиной, взятое по модулю, меньше в 3,04 раза; однако относительное изменение положения регулирующих клапанов турбины больше на 8 %.

Очевидно, что в качестве ТРМ в режиме постоянного давления пара перед турбиной необходимо использовать предлагаемый реальный ПИ-регулятор, т.к. типовой ПИ-регулятор не обеспечивает требования стандарта [4] к регулированию мощности.

#### Список использованной литературы

1. PID Controller Tuning in Simulink // Mathworks Inc. [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа : <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/gs/automated-tuning-of-simulink-pid-controller-block.html>. – Дата доступа : 26.01.2020.
2. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т.Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.: ил.
3. Сороко, Э.М. Золотое сечение, процессы самоорганизации и эволюции систем: введение в общую теорию гармонизации систем – М.: Комкнига, 2006. – 264 с.
4. Нормы участия энергоблоков тепловых электростанций в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности: СТО 59012820.27.100.002-2013. - Введ. 2013.04.25. - М. : ОАО «СО ЕЭС», 2013. - 36 с.