

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТУРБИНЫ

Максимов О.С. (Республика Казахстан)

Email: Antonova522@scientifictext.ru

*Максимов Омирбек Сисенбаевич – магистрант,
кафедра искусственного интеллекта и Big Data, факультет
информационных технологий,
Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
г. Алматы, Республика Казахстан*

Аннотация: в этой статье исследуются вопросы об устойчивости паровой энергетической турбины, работающей на конденсационном режиме. Строили структурную схему систем регулирования турбины, работающей на конденсационном режиме. По структурной схеме получили линейную модель. Для дальнейшего исследования составили математическую модель, которая состоит из четырех уравнений. Для решения устойчивости системы использовался критерий Рауса Гурвица для четвертого порядка. По результатам показан метод численного решения дифференциальных уравнений на ЭВМ.

Ключевые слова: паровая турбина, системы регулирования, математическая модель, аналитический аппарат, линейная модель, дифференциальные уравнения, энергетической турбины, ЭВМ.

MATHEMATICAL MODEL OF THE POWER TURBINE CONTROL SYSTEM

Maximov O.S. (Republic of Kazakhstan)

*Maximov Omirbek Sisenbaevich – Master's degree,
DEPARTMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND BIG DATA, FACULTY
OF INFORMATION TECHNOLOGIES,
AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY
ALMATY, REPUBLIC OF KAZAKHSTAN*

Abstract: this article examines the stability of a steam power turbine operating in the condensation mode. We built a block diagram of the control systems of turbines operating in the condensation mode. According to the block diagram, we obtained a linear model. For further research, we have compiled a mathematical model that consists of four equations. To solve the stability of the system, the Raus Hurwitz criterion for the fourth order was used. According to the Raus Hurwitz stability criteria, it was fulfilled. Based on the results, it is shown by the method of numerical solution of differential equations on a computer.

Keywords: steam turbine, control systems, mathematical model, analytical apparatus, linear model, differential equations, power turbines, computers.

Введение

При изучении динамических характеристик систем регулирования энергетических турбин особое значение имеют математические методы. Они не только составляют основу аналитических методов, но и становятся составной частью экспериментальных исследований. При этом неперемное условие успеха — построение математических моделей, корректно отражающих динамические свойства элементов [1, 2]. Математическая модель позволяет определить количественные показатели качества управления турбинами, что является ответственной задачей, поскольку без знания этих показателей нельзя ни эксплуатировать существующие системы регулирования (следовательно, и турбины, которыми они оснащены), ни разрабатывать новые системы. Желательно, чтобы уровень сложности модели не превышал требуемого для данного вида исследований.

Математическое моделирование в исследованиях систем управления турбинами основано на методах теории автоматического управления [3]. Это относится и к приемам составления моделей звеньев системы и способам аналитического исследования, которые выбирают в зависимости от цели исследования и особенностей математической модели. Как и в других областях техники, в регулировании турбин наблюдается постоянная тенденция к использованию все более сложных методов аналитического исследования. Если в начале развития систем регулирования турбин ограничивались изучением устойчивости и быстродействия линейной модели, в дальнейшем все большее распространение получил анализ нелинейных моделей, стали применять стохастические подходы, оптимизационные методы [4–8]. Это связано главным образом с усложнением требований, предъявляемых к качеству функционирования систем управления турбинами [9].

Математическая модель системы регулирования энергетической турбины. В качестве примера приведем модель конденсационной турбины ПТ-25/30-90/10М (ПТ-12/15-35/10М) активного типа, которая имеет два регулируемых (производственный и теплофикационный) и три нерегулируемых объема для регенеративного подогрева питательной воды [10]. Турбина предназначена для привода синхронного электрического генератора типа ТВС-30 мощностью 30 МВ тс частотой вращения 3000 об/мин, а также для снабжения тепловых потребителей паром из регулируемых отборов. Камерами регулируемых отборов пара турбина разделена на части высокого, среднего и низкого давления (ЧВД, ЧСД и ЧНД).

Структурная схема системы регулирования турбины, работающей на конденсационном режиме [3], представлена на рисунке 1.

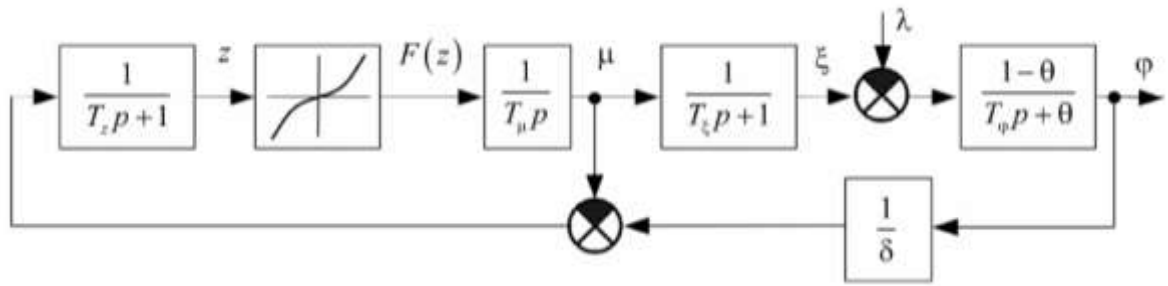


Рис. 1. Структурная схема системы регулирования энергетической системы

На рис. 1 приняты следующие обозначения: - относительное отклонение электрической нагрузки генератора; - относительное изменение частоты вращения ротора турбины; - относительное изменение расхода пара в турбине; - относительное отклонение поршня сервомотора; - относительное отклонение поршня золотника; - степень неравномерности системы регулирования; - постоянные времени, с; - коэффициент самовыравнивания.

Из структурной схемы получаем линейную модель в операторной форме который состоит из 4 уравнений:

$$\begin{cases} \varphi = \frac{1-\theta}{T_\varphi p + \theta} * (\xi - \lambda) \\ \xi = \frac{1}{T_\xi + 1} * \mu \\ \mu = \frac{1}{T_\mu p} * z \\ z = \frac{1}{T_z p + 1} * (-\mu - \frac{1}{\delta} \varphi) \end{cases}$$

Здесь по аналогии с предыдущим относительные отклонения координат системы обозначены: -частота вращения, ξ -давление в паровой камере, μ -положение сервомотора, z -положение промежуточного усилителя.

Параметрами системы являются постоянные времени T_φ , T_ξ , T_μ , T_z соответствующих звеньев и коэффициенты, с которыми регулируемое значение φ сигнал обратной связи μ суммируются на входах промежуточного усилителя.

Так как все координаты системы, кроме φ , отнесены к их изменениям на степень неравномерности, коэффициент $k_\mu = 1$, а коэффициент k_φ определяется значением степени неравномерности:

$$k_\varphi = \frac{1}{\delta}$$

Сначала рассмотрим, каким образом значение δ связано с условиями устойчивости линейной модели.

Характеристическое уравнение данной системы с учетом записывается следующим образом:

$$T_\mu T_\varphi T_\xi T_z p^4 + T_\mu (T_\varphi T_z + T_\xi T_z \theta + T_\varphi T_\xi) p^3 + T_\mu (T_z \theta + T_\varphi + T_\xi \theta) p^2 + T_\mu p \theta + \frac{(1-\theta)}{\delta} = 0 \quad (1.3)$$

Характеристическое уравнение данной системы имеет вида 4 порядка, для решения устойчивости системы мы используем критерий Рауса Гурвица

Для уравнения 4-го порядка вида

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0$$

Из коэффициентов характеристического уравнения составляем матрицу Гурвица:

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix}$$

Формулировка критерия Гурвица: для устойчивости линейной системы необходимо и достаточно, чтобы все n определителей, полученных из матриц H, были положительны, т.е.

Здесь Δ , - определители Гурвица, которые составляются следующим образом:

$$\begin{aligned} a_0 &> 0 \\ \Delta_1 &= a_1 > 0 \\ \Delta_2 &= a_1 * a_2 - a_0 a_3 > 0 \\ \Delta_4 &= \Delta_3 * a_4 > 0 \\ \Delta_3 &= \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} \\ &= a_1 * a_2 * a_3 + a_3 * a_1 * 0 + a_0 * a_1 * 0 - 0 * 0 * a_2 - a_0 * a_3 \\ &* a_3 - a_1 * a_1 * a_4 = a_1 * a_2 * a_3 - a_0 * a_3^2 - a_4 * a_1^2 > 0 \\ &a_3(a_1 * a_2 - a_0 * a_3) > a_4 * a_1^2 \end{aligned}$$

Преобразуя к виду

$$a_1 * a_2 - a_0 * a_3 > \frac{a_4 * a_1^2}{a_3}$$

И сравнивая устанавливаем, что второе условие налагает на параметры системы более жесткие требования, которые поэтому и используем для дальнейшего анализа. Подставим в коэффициенты a_i из, тогда

$$1) a_1 * a_2 = T_\mu (T_\varphi T_z + T_\xi T_z \theta + T_\varphi T_\xi) * T_\mu (T_z \theta + T_\varphi + T_\xi \theta) = T_\mu^2 (T_\varphi T_z + T_\xi T_z \theta + T_\varphi T_\xi) (T_z \theta + T_\varphi + T_\xi \theta)$$

$$2) a_0 * a_3 = T_\mu T_\varphi T_\xi T_z * T_\mu \theta = T_\mu^2 T_\varphi T_\xi T_z \theta$$

$$3) \frac{a_4 * a_1^2}{a_3} = \frac{T_\mu^2 (1-\theta) (T_\varphi T_z + T_\xi T_z \theta + T_\varphi T_\xi)^2}{\delta * T_\mu * \theta}$$

$$\begin{aligned} &T_\mu^2 (T_\varphi T_z + T_\xi T_z \theta + T_\varphi T_\xi) (T_z \theta + T_\varphi + T_\xi \theta) - T_\mu^2 T_\varphi T_\xi T_z \theta \\ &> \frac{T_\mu^2 (1-\theta) (T_\varphi T_z + T_\xi T_z \theta + T_\varphi T_\xi)^2}{\delta * T_\mu * \theta} \end{aligned}$$

После преобразований получаем следующие условие устойчивости для рассматриваемой линейной модели:

$$\delta > \frac{(1 - \theta)(T_\varphi T_z + T_\xi T_z \theta + T_\varphi T_\xi)^2}{T_\mu \theta (T_\varphi T_z + T_\xi T_z \theta + T_\varphi T_\xi)(T_z \theta + T_\varphi + T_\xi \theta)}$$

Условие согласуется характером влияния степени неравномерности системы на ее устойчивость: чем больше δ , тем легче обеспечить устойчивость переходных процессов. Благоприятно сказывается на выполнении требований устойчивости и рост постоянной времени T_φ ротора турбины. Из этой уравнений следует также, что условие устойчивости выполняется с тем большим запасом, чем меньше постоянная времени T_z промежуточного звена усиления.

Заключение

В процессе выполнения магистерского проекта были решены следующие задачи:

- проведен обзор по технологическим турбинам
- построена структурная схема паровой турбины работающей на конденсационном режиме (модель нелинейная)
- проведена линеаризация нелинейных систем прямого управления
- в результате получили уравнения в операторной форме
- полученного уравнения проверили на устойчивость критерием Рауса Гурвица

Динамика системы регулирования турбины ПТ-25/30-90/10М (ПТ-12/15-35/10М) описывается линейной системой из четыре дифференциальных уравнений. Из полученной системы путем определенного задания соответствующих коэффициентов и исключением некоторых уравнений можно получить модели турбины, работающей на конденсационном режиме или в режиме регулирования только одного из двух отборов пара.

Список литературы / References

1. *Калашников А.А.* Динамика регулирования турбин. Москва, Энергоатомиздат, 1999. 328 с.
2. *Мельников Д.В., Фишер М.Р.* Математическая модель контура регулирования частоты вращения ротора паровой турбины К-800-130/3000. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2011, спец. вып. Энергетическое и транспортное машиностроение. С. 197–215.
3. *Мельников Д.В.* Метод автоматизированного исследования систем регулирования энергетических турбин при случайных возмущениях: дис... канд. Техн. Наук. Обнинск, 2002.
4. *Колесников А.А., ред.* Синергетические методы управления сложными системами: Энергетические системы. Москва, Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 248 с.
5. *Мин Чжо Ту.* Особенности динамики регулирования энергетических турбин при случайных возмущениях. Научное обозрение, 2014. № 5. С. 175–180.

6. Мельников Д.В., Егунов Н.Д. Синтез систем регулирования энергетических турбин в условиях параметрической неопределенности. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2011. № 5–1. С. 108–113.
7. Мельников Д.В., Фишер М.Р. Динамика регулирования энергетических турбин с учетом случайных возмущений. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2011, спец. вып. Энергетическое и транспортное машиностроение. С. 143–150.
8. Корнюшин Ю.П., Мельников Д.В., Егунов Н.Д., Корнюшин П.Ю. Исследование и расчет параметров элементов системы регулирования частоты вращения ротора турбины с учетом параметрической неопределенности математической модели. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки, 2014. № 1. С. 78–93.
9. Мельников Д.В. Метод автоматизированного исследования систем регулирования энергетических турбин при случайных возмущениях. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Обнинск, 2002, 23 с.
10. **Нормы участия энергоблоков тепловых электростанций в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности. Стандарт организации.** Москва, 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://sups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_002-2013_freq_regulation.pdf/ (дата обращения: 03.06.2021).
11. Кирюхин В.И., Тараненко Н.М., Огурцова Е.П., Крюков В.И., Кургузников В.И., Лавров Е.И., Варакушев В.А. Паровые турбины малой мощности КТЗ. Москва. Энергоатомиздат, 1987. 216 с.