

12. Бияшев Р.Г., Калимолдаев М.Н., Рог О.А. Моделирование семантики типизированного атрибутивного разграничения доступа // журнал Проблемы информатики, 2017, № 1. С. 25-37.

13. Калимолдаев М.Н., Бияшев Р.Г., Рог О.А. Применение логики для построения моделей разграничения доступа к информации // принята к печати в журнал «Доклады НАН РК» 13.04.2017

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАБИЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ «СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР – ПАРОВАЯ ТУРБИНА»

Калимолдаев М.Н., Дузбаев Т.Т., Ахметжанов М.А., Галиева Ф.М.
e-mail: mnk@ipic.kz, talgat.duzbayev@gmail.com, galyeva.fariza@gmail.com,
maks714@mail.ru

*Институт информационных и вычислительных технологии КН МОН РК,
Казахстан*

Аннотация. В данной работе рассматривается стабилизация системы «синхронный генератор – паровая турбина», а также проводится исследование устойчивости системы с помощью метода функции Ляпунова. В результате численного вычисления получено оптимальное решение приведенных параметров.

Упрощенная модель системы «синхронный генератор – паровая турбина», описывается уравнениями вида:

$$\begin{aligned} \frac{d\delta_i}{dt} &= S_i, \\ T_{ji} \frac{dS}{dt} &= P_{Ti} - D_i S_i - \left[\frac{E_i^2}{z_{11i}} \sin \alpha_{11i} + \frac{E_i U}{z_{12i}} \sin(\delta_i - \alpha_{12i}) \right], \\ T_{Pi} \frac{dP_{Ti}}{dt} &= -P_{Ti} - \rho_0 P_{0i} - \frac{P_{0i}}{\sigma_{0i}} S_i + u_i, \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь, δ_i – угол ЭДС генератора; S_i – скольжение генератора; T_{ji} – постоянная инерции вращающихся масс; P_{Ti} – мощность паровой турбины; T_{Pi} – постоянная времени тракта регулирования паровой турбины; $D_i > 0$ – коэффициент демпфирования; E_i – расчетная ЭДС генератора; U_i – напряжения на шинах бесконечной мощности, z_{11i} – собственное сопротивление генератора; z_{12i} – взаимное сопротивление между генератором и шинами; α_{11i} – дополнительный угол собственного сопротивления; α_{12i} – дополнительный угол взаимного сопротивления; ρ_0, P_{0i} – заданные постоянные величины (ρ_{0i} – начальное открытие окон золотника, P_{0i} – номинальная мощность

турбины); σ_{0i} – статизм АРЧВ (автоматического регулятора частоты вращения); u_i – управляющее воздействие МУТ (механизма управления турбиной).

Пусть заданы следующие параметры системы регулирования паровой турбины: $T_{Pi}=2512$, $\rho_{0i}=0.994$, $P_{0i}=1126$, $\sigma_{0i}=0.06$.

Осуществляя перенос начала координат в положение равновесия $(\delta_i, S_i, P_{Ti}) = (0.686, 0, 1035.748)$, перейдем к системе уравнений возмущенного движения:

$$\begin{aligned}\frac{d\delta_i}{dt} &= S_i, \\ \frac{dS_i}{dt} &= c_i P_{Ti} - D_i S_i - f_i(\delta_i), \\ \frac{dP_{Ti}}{dt} &= A_i P_{Ti} + u_i,\end{aligned}\quad (2)$$

где $D_i = 50.5 \cdot 10^{-4}$, $f_i(\delta_i) = f_{oi}[\sin(\delta_i + \theta_{0i}) - \sin \theta_{0i}]$, $f_{oi} = 1.513 \cdot 10^{-4}$, $\theta_{0i} = 0.3562$, $c_i = 4.167 \cdot 10^{-8}$, $A_i = -39.81 \cdot 10^{-4}$. В системе (2) предполагается, что сигнал от АРЧВ, пропорциональный скольжению, адаптивно входит в управление u_i . Для упрощения расчетов рассматривается линейная модель паровой турбины.

Для исследования устойчивости «в большом» системы (2) функция Ляпунова имеет вид:

$$\tilde{v}_{0i}(\delta_i, S_i, P_{Ti}) = \frac{1}{2} H_i P_{Ti}^2 + 2\nu_{0i}(\delta_i, S_i), \quad (3)$$

определенную в фазовом пространстве $R_i^3(\delta_i, S_i, P_{Ti})$ в полосе $G_{0i} = \{(\delta_i, S_i, P_{Ti}) / \delta_{-li} < \delta_i < \delta_{0i}, S_i \in R_i^1, P_{Ti} \in R_i^1\}$. Найдём область притяжения начала координат в полосе G_{0i} при управлении вида:

$$u_i = a_i P_{Ti} + \alpha_{1i} S_i + \alpha_{2i} \delta_i, \quad a_i = 0, \quad \alpha_{1i} = -\frac{P_{0i}}{\sigma_{0i} T_{Pi}} = -747.3.$$

Имеем $\tilde{A}_i = A_i$, $\tilde{q}_i = \alpha_{1i}$, $l_{1i} = \alpha_{2i}$, $l_{2i} = 0$, $B_i = (\alpha_{1i}, \alpha_{2i}, 0)$,

$$\xi_i = \begin{pmatrix} S_i \\ \delta_i \\ f_i(\delta_i) \end{pmatrix}, \quad g_i = \begin{pmatrix} c_i \\ \alpha_i c_i \\ 0 \end{pmatrix}, \quad 0 < \alpha_i < D_i, \quad Y_i(P_{Ti}, \xi_i) = -\text{Re} \xi_i^* g_i P_{Ti},$$

$$\Pi_i(j\omega) = \text{Re} g_i (\tilde{A}_i - j\omega)^{-1} B_i = \frac{A_i c_i}{A_i^2 + \omega^2} \begin{pmatrix} \alpha_{1i}, & \alpha_{2i}, & 0 \\ \alpha_i \alpha_{1i}, & \alpha_i \alpha_{2i}, & 0 \\ 0, & 0, & 0 \end{pmatrix}.$$

Для выполнения частотного неравенства $\Pi_i(j\omega) \geq 0 \quad (\forall \omega \in R_i^1)$, достаточно, $\alpha_{1i} < 0$, так как $c_i > 0$, $A_i < 0$. Величину $H_i > 0$ определяем из условия:

$$2H_i A_i < 0, \quad H_i(\alpha_{1i}, \alpha_{2i} 0) + (c_i, \alpha_i \cdot c_i, 0) = 0,$$

для которой

$$H_i = -\frac{c_i}{\alpha_{1i}} = -\frac{\alpha_i c_i}{\alpha_{2i}} = 44.22 \cdot 10^{-12}, \quad \alpha_{2i} = -4.435.$$

Область притяжения начала координат в полосе G_{0i} можно оценить, таким образом: $\tilde{v}_{0i}(\delta_i, S_i, P_{Ti}) < \tilde{C}_i$, где параметры функции Ляпунова $v_{0i}(\delta_i, S_i, P_{Ti})$ и критериальное значение $\tilde{C}_i = 3.671 \cdot 10^{-4}$.

При указанных выше значениях параметров область притяжения координат, задаваемая в полосе G_{0i} неравенством $\tilde{v}_{0i}(\delta_i, S_i, P_{Ti}) < \tilde{C}_i$, имеет вид, представленной на рисунке 4. Сечение этой области плоскостями $\delta_i = \text{const}$ (т.е. $\delta_i = \delta_{-li} + 0$, $\delta_i = 0$, $\delta_i = \delta_{0i} - 0$) являются эллипсами. Начальные условия: $\delta_i = 0$, $S_i = 2.5 \cdot 10^{-2}$, $P_{Ti} = 0$.

Для численного решения рассматриваемой задачи был создан программный модуль написанный на языке программирования C# использующий интерфейс создания приложения Windows Forms. В программе для численного интегрирования системы (2) используются двухшаговый метод Адамса-Башфорта. Формула данного метода имеет следующий вид:

$$y_{i+1} = y_i + h \cdot \left(\frac{3}{2}(f(x_i, y_i)) - \frac{2}{1}(f(x_{i-1}, y_{i-1})) \right). \quad (3)$$

Используя формулу (3) перепишем систему (2) в виде:

$$\begin{aligned} \delta_{i+1} &= \delta_i + h \cdot \left(\frac{3}{2}S_i - \frac{1}{2}S_{i-1} \right); \\ S_{i+1} &= S_i + h \cdot \left(\frac{3}{2}(cP_{Ti} - DS_i - f(\delta_i)) - \frac{1}{2}(cP_{Ti-1} - DS_{i-1} - f(\delta_{i-1})) \right); \\ P_{Ti+1} &= P_{Ti} + h \cdot \left(\frac{3}{2}(AP_{Ti} + u) - \frac{1}{2}(AP_{Ti-1} + u) \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Результаты численного дифференцирования системы (4) приведены ниже:

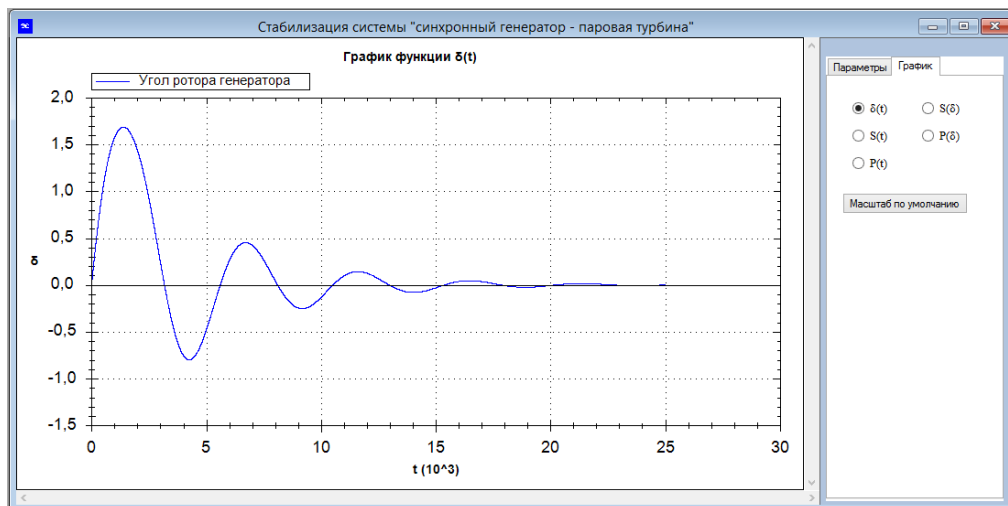


Рис. 1 График параметра δ

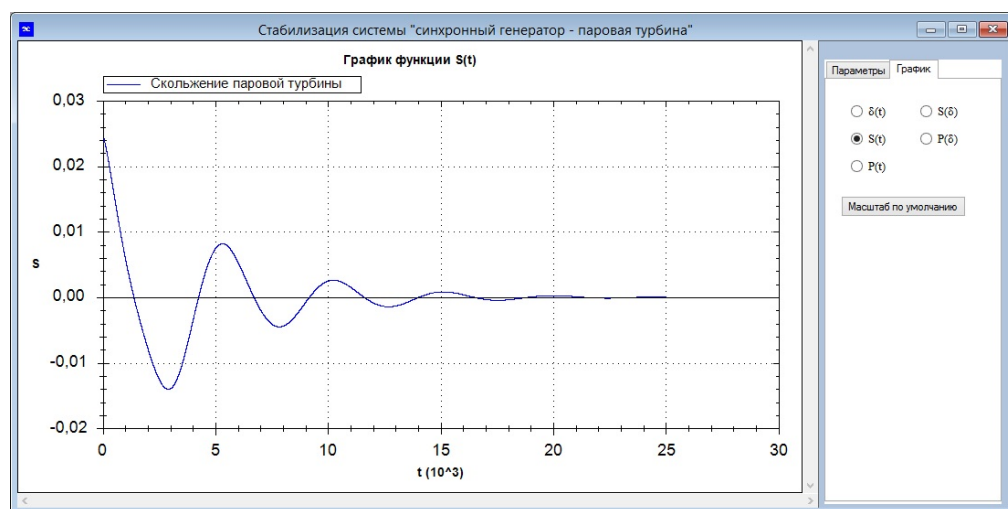


Рис. 2 График параметра S

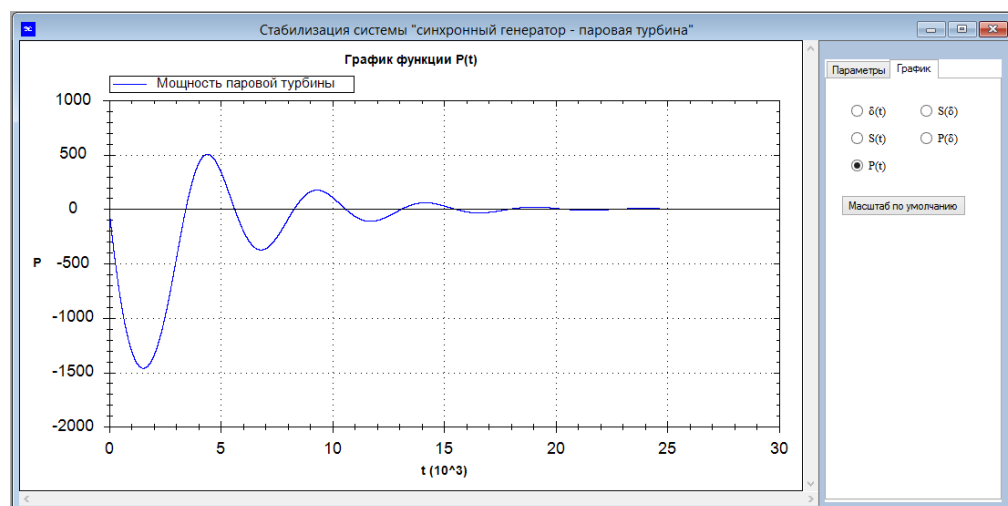


Рис. 3 График параметра P

Области притяжения скольжения и мощности находим из формулы (3).
Полученные результаты приведены на рисунках 4-5.

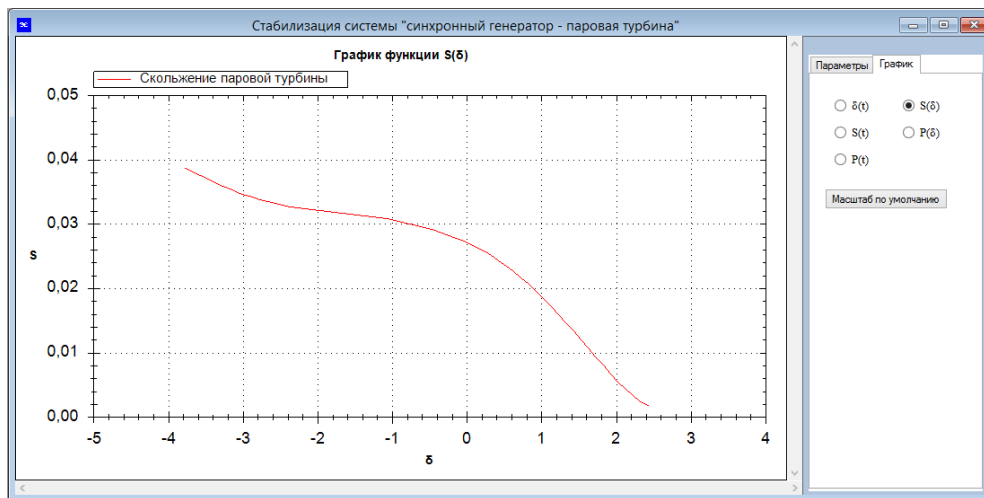


Рис. 4 Область притяжения скольжения

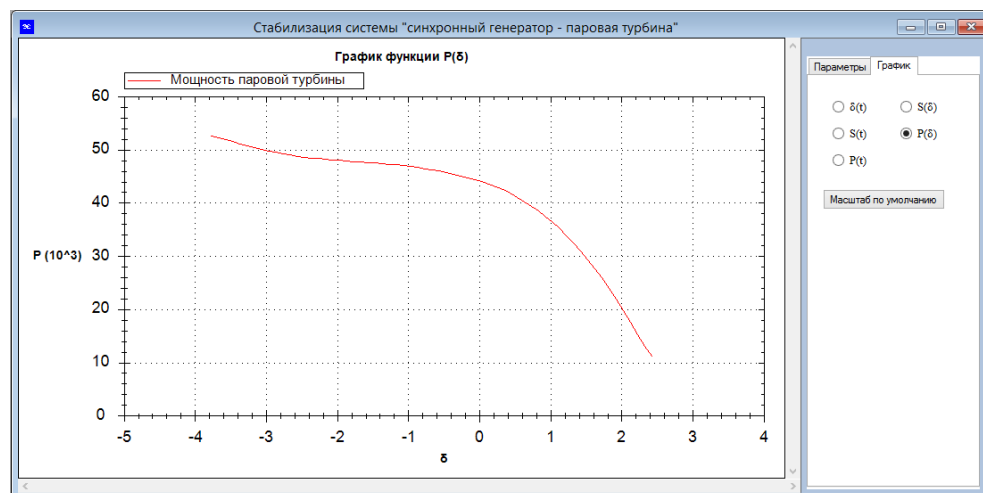


Рис. 5 Область притяжения мощности

Литература:

1. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения -М.: Л.: Гостехиздат, 1950, -475 с.
2. Барбашин Е.А. Введение в теорию устойчивости. -М.: Наука, 1967. -224 с.
3. Калимолданов М.Н. Докторская диссертация на тему «Устойчивость и математическое моделирование нелинейных многомерных фазовых систем» по специальности 05.13.16 – применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях. 2000 г.
4. Метод Эйлера. –https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_Эйлера