СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МЕТОДОМ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Колесниченко С.П., ст.преп.; Бондарь А.А., магистрант
кафедра автоматизации электромеханических систем и электропривода

Введение. Автономные источники электроэнергии широко используются для питания отдаленных и подвижных объектов. Значительная часть потребителей энергии переменного тока стабильной частоты расположена на наземных транспортных средствах (ТС). Наличие на них средств вычислительной техники, навигационного и радиолокационного оборудования, обуславливает жесткие требования к качеству электроэнергии. Системы электроснабжения переменным током потребителей наземных ТС, при условии их движения, обычно используют отдельный двигатель внутреннего сгорания в качестве первичного источника энергии. Использование для этих целей части мощности тягового двигателя ТС позволяет существенно повысить технико-экономические показатели системы электропитания. При этом отбор мощности от тягового двигателя осуществляется при переменной скорости вращения, определяемой режимом движения ТС. Для обеспечения постоянной скорости вращения синхронного генератора (СГ) электроустановки используется электрогидравлический привод постоянной скорости (ППС).

Таким образом, разработка системы управления, обеспечивающей стабилизацию частоты тока СГ при изменении угловой скорости тягового двигателя ТС, является актуальной задачей.

Цель исследования. Объектом исследования является нелинейная система стабилизации частоты СГ автономной электроустановки с отбором мощности в движении. Задачей системы стабилизации частоты является обеспечение постоянной скорости вращения СГ при переменной скорости вращения тягового двигателя ТС, путем воздействия на электромагнитный исполнительный механизм гидрообъемного ППС.

Материалы исследования. Математическая модель автономной ЭУ в стандартной векторной форме записи уравнений нелинейных систем [1]:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u \qquad (1)$$

где: $$f(x) = \begin{vmatrix} J^{-1}M \\ -\dfrac{K_M}{T_M}\omega - \dfrac{1}{T_M}M + \dfrac{K_M K_H}{T_M}\alpha\omega_1 \\ \nu \\ -\dfrac{K_{ry}K_{r\tilde{a}}}{T_{ry}}\alpha - \dfrac{1}{T_{ry}}\nu \\ J_1^{-1}[K_{\ddot{A}}(h,\omega)h - gM\alpha] \\ K_{\nu 1}^{-1}[-(c_0 - c_1 h)h - (b_0 - b_1 h)\omega_1^2] \end{vmatrix}, \quad g(x) = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \dfrac{K_{ry}K_u}{T_{ry}} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad u = \begin{vmatrix} u_\varphi \\ F_u \end{vmatrix}, \quad x = \begin{vmatrix} \omega \\ M \\ \alpha \\ \nu \\ \omega_1 \\ h \end{vmatrix}$$

Компонентами вектора состояния x являются: ω, M - угловая скорость и момент гидромотора, α, ν - угловое положение и скорость органа регулирования гидронасоса, ω_1, h - угловая скорость дизеля и положение органа регулирования подачи топлива. Коэффициенты, входящие в $f(x)$ определяются параметрами системы.

Синтез управления для нелинейного двумерного взаимосвязанного объекта (1) достаточно затруднителен. Обычная линеаризация объекта управления, основанная на разложении в ряд Тейлора в следствии существенного изменения скорости вращения тягового двигателя ТС приводит к системе с переменными параметрами. Поэтому для синтеза управления используется линеаризация обратной связью (ЛОС) [2] .

Система (1) линеаризуется обратной связью, если существует диффеоморфизм T: $U_0 \to R^n$ и нелинейные функции $\alpha(x)$ и $\beta(x)$, $\alpha(0)=0,\ \beta(x)\neq 0\ \hat{a}\,U_0$, такие, что преобразование координат: $y = T(x)$ и нелинейная обратная связь по состоянию: $u = \alpha(x)+\beta(x)\nu$

преобразовывают нелинейную систему (3.31) в линейную управляемую систему: $\dot{y} = Ay + By,\ y\in R^n,\ \nu \in R^r$ (2)

где: А – матрица канонической формы фазовой переменных; ν - вектор новых управляющих воздействий размерности *r*; В – матрица управления $[n\times r]$.

В общем случае нелинейное преобразование *T(x)* находится в виде решения дифференциального уравнения специальной формы в частных производных. Для системы уравнений, описывающих расчетную модель ЭУ (1) нелинейное преобразование координат *T(x)* имеет следующий вид:

$$y_1 = \omega$$

$$y_2 = J^{-1}(M - Mc)$$

$$y_3 = J^{-1}\left(-\frac{K_M}{T_M}\omega - \frac{1}{T_M}M + \frac{K_M K_H}{T_M}\alpha\omega_1\right) - J^{-1}\dot{M}_c$$

$$y_4 = J^{-1}\left(\frac{K_M}{T_M^2}\omega + \frac{J - K_M T_M}{JT_M^2}M - \frac{K_M K_H}{T_M^2}\alpha\omega_1 + \frac{K_M K_H}{T_M}\nu\omega_1 + \frac{K_M K_H}{T_M}\alpha\dot{\omega}_1 + \frac{K_M}{JT_M}M_c - \ddot{M}_c\right)$$

$$y_5 = \omega_1$$

$$y_6 = J_1^{-1}(M_{\ddot{A}}(h,\omega_1) - gM\alpha)$$

Для того, чтобы нелинейное преобразование координат являлось диффеоморфизмом необходимо чтобы функциональный определитель (Якобиан) $\frac{\partial T(x)}{\partial x}\neq 0$. В новых координатах $y = [y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6]^T$ исходная система (1) принимает вид:

$$\dot{y}_1 = y_2$$

$$\dot{y}_2 = y_3$$

$$\dot{y}_3 = y_4$$

$$\dot{y}_4 = -\frac{K_M K_{ry} K_{\eth\ddot{i}}}{JT_M T_{ry}}y_1 - \frac{K_M + JK_{ry}K_{\eth\ddot{i}}}{JT_M T_{ry}}y_2 - \frac{K_M T_{ry} + J + JK_{ry}K_{\eth\ddot{i}}T_M}{JT_{ry}T_M}y_3 -$$

$$-\frac{T_{ry}+T_M}{T_{ry}T_M}y_4-\frac{\dddot{M}_c}{J}-\frac{T_M+T_{ry}}{JT_MT_{ry}}\ddot{M}_{\text{ñ}}-\frac{1+K_{ry}K_{\text{ðï}}T_M}{JT_{ry}T_M}\dot{M}_c-\frac{K_{ry}K_{\text{ðï}}}{JT_{ry}T_M}M_c+$$

$$+(\frac{K_M}{JT_M}y_1+\frac{1}{T_M}y_2+y_3+\frac{\dot{M}_c}{J}+\frac{M_c}{JT_M})\frac{\ddot{\omega}_1}{\omega_1}-2(\frac{K_M}{JT_M}y_1+\frac{1}{T_M}y_2+y_3+\frac{\dot{M}_c}{J}+\frac{M_c}{JT_M})\frac{\dot{\omega}_1^2}{\omega_1^2}+$$

$$+(\frac{K_M}{JT_{ry}T_M}y_1+\frac{J+2T_{ry}K_M}{JT_{ry}T_M}y_2+\frac{T_M+2T_{ry}}{JT_{ry}T_M}y_3+2y_4+\frac{2}{J}\ddot{M}_{\text{ñ}}+\frac{T_M+2T_{ry}}{JT_{ry}T_M}\dot{M}_c+$$

$$+\frac{M_c}{JT_{ry}T_M})\frac{\dot{\omega}_1}{\omega_1}+\frac{K_MK_HK_{ry}K_u}{JT_{ry}T_M}\omega_1u_{\varphi} \qquad (3)$$

$$\dot{y}_5=y_6$$

$$\dot{y}_6=-\frac{1}{J_1K_{\nu1}}\frac{\partial M_{\text{Ä}}}{\partial\omega_1}(b_0-b_1h)y_5^2-\frac{1}{J_1K_{\nu1}}\frac{\partial M_{\text{Ä}}}{\partial h}(c_0-c_1h)h+\frac{1}{J_1^2}\frac{\partial M_{\text{Ä}}}{\partial\omega_1}M_{\text{Ä}}-$$

$$-\frac{1}{J^2{}_1}\frac{\partial M_{\text{Ä}}}{\partial\omega_1}qM\alpha-\frac{1}{J_1}q\alpha\dot{M}-\frac{1}{J_1}qM\nu+\frac{1}{J_1K_{\nu1}}\frac{\partial M_{\text{Ä}}}{\partial h}F_{\text{â}}+\frac{1}{J_1K_{\nu1}}\frac{\partial M_{\text{Ä}}}{\partial h}F_u$$

Из (3) находим нелинейное управление u_{φ}, полностью компенсирующее влияние изменения угловой скорости двигателя и момента нагрузки на выходную координату ППС.

$$u_{\varphi}=\frac{JT_MT_{ry}}{K_MK_HK_{ry}K_U\omega_1}[\frac{T_{ry}+T_M}{T_{ry}T_M}y_4+\frac{K_MT_{ry}+J+JK_{ry}K_{\text{ðï}}T_M}{JT_{ry}T_M}y_3+\frac{K_M+JK_{ry}K_{\text{ðï}}}{JT_MT_{ry}}y_2$$

$$+\frac{K_MK_{ry}K_{\text{ðï}}}{JT_MT_{ry}}y_1+\frac{\dddot{M}_c}{J}+\frac{T_M+T_{ry}}{JT_MT_{ry}}\ddot{M}_c+\frac{1+K_{ry}K_{\text{ðï}}T_M}{JT_MT_{ry}}\dot{M}_c+\frac{K_{ry}K_{\text{ðï}}}{JT_MT_{ry}}M_c-$$

$$-(y_3+\frac{K_M}{JT_M}y_1+\frac{1}{T_M}y_2+\frac{\dot{M}_c}{J}+\frac{M_c}{JT_M})\frac{\ddot{\omega}_1}{\omega_1}+2(y_3+\frac{1}{T_M}y_2+\frac{K_M}{JT_M}y_1+\frac{\dot{M}_c}{J}+ \qquad (4)$$

$$+\frac{M_c}{JT_M})\frac{\dot{\omega}_1^2}{\omega_1^2}-(2y_4+\frac{T_M+2T_{ry}}{T_MT_{ry}}y_3+\frac{J+2T_{ry}K_M}{JT_{ry}T_M}y_2+\frac{K_M}{JT_{ry}T_M}y_1+\frac{2}{J}\ddot{M}_c+$$

$$+\frac{T_M+2T_{ry}}{JT_{ry}T_M}\dot{M}_c+\frac{M_c}{JT_{ry}T_M})\frac{\dot{\omega}_1}{\omega_1}+V_1]$$

Выводы. Нелинейное управление (4), синтезированное на основе ЛОС приводит подсистему координат, описывающую электрогидравлический ППС, к линейному виду в канонической форме фазовой переменной, для которой синтез линейного регулятора состояния не представляет трудностей. Аналогично из (3) можно определить нелинейное управление F_u, компенсирующее влияние ППС на первичный двигатель.

Перечень ссылок

1.Колесниченко С.П. Система автоматического управления автономной электроэнергетической установкой при переменной скорости вращения первичного двигателя. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киев, 1989.-16 с.

2. Ким Д. П. Теория автоматического управления Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. М.: Физматлит, 2004.- 464с