

ЦИФРОВОЕ РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБМОТОЧНОЙ МАШИНОЙ КАК ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Никитина Т.Б.

Украинская инженерно педагогическая академия

Введение. Качество кабельной продукции в значительной мере определяется точностью поддержания заданного натяжения обмоточных лент и скорости вращения приводного механизма. Натяжение ленты изменяется, прежде всего, по мере уменьшения кружка с обмоточной лентой. Регулирование натяжения с помощью механических или электромеханических устройств вызывает изменение скорости вращения приводного механизма. Радикальное повышение точности поддержания заданного натяжения и скорости вращения может быть достигнуто с помощью двухканального управления одновременно натяжением и скоростью с помощью взаимосвязанного регулятора. Обмоточная машина как объект управления натяжением обмоточной ленты и скоростью вращения приводного механизма является нестационарным объектом, параметры которого изменяются в широких пределах в процессе работы. Наиболее существенное изменение параметров обмоточной машины происходит по мере выработки обмоточной ленты с кружка в процессе обмотки кабелей. При этом изменяется момент инерции кружка с обмоточной лентой и радиус схода обмоточной ленты с кружка. В [1-3] выполнен синтез оптимальных регуляторов, наблюдателей и компенсаторов для трех радиусов размотки кружка с обмоточной лентой – начального, среднего и конечного. Естественно, что эти регуляторы, наблюдатели и компенсаторы имеют различные коэффициенты усиления для разных радиусов размотки. Попытка использования компенсаторов, рассчитанных для одного какого либо радиуса кружка ленты – например среднего, начального либо конечного для работы системы управления во всем диапазоне изменения радиусов размотки приводит на определенных радиусах размотки либо к излишнему затягиванию времени переходных процессов, либо к повышению колебательности вплоть до потери устойчивости [3]. Методы синтеза систем управления, основанные на минимизации квадратичного критерия, чувствительны к наличию неучтенных помех, возмущений, как со стороны внешних сигналов, так и параметрических возмущений самих объектов. Поэтому в последнее десятилетие получили развитие методы минимизации H^∞ - нормы, которая, служит эффективным методом синтеза систем, нечувствительных к различного типа воздействиям, а также при наличии неопределенностей в описании объекта управления [1-2]. Рассмотрим построение робастной системы управления для работы во всем диапазоне изменения радиусов размотки кружка с лентой.

Цель работы. Целью данной статьи является синтез и исследование динамических характеристик робастной цифровой системы двухканального управления обмоточной машиной как двухмассовой электромеханической системы по каналам регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты.

Основное содержание и результаты работы. Рассмотрим исходную непрерывную математическую модель обмоточной машины как двухмассовой электромеханической системы [3], схема которой показана на рис.1. Введем вектор состояния $\bar{X}(t)$, компонентами которого являются скорость приводного механизма $v_n(t)$, скорость приводного двигателя $v_d(t)$, сила упругости $F_y(t)$, скорость изменения силы тормозного механизма $v_T(t)$, сила тормозного механизма $F_T(t)$, скорость схода ленты с кружка $v(t)$ и натяжение $s(t)$. Введем вектор управления $\bar{U}(t)$, компонентами которого являются сила приводного двигателя $F_d(t)$ и напряжение на тормозном двигателе $U_T(t)$.

Для синтеза цифровой робастной системы управления по этой непрерывной системе построим дискретную модель. Робастный регулятор представляет собой обратные связи по полному вектору состояния. Существенным недостатком управления по полному вектору состояния является потеря астатизма регулирования, даже если вначале в объекте управления имелись интегрирующие звенья. Рассмотрим построение цифрового робастного астатического регулятора для обмоточной машины. Основное назначение системы управления обмоточной машиной заключается в поддержании скорости вращения приводного механизма $\omega_n(k)$ и натяжения обмоточной ленты $s(k)$ на заданных уровнях v_3 и s_3 . Для построения астатического робастного регулятора введем два интегратора с переменными состояниями $z_1(k)$ и $z_2(k)$, на входы которых подадим разность между заданными значениями скорости вращения приводного механизма $v_3(k)$ и натяжением обмоточной нити $s_3(k)$ и фактическими значениями скорости приводного механизма $v_n(k)$ и натяжения обмоточной ленты

$$z_1(k+1) = v_3(k) - v_n(k),$$

$$z_2(k+1) = s_3(k) - s(k).$$

Введем вектор регулируемых координат:

$$\bar{y}(k) = C\bar{x}(k),$$

компонентами которого являются:

$$\bar{y}(k) = \{v(k), s(k)\}^T,$$

вектор задающих воздействий:

$$\bar{y}_3(k) = \{v_3(k), s_3(k)\}^T,$$

и вектор состояния интеграторов $\bar{z}(k) = \{z_1(k), z_2(k)\}^T$.

Тогда уравнение состояния цифрового интегратора примет следующий вид:

$$\bar{z}(k+1) = \bar{z}(k) + \bar{y}_3(k) - \bar{y}_0(k).$$

Рассмотрим расширенную систему, включающую исходную систему и вспомогательную переменную

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_0(k+1) \\ \bar{z}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 & 0 \\ -C & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_0(k) \\ \bar{z}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_0 \\ 0 \end{bmatrix} \bar{u}(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} \bar{y}_3(k).$$

Примем вначале $\bar{y}_3(k) = \bar{0}$ и при синтезе робастного регулятора учитывать не будем. Решив для этой системы задачу синтеза робастного регулятора, найдем робастное управление $\bar{u}(k) = -\bar{F}\bar{x}(k)$.

Запишем для исходной системы уравнения состояния, вектор контролируемых параметров $\bar{z}(k)$ и вектор измеряемых переменных $\bar{y}(k)$ в стандартной форме, принятой в H^∞ теории [3].

$$\bar{x}(k+1) = A\bar{x}(k) + B_1\bar{w}_1(k) + B_2\bar{u}(k)$$

$$\dot{\bar{z}}(k) = C_1\bar{x}(k) + D_{11}\bar{w}_1(k) + D_{12}\bar{u}(k)$$

$$\bar{y}(k) = C_2\bar{x}(k) + D_{21}\bar{w}_1(k) + D_{22}\bar{u}(k)$$

Введем компоненты вектора внешних воздействий $\bar{w}_1(k)$ в следующем виде: заданные значения скорости вращения приводного механизма $v_3(k)$ и натяжением обмоточной нити $s_3(k)$ и фактическими значениями скорости приводного механизма $v_{11}(k)$ и натяжения обмоточной ленты, а также помехи $f_1(k)$, $f_2(k)$ измерения ошибок $\varepsilon_1(k)$, $\varepsilon_2(k)$ регулирования скорости вращения приводного механизма:

$$\varepsilon_1(k) = v_3(k) - v_{11}(k),$$

и натяжения обмоточной ленты

$$\varepsilon_2(k) = s_3(k) - s(k),$$

а также помехи $f_3(k)$, $f_4(k)$ измерения переменных состояния интеграторов $z_1(k)$ и $z_2(k)$. При этом вектор внешних воздействий примет следующий вид:

$$\bar{w}(k) = \{v_3(k), s_3(k), f_1(k), f_2(k), f_3(k), f_4(k)\}^T.$$

Компонентами вектора управления $\bar{u}(k)$ являются сила приводного механизма $F(k)$ и напряжение на входе тормозного механизма $u(k)$ так, что $\bar{u}(k) = \{F(k), u(k)\}^T$.

Компонентами вектора контролируемых переменных $\bar{z}(k)$ примем ошибки $\varepsilon_1(k)$, $\varepsilon_2(k)$ регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты, переменные $z_1(k)$ и $z_2(k)$ состояния интеграторов, а также управляющие воздействия $F(t)$ и $u(k)$. При этом вектор контролируемых переменных имеет следующий вид:

$$\bar{z}(k) = \{\varepsilon_1(k), \varepsilon_2(k), z_1(k), z_2(k), F(k), u(k)\}^T.$$

Компонентами вектора $\bar{y}(k)$ измеряемых переменных $\varepsilon_{1u}(k)$, $\varepsilon_{2u}(k)$ примем ошибки $\varepsilon_1(k)$, $\varepsilon_2(k)$ регулирования скорости вращения приводного механизма $v_{11}(k)$ и натяжения обмоточной ленты $s(k)$, измеренные с помехами $f_1(k)$, $f_2(k)$ так, что:

$$\varepsilon_{1u}(k) = \varepsilon_1(k) + f_1(k),$$

$$\varepsilon_{2u}(k) = \varepsilon_2(k) + f_2(k),$$

а также измерение $z_{1u}(k)$ и $z_{2u}(k)$ с помехами $f_3(k)$, $f_4(k)$ переменные состояния $z_1(k)$ и $z_2(k)$ интеграторов так, что:

$$z_{1u}(k) = z_1(k) + f_3(k),$$

$$z_{2u}(k) = z_2(k) + f_4(k),$$

и, следовательно, вектор $\bar{y}(k)$ измеренных переменных примет следующий вид:

$$\bar{y}(k) = \{\varepsilon_{1u}(k), \varepsilon_{2u}(k), z_{1u}(k), z_{2u}(k)\}^T.$$

Заметим, что фактически с помощью матриц C , D_{11} , D_{12} формируются «веса» в критерии качества функционирования системы, по которому синтезируется робастный регулятор. Причем, с помощью матрицы

D_{12} в критерий вводится вектор управления, а с помощью матриц C и D_{11} формируется ошибка системы и ограничиваются переменные состояния системы [4]. С помощью матрицы D_{21} формируются помехи измерения и, следовательно, эта матрица влияет на синтез робастного наблюдателя. Для получения приемлемых показателей качества синтезируемой системы в вектор контролируемых переменных $\bar{z}(k)$ необходимо включать ошибку системы, переменные состояния системы, которые нужно ограничивать, а также компоненты вектора управления $\bar{u}(k)$. Причем, роль весовых матриц в критерии качества выполняют матрицы C_1 , D_{11} и D_{12} , с помощью которых формируется вектор контролируемых переменных $\bar{z}(k)$. Подбирая значения этих матриц можно обеспечить выполнение заданных требований по качеству регулирования.

Синтез регулятора, минимизирующего H^∞ – норму, сводится к решению двух уравнений Риккати [5 - 7] по управлению:

$$A^T X_\infty + X_\infty A - X_\infty (B_2 B_2^T - \gamma^2 B_1 B_1^T) X_\infty + C_1^T C_1 = 0$$

и по фильтрации:

$$A Y_\infty + Y_\infty A^T - Y_\infty (C_2^T C_2 - \gamma^2 C_1^T C_1) Y_\infty + B_1 B_1^T = 0$$

В качестве примера на рис.2 показаны переходные процессы скорости вращения приводного двигателя а), силы упругости б) и натяжения обмоточной ленты в) системы управления бумагообмотчиком ИЖ-32 с робастным регулятором по заданию на регулятор скорости. Установившиеся значения скоростей приводного механизма и приводного двигателя равны заданному значению скорости. На рис.3 показаны переходные процессы те же переменных состояния по заданию на регулятор натяжения обмоточной ленты. Установившееся значение натяжения равно заданному значению, а установившиеся значения скоростей вращения приводного двигателя и приводного механизма равны нулю.

Выводы. Разработана математическая модель обмоточной машины, как объекта цифрового робастного управления по каналам регулирования натяжения обмоточной ленты и скорости вращения приводного механизма с учетом исполнительных двигателей приводного и тормозного механизмов. Синтезированы робастные астатические регуляторы и робастные наблюдатели двухканального электропривода бумагообмотчиков ИЖ-32. Показано, что синтезированные робастные регуляторы и робастные наблюдатели мало чувствительны к изменению параметров обмоточной машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитина Т.Б. Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизація виробничих процесів. Київ. - 2003. - №2(17). - С.62-65.
2. Никитина Т.Б. Синтез цифровых нелинейных многоканальных систем управления. //Автоматизація виробничих процесів. Київ. - 2005. - №2 (21). С.115-121.
3. Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА, 2005. –511с.
4. Никитина Т.Б. Приближенно оптимальное цифровое управление электроприводами с аналитическими нелинейностями. //Вестник НТУ «ХПИ». Сб. научных трудов. Харьков: НТУ «ХПИ». - 2003. - №10. Т1. - С.321-322.
5. Никитина Т.Б. Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизація виробничих процесів. Київ. - 2003. - №2(17). - С.62-65.
6. Никитина Т.Б. Синтез многоканальных нелинейных электромеханических систем. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2005. - №45. - С. 130 – 131.
7. Никитина Т.Б. Ограничение динамических нагрузок в нелинейной системе совместного управления главными приводами блюминга с учетом их взаимного влияния через прокатываемый металл. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2006. - №9 - С. 95 – 102.