

УДК 621.301

Б.Б. Кобылянский (канд. техн. наук, доц.)Учебно-научный профессионально-педагогический институт УИПА, г. Артемовск
кафедра электроники и компьютерных технологий систем управления
E-mail: b.kobiliansky@yandex.ru**СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО И РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХМАССОВОЙ ОБМОТОЧНОЙ МАШИНОЙ**

Выполнено сравнение чувствительности системы автоматического регулирования скорости вращения приводного двигателя и натяжения обмоточной ленты к изменению параметров обмоточной машины как объекта управления в процессе выработки обмоточной ленты при оптимальном и робастном управлении. Приведен пример динамических характеристик синтезированной системы.

Ключевые слова: обмоточная машина, робастный регулятор, оптимальный регулятор.

Введение

Для повышения качества процесса нанесения обмоточных лент необходимо с достаточной точностью поддерживать технологические параметры процесса обмотки на заданном уровне. Для повышения точности регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты современные обмоточные машины оборудуются электромеханическими системами автоматического поддержания этих технологических параметров на заданном уровне. В [1] выполнен синтез оптимальных по квадратичным критериям качества 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. Методы синтеза систем управления, основанные на минимизации квадратичного критерия, называются задачами H^2 - оптимизации. Однако, квадратичный критерий чувствителен к наличию неучтенных помех и возмущений как со стороны внешних сигналов, так и параметрических возмущений самих объектов. Поэтому в последнее десятилетие получили развитие методы минимизации H^∞ - нормы, которые служат эффективным показателем реакции системы на различного типа воздействия при наличии неопределенностей в описании объекта управления. Рассмотрим построение робастной системы управления для работы во всем диапазоне изменения радиусов размотки кружка с лентой.

Цель работы

Целью работы является сравнение чувствительности системы автоматического регулирования скорости вращения приводного двигателя и натяжения обмоточной ленты к изменению параметров обмоточной машины как объекта управления в процессе выработки обмоточной ленты при оптимальном и робастном управлении. Задачами работы является синтез и исследование динамических характеристик оптимальной и робастной систем двухканального управления обмоточной машиной по каналам регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты для модели обмоточной машины как трёхмассовой электромеханической системой.

Введем компоненты вектора внешних воздействий $\vec{W}_1(t)$ в следующем виде: заданные значения скорости вращения приводного механизма $V_3(t)$ и натяжения обмоточной ленты $S_3(t)$, а также помехи $f_1(t), f_2(t)$ измерения ошибок $\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t)$ регулирования скорости вращения приводного механизма: $\varepsilon_1(t) = V_3(t) - V_{II}(t)$, и натяжения обмоточной ленты: $\varepsilon_2(t) = S_3(t) - S(t)$, а также помехи $f_3(t), f_4(t)$ измерения переменных состояния интеграторов $Z_1(t)$ и $Z_2(t)$. При этом вектор внешних воздействий примет, следующий вид:

$$\vec{W}(t) = \{V_3(t), S_3(t), f_1(t), f_2(t), f_3(t), f_4(t)\}^T.$$

Компонентами вектора управления $\vec{U}(t)$ являются сила приводного механизма $F(t)$ и напряжение на входе тормозного механизма $U(t)$ так, что

$$U(t) = \{F(t), u(t)\}^T.$$

Для получения приемлемых показателей качества синтезируемой системы в вектор контролируемых переменных $\vec{z}(t)$ необходимо включать ошибку системы, переменные состояния системы, которые нужно ограничивать, а также компоненты вектора управления $\vec{u}(t)$. Причем, роль весовых матриц в критерии качества выполняют матрицы C_1, D_{11} и D_{12} , с помощью которых формируется вектор контролируемых переменных $\vec{z}(t)$. Выбором значений этих матриц обеспечивается выполнение заданных требований по качеству регулирования путем минимизации H^∞ - нормы взвешенной энергии ошибок каналов, переменных состояния, которые необходимо ограничивать.

Примем компонентами вектора контролируемых переменных $\vec{Z}(t)$ ошибки $\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t)$ регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты, переменные $Z_1(t)$ и $Z_2(t)$ состояния интеграторов, а также управляющие воздействия $F(t)$ и $U(t)$. При этом вектор контролируемых переменных примет следующий вид:

$$\vec{Z}(t) = \{\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t), Z_1(t), Z_2(t), F(t), U(t)\}^T.$$

Компонентами вектора измеряемых переменных $\vec{Y}(t)$ примем измеренные $\varepsilon_{1U}(t), \varepsilon_{2U}(t)$ с помехами $f_1(t), f_2(t)$ ошибки $\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t)$ регулирования скорости вращения приводного механизма $V_{II}(t)$ и натяжения обмоточной ленты $S(t)$ так, что:

$$\varepsilon_{1U}(t) = \varepsilon_1(t) + f_1(t),$$

$$\varepsilon_{2U}(t) = \varepsilon_2(t) + f_2(t),$$

а также измеренные $Z_{1U}(t)$ и $Z_{2U}(t)$ с помехами $f_3(t), f_4(t)$ переменные состояния $Z_1(t)$ и $Z_2(t)$ интеграторов так, что:

$$Z_{1U}(t) = Z_1(t) + f_3(t),$$

$$Z_{2U}(t) = Z_2(t) + f_4(t),$$

и, следовательно, вектор измеряемых переменных $\vec{Y}(t)$ примет следующий вид:

$$\vec{Y}(t) = \{\varepsilon_{1U}(t), \varepsilon_{2U}(t), Z_{1U}(t), Z_{2U}(t)\}^T.$$

При синтезе робастного регулятора минимизируется максимальное значение следа матрицы амплитудно – частотных характеристик матричной передаточной функции $W_3(s)$ вектора контролируемых параметров $\vec{z}(k)$ по вектору внешних воздействий $\vec{w}(k)$. Необходимо найти такой регулятор с матричной передаточной функцией $w_p(s)$, который бы

минимизировал H^∞ норму т.е. минимизировал максимальное значение следа матрицы амплитудно-частотных характеристик

$$J = \min_{w_p} \max_{-\infty < \omega < \infty} \text{trace}[W^*(-j\omega)W(j\omega)].$$

Теория H^∞ - оптимизации является обобщением известных частотных методов синтеза систем и позволяет решать широкий спектр задач управления при наличии неопределенностей. H^∞ - теория может работать как с параметрическим, так и с внешними возмущениями, причем о возмущениях делают предположения самого общего характера, например, что они ограничены по мощности [8-9]. H^∞ -норма передаточной функции представляет собой верхнюю грань коэффициента усиления между H^2 -нормой входного сигнала и H^2 -нормой выходного сигнала и следовательно H^∞ - норма равна квадратному корню из энергии выхода при входном возмущении с единичной энергией. Поэтому минимум H^∞ - приводит к минимизации максимального по всему частотному диапазону энергии выходного сигнала для наихудшего случая приложения входного воздействия. Алгоритмы управления, полученные на основе H^∞ - теории, являются минимаксными, предлагая наилучший регулятор для наихудшего возмущения, и по этой причине превосходят алгоритмы, полученные без учета возмущений по различным критериям. С другой стороны, H^∞ - теория управления хорошо работает только при наличии предположений, в рамках которых были построены алгоритмы управления, т.е. при наличии неконтролируемых возмущений. Если же разработчик имеет информацию о действующих на систему возмущениях, то алгоритмы, полученные с учетом этой информации, как правило, оказываются лучше разработанных с помощью H^∞ - теории управления.

Наибольший эффект можно получить при использовании комбинации регуляторов, синтезированных из условия наилучшего использования положительных свойств обоих типов регуляторов. Нахождение оптимального регулятора, минимизирующего H^2 - норму также сводится к решению двух уравнений Риккати по управлению:

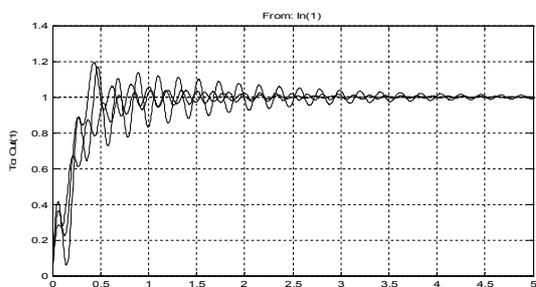
Результаты моделирования. В качестве примера на (Рис. 1) показаны переходные процессы скорости приводного двигателя а), силы упругости б), скорости редуктора в) и натяжения г) робастной системы управления по заданию на регулятор скорости, а на (Рис. 2) показаны переходные процессы тех же переменных состояния по заданию на регулятор натяжения обмоточной машины для трех радиусов размотки.

При подаче управления на регулятор скорости установившиеся значения скоростей приводного механизма $V_n(t)$, редуктора $V_p(t)$ и приводного двигателя равны заданному значению скорости регулирования, а установившиеся значения натяжений обмоточной ленты $S(t)$ равно нулю. При подаче сигнала управления на регулятор натяжения установившиеся значения скорости приводного двигателя $V_o(t)$, редуктора $V_p(t)$ и приводного механизма $V_n(t)$ равны нулю, а установившиеся значения $S(t)$ равно заданному значению, т.е. единице. Переходные процессы переменных состояния наблюдателя также внешне похожи на переходные процессы переменных состояния исходной системы, однако существенно отличаются по амплитуде.

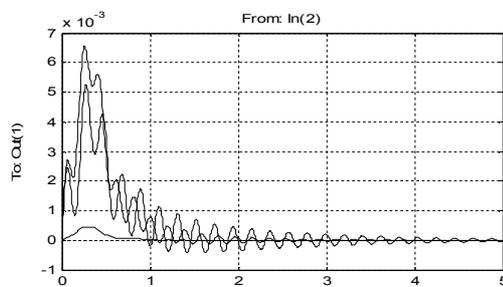
Заключение

Таким образом, применение робастных регуляторов позволило получить приемлемые показатели качества для всего диапазона изменения радиусов размотки обмоточной машины по мере выработки кружка с обмоточной лентой. За счет введения двух интегрирующих звеньев в робастной системе управления обеспечивается астатизм как по каналу регулирования скоростей вращения приводного двигателя и приводного механизма, так и по каналу регулирования натяжения обмоточной ленты. Причем, влияние каналов

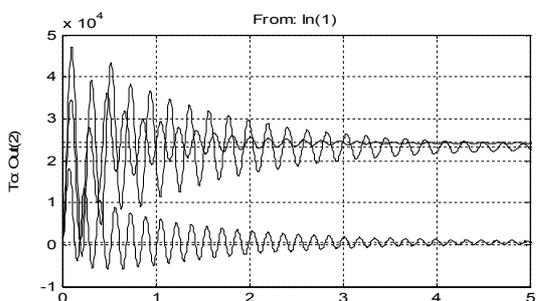
регулювання друг на друга проявляється в переходних режимах, а в установившихся режимах регулюємія змінні рівні задаючим впливям. Застосування робастних регуляторів дозволило отримати показники якості, задовольняючі технічним вимогам, пред'являемим к системі управління, з допомогою одного робастного регулятора для трьох радіусів размотки, в то время как попытка применения оптимальных регуляторов, синтезированных для одного – среднего радиуса размотки, приводила к потере устойчивости системы для начального и конечного радиусов размоток.



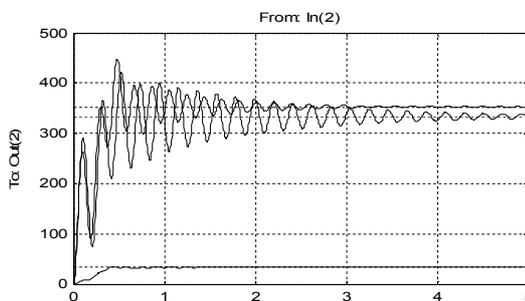
а)



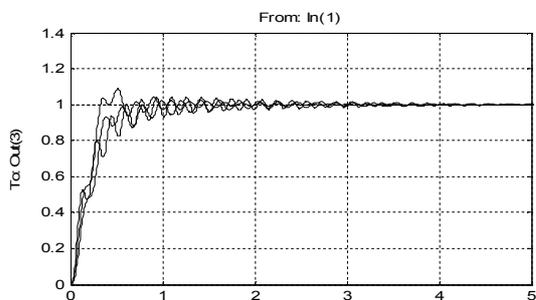
а)



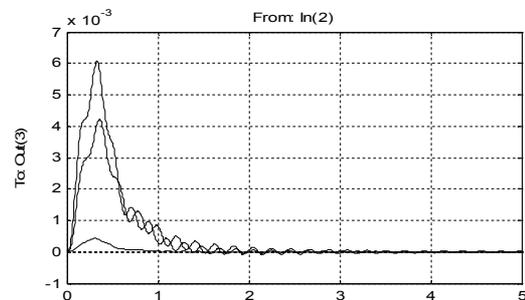
б)



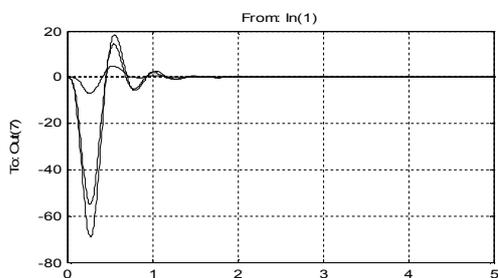
б)



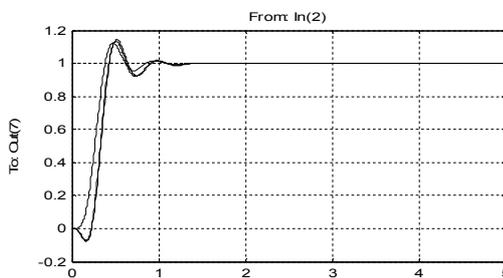
в)



в)



г)



г)

Рисунок 1 - Переходные процессы скорости приводного двигателя а), силы упру гости б), скорости редуктора в) и натяжения г) по заданию на регулятор скорости

Рисунок 2 - Переходные процессы скорости приводного двигателя а), силы упру гости б), скорости редуктора в) и натяжения г) по заданию на регулятор натяжения

Список использованной литературы

1. Кузнецов Б.И. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, В.В. Коломиец. – Харьков: УИПА, 2005.–511с.
2. Кузнецов Б.И. Проектирование взаимосвязанных систем управления / Б.И. Кузнецов, Б.В. Новоселов, А.А. Чаусов. – К.: Техника, 1994.–232с.
3. Кузнецов Б.И. Проектирование систем со сложными кинематическими цепями / Б.И. Кузнецов, Б.В. Новоселов, И.Н. Богаенко. – Киев: Техника, 1996.–282с.
4. Khargonekar P. H^∞ optimal control with state feedback / P.Khargonekar, I. Petersen, M. Rotea // IEEE Trans. Automat. Contr., AC. – 1988. – 33. – P.783 – 786.
5. State – space solutions to standard H_2 and H^∞ control problems / [J.Doyle, K. Glover, P.Khargonekar, and B. Francis //IEEE Trans. Automat. Contr., AC – 34. – 1989. - no 8. –P.831 – 847.
6. Doyle J. Synthesis of Robust Controllers and Filters /J.C. Doyle // Proc. IEEE Conf. On Decision and Control, (San Antonio, TX, December 14 – 16), 1983.
7. Safonov M.G. H^∞ Control Synthesis for a Large Space Structure / M.G. Safonov, R.Y. Chiang and H. Flashner //AIAAJ. Guidance, Control and Dynamics.– 1991. -P. 513 – 520.
8. Stein G. Tutorial Workshop on H^∞ Control Theory / G. Stein. – Los Angeles, 1987.

Надійшла до редакції:
22.02.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Ковальов Є.Б.

Б.Б. Кобилянський

Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут УІПА

Дослідження чутливості оптимального і робастного управління трьохмасовою обмотувальною машиною. Виконано порівняння чутливості системи автоматичного регулювання швидкості обертання приводного двигуна і натягнення обмотувальної стрічки до зміни параметрів обмотувальної машини як об'єкту управління в процесі вироблення обмотувальної стрічки при оптимальному і робастному управлінні. Наведений приклад динамічних характеристик синтезованої системи.

Ключові слова: обмотувальна машина, робастний регулятор, оптимальний регулятор.

B.B. Kobilyanskiy

Educational and Scientific Professional Pedagogical Institute UEPA

Research of sensitiveness of optimal and robust control by a three-mass winding machine. To improve the quality of the coating process of winding tape with sufficient accuracy to support the technological parameters of the winding process at a given level. To improve the accuracy of controlling the speed of the drive mechanism and tension winding tape wrapping machines are equipped with modern electromechanical systems of automatic maintenance of process parameters at a given level. This article deals with the questions of dynamic characteristics stabilization for winding machine control system with the help of optimal and robust control for winding machine with elastic elements as three– masses system. The example of dynamic characteristics for such systems is given. Use of robust controllers possible to obtain acceptable quality for the entire range of radii unwinding of winding machines and purges the mug with winding tape. Due to the introduction of two integrating links to robust control system is provided via astatism as controlling the speed of the drive motor and the drive mechanism and the canal winding tension control tape. The use of robust controllers yielded quality that meet the technical requirements for the control system, with one of the robust controller for three radii unwinding, while the attempt to apply optimal controllers synthesized for one - medium range unwinding, leading to loss of stability of the system.

Keywords: winding machine, robust regulator, optimal regulator.