

РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВНЕШНИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Введение. Для многих технических объектов актуальной проблемой является создание систем управления внешним магнитным полем. В частности, такая задача возникает при магнитной защите подвижных объектов, при управлении ориентацией космических аппаратов на околоземной орбите за счет взаимодействия магнитного поля космического аппарата с магнитным полем Земли, при управлении магнитным полем энергонасыщенных технических объектов для уменьшения вредного влияния на окружающую среду.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [1] рассмотрены вопросы синтеза оптимального управления внешним магнитным полем технических объектов. Однако синтезированная таким образом оптимальная по квадратичному критерию система управления чувствительна к изменению распределения напряженности магнитного поля технических объектов, происходящему в процессе ее функционирования.

Цель работы. Целью данной работы является повышение точности управления внешним магнитным полем технических объектов за счет применения робастного регулятора. Задачей работы является разработка методики синтеза робастной системы управления внешним магнитным полем технических объектов.

Постановка проблемы. Повышение точности систем управления внешним магнитным полем технических объектов требует разработки уточненных математических моделей технических объектов как источников магнитного поля и синтеза эффективных алгоритмов управления на основании имеющейся информации о параметрах магнитного поля.

Метод решения. Рассмотрим задачу управления внешним магнитным полем технических объектов с помощью системы специальных управляемых источников магнитного поля (обмоток с регулируемым током), установленных на техническом объекте [2]. При этом напряженность внешнего магнитного поля $\vec{H}(\vec{x}_i, t)$ технического объекта в точке \vec{x}_i рассматриваемого пространства в момент времени t состоит из двух составляющих: напряженности магнитного поля $\vec{H}_y(\vec{x}_i, \vec{u}(t), t)$ управляемых источников, зависящей от вектора управления $\vec{u}(t)$ (токов в обмотках) [3], и напряженности магнитного поля $\vec{H}_n(\vec{x}_i, t)$ неуправляемых источников, в качестве которых могут выступать рабочие токи электрооборудования, вихревые токи, возникающие в проводящих массах при перемещениях технического объекта в магнитном поле Земли, остаточная и индуцированная намагниченность конструктивных элементов технического объекта. Задача управления внешним магнитным полем заключается в формировании такого вектора управления $\vec{u}(t)$, при котором напряженность внешнего магнитного поля была бы близка к заданному (желаемому) распределению поля $\vec{H}_j(\vec{x}_i, t)$.

Рассмотрим дискретный вариант этой задачи. Разобьем рассматриваемое пространство на N дискретных точек \vec{x}_i [4]. В частности, для трехмерного пространства каждая точка \vec{x}_i характеризуется тремя координатами i, j, k так, что информация о напряженности магнитного поля в точке \vec{x}_i в момент времени t является функцией этих трех координат и может храниться в виде трехмерного массива. Обозначим напряженность магнитного поля технического объекта, его управляемых и неуправляемых составляющих, а также желаемое значение напряженности в точке \vec{x}_i в момент времени t соответственно как $\vec{H}(i, j, k, t)$, $\vec{H}_y(i, j, k, t)$, $\vec{H}_n(i, j, k, \vec{u}(t), t)$, $\vec{H}_j(i, j, k, t)$. Тогда задача управления внешним магнитным полем технического объекта, сформулированная как задача минимума интегрального критерия качества, может быть представлена в виде:

$$I(\vec{u}(t)) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \left[\vec{H}_n(i, j, k, t) + \vec{H}_y(i, j, k, \vec{u}(t), t) - \vec{H}_j(i, j, k, t) \right] \gamma(i, j, k, t) \times \\ \times \left[\vec{H}_n(i, j, k, t) + \vec{H}_y(i, j, k, \vec{u}(t), t) - \vec{H}_j(i, j, k, t) \right] \quad (1)$$

Построение математических моделей составляющих магнитного поля технического объекта $\vec{H}_y(i, j, k, t)$ и $\vec{H}_n(i, j, k, \vec{u}(t), t)$ и их определение в реальном масштабе времени связано с определенными погрешностями. Если в системе технически возможна установка датчиков напряженности магнитного поля, то система управления может быть построена по принципу обратной связи [2]. В этом случае для реализации управления необходимо восстанавливать значения векторов напряженности внешнего магнитного поля технического объекта $\vec{H}(i, j, k)$ во всех точках i, j, k рассматриваемого пространства. Сформируем вектор переменных состояния внешнего магнитного поля технического объекта $\vec{z}(t)$ в момент времени t , компонентами которого являются векторы

напряженности внешнего магнитного поля технического объекта в момент времени t , в следующем виде: $\bar{z}(\bar{u}(t), t) = \{\bar{H}(i, j, k, \bar{u}(t), t)\}$. Тогда вектор измеряемых компонент напряженности магнитного поля $\bar{y}(t)$ в точках установки датчиков в момент времени t может быть определен соотношением $\bar{y}(t) = C\bar{z}(t) + \bar{w}(t)$, в котором $\bar{w}(t)$ - вектор погрешностей измерения.

В настоящее время наиболее широкое распространение получило решение задачи цифрового робастного управления во временной области. Рассмотрим решение задачи во временной области. Запишем для исходной дискретной системы разностное уравнение состояния, вектор контролируемых параметров $\bar{z}(k)$ и вектор измеряемых переменных $\bar{y}(k)$ в стандартной форме, принятой в H^∞ теории [5, 6]:

$$\begin{aligned}\bar{x}(k+1) &= A\bar{x}(k) + B_1\bar{w}_1(k) + B_2\bar{u}(k), \\ \bar{z}(k) &= C_1\bar{x}(k) + D_{11}\bar{w}_1(k) + D_{12}\bar{u}(k), \\ \bar{y}(k) &= C_2\bar{x}(k) + D_{21}\bar{w}_1(k) + D_{22}\bar{u}(k).\end{aligned}$$

В вектор контролируемых параметров $\bar{z}(k)$, кроме критерия качества (1), включим также вектор управления $\bar{u}(k)$, а также переменные состояния, которые необходимо ограничивать при синтезе системы. Вектор $\bar{w}_1(k)$ включает задающие воздействия на систему управления, возмущающие воздействия на объект управления, а также помехи измерения датчиками напряженности внешнего магнитного поля технических объектов.

Для нахождения цифрового робастного регулятора необходимо решить уравнение Риккати по управлению

$$X = \bar{C}^T \bar{J} \bar{C} + A^T X A - \bar{L}^T R^{-1} \bar{L},$$

где

$$\begin{aligned}\bar{R} &= \bar{D}^T \bar{J} \bar{D} + B^T X B, \\ \bar{L} &= \bar{D}^T \bar{J} \bar{C} + B^T X A.\end{aligned}$$

Здесь

$$\bar{C} = \begin{bmatrix} C_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{D} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ I_1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{J} = \begin{bmatrix} I_p & 0 \\ 0 & -\gamma^2 I_1 \end{bmatrix}$$

Для нахождения цифрового робастного наблюдателя необходимо решить уравнение Риккати по наблюдению

$$Z_q = \hat{B} \hat{J} \hat{B}^T + \hat{A} Z \hat{A}^T - \hat{L} \hat{R}^{-1} \hat{L}^T,$$

где

$$\hat{R} = \hat{D} \hat{J} \hat{D}^T + \hat{C} Z \hat{C}^T, \quad \hat{L} = \hat{B} \hat{J} \hat{D}^T + \hat{A} Z \hat{C}^T, \quad \hat{J} = \begin{bmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & -\gamma^2 I_m \end{bmatrix}.$$

Тогда цифровой робастный регулятор и цифровой робастный наблюдатель представляет собой цифровой робастный компенсатор, входом которого является измеряемый вектор исходной системы $\bar{y}(k)$, а выходом является вектор управления исходной системы.

Результаты моделирования. Применение такого подхода позволяет с помощью робастного наблюдателя фильтровать помехи измерения параметров магнитного поля с помощью датчиковой аппаратуры, восстанавливать вектор переменных состояния параметров магнитного поля по измеряемому вектору выходных координат и формировать вектор управления – токи в обмотках управления для компенсации внешнего магнитного поля технических объектов.

Выводы. Таким образом, в работе предложено использовать робастное управление для повышения точности и снижения чувствительности к неконтролируемым вариациям напряженности магнитного поля для управления внешним магнитным полем технических объектов.

Литература

1. Розов В.Ю., Кузнецов Б.И., Ассуиров Д.А. Оптимальное управление внешним магнитным полем технических объектов. Вестник НТУ “ХПИ”. Сб. научн. работ. - Харьков: НТУ “ХПИ”, 2005, № 45.
2. Розов В.Ю. Внешние магнитные поля силового электрооборудования и методы их уменьшения /Препр.№772 Институт электродинамики НАН Украины. – Киев, 1995. – 42с.
3. Кузнецов Б.И., Богаенко К.И., Грабовский Г.Г. Системы управления высококачественными источниками постоянного тока. – Киев.: Техника. 1999. – 236с.
4. Mosher J., Lewis P., Leahy R. Multiple Dipole Modeling and Localization from Spatio – Temporal MEG Data. IEEE Transaction on biomedical Engineering. vol. 39. No.6. June 1992. P. 541 – 557.
5. Кузнецов Б.И., Новоселов Б.В., Богаенко И.Н. Проектирование многоканальных систем оптимального управления. Киев, Техника, 1993.-242с.
6. Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005. – 511с.

Rozov V.J, Kuznetsov B.I., Assuirov D.A.

ROBUST CONTROL OF EXTERNAL MAGNETIC FIELD FOR TECHNICAL OBJECTS

Robust control of external magnetic field for technical objects with the help of a magnetic field sources is considered.
Robust estimation of external magnetic field for technical objects is considered.