Розов В.Ю., Кузнецов Б.И., ***Украина***
Ассуиров Д.А., Давыдов А.А. ***Харьков***

Научно-технический центр магнетизма технических объектов НАН Украины

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ РОБАСТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами. Актуальной проблемой для многих технических объектов является создание систем управления их внешним или внутренним магнитным полем. Параметры внутреннего магнитного поля необходимо поддерживать на уровне магнитного поля Земли для выполнения экологических норм внутри рабочих помещений энергонасыщенных объектов, а также для создания комфортных условий жизни и работы. Внешним магнитным полем необходимо управлять, в частности, при управлении ориентацией космических аппаратов на околоземной орбите для их взаимодействия с магнитным полем Земли. Актуальной проблемой для надводных кораблей и подводных объектов оборонного назначения является уменьшение уровня их внешнего магнитного поля.

Анализ последних достижений и публикаций. Вопросы построения математических моделей технических объектов как источников магнитного поля рассмотрены в работах [1-3]. В этих работах рассмотрены также алгоритмы разомкнутых, замкнутых и комбинированных систем управления внешним магнитным полем технических объектов, а также математические модели этих систем управления [4-5]. Вопросы синтеза динамических систем управления внешним магнитным полем технических объектов рассмотрены в работе [6], однако, синтезированные таким образом регуляторы и наблюдатели являются достаточно сложными устройствами, а их синтез и реализация представляет определенные технические трудности. Применение типовых ПИД регуляторов в большинстве практических случаев позволяет синтезировать системы, удовлетворяющие предъявленным к ним требованиям. Кроме того, синтезированные таким образом системы обладают робастностью. Рассмотрим один из подходов к синтезу таких систем.

Цель работы. Целью данной работы является разработка метода параметрического синтеза робастного управления магнитным полем технических объектов, позволяющего упростить техническую реализацию и обеспечить работоспособность системы при изменении моделей объектов управления и внешних воздействий.

Изложение материала исследования, полученных научных результатов. Будем считать, что количество регулируемых переменных равно количеству управляющих входов магнитных исполнительных элементов. Примем структуру системы управления в следующим виде: на вход ПИД регулятора каждого канала подадим ошибку между заданным и фактическим значением регулируемой координаты i-го канала. В частности, в работе [6] предлагаются в качестве регулируемых координат использовать величины магнитных потенциалов в середине источника управляющего поля поверхностно распределенного типа. Введем искомый вектор $\vec{\gamma}$, компонентами которого являются искомые коэффициенты усиления ПИД регуляторов каналов.

Разобьем рассматриваемое пространство на n дискретных точек $\vec{p}_i$ [3]. В частности, для трехмерного пространства каждая точка $\vec{p}_i$ характеризуется тремя координатами x, y, z так, что информация о напряженности магнитного поля в точке $\vec{p}_i$ в момент времени t является функцией этих трех координат и может храниться в виде трехмерного массива. Тогда, обозначив напряженности магнитного поля в точке $\vec{p}_i$ в момент времени t технического объекта $\vec{H}_o(x,y,z,q_1,t)$, компенсационных обмоток $\vec{H}_y(x,y,z,q_2,\gamma,t)$ и желаемого значения напряженности поля задача параметрического синтеза робастного управления магнитным полем технических объектов может быть сведена к решению минимаксной задачи нелинейного программирования

$$Z^* = \min_{\gamma} \max_{q_1,q_2} \sum_{t=0}^{T}\sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{n}\sum_{z=1}^{n}\left[\vec{H}_o(x,y,z,q_1,t)+\vec{H}_y(x,y,z,q_2,\gamma,t)-\vec{H}_ж(x,y,z,t)\right]^T\gamma(x,y,z,t)\times$$
$$\times\left[\vec{H}_o(x,y,z,q_1,t)+\vec{H}_y(x,y,z,q_2,\gamma,t)-\vec{H}_ж(x,y,z,t)\right] \quad (1)$$

Здесь введены векторы q_1, q_2 неопределенности моделей напряженности магнитного поля в точке $\vec{p}_i$ в момент времени t технического объекта $\vec{H}_o(x,y,z,q_1,t)$ и компенсационных обмоток $\vec{H}_y(x,y,z,q_2,\gamma,t)$.

Для стационарных систем задача параметрического синтеза робастного управления магнитным полем технических объектов может быть сведена к решению следующей минимаксной задачи нелинейного программирования

$$Z^* = \min_{\gamma} \max_{q_1,q_2} \sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{n}\sum_{z=1}^{n}\left[\vec{H}_o(x,y,z,q_1)+\vec{H}_y(x,y,z,q_2,\gamma)-\vec{H}_ж(x,y,z)\right]^T\gamma(x,y,z)\times$$
$$\times\left[\vec{H}_o(x,y,z,q_1)+\vec{H}_y(x,y,z,q_2,\gamma)-\vec{H}_ж(x,y,z)\right]. \quad (2)$$

В рамках такой постановки может быть решена технически важная задача определения точки пространства

(x^*, y^*, z^*) при заданном векторе параметров регуляторов $\vec{\gamma}$, в которой напряженность поля имеет минимальное значение

$$x^*, y^*, z^* = \arg \min_{x,y,z} \max_{q_1,q_2} \left| \vec{H}_o(x,y,z,q_1) + \vec{H}_y(x,y,z,q_2,\gamma) \right|. \quad (3)$$

Такая задача, в частности, решается при выборе места установки магнитометров для измерения магнитного поля Земли на искусственном спутнике, управление и стабилизация которого осуществляется с помощью электромагнитов. Если в системе нет управляющих обмоток, то эта задача может быть сведена к следующей задаче нелинейного программирования.

$$x^*, y^*, z^* = \arg \min_{x,y,z} \max_{q_1} \left| \vec{H}_o(x,y,z,q_1) \right|. \quad (4)$$

Если в системе отсутствуют прямые ограничения на вектор управления и переменные состояния и они учитываются надлежащим выбором вектора цели робастного управления, то для решения сформулированных минимаксных задач нелинейного программирования без прямых ограничений используется квазиньютоновский метод с аппроксимацией матрицы Гессе по алгоритму Левенберга-Маквардта.

Для улучшения обусловленности целевой функции целесообразно учитывать ограничения на управления, переменные состояния, а, возможно, и параметры ПИД регуляторов в виде прямых ограничений $G(\vec{x}) \le 0$. Такая исходная задача нелинейного программирования с ограничениями решается методом последовательного квадратичного программирования. Для решения задачи параметрической робастной оптимизации необходимо многократно вычислять значения целевой функции и ограничений. При этом предполагается, что на техническом объекте размещены управляемые источники магнитного поля определенным образом ориентированные в пространстве относительно технического объекта в зависимости от типа источников магнитного поля используют различные математические модели: для источников мультипольного типа используют потенциальный ряд Гаусса, для источников поверхностно-распределенного типа используют интегральное управление Фредгольма второго рода внешней задачи Дирихле, для источников объемно-распределенного типа используют уравнение Пуассона. С помощью этих моделей решается прямая задача магнитостатики.

Результаты моделирования. Применение такого подхода позволяет по измеряемому вектору выходных координат с помощью типовых регуляторов формировать вектор управления – вектор токов в обмотках для управления параметрами магнитного поля технических объектов.

Выводы из проведенного исследования, перспективы этого направления. Разработан метод параметрического синтеза робастного управления магнитным полем технических объектов с помощью управляемых источников магнитного поля. Задача параметрического синтеза робастного управления магнитным полем сводится к решению задача нелинейного программирования с ограничениями решается методом последовательного квадратичного программирования.

Приведены примеры параметрического синтеза робастного управления магнитным полем технических объектов с помощью управляемых источников магнитного поля. Показана высокая эффективность синтезированной системы робастного управления при малой чувствительности к изменению параметров и структуры моделей объектов управления и моделей задающих и возмущающих воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розов В.Ю., Кузнецов Б.И., Ассуиров Д.А. Стохастический синтез робастной системы управления магнитным полем технических объектов / 16 Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика – 2009». Тези доповідей. – Чернівці: Книги – XXI, 2009. – С. 209 – 211.

2. Розов В.Ю., Кузнецов Б.И., Ассуиров Д.А. Управление магнитным полем технических объектов. Автоматика-2008: Одесса: ОНМА. С. 480-483.

3. 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.

4. Розов В.Ю., Кузнецов Б.И., Ассуиров Д.А. Робастное управление внешним магнитным полем технических объектов//Збірник наукових праць Дніпродзержинського Державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». /Дніпродзержинськ: ДГТУ, 2007. – С. 418 – 419.

5. Розов В.Ю., Кузнецов Б.И., Ассуиров Д.А., Давыдов А.А. Стохастический синтез динамического блока робастной системы управления магнитным полем технических объектов / Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика» научно-технического журнала «ЭЛЕКТРОИНФОРМ» - Львов: ЕКОинформ, 2009. – С. 475-476.

6. Розов В.Ю., Кузнецов Б.И., Ассуиров Д.А., Давыдов А.А. Синтез динамического блока системы управления магнитным полем технических объектов / Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. раб.- Харьков: НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Электротехника, электроника и электропривод». 2008.- №30. С. 226 – 227.