

Научно-технический центр магнетизма технических объектов НАН Украины

## СИНТЕЗ НЕЛИНЕЙНОГО РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ КОМПЕНСАЦИИ ИСКАЖЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ

*Разработан метод синтеза робастных систем компенсации искажений геомагнитного поля и магнитного поля промышленной частоты с помощью управляемых источников магнитного поля на основе аналитических моделей нелинейностей в зонах длительного пребывания людей. Приведен пример синтезируемой системы.*

*Розроблено метод синтезу робастних систем компенсації спотворень геомагнітного поля і магнітного поля промислової частоти за допомогою керованих джерел магнітного поля на основі аналітичних моделей нелінійностей у зонах тривалого перебування людей. Наведено приклад системи, що синтезується.*

*The robust systems synthesis method of geomagnetical field and industrial frequency magnetic-field of distortions indemnification by means of magnetic-field guided sources with analytical nonlinearity in man protracted stay areas is developed. An example of the synthesized system is given.*

**Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами.** Магнитное поле техногенного происхождения является одним из экологических факторов, негативно влияющих на биологические объекты. Отклонение геомагнитного поля от его естественного значения оказывает негативное влияние на организм человека. Особенно опасными является снижение геомагнитного поля в зонах длительного пребывания человека. Магнитное поле промышленной частоты является канцерогенным и приводит к раковым заболеваниям. В связи с этим во всем мире проводятся интенсивные исследования и комплекс мероприятий по поддержанию параметров внутреннего магнитного поля на уровне магнитного поля Земли для выполнения экологических норм внутри рабочих помещений энергонасыщенных объектов, а также для создания комфортных условий жизни и работы. Рассмотрим синтез такой системы управления магнитным полем с помощью системы специальных управляемых источников магнитного поля - обмоток с регулируемым током, установленных в зоне, где необходимо поддерживать параметров внутреннего магнитного поля в заданных пределах.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Вопросы построения математических моделей источников магнитного поля рассмотрены в работах [3-6]. В этих работах рассмотрены также алгоритмы разомкнутых, замкнутых и комбинированных систем управления внешним магнитным полем технических объектов, а также математические модели этих систем управления [1,2]. Вопросы синтеза систем управления внешним магнитным полем технических объектов рассмотрены в работах [7-9], однако, в этих работах не рассмотрены особенности построения и синтеза робастных систем компенсации искажений геомагнитного поля и магнитного поля промышленной частоты с помощью управляемых источников магнитного поля в зонах длительного пребывания человека.

**Цель работы.** Целью данной работы является разработка метода синтеза робастных систем компенсации искажений геомагнитного поля и магнитного поля промышленной частоты с аналитическими нелинейностями с помощью управляемых источников магнитного поля в зонах длительного пребывания человека.

**Изложение материала исследования, полученных научных результатов.** Предполагается, что в зоне компенсации искажения магнитного поля размещены управляемые источники магнитного поля ориентированные определенным образом в пространстве. Задачей синтеза системы управления магнитным полем технического объекта является проектирование такого динамического блока, входом которого является измеряемый вектор напряженностей, а выходом является вектор управления исходной системы. Рассмотрим исходную нелинейную систему, описывающую управляемые источники магнитного поля - обмотки с регулируемым током, а также источники питания в виде следующего уравнения состояния

$$\dot{x} = f(x) + g_{\omega}(x)\omega + g_u(x)u,$$

В этих выражениях  $x$  – вектор состояния исходной системы управления,  $u$  – вектор управления и  $\omega$  – вектор внешних неконтролируемых воздействий. В вектор внешних неконтролируемых воздействий включены возмущения, приводящие к отклонению параметров магнитного поля от их естественного уровня, помехи измерения параметров магнитного поля с помощью измерительных устройств, а также отклонения параметров исходной модели системы от принятой, обусловленные неточностью исходной математической модели и естественными изменениями параметров математической модели в ходе работы системы. Введем вектор цели

$$z = h_z(x) + k_{uz}(x)u,$$

компонентами, которого являются значения напряженности магнитного поля в заданных точках пространства, у которых необходимо поддерживать па-

параметры внутреннего магнитного поля в заданных пределах. Эта задача в общем виде не имеет решения.

В рассматриваемой исходной нелинейной системе все нелинейные функции являются аналитическими и могут быть представлены в виде следующих рядов

$$f(x) = Fx + \sum_{k=2}^{\infty} f^{[k]}(x),$$

$$V(x) = \frac{1}{2} x^T Xx + \sum_{k=3}^{\infty} V^{[k]}(x),$$

$$R(x) = \left( \frac{1}{\gamma^2} g_{\omega}(x) g_{\omega}^T(x) - g_u(x) g_u^T(x) \right) =$$

$$= \left( \frac{1}{\gamma^2} G_{\omega} G_{\omega}^T - G_u G_u^T \right) + \sum_{k=1}^{\infty} R^{[k]}(x),$$

$$\theta(x) = h_z^T(x) h_z(x) = x^T H_z^T H_z x + \sum_{k=3}^{\infty} \theta^{[k]}(x),$$

$$\phi(x) = x^T \Phi x + \sum_{k=3}^{\infty} \phi^{[k]}(x).$$

В этих выражениях индекс  $k$  обозначает порядков соответствующей формы.

Управление в замкнутой системе формируется по полному вектору состояния в следующем виде

$$u = -g_u^T(x) v_x^T(x).$$

Решение этой задачи сводится к приближенному решению уравнения Гамильтона – Якоби – Беллмана – Айзекса [8].

Для реализации управления по полному вектору состояния строится робастный наблюдатель полного вектора состояния по вектору измеряемых переменных.

**Выводы из проведенного исследования, перспективы этого направления.** Разработан метод синтеза робастных систем компенсации искажений геомагнитного поля и магнитного поля промышленной частоты с помощью управляемых источников магнитного поля в зонах длительного пребывания людей. Приведены примеры синтезированных систем.

#### Список использованной литературы

1. Ассуиров Д.А. Исследование системы активного экранирования магнитного поля постоянных токов / Д.А. Ассуиров // Электротехника і електромеханіка. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – № 2. – С. 63-64.
2. Ассуиров Д.А. Управление внешним магнитным полем технических объектов с поверхностно-распределенными источниками управляющего поля в замкнутой системе / Д.А. Ассуиров // Техн. ел.динаміка. – 2008. – № 1. – С. 19-24.
3. Розов В.Ю. Замкнутые системы компенсации магнитного поля технических объектов с различными способами формирования обратных связей / В.Ю. Розов, Д.А. Ассуиров, С.Ю. Реуцкий // Техн. ел.динаміка. – Ч. 4. – 2008. – С. 97-100.

4. Розов В.Ю. Внешние магнитные поля силового электрооборудования и методы их уменьшения. / В.Ю. Розов // Преп. № 772 Ин-та электродинамики НАН Украины. – К.: 1995. – 42 с.

5. Розов В.Ю. Селективная компенсация пространственных гармоник магнитного поля энергосыщенных объектов / В.Ю. Розов // Техн. ел.динаміка. – 2002. – № 1. – С. 8-13.

6. Розов В.Ю. Принципы построения систем автоматического управления внешним магнитным полем технических объектов / В.Ю. Розов, Д.А. Ассуиров // Вестник НТУ «ХПІ». Сб. научн. работ. – Харьков: – 2005. – № 45. – С. 101-102.

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

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

9. Розов В.Ю. Параметрический синтез робастной системы управления магнитным полем технических объектов / В.Ю. Розов, Б.И. Кузнецов, Д.А. Ассуиров // XVII Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика – 2010». – Харків: ХНУРЕ. – 2010. – С. 277-279.

Получено 27.05.2011



Розов Владимир Юрьевич,  
чл. корр. НАН Украины,  
директор,  
НТЦ МТО НАН Украины,  
61106, г. Харьков,  
ул. Индустриальная, 19,



Кузнецов Борис Иванович,  
д.т.н., зав. отделом,  
НТЦ МТО НАН Украины,  
61106, г. Харьков,  
ул. Индустриальная, 19  
E-mail: bikuznetsov@mail.ru



Пелевин Дмитрий Евгеньевич,  
к.т.н., научн. сотрудник,  
НТЦ МТО НАН Украины  
61106, г. Харьков,  
ул. Индустриальная, 19