

УДК 621.3.01

Б. И. Кузнецов, д-р техн. наук,
И. В. Бовдуй, **А. В. Волошко**, **Е. В. Виниченко**, кандидаты техн. наук,
Д. А. Котляров

СИНТЕЗ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ АКТИВНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Аннотация. Разработан метод синтеза комбинированных систем активного экранирования техногенного магнитного поля промышленной частоты внутри заданной области пространства с помощью управляемых источников магнитного поля на основе решения задачи нелинейного программирования, в которой вычисления целевой функции и ограничений выполняются на основании закона Био – Савара – Лапласа.

Ключевые слова: техногенное магнитное поле, промышленная частота, комбинированная система, активное экранирование, синтез

B. Kuznetsov ScD.,
I. Bovdui, PhD., **A. Voloshko** PhD., **E. Vinichenko** PhD.,
D. Kotliarov

SYNTHESIS OF ACTIVE SHIELDING FEED-FORWARD SYSTEM OF TECHNOGENIC POWER FREQUENCY MAGNETIC FIELD INTO THE SET AREA OF SPACE

Abstract. The method of power frequency technogenic magnetic fields active screening in feed-forward system synthesis into the set area of space using controlled magnetic fields is reduced to solving a nonlinear programming problem, in which calculation of goal function and constraints based on the Biot – Savart – Laplace law.

Keywords: power frequency technogenic magnetic field, active shielding feed-forward system, synthesis

Б. И. Кузнецов, д-р техн. наук,
И. В. Бовдуй, **О. В. Волошко**, **О. В. Виниченко**, кандидаты техн. наук,
Д. О. Котляров

СИНТЕЗ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ АКТИВНОГО ЕКРАНУВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ

Анотація. Розроблено метод синтезу комбінованих систем активного екранування техногенного магнітного поля промислової частоти всередині заданої області простору за допомогою керування джерел магнітного поля на основі вирішення задачі нелінійного програмування, в якій обчислення цільової функції та обмежень виконуються на підставі закону Біо – Савара – Лапласа.

Ключові слова: техногенне магнітне поле, промислова частота, комбінована система, активне екранування, синтез

Постановка задачи исследования. Для выполнения санитарных норм по магнитному полю промышленной частоты внутри рабочих помещений энергонасыщенных объектов и в жилых помещениях во всем мире проводятся мероприятия по поддержанию параметров магнитного поля на заданном уровне [1 – 3]. Для уменьшения уровня техногенного магнитного поля разрабатываются системы пассивного, активного и интегрированного экранирования. В работах [1 – 2] рассмотрены вопросы построения систем управления магнитным полем технических объектов с различными способами формирования обратных связей.

Цель работы. Целью данной работы является разработка метода синтеза комбинированных систем активного экранирования техногенного магнитного поля промышленной частоты в заданной области пространства.

Метод решения. Рассмотрим задачу, синтеза системы активного экранирования магнитного поля промышленной частоты в заданном пространстве,

с помощью системы специальных управляемых источников магнитного поля – обмоток с регулируемым током, установленных определенным образом [1]. Схема синтезируемой системы показана на рис. 1.

На рис. 1 введены матричные передаточные функции W_0 формирования индукции исходного магнитного поля $B_0(t)$, порождаемого токами токопроводов $I_0(t)$ в точках расположения магнитометров, и матричные передаточные функции W_{0z} формирования индукции исходного магнитного поля $B_{0z}(t)$, порождаемого этими же токами токопроводов $I_0(t)$ в L точках P рассматриваемого пространства, матричные передаточные функции W_y формирования индукции компенсирующего магнитного поля $B_y(t)$, порождаемого токами $I_y(t)$ обмоток магнитных исполнительных органов в точках расположения магнитометров, и матричные передаточные функции W_{yz} формирования индукции компенсирующего магнитного поля $B_{yz}(t)$, порождаемого этими же токами

© Кузнецов Б.И., Бовдуй И.В., Волошко А.В.,
Виниченко Е.В., Котляров Д.А., 2014

$I_y(t)$ обмоток магнитных исполнительных органов в L точках P рассматриваемого пространства. Заметим, что элементы этих матричных передаточных функций являются коэффициентами, рассчитанными на основании закона Био-Савара-Лапласа.

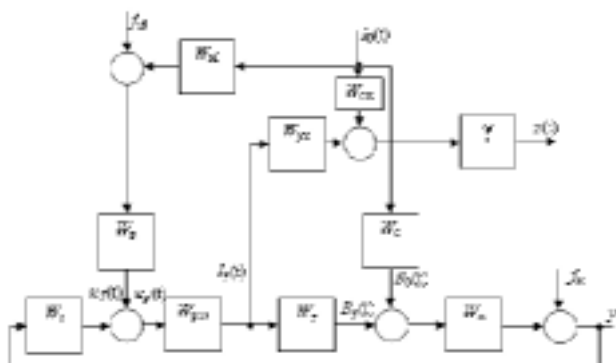


Рис. 1. Схема синтезируемой системы

Матричные передаточные функции W_p и W_z регуляторов формирования управлений $\vec{u}_p(t)$ и $\vec{u}_z(t)$ обмотками магнитных исполнительных органов соответственно по разомкнутому и замкнутому контурам регулирования. При этом, элементы матричных передаточных функции регуляторов замкнутых контуров регулирования W_z описывают ПИД регуляторы, а элементы матричных передаточных функции регуляторов разомкнутых контуров регулирования W_p описывают фазовращатели в виде звеньев чистого запаздывания с заданными фазой запаздывания φ и коэффициентом усиления. Матричная передаточная функция $W_{рег}$ описывает динамику усилителей мощности с внутренними регуляторами токов в обмотках магнитных исполнительных органов. Матричные передаточные функции W_u и W_{ul} описывают динамику магнитометров измерения индукции магнитного поля в местах установки магнитометров внутри рассматриваемого пространства и вблизи токопроводов, необходимых для реализации контуров управления по замкнутому и разомкнутому принципам управления. f_u и f_{ul} – помехи измерения индукции магнитного поля с помощью магнитометров, установленных соответственно внутри рассматриваемого пространства и вблизи токопроводов.

Результаты моделирования. Приведены результаты моделирования системы активного экранирования техногенного магнитного поля токопроводов электростанции на рабочем месте. Показано, что система эффективно, почти в 25 раз компенсирует магнитное поле в центральной части центрального сечения, на которую она настроена, однако по краям рабочей области эффективность системы существенно уменьшается.

Приведены также результаты экспериментальных исследований синтезированных систем.

Выводы. Разработан метод синтеза комбинированных систем активного экранирования техногенного магнитного поля промышленной частоты, внутри заданной области пространства, с помощью управляемых источников магнитного поля на основе решения задачи нелинейного программирования с ограничениями. Приведены примеры синтеза комбинированных систем активного экранирования техногенного магнитного поля промышленной частоты, создаваемого генераторными токопроводами электростанций и воздушными линиями электропередачи. Показана высокая эффективность синтезированных комбинированных систем при малой чувствительности к изменению параметров и структуры моделей объектов управления и моделей задающих и возмущающих воздействий.

Список использованной литературы

1. Active Magnetic Shielding (Field Cancellation), <http://www.emfservices.com/afcs.html>.
2. Beltran H., Fuster V., and García M., (2005), Magnetic Field Reduction Screening System for a Magnetic Field Source used in Industrial Applications, *9º Congreso Hispano Luso de Ingeniería Eléctrica (9CHLIE)*, Marbella (Málaga), pp. 84 – 99.
3. Celozzi S., and Garzia F., (2004), Active Shielding for Power-frequency Magnetic Field Reduction using Genetic Algorithms Optimization, *IEE Proc. Sci. Meas. Technol.* – Rome, Italy, Jan. 2004, Vol. 151, No. 1, pp. 2 – 7.
4. Brake H.J.M., Wieringa H.J., and Rogalla H., (1991), Improvement of the Performance of a mu-metal Magnetically Shielded Room by Means of Active Compensation (Biomagnetic Applications), *Measurement Science and Technology*, Vol. 2 (7), 596 p.
5. Yamazaki K., Kato K., and Kobayashi K., (2004), MCG Measurement in the Environment of Active Magnetic Shield, *Neurology and Clinical Neurophysiology*, Vol. 40, pp. 1 – 4.
6. Schnabel Allard, Voigt Jens, Burghoff Martin, Knappe-Gruneberg Silvia, Kittel Christoph, and Thiel Florian, (2003), Magnetic Shielding State of art, new Magnetic Shielding and Active Magnetic Shielding for low Noise Applications. *Rome, Italy*, Vol. 51, No. 5, pp. 137 – 142 (In English).
7. Shenkman Arie, Sonkin Naum, and Kamensky Vitaly, (2005), Active Protection from Electromagnetic Field Hazards of a High Voltage Power Line, *HAIT Journal of Science and Engineering B*, Vol. 2, No. 2, pp. 254 – 265.
8. Brake H.J.M., Huonker R., and Rogalla H., (1993), New Results in Active noise Compensation for Magnetically Shielded Rooms, *Meas. Sci. Technol.*, No. 4, pp. 1370 – 1375.
9. Kato, Kazuo, Yamazaki, Keita, Sato, Tomoya, Haga, Akira, Okitsu, Takashi, Muramatsu, Kazuhiro, Ueda, Tomoaki, Yoshizawa, and Masahito, (2005), Shielding Effect of Panel Type Active Magnetic Compensation, *IEEE Transactions on Fundamentals and Materials*. Tokyo, Vol. 125, No.2, pp. 99 – 106.

10. Розов В. Ю. Метод активного экранирования внешнего магнитного поля технических объектов / В. Ю. Розов, Д. А. Ассуиров // *Технічна електродинаміка*. – 2006. – № 3. – С. 13 – 16.

11. 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 // *Технічна електродинаміка*. – 2008. – Ч. 4. – С. 97 – 100.

Получено 13.06.2014

References

1. Active Magnetic Shielding (Field Cancellation), <http://www.emfservices.com/afcs.html> (In English)

2. Beltran H., Fuster V., and Garcia M., (2005), Magnetic Field Reduction Screening System for a Magnetic Field Source used in Industrial Applications, *9^o Congreso Hispano Luso de Ingeniería Eléctrica (9CHLIE)*, Marbella (Málaga), pp. 84 – 99 (In English).

3. Celozzi S., and Garzia F., (2004), Active Shielding for power-frequency Magnetic Field Reduction using Genetic Algorithms Optimization, *IEE Proc. Sci. Meas. Technol., Rome, Italy*, Vol. 151, No. 1, pp. 2 – 7 (In English).

4. Brake H.J.M., Wieringa H.J., and Rogalla H., (1991), Improvement of the Performance of a mu-metal Magnetically Shielded Room by Means of Active Compensation (Biomagnetic Applications), *Measurement Science and Technology*, Vol. 2 (7), 596 p. (In English).

5. Yamazaki K. Kato K., and Kobayashi K., (2004), MCG Measurement in the Environment of Active Magnetic Shield, *Neurology and Clinical Neurophysiology*, Vol. 40, pp. 1 – 4 (In English).

6. Schnabel A., Voigt J. Burghoff M., and Knappe-Gruneberg S., (2003), Magnetic Shielding State of art, new Magnetic Shielding and Active Magnetic Shielding for Low noise Applications, *Rome, Italy*, Vol. 51, No. 5, pp. 137 – 142 (In English).

7. Shenkman A., Sonkin N., and Kamensky V., (2005), Active Protection from Electromagnetic Field Hazards of a high Voltage Power Line, *HAIT Journal of Science and Engineering B*, Vol. 2, No. 2, pp. 254 – 265 (In English).

8. Brake H.J.M. R. Huonker, and H. Rogalla, (1993), New Results in Active noise Compensation for Magnetically Shielded Rooms, *Meas. Sci. Technol*, No. 4, pp. 1370 – 1375 (In English).

9. Kato, Kazuo, Yamazaki, Keita, Sato, Tomoya, Haga, Akira, Okitsu, Takashi, Muramatsu, Kazuhiro, Ueda, Tomoaki, Yoshizawa, and Masahito, (2005), Shielding Effect of Panel Type Active Magnetic Compensation, *IEEE Transactions on Fundamentals and Materials*, Tokyo, Vol. 125, pp. 99 – 106 (In English).

10. Rozov V.Y., and Assyirov D.A. Metod aktivnogo ekranirovaniya vneshnego magnitnogo polya tehnikeskikh ob'ektov [Method of External Magnetic field Active Shielding of Technical Objects], (2006), *Tekhnichna elektrodynamika*, Kiev, Ukraine, Vol. 3, pp. 13 – 16 (In Russian).

11. Rozov V.Y., Assyirov D.A., and Reytskiy S.Y. Zamknutyie sistemyi kompensatsii magnitnogo polya tehnikeskikh ob'ektov s razlichnyimi sposobami formirovaniya obratnyih svyazey [Technical Objects Magnetic-field Closed loop Compensation Systems with Different feed-backs Forming], (2008), *Tekhnichna Elektrodynamika*, Kiev, Ukraine, Vol. 4, pp. 97 – 100 (In Russian).



Кузнецов
Борис Иванович,
д-р техн. наук, проф., зав. отделом проблем управления магнитным полем ин-та технических проблем магнетизма НАН Украины.
61106, г. Харьков, ул. Индустриальная 19, Украина.
Тел. 0505766900.
E-mail: bikuznetsov@mail.ru



Бовдуй
Игорь Валентинович,
канд. техн. наук, науч. сотрудник отдела проблем управления магнитным полем ин-та технических проблем магнетизма НАН Украины.
61106, г. Харьков, ул. Индустриальная 19, Украина.
Тел. 0662069510.
E-mail: bovduj_iv@mail.ru



Волошко
Александр Валерьевич,
канд. техн. наук, науч. сотрудник отдела проблем управления магнитным полем ин-та технических проблем магнетизма НАН Украины.
Тел. 0664358170.
E-mail: zmeyr@nm.ru,



Виниченко
Елена Владимировна,
канд. техн. наук, м.н.с. отдела проблем управления магнитным полем ин-та технических проблем магнетизма НАН Украины.
Тел. 0679784303.
E-mail: vinichenko_e_v@mail.ru,



Котляров
Денис Александрович,
аспирант отдела проблем управления магнитным полем, ИТПМ НАН Украины.
E-mail: denis_c7@bk.ru,