



Исследование характеристик электромагнитных экранов, применяемых для калибровки прибора ядерно-магнитного каротажа¹

А.С. Александров,
Р.Р. Газизулин,
М.Ю. Захаров,
А.В. Клочков, к.ф.-м.н.,
Д.К. Нурғалиев, д.г.-м.н.,
Т.Р. Сафин
 (Казанский (Приволжский)
 федеральный университет)

Адрес для связи: imfador@gmail.com

Ключевые слова: электромагнитное экранирование, клетка Фарадея.

В настоящее время проблема борьбы с электромагнитными помехами является актуальной, так как получившие широкое распространение электронные устройства влияют друг на друга. Это особенно важно, когда речь идет о приборах, применяемых при работе со слабыми сигналами, таких как прибор ядерного магнитного каротажа (ЯМК) и сверхчувствительные датчики магнитного поля [1, 2].

Существует несколько способов борьбы с электромагнитными помехами. Наиболее часто применяемая защита – экран из ферромагнитного материала, принцип действия которого основан на концентрации магнитного потока, проходящего через стенки экрана в веществе высокой магнитной проницаемости. В связи с этим используются сплавы типа мю-металл, обладающие высокой магнитной проницаемостью. Для повышения эффективности защиты применяются многослойные экраны. Например, в Берлинском физико-техническом институте была сконструирована экранирующая комната из семи слоев мю-металла и одного слоя алюминия высокой магнитной проницаемости [3]. Другим способом является создание сверхпроводящих экранов, принцип действия которых основан на выталкивании магнитного поля из сверхпроводника [4]. Приведенные устройства обеспечивают пассивную защиту от помех.

Если измерять величину внешнего магнитного поля и на основании полученных данных создавать магнитное поле, компенсирующее внешнее, то будет реализована активная защита. Устройства такого типа можно сконструировать на основе сквид-магнетометра [5]. В Казанском (Приволжском) федеральном университете разработан прибор ЯМК. В нефтяной скважине прибор защищен от электромагнитных помех толщей земли. В связи с этим среда, в которой проводятся тестирование и настройка прибора, должна быть изолирована от электромагнитных шумов. Для этого были

Electromagnetic shield characteristics investigation for the calibration the NMR logging tool

A.S. Aleksandrov, R.R. Gazizulin, M.Yu. Zakharov,
 A.V. Klochkov, D.K. Nourgaliev, T.R. Safin
 (Kazan (Volga Region) Federal University, RF, Kazan)

E-mail: imfador@gmail.com

Key words: magnetic shielding room, Faraday cage.

The problem of electromagnetic shielding is relevant due to increasing number of electronic devices that interact with each other. It is known that shield, which is made of high conductivity materials, is widely used for controlling electromagnetic noise. Due to development of NMR logging tool two shielding Faraday cages have been made. The aim of the work was determination the frequency transmittance dependence of shielding in range from 100 kHz to 100 MHz. Transmitting and receiving devices were developed for an experiment. As a result, constructed shields are suitable for tuning and calibration NMR logging tools.

собраны две экранирующие клетки из материалов высокой проводимости (клетки Фарадея): меди и латуни. Качество изготовленных экранов (логарифмический коэффициент пропускания экранов) определялось на экспериментальной установке (рис. 1).

Первая (большая) клетка (рис. 2) выполнена из медной проволочной сетки толщиной 0,12 мм, имеет размеры 264×262×267 см (по внешней стенке), расстояние между стенками – 8 см. Вторая (малая) клетка (рис. 3) имеет размеры 123×120×152 см, расстояние между стенками – 4 см. Конструкция состоит из двух частей. Верхняя половина выполне-

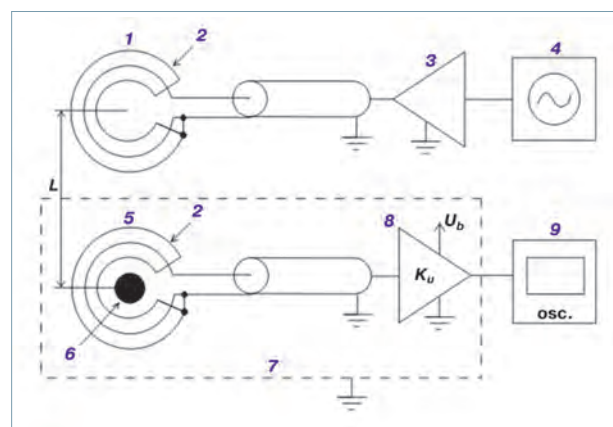


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (L – расстояние между антеннами; K_u – коэффициент усиления; U_b – амплитуда): 1, 5 – соответственно передающая и приемная магнитная антенна с сопротивлением по 50 Ом; 2 – электростатический экран антенны; 3 – усилитель мощности R&S BBA 100; 4 – синтезатор сигналов ВЧ R&S SML 01; 6 – ферритовый сердечник магнитной антенны; 7 – клетка Фарадея; 8 – широкополосный усилитель лабораторного изготовления (полоса от 100 кГц до 100 МГц, собран на транзисторе MRR571 и ОУ AD8021); 9 – осциллограф R&S RTO 1012

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 02.G25.31.0029).



Рис. 2. Большая клетка Фарадея



Рис. 3. Малая клетка Фарадея с установленным прибором ЯМК

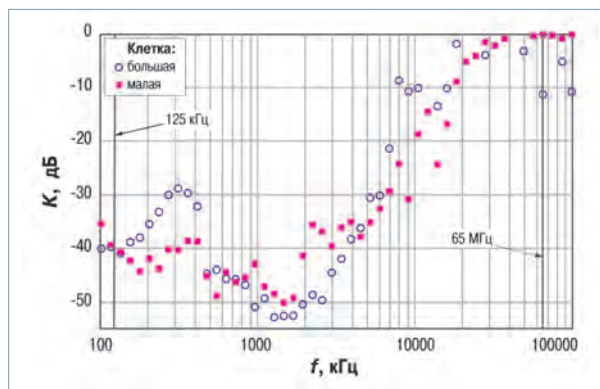
на из латунной сетки, как и внутренние стенки нижней части, внешние стенки нижней части и фронтальные верхней – из сплошных медных листов толщиной 0,8 мм.

Эксперименты с каждой клеткой проводились в два этапа. На первом этапе осуществлялась калибровка приемно-передающего тракта. Антенны устанавливались на расстоянии L друг от друга, генератор настраивался на определенную частоту в диапазоне 100-100000 кГц. Сигнал с приемной антенны регистрировался осциллографом с помощью Фурье-анализа. Мощность передаваемых сигналов подбиралась так, чтобы усилитель приемника не переходил в режим насыщения. На втором этапе приемная антенна помещалась в клетку Фарадея, антенна передатчика устанавливалась вне клетки. Уровень принимаемого сигнала измерялся при тех же условиях, что и при калибровке. Далее вычислялся коэффициент пропускания клетки Фарадея по формуле

$$K(f) = 20 \lg(U_2(f)/U_1(f)), \quad (1)$$

где f – частота сигнала; $U_1(f)$, $U_2(f)$ – амплитуда принимаемых сигналов соответственно на первом и втором этапах эксперимента.

Для большой клетки в диапазоне частоты 3000-100000 кГц эксперимент выполнялся при $L=150$ см; в диапазоне 100-3000 кГц – при $L=50$ см из-за низкого уровня принимаемого сигнала. Для малой клетки измерения проводились при $L=50$ см. В результате была получена зависимость, приведенная на рис. 4. Из него видно, что в большой клетке на частоте 125 кГц сигнал ослабевает приблизительно в 100 раз, на частоте 65 МГц – в 3,6 раз. В малой клетке на частоте 125 кГц

Рис. 4. Зависимость коэффициента пропускания K от частоты f

сигнал ослабевает примерно в 100 раз, на частоте 65 МГц – отсутствует. Увеличение частоты сигнала повышает активное сопротивление каждой проволоки сетки за счет поверхностного эффекта. Этим обуславливается уменьшение эффективности поглощения клетки на высоких частотах, определяемой по формуле

$$\mathcal{E} = 60 / (R \cdot a),$$

где R – сопротивление 1 м проволоки; a – расстояние между соседними параллельными проволоками в сетке [6].

При увеличении частоты эффективность снижается также из-за того, что длина волны становится сопоставимой с величиной щелей и конструкционных неплотностей клетки. Наблюдаемое ослабление поглощения на частотах, близких к 300 кГц, требует дополнительных исследований.

Таким образом, в результате экспериментов установлено, что исследуемые клетки Фарадея хорошо ослабляют сигнал на низкой частоте. Устройства применимы для калибровки приборов ЯМК на необходимой частоте 125 кГц.

Список литературы:

- Берд Д. Физика. От теории к практике. – М.: Додэка-XXI, 2007. – 560 с.
- Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах. – М.: Мир, 1979. – С. 27-29. – 363 с.
- The 8-layered magnetically shielded room of the PTB: Design and construction / J. Bork, H. Hahlbohm, R. Klein, A. Schnabel // Proc. of the 12th Int. Conf. on Biomagnetism. – Helsinki, Finland: Espoo Helsinki University of tech., lab. of biomed. eng., 2000. – P. 970-973.
- Meissner W., Ochsenfeld R. Ein neuer Effekt bei Eintritt der Supraleitfähigkeit. Naturwissenschaften. – 1933. – V. 21. – P. 787.
- New six-layer magnetically-shielded room for MEG / D. Cohen, U. Schlapfer, S. Ahlfors, M. Hämäläinen, E. Halgren // Proc. of the 13th Int. Conf. on Biomagnetism. – Jena, Germany: VDE Verlag, 2002. – 1150 p.
- Шапиро Д. Электромагнитное экранирование. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 120 с.

References

- Bird J., *Newnes engineering science pocket book*, Taylor & Francis, 2001, 560 p.
- Ott H.W., *Noise reduction techniques in electronic systems*, Wiley & Sons, Incorporated, 1988, 363 p.
- Bork J., Hahlbohm H., Klein R., Schnabel A., *The 8-layered magnetically shielded room of the PTB: Design and construction*, Proceedings of the 12th International Conference on Biomagnetism, 2000, pp. 970-973.
- Meissner W., Ochsenfeld R., *Ein neuer Effekt bei Eintritt der Supraleitfähigkeit*, Naturwissenschaften, 1933, V. 21, pp. 787.
- Cohen D., Schlapfer U., Ahlfors S., Hämäläinen M., Halgren E., *New six-layer magnetically-shielded room for MEG*, Proceedings of the 13th International Conference on Biomagnetism, 2002.
- Shapiro D.N., *Elektromagnitnoe ekranirovanie (Electromagnetic shielding)*, Dolgoprudnyy: Intellect, 2010, 79 p.