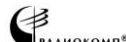
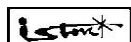




Посвящается
70-летию РНТОРЭС



КрымМуКо 2015 CriMiCo

**25-я Международная Крымская конференция
СВЧ-техника
и телекоммуникационные технологии
Материалы конференции**

**6—12 сентября 2015 г.
Севастополь, Крым, Россия**

2015 25th International Crimean Conference
**Microwave &
Telecommunication Technology**
Conference Proceedings

September 6—12, 2015
Sevastopol, Crimea, Russia

**В двух томах
In Two Volumes**

**Том 1
Volume 1**

Moscow • Minsk • Sevastopol
2015

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32я431
С255

Организаторы:

Российское научно-техническое общество радиотехники,
электроники и связи (РНТОРЭС) им. А. С. Попова
Крымский научно-технологический центр
им. проф. А. С. Попова (Севастополь)
Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ)
Севастопольский государственный университет
Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники (Минск)
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
НП ОАО «Фаза» (Ростов-на-Дону)
ОАО «НПП "Исток" им. Шокина» (Фрязино)
ЗАО «Микроволновые системы» (Москва)
НПП «Системные ресурсы» (Москва)
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
НПФ «Микран» (Томск)
ООО «Радиокомп» (Москва)
Уральский федеральный университет им. первого
Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург)
Keysight Technologies (Москва)
SD Solutions (Санкт-Петербург)
Крымский федеральный университет
им. проф. В. И. Вернадского (Симферополь)
НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» (Кацивели)

Информационная поддержка:

Журнал «Вестник электроники»

25-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2015). Севастополь, 6—12 сентября 2015 г. : материалы конф. в 2 т. — Севастополь, 2015. — Т. 1: 666 с. (1—596) + 70 с.: ил. — ISBN 978-1-4673-9414-7.

В 1-й том сборника материалов включены 277 из 588-ти прошедших рецензирование и включенных в программу конференции докладов, которые будут представлены на секциях: Материалы и технология СВЧ-приборов; Нанотехнологии и наноматериалы; Наноэлектроника; Нанотехнологии и наноэлектроника; СВЧ-электроника сверхбольших мощностей и эффекты; Радиационная стойкость материалов и ЭКБ; Электромагнитная стойкость материалов и ЭКБ; Измерение параметров цепей и сигналов; Измерение параметров материалов и технологических процессов; Антенные измерения; Обработка результатов измерений и другие приложения; Контроль и управление в технологических процессах; СВЧ-технологии в задачах мониторинга окружающей среды; Радиофотоника; Микроволновые технологии в биологии и медицине; Радиоастрономия и распространение радиоволн в атмосфере Земли; Методы и средства ДЗЗ; Моделирование и реализация комплексов и систем. Авторами представленных на конференции докладов являются 1216 ученых и специалистов 194-х университетов и предприятий 14-ти стран: Беларуси, Великобритании, Дании, Ирака, Казахстана, Канады, Кореи, Польши, России, Румынии, Украины, Швеции, ЮАР и Японии.

Материалы конференции изданы также на компакт-диске.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области СВЧ-техники и телекоммуникационных технологий. Сборник также будет полезен студентам и аспирантам телекоммуникационных, радиотехнических и радиофизических факультетов вузов.

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32я431

IEEE Catalog Number CFP15788-PRT
ISBN 978-1-4673-9413-0 (CD)
ISBN 978-1-4673-9414-7

© Оргкомитет КрыМиКо'2015
© КНТЦ им. Попова, 2015

THE STUDY OF FERROFLUIDS PERMITTIVITY IN THE PRESENCE OF A MAGNETIC FIELD

Pavlova A. A., Dotsenko V. S., Suslyayev V. I.
Tomsk State University
36, Lenina Ave., Tomsk, 634050, Russia
Tel. +38-22- 529852, e-mail: Sandy.surname@gmail.com

Abstract — Today ferrofluids are applied in different devices: seals, dumpers, loudspeakers, stepper motors, etc. However, preparation of ferrofluids is a difficult and long lasting process. We propose a simple method of ferrofluid preparing. We give results of permittivity investigation of obtained ferrofluid in the presence of magnetic field. The real part of permittivity was changed up to 12 % in the presence of magnetic field if $H \parallel E$. We suggest application of ferrofluid should be used as indicators of magnetic field or in variable capacitors.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПРИСУТСТВИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Павлова А. А., Доценко В. С., Суслев В. И.
Национальный исследовательский Томский государственный университет
36, Пр. Ленина, Томск, 634050, Россия
Тел: 3822 52 98 52; E-mail: Sandy.surname@gmail.com

Аннотация — На сегодняшний день магнитные жидкости (МЖ) применяются в различных приборах: изоляторах, подшипниках, динамиках, шаговых двигателях и т.д. Но изготовление МЖ сложный и долгий процесс. Мы предлагаем простой способ изготовления МЖ и представляем результаты исследования диэлектрической проницаемости МЖ в присутствии магнитного поля. Действительная часть диэлектрической проницаемости изменилась на 12 % при приложении магнитного поля в случае $H \parallel E$. Мы предлагаем использовать МЖ в качестве индикатора магнитного поля или в переменных конденсаторах.

I. Introduction

Ferrofluid is a stable colloid suspension of magnetic nanoparticles in a liquid carrier [1]. Properties of ferrofluid are determined by characteristics of their components (solid phase, liquids phase and surfactant). A solid phase is magnetic nanoparticles with significant initial magnetic susceptibility. Water or some organic solvent, e.g. kerosene can be a liquid phase. Finally, surfactant-coats particles to prevent clumping.

It is well known that magnetic, optical and rheological properties are changed in the presence of magnetic field [1]. Also, a lot of researches are involved in investigation of properties of ferrofluids and composites based on magnetite particles with multiwalled carbon nanotube nanohybrids in the presence of magnetic field [1]. But, in many cases making of ferrofluids is a difficult and long lasting process. Preparation of magnetite particles with multiwalled carbon nanotube nanohybrids takes a lot of time, moreover, a lot chemicals are necessary.

In this paper, we propose a simple method of ferrofluid preparing and results of permittivity investigation of obtained ferrofluid in the presence of magnetic field.

II. Materials and Methods

We made ferrofluids from mixture of distilled water/glycerol and Fe_2O_4 nanoparticles by mechanical mixing. Given in Table 1 are the properties of Fe_2O_4 magnetite nanoparticles. It should be mentioned that Fe_2O_4 nanoparticles are coated by amorphous carbon, which also helps to prevent magnetic clumping.

Similarly, we made ferrofluids from mixture of distilled water/glycerol, Fe_2O_4 nanoparticles and multiwall carbon nanotubes (MWNT). MWNT with diameter $d \approx 9,4$ nm were obtained by chemical vapor deposition in the presence of $FeCo/Al_2O_3$ catalyst. There were two ways of preparing ferrofluid with MWNT: mechanical mixing and ultrasonic mixing with a liquid phase and a surfactant.

Table 1. Properties of Fe_2O_4 nanoparticles.

Таблица 1. Свойства наночастиц Fe_2O_4

Size of particles, nm	90
Saturation magnetization, $Gs \cdot sm^3/g$	42,45
Residual magnetization, $Gs \cdot sm^3/g$	2,08

Series of experiments with ferrofluids having different concentration of MWNT, ratio of distilled water and glycerol, and ratio of distilled water/glycerol and Fe_2O_4 nanoparticles were conducted. Here we present two types of ferrofluids. The behavior of permittivity was the same in all cases.

Ratio of distilled water and glycerol was different: a) 50:50; b) 65:35. Ratio of distilled water/glycerol and Fe_2O_4 nanoparticles was 70:30. Also, concentration of MWNT was 1 %.

Permittivity of ferrofluid samples was determined by condenser method. Capacitance was measured on LCR Agilent E4980A at frequency range 0.05 – 2 MHz. Condenser dimensions were $d = 15$ mm, $h = 1.9$ mm. First, capacitance of empty condenser was measured. Then, capacitance of condenser with sample was measured. Finally, permittivity of ferrofluid was determined as follows:

$$\varepsilon' = C_s / C_e,$$

where C_s – capacitance of condenser with sample, C_e – capacitance of empty condenser.

III. Results and Discussion

Shown in Fig. 1 is dependence of the real part of permittivity on magnetic field of samples with the following composition: mixture of distilled water/glycerol, Fe_2O_4 nanoparticles and MWNT (1 % of MWNT, ratio of distilled water and glycerol 50:50, ratio of liquid phase/surfactant and Fe_2O_4 nanoparticles 70:30). No.1 mixture of distilled water/glycerol and Fe_2O_4 nanoparticles, No. 2 mixture of distilled water/glycerol, Fe_2O_4 nanoparticles

and MWNT (mechanical mixing), No. 3 mixture of distilled water/glycerol, Fe₂O₄ nanoparticles and MWNT (ultrasonic mixing).

If $H \parallel E$ for all three types of samples the dependence of the real part of the permittivity on magnetic field was higher than if $H \perp E$ and $H=0$. In the same way, after series of experiments, we found out that mechanical mixing of MWNT was ineffective as compared to ultrasonic mixing. So, we decided to make samples with ultrasonic mixing. It should be mentioned that only MWNT and distilled water/glycerol were ultrasonic treated, rather than Fe₂O₄ nanoparticles. Our investigation shows that ultrasonic treatment of Fe₂O₄ nanoparticles coated by amorphous carbon leads to their clumping.

To determinate the value of permittivity changing in the presence of magnetic field, we calculated the relative changing of ϵ' (Fig. 2).

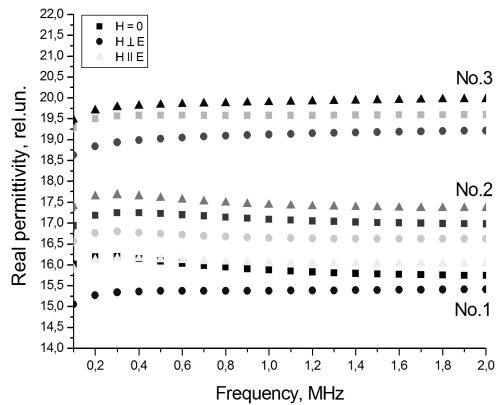


Fig. 1. Dependence of the real part of permittivity on magnetic field.

Рис. 1. Зависимость действительной части диэлектрической проницаемости от приложенного магнитного поля

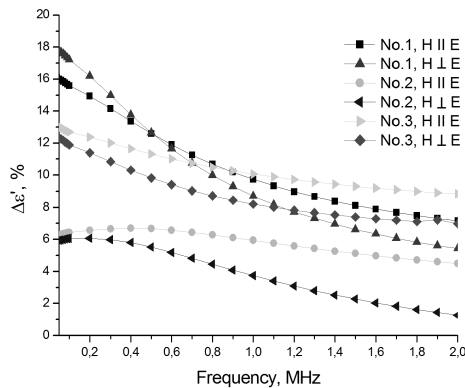


Fig. 2. Dependence of relative changing of the real part of permittivity on magnetic field.

Рис. 2. Относительное изменение действительной части диэлектрической проницаемости от приложенного магнитного поля

Shown in Fig. 3 is the dependence of real part of permittivity on magnetic field of samples with the following composition: mixture of distilled water/glycerol, Fe₂O₄ nanoparticles and MWNT (1 % of MWNT, ratio of distilled water and glycerol 65:35, ratio of liquid phase/

surfactant and Fe₂O₄ nanoparticles 70:30). No.1 mixture of distilled water/glycerol and Fe₂O₄ nanoparticles, No. 2 mixture of distilled water/glycerol, Fe₂O₄ nanoparticles and MWNT (ultrasonic mixing). Like wise, the relative changing of ϵ' in the presence of magnetic field was calculated. They happen to have the same values.

Each series of experiment showed increase of ϵ' of ferrofluid if $H \parallel E$ relative to $H=0$ and decrease of ϵ' of ferrofluid if $H \perp E$ relative to $H=0$. We suppose that increase of ϵ' for $H \parallel E$ might be caused by formation of conduction channels. And vice versa, if $H \perp E$ magnetic field causes a number of parallel flat capacitor to form.

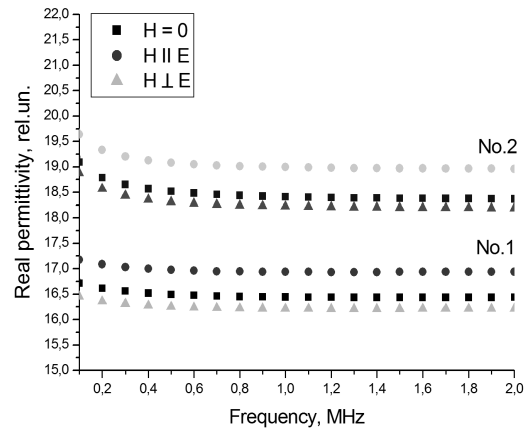


Fig. 3. Dependence of the real part of permittivity on magnetic field.

Рис. 3. Зависимость действительной части диэлектрической проницаемости от приложенного магнитного поля

IV. Conclusion

In this paper we propose the method of ferrofluid preparing. The composition provides permittivity changing of the real part of ϵ' up to 12 % in the presence of magnetic field. The most interesting issue for future work probably will be changing of ferrofluid composition.

V. Acknowledgment

This Research is supported by Tomsk State University Competitiveness Improvement Program.

The authors would like to thank associate professor Olga Alexandrovna Dotsenko who provided insight for result of our work. Also we would also like to show our gratitude to the associate professor Victor Alekseevich Zhuravlev for discussion conceiving of this work and for his tireless effort.

VI. References

- [1] Goharkhah M., Salariana A., Ashjaee M., Shahabadi M. Convective heat transfer characteristics of magnetite nanofluid under the influence of constant and alternating magnetic field. Powder Technology, 2015, vol. 274, pp. 258–267.
- [2] Felicia L. J., Philip J. Effect of Hydrophilic Silica Nanoparticles on the Magnetorheological Properties of Ferrofluids: A Study Using Opto-magnetorheometer. American Chemical Society, 2015, vol. 31, pp. 3343–3353.
- [3] Yiwang B., Danyu J., Li T., Jianghong G. Design and Calculation of Magnetic Liquid Seal with Rectangular Pole Teeth, Key Engineering Materials, 2011, vol. 492, pp. 287–290.