

где

$$\Gamma = \frac{R^3}{3} \frac{\lambda_2 + \frac{2}{3} \mu_2 - \lambda_1 - \frac{2}{3} \mu_1}{\left[ \lambda_2 + \frac{2}{3} \mu_2 + \frac{4}{3} \mu_1 - \frac{1}{3} \lambda_1 \left( \frac{kR}{a_1} \right)^2 \right] - i \left( \frac{kR}{a_1} \right)^3 \left[ \lambda_2 + \frac{2}{3} \mu_2 - \lambda_1 - \frac{2}{3} \mu_1 \right]}$$

$$Q = R^3 \frac{1}{\left[ \frac{a_2^2}{a_1^2} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 + \frac{6}{5} \mu_2} - 10 \frac{\mu_1}{\mu_2} \frac{b_2^2}{b_1^2} \right] + i \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{kR}{a_1} \right)^3 + \frac{2}{3} \left( \frac{kR}{a_1} \right)^3 - \right.}$$

$$\left. \frac{1}{\frac{1}{3} \left( \frac{k}{a_1} R \right)^5 \frac{\lambda_1 + \frac{6}{5} \mu_1}{\lambda_2 + \frac{6}{5} \mu_2} - \frac{2}{3} \left( \frac{kR}{b_1} \right)^5 \frac{\mu_1}{\mu_2} \right]}$$

$$\Phi = \frac{\lambda_1 + \frac{6}{5} \mu_1}{\lambda_2 + \frac{6}{5} \mu_2} a_2^2 + 8 \frac{\mu_1}{\mu_2} b_2^2.$$

Решения получены для кубической решетки. Однако результаты будут применимы к произвольной решетке, а также к статистическому распределению вкраплений, если и для этих случаев считать, что в одинаковых объемах, много меньших  $(2\pi a_1/k)^3$ , находится приблизительно одно и тоже число шариков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Хайкович, Л. А. Халфин. Об эффективных динамических параметрах неоднородных сред при распространении звуковых волн. Акуст. ж., 1958, 4, 3, 275—281.
2. Физические основы подводной акустики. М., Сов. радио, 1955.
3. И. М. Хайкович, Л. А. Халфин. Об эффективных динамических параметрах неоднородных упругих сред при распространении плоской продольной волны. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1959, 4, 505—515.

Акустический институт АН СССР  
Москва

Поступило в редакцию  
27 июня 1959 г.

### О СВЯЗИ МЕЖДУ МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ ИЗ НИКЕЛЬ-ЦИНКОВЫХ ФЕРРИТОВ

А. Д. Соколов, Я. С. Шур

На основании изучения различных металлических ферромагнитных материалов было показано [1], что если известны их некоторые статические магнитные характеристики, то по ним можно дать сравнительную оценку величины чувствительности, которой могут обладать магнитоотриксционные приемники, изготовленные из этих материалов. В частности, такая оценка может быть сделана на основе следующего соотношения:  $e_{\max} \sim \mu_0 \frac{\lambda_s}{I_s}$ , где  $e_{\max}$  — максимальное значение э. д. с., индуцируемое в обмотке приемника при заданном звуковом давлении и при оптимальном подмагничивании;  $\mu_0$  — начальная магнитная проницаемость материала приемника;  $\lambda_s$  — магнитоотриксция насыщения,  $I_s$  — намагниченность насыщения.

Это соотношение выводится из выражения для чувствительности приемника при оптимальном подмагничивании [1, 2].

В последнее время большое внимание обращено на возможность использования ферритов в качестве материала для магнитоотриксционных преобразователей. Это связано с некоторыми преимуществами ферритов, по сравнению с никелем или иными магнитными материалами, из которых обычно делаются преобразователи [3, 4, 5]. В связи с этим нами была произведена экспериментальная проверка указанного соотношения на приемниках из ферритов.

Таблица

Химический состав образца, % вес	Температура обжига, °C	Коэрцитивная сила $H_c$ , э	Начальная магнитная проницаемость $\mu_0$ , эс/э	Магнито-стрикция насыщения $\lambda_s \times 10^6$	Намагниченность насыщения $I_s$ , эс	Максимальное значение э. д. с., индуцированное в обмотке приемника $l_{\max}$ , в делениях шкалы прибора	$\mu_0 \frac{\lambda_s}{I_s}$
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 68,13 NiO — 31,87	1240	7,6	32	27	273	33	3,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 68,13 NiO — 31,23 CoO — 0,64	1300	3,9	40	30	287	48	4,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 68,13 NiO — 31,23 CoO — 0,64	1250	9,2	26	25	270	40	2,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 67,46 NiO — 20,51 ZnO — 12,03	1240	1,6	270	13	430	59	8,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 66,0 NiO — 12,0 ZnO — 22,0	1300	0,3	1150	5	345	119	16,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 66,0 NiO — 12,0 ZnO — 22,0	1250	0,6	600	6	359	77	10,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 66,80 NiO — 9,37 ZnO — 23,83	1300	0,24	1330	3	347	82	11,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 66,80 NiO — 9,37 ZnO — 23,83	1340	0,29	1330	2	330	53	8,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 57,29 NiO — 12,06 ZnO — 30,65	1300	1,7	85	5	274	11	1,4

Измерения проводились на образцах в форме колец и стержней, изготовленных из ферритов различного состава (см. таблицу). Кольца имели следующие размеры: наружный диаметр 37 мм, внутренний — 30 мм и высоту 13 мм. Стержневые образцы имели диаметр 3,8 мм и длину 45—50 мм. Образцы изготовлялись из окислов металлов по обычной для ферритов технологической схеме. Прессование производилось под давлением 2,5 т/см<sup>2</sup>. Обжиг спрессованных образцов производился в течение 3—4 часов при температуре в пределах 1240—1340°. Плотность полученных ферритов (определенная методом гидростатического взвешивания) колебалась в пределах 4,9—5,1 г/см<sup>3</sup>.

Кольцевые образцы служили в качестве магнито-стрикционных приемников, на которых измерялись чувствительность, а также величина начальной магнитной проницаемости. Измерения магнито-стрикции и намагниченности насыщения проводились на стержневых образцах.

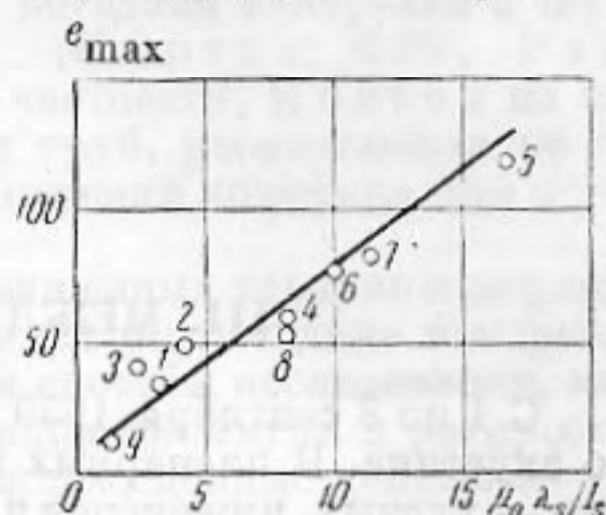
Определение чувствительности кольцевых приемников производилось при частоте 21 кгц, вдали от резонансной частоты (резонансная частота колец лежала в пределах 50—53 кгц). В качестве величины, характеризующей чувствительность, принималась э. д. с., индуцируемая в обмотке приемника, причем акустическое давление, создаваемое излучателем во время испытания различных приемников, поддерживалось

неизменным. Излучателем служил магнестрикционный стержневой пакет. Испытания производились в воде, на глубине 80 см и при расстоянии между излучателем и приемником, равном 40 см.

При измерениях приемники помещались в конусообразный отражатель (угол конуса  $90^\circ$ ) с двойными стенками, пространство между которыми было заполнено пористой резиной. Они устанавливались таким образом, что их торцевая поверхность была параллельна излучающей поверхности излучателя. Измерения э. д. с. приемников производились при подмагничивании их постоянным магнитным полем. При этом поле подбиралось так, что оно обеспечивало наибольшую величину чувствительности (оптимальная поляризация). Число витков обмоток у всех приемников было одинаковым. Магнестрикция на стержневых образцах определялась методом механо-оптического рычага, намагниченность насыщения и коэрцитивная сила — методом сброса в электромагните. Начальная магнитная проницаемость определялась на образцах кольцевой формы баллистическим методом.

Результаты измерений приведены в таблице и на фигуре. Как видно из фигуры, зависимость  $e_{\max} = f(\mu_0 \lambda_s / I_s)$  близка к прямолинейной. Отклонения от линейности, возможно, частично вызваны тем, что приемники не имели точно одних и тех же геометрических размеров. Кроме того, измерения магнитных характеристик материала приемников и э. д. с., индуцируемой в обмотках, связаны с некоторыми погрешностями.

Полученные результаты подтверждают справедливость соотношения  $e_{\max} \sim \mu_0 \lambda_s / I_s$  для никелевых и никель-цинковых ферритов. Следовательно, имеется возможность по статическим магнитным характеристикам проводить сравнительную оценку чувствительности приемников, изготовленных из никель-цинковых ферритов.



#### ЛИТЕРАТУРА

1. Я. С. Шур, М. Г. Лужинская, К. Б. Власов, О. И. Ширеева, В. А. Зайкова. О связи между магнитными свойствами и чувствительностью магнестрикционных приемников. Тр. Ин-та физики металлов УФАН СССР, 1958, 20, 131—140.
2. К. Б. Власов. Некоторые вопросы теории механических, магнитных, тепловых, магнетомеханических, термомагнитных и термоупругих свойств магнестригной среды. Тр. Ин-та физики металлов УФАН СССР, 1958, 20, 71—89.
3. И. П. Голямина. Ультразвуковой излучатель из феррита никеля. Акуст. ж., 1956, 2, 2, 225—228.
4. Van der Burgt. Ferrocube material for piezomagnetic vibrators. Phil. Technic. Rev., 1956/57, 18, 10, 285—298.
5. И. П. Голямина, А. Д. Соколов, В. И. Чулкова. Испытания опытных ультразвуковых приемников из ферритов. Акуст. ж., 1957, 3, 3, 288—290.

Институт физики металлов АН СССР  
Свердловск

Поступило в редакцию  
10 ноября 1958 г.