



УКРАЇНА

(19) UA (11) 14969 (13) A

(51) G 01 R 33/035

ДЕРЖАВНЕ  
ПАТЕНТНЕ  
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДбез проведення експертизи по суті  
на підставі Постанови Верховної Ради України  
№ 3769-XII від 23 XII. 1993 рПублікується  
в редакції заявника

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ МАТЕРІАЛАХ

1

(21) 94076313

(22) 20.07.94

(24) 04.03.97

(46) 30.06.97. Бюл. № 3

(47) 04.03.97

(72) Немошкаленко Володимир Володимирович, Кордюк Олександр Анатолійович, Морозовський Олексій Дмитрович, Рафаловський Віталій Адольфович

(73) Інститут металофізики НАН України (UA)

(57) Устрій для визначення втрат енергії в електротехнічних матеріалах.

2

содержащее ротор, установленный в статоре на магнитной опоре, систему раскрутки ротора и систему контроля параметров вращения ротора, которые индуктивно взаимодействуют с входящим в состав ротора ведущим магнитом, о т л и ч а ю щ е с я тем, что ротор размещен вертикально и содержит источник магнитного поля, установленный на верхнем торце ротора, а магнитная опора содержит постоянный магнит, установленный в статоре у нижнего торца ротора.

Изобретение относится к области неразрушающего контроля, в частности к контролю качества электротехнических материалов, и может быть использовано для определения энергетических потерь в изделиях из металлических или сверхпроводящих материалов, работающих в переменных магнитных полях, например в обмотках или сердечниках электрических машин.

Известно устройство для определения потерь энергии в переменном магнитном поле в сверхпроводнике (Лаврова В.В., Фастовский В.Г., Фишер Л.М., Юдин В.А. Исследование потерь в сверхпроводниках II рода в переменном магнитном поле - Труды ВЭИ, 1979, № 87, с.3-57), содержащее систему криостатов залитых жидким гелием, причем во внутреннем криостате помещен исследуемый образец, а вокруг образца во

внешнем гелиевом криостате помещены электромагниты, создающие постоянное и переменное магнитное поле, блок питания электромагнитов, электронное устройство поддерживающее постоянное давление во внутреннем криостате и газометр, определяющий расход гелия.

Потери энергии в образце находящемся в магнитном поле определяют по количеству испарившегося гелия за время воздействия магнитного поля.

Устройство является весьма сложным, так как требует поддержания постоянства многих параметров в процессе измерения и позволяет измерять потери только при температуре 4,2K в сверхпроводящих образцах исследуемого материала небольшого размера.

Известно также устройство для определения потерь в переменном магнитном поле

(19) UA (11) 14969 (13) A

в сверхпроводнике (Способ определения потерь энергии в сверхпроводниках II рода в переменном магнитном поле (а.с. СССР № 1839566// Немошкаленко В.В., Демин С.А., Иванов М.А., Кордюк А.А., Морозовский А.Д., Никитин Б.Г., Погорелов Ю.Г., Рафаловский В.А.), состоящее из постоянного магнита, служащего источником магнитного поля; катушки индуктивности, расположенной над магнитом; блока питания катушки индуктивности, двух одинаковых, включенных навстречу детектирующих катушек; системы регистрации сигнала с детектирующих катушек и системы охлаждения сверхпроводящего образца.

Переменное магнитное поле в исследуемом сверхпроводящем образце создают постоянным магнитом, свободно взвешенным над сверхпроводящим образцом так, что его магнитный момент параллелен поверхности образца и совершающим периодические поступательные колебания перпендикулярно поверхности образца. Постоянный магнит совершает периодические поступательные колебания под воздействием катушки индуктивности на которую подают синусоидальный электрический сигнал с блока питания.

Для определения потерь измеряют частотную зависимость амплитуды колебаний  $A$  магнита над сверхпроводником, по этой зависимости находят максимальные амплитуды колебаний и ширины резонансных пиков на высоте  $A_{\max}/\sqrt{2}$ . Величину потерь определяют по формуле:  $Q_0$

$$\frac{4\pi^3 A_{\max} \Delta\nu \cdot \nu \cdot m}{l^2}, \text{ где } A_{\max} - \text{максимальная}$$

амплитуда колебаний на резонансной частоте,  $\Delta\nu$  — ширина резонансного максимума на высоте  $A_{\max}/\sqrt{2}$ ,  $\nu$  — резонансная частота колебаний магнита,  $m$  — масса магнита, а  $l$  — расстояние от магнита до поверхности сверхпроводника.

Однако устройство позволяет определять потери только в сверхпроводящих образцах над которыми возможно осуществить свободный подвес постоянного магнита.

Наиболее близким к изобретению является устройство (Диссипация в ВТСГ в зависимости от частоты и амплитуды переменного магнитного поля/СФХТ, т.5 2287-2289 (1992) № 12//Немошкаленко В.В. Кордюк А.А., Никитин Б.Г.) для определения потерь энергии в материалах, содержащих ротор, установленный в статоре на магнитной опоре, систему раскрутки ротора и систему контроля параметров вращения ротора

Ось вращения ротора размещена горизонтально, магнитная опора содержит два подшипника, каждый из которых состоит из несущего постоянного магнита (НПМ), установленного в роторе и кольца из сверхпроводящего материала (КСМ), охлаждаемого жидким азотом и установленного в статоре так, что взаимодействие НПМ и КСМ уравновешивает вес ротора, а источником магнитного поля служит ведущий постоянный магнит (ВПМ), установленный в центре ротора и являющийся элементом системы раскрутки ротора.

Система раскрутки ротора состоит из двух, последовательно включенных катушек индуктивности, закрепленных на статоре, блока питания катушек и установленного в роторе ВПМ магнитный момент которого перпендикулярен оси вращения ротора. Взаимодействие магнитного поля этого магнита с полем катушек индуктивности на которые от блока питания подают синусоидальное электрическое напряжение вызывает вращение ротора. Скорость вращения ротора пропорциональна частоте тока, в катушках индуктивности.

Система контроля параметров вращения ротора состоит из детектирующих катушек, двухлучевого осциллографа и усилителя. Сигнал с детектирующих катушек через усилитель подают на осциллограф, где его сравнивают с сигналом с катушек индуктивности, подаваемым на другой вход осциллографа.

Потери энергии от переменного магнитного поля, создаваемого в исследуемом образце с помощью ВПМ, вращающегося вместе с ротором, определяют по разности потребляемой ротором мощности при наличии образца и при его отсутствии.

Устройство позволяет измерять потери энергии в образцах от переменного магнитного поля,

Однако его недостатками являются:

- невысокая надежность в работе;
- невозможность менять величину и конфигурацию магнитного поля путем установки на роторе дополнительных магнитов;
- невозможность значительного увеличения частоты переменного магнитного поля потери в котором исследуются.

Эти недостатки являются следствием небольшого зазора между ротором и статором и малой несущей способности магнитной опоры, в которой подвес ротора осуществляется только за счет взаимодействия магнит — сверхпроводник (ПМ — СП):

- при случайных флуктуациях управляющего сигнала в системе раскрутки ротора или при вибрации установки возможна са-

мопроизвольная раскочка ротора в вертикальной плоскости и касание вращающимся ротором поверхности статора и как следствие — срыв раскрутки, т.е. устройство имеет невысокую надежность в работе;

— установка на роторе дополнительного магнита, увеличивая вес ротора уменьшает зазор между ротором и статором, что повышает вероятность касания поверхности статора, а использование в качестве МПИ установленного в центре ротора постоянного магнита системы раскрутки ротора магнитный момент которого перпендикулярен оси вращения ротора, делает невозможным изменение конфигурации магнитного поля в исследуемом образце, например невозможно определение потерь в исследуемом материале от чисто вращательной компоненты магнитного поля;

— ограничена также возможность повышения прочностных характеристик ротора, требующая его утяжеления, что, в свою очередь, ограничивает скорость вращения ротора из-за вероятности его разрушения, т.е. ограничена максимальная частота переменного магнитного поля, потери в котором исследуются.

В основу изобретения поставлена задача создания устройства для определения потерь энергии в электротехнических материалах надежного в работе, которое обеспечивает измерение потерь в электротехнических материалах в магнитных полях повышенной частоты и различной конфигурации.

Поставленная техническая задача решается тем, что известное устройство для определения потерь энергии в электротехнических материалах, содержит ротор, установленный в статоре на магнитной опоре, систему раскрутки ротора и систему контроля параметров вращения ротора, причем ротор размещен вертикально и содержит источник магнитного поля, установленный на верхнем торце ротора, а магнитная опора содержит постоянный магнит установленный в статоре (ПМС) у нижнего торца ротора.

Размещение ротора вертикально и наличие магнитной опоры, содержащей ПМС у нижнего торца ротора так, что его взаимодействие с ротором уравнивает вес ротора, позволяет разделить силу, уравнивающую вес ротора и силы, центрирующие ось вращения, придающие устойчивость ротору от горизонтальных смещений и демпфирующие случайные колебания в устройстве. При этом вес ротора уравнивается взаимодействием магнит-магнит значительно более сильным чем

взаимодействие магнит-сверхпроводник как в прототипе. А силы взаимодействия ПМС с сверхпроводящими элементами магнитной опоры выполняют функцию придания ротору устойчивого равновесия.

Таким образом значительно повышается несущая способность магнитной опоры и устойчивость вращения ротора при случайных колебаниях в устройстве. Расположение источника магнитного поля (ИМП), на верхнем торце ротора позволяет установить исследуемый образец соосно с осью вращения магнитного момента, т.е. определить потери в материале по вращающемуся магнитному полю. В случае технической необходимости возможно практически любое расположение исследуемого образца по отношению к плоскости вращения ИМП, что позволяет определять любые компоненты потерь от переменного магнитного поля в исследуемом материале.

На чертеже схематически изображена конструкция устройства для определения потерь энергии в электротехнических материалах.

Устройство состоит из ротора 1, установленного в статоре 2. В роторе 1 размещены несущие постоянные магниты (НПМ) 3, являющиеся частью магнитной опоры; ведущий постоянный магнит (ВПМ) 4, являющийся элементом системы раскрутки ротора. На верхнем торце ротора, в качестве источника магнитного поля (ИМП), расположен постоянный магнит 5, причем ось вращения ротора перпендикулярна магнитному моменту ИМП и проходит через центр симметрии магнитного поля создаваемого НПМ.

На статоре 2 установлены: кольца из сверхпроводящего материала (КСМ) 6, охлаждаемые жидким азотом и являющиеся сверхпроводящими элементами магнитной опоры; постоянный магнит установленный в статоре (ПМС) 7, являющийся элементом магнитной опоры и расположенный так, что взаимодействие между нижним НПМ 3 ротора 1 и ПМС 7 уравнивает вес ротора 1; катушки индуктивности 8 системы раскрутки ротора; детектирующая катушка 9 системы контроля параметров вращения ротора. Стрелками на рисунках показано направление магнитных моментов постоянных магнитов.

В систему раскрутки ротора также входит блок питания 10, а в систему контроля параметров вращения ротора двухлучевой осциллограф 11.

Устройство работает следующим образом.

Взаимодействие магнитного поля ВПМ 4 с полем катушек индуктивности 8 на которые от блока питания 10 подают синусоидальное электрическое напряжение вызывает вращение ротора 1. Скорость вращения ротора пропорциональна частоте переменного тока  $I = I_0 \cos(\omega t)$  в катушках индуктивности 8.

Параметры вращения ротора 1, частота  $\omega$  и фаза  $\varphi$ , регистрируют с помощью системы контроля параметров вращения ротора содержащей детектирующую катушку 9, напряжение с которой подавалось на двухлучевой осциллограф 11. Потребляемую ротором 1 энергию определяют по разности фаз  $\Delta\varphi$  между током в катушках индуктивности 8 и напряжением на детектирующей катушке 9. Поскольку момент сил, действующих на ВПМ 4,  $M = \mu \times H$ , где  $\mu$  — магнит-

ный момент ВПМ 4,  $H = H_0 \cos(\omega t)$  — магнитное поле, создаваемое катушками индуктивности 8, то потребляемая ротором за период изменения магнитного поля энергия определяется выражением:

$$W = \int_0^{2\pi} (M \cdot d(\omega t)). \quad (1)$$

Тогда для геометрии эксперимента, представленной на фиг. 1, потребляемая ротором за период энергия:

$$W = \mu H_0 \int_0^{2\pi} \cos(\omega t) \sin(\omega t + \Delta\varphi) d(\omega t) = \pi \mu H_0 \sin \Delta\varphi. \quad (2)$$

Энергию, теряемую за период в исследуемом образце 12 (фиг. 1) в магнитном поле, создаваемом ИМП 5, определяют как разность потребляемых ротором энергий при наличии и отсутствии исследуемого образца. Расположение исследуемого образца 12 в позиции I позволяет определять потери в исследуемом материале от чисто вращательной компоненты магнитного поля, а расположение образца в позиции II — от переменного магнитного поля.

Ротор 1 представляет собой пластмассовую трубку в которой размещены НПМ 3, ВПМ 4 и ИМП 5. Статор 2 изготовлен в виде трубки из кварцевого стекла диаметром 13 мм в которой создано разрежение  $10^{-2}$  мм рт.ст. КСМ 6 изготовлены из высокотемпературного сверхпроводника  $YBa_2Cu_3O_7$ . Все постоянные магниты изготовлены в

форме дисков диаметром 6 мм, толщиной 2 мм из  $SmCo_5$ . В качестве блока питания 10 использовали генератор ГЗ-112/1, а осциллографа 11 — двухканальный осциллограф С1-83.

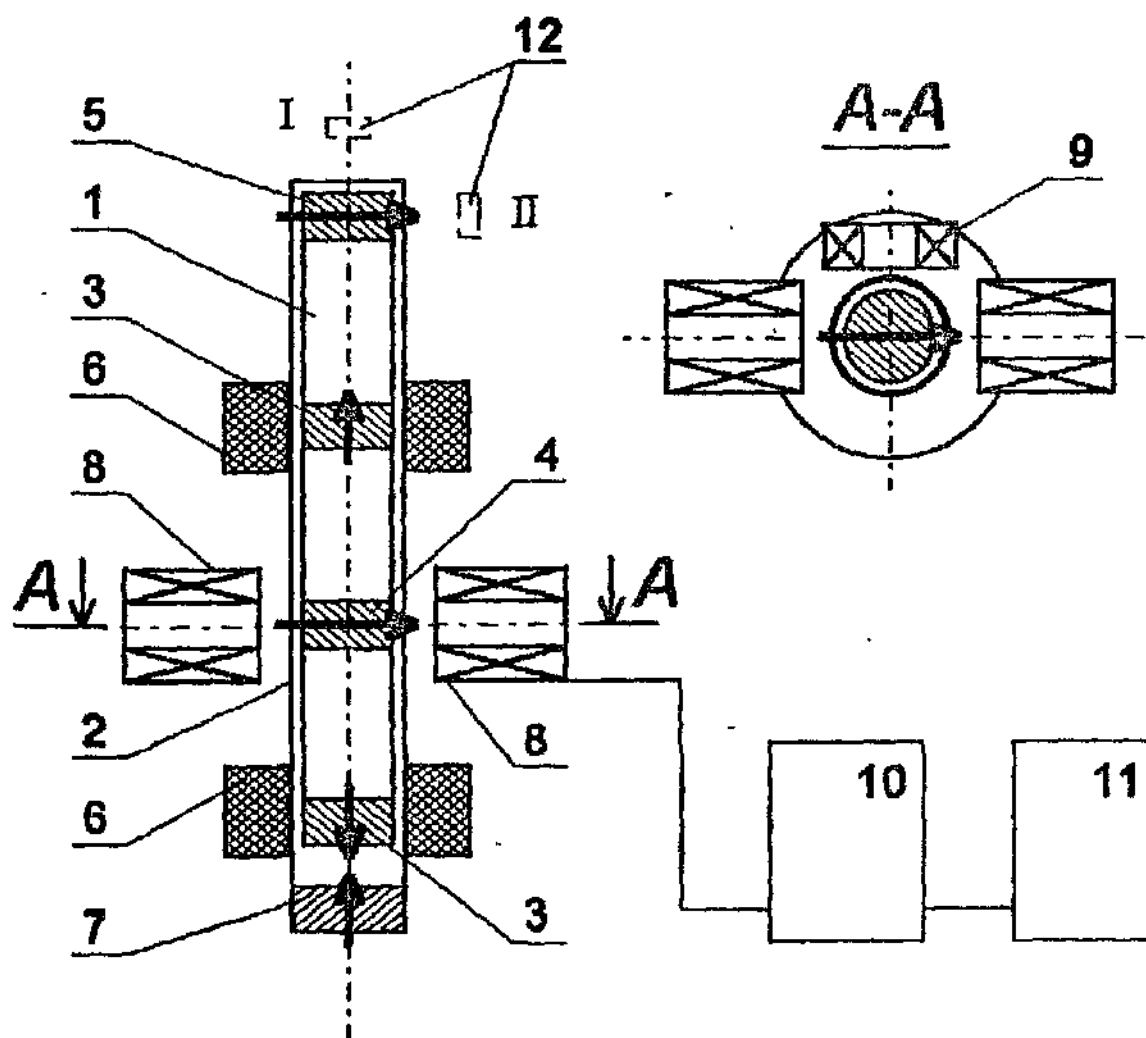
С помощью предлагаемого устройства осуществляли измерение потерь в образце 12 и высокотемпературного сверхпроводника  $YBa_2Cu_3O_7$  объемом  $0,1 \text{ см}^3$  во вращающемся магнитном поле (расположение образца — I) и в переменном магнитном поле (расположение образцов — II). В обоих случаях амплитуда магнитного поля на поверхности образца составляла 27 Э.

На катушки индуктивности 8 от блока питания 10 подавали переменное электрическое напряжение, частоту которого постепенно повышали до той на которой определяли потери, при этом частота вращения ротора 1 соответствовала частоте переменного напряжения, подаваемого на катушки индуктивности 8. По формуле (1) определяли потребляемую ротором 1 энергию при отсутствии образца. Затем устанавливали образец 12 поочередно в положение I и положение II и по формуле (1) определяли потребляемую ротором энергию для каждого положения образца 12. Энергию, теряемую за период в исследуемом образце 12 в магнитном поле, создаваемом ИМП 5, определяли как разность потребляемых ротором 1 энергий при наличии и отсутствии исследуемого образца 12.

Результаты измерений представлены в таблице.

Преимущество устройства состоит в том, что оно надежно в работе, позволяет измерять потери в материале во вращающемся магнитном поле на более высоких частотах по сравнению с прототипом. Потери энергии в конструкционных материалах электрических машин, работающих в переменных магнитных полях, составляют значительную часть производимых энергосберегающих затрат. Измерение потерь энергии во вращающемся и в переменном магнитном поле в электротехнических материалах как на стадии разработки нового материала, так и на стадии его промышленного производства позволит создавать энергосберегающие электрические машины.

Положение образца	Частота изменения поля, Гц	Потребляемая ротором энергия при отсутствии образца, Дж	Потребляемая ротором энергия при наличии образца, Дж	Потери энергии в образце, Дж	
				по заявленному способу	по прототипу
I	2000	$2,191 \cdot 10^{-6}$	$2,716 \cdot 10^{-6}$	$5,25 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$
II	2000	$2,191 \cdot 10^{-6}$	$2,403 \cdot 10^{-6}$	$2,12 \cdot 10^{-7}$	
I	4000	$4,382 \cdot 10^{-6}$	$4,860 \cdot 10^{-6}$	$4,78 \cdot 10^{-7}$	
II	4000	$4,382 \cdot 10^{-6}$	$4,459 \cdot 10^{-6}$	$0,77 \cdot 10^{-7}$	



Упорядник

Техред М.Моргентал

Коректор

Н.Король

Замовлення 4160

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,  
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8

Відкрите акціонерне товариство "Патент", м. Ужгород, вул.Гагаріна, 101

