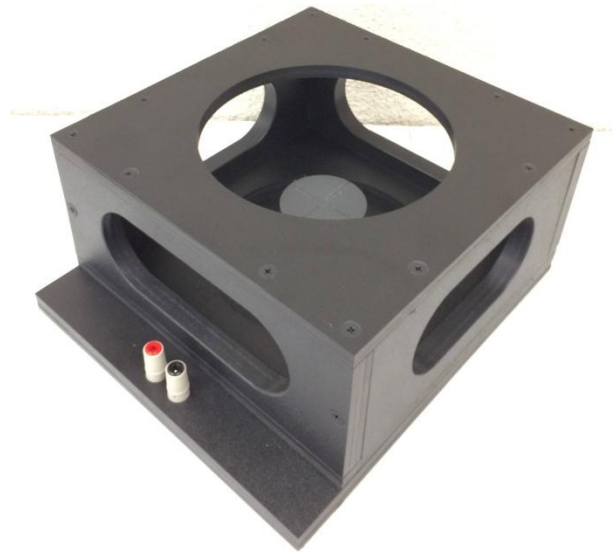


Измерения потокосцепления образца магнитотвердого материала с катушкой Гельмгольца посредством аппаратуры ООО «ЗЭТ»



Измерения потокосцепления образцов магнитотвердых материалов (МТМ) с катушками Гельмгольца рекомендованы международным стандартом МЭК 60404-14:2002 «Материалы магнитные. Метод измерений дипольного магнитного момента ферромагнитных образцов их удалением или вращением» (IEC 60404-14:2002. «Magnetic materials. Part 14. Methods of measurement of the magnetic dipole moment of a ferromagnetic material specimen by the withdrawal or rotation method»). Благодаря своей простоте и производительности этот метод получил широкое распространение в мировой практике. В России указанный метод рекомендован проектом стандарта ГОСТ Р «Магниты постоянные общепромышленного применения. Классификация. Общие технические требования. Контроль магнитных параметров». Метод особенно удобен при разбраковке большого количества однотипных образцов из МТМ.

Средства измерений, предназначенные для реализации указанного метода, разработаны и выпускаются ООО «ЗЭТ». Это веберметр (флюксметр) ТВП-2 и катушки Гельмгольца КГ-ЗЭТ-1, КГ-ЗЭТ-2. Подробные характеристики этих приборов и методики измерений приведены на сайте ООО «ЗЭТ» (http://zel-zet.ru/src/tvp_2.html, <http://zel-zet.ru/src/coils.html>). Ниже мы рассмотрим некоторые особенности измерений потокосцепления, связанные, в том числе, с учетом влияния электромагнитной обстановки.

При выборе катушки Гельмгольца следует руководствоваться следующими требованиями:

- для уменьшения погрешности, обусловленной конечным значением входного сопротивления веберметра, сопротивление катушки Гельмгольца постоянному току должно быть не более 100 Ом;

- для уменьшения погрешности, обусловленной неоднородностью магнитного поля в катушке Гельмгольца, средний радиус катушки Гельмгольца должен быть не менее, чем в 2 раза, больше наибольшего размера испытуемого образца;

- для уменьшения электромагнитных помех, индуцируемых на зажимах катушки Гельмгольца, она должна иметь минимально возможное произведение площади ее поперечного сечения на суммарное число витков обеих секций;

- для измерений магнитного момента образца с нормированной погрешностью постоянная катушки Гельмгольца должна быть известна с соответствующей погрешностью. Это требование не обязательно, если производится отбраковка образцов путем сравнения их потокосцепления с потокосцеплением образца, принятого за опорный.

Характеристики катушек Гельмгольца КГ-ЗЭТ-1 и КГ-ЗЭТ-2, которые производит ООО «ЗЭТ», приведены в таблице 1. Точные (в пределах $\pm 3\%$) значения постоянной каждого экземпляра катушки определяются и записываются в ее паспорт при выпуске.

Таблица 1 – Технические характеристики катушек Гельмгольца КГ-ЗЭТ-1 и КГ-ЗЭТ-2

Исполнение	Высота и диаметр объема, в котором однородность поля не хуже $\pm 0,5\%$, мм	Средний радиус обмотки, мм	Количество витков в одной секции	Постоянная по магнитной индукции Кв, мТл/А	Постоянная по напряженности поля Кн, м ⁻¹	Сопротивление, Ом	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
КГ-ЗЭТ-1	30	66	100	~1,4	~1100	~30	185×152×93	1,1
КГ-ЗЭТ-2	40	100	160	~1,4	~1100	~70	270×235×130	2,7

При выборе предела измерений и времени интегрирования следует иметь в виду, что относительное влияние электромагнитных помех на погрешность измерений, как и для всякого электрического средства измерений, тем меньше, чем грубее выбранный предел измерений и чем больше время интегрирования сигнала.

Для уменьшения электромагнитных помех на входе веберметра можно использовать обычные методы, принятые в электроизмерительной технике (они рекомендованы также международным стандартом IEC 60404-14:2002):

- поместить катушку Гельмгольца в магнитный экран или проводить измерения в экранированном помещении;

- включить катушку Гельмгольца, в которой проводят испытания образцов МТМ, с идентичной катушкой последовательно навстречу друг другу. При расположении катушек таком, при котором их оси параллельны, на расстоянии вдоль радиуса катушек, приблизительно равном их габаритным размерам, индукционные наводки от электромагнитных помех на зажимах катушек будут практически одинаковыми, а наводки на зажимах веберметра существенно скомпенсируются.

В таблице 2 приведен пример реализации оценки среднего уровня шума и его среднеквадратического значения (СКО) при подсоединении веберметра ТВП-2 к катушкам Гельмгольца КГ-ЗЭТ-1 и КГ-ЗЭТ-2. Установлен предел измерений 10 мВ·с. При замкнутом входе веберметра уровень шумов (которые вычитаются прибором при вычислении интеграла входного сигнала) составляет порядка 0,12 %, СКО напряжения шумов 0,005 % предела измерений. В таблице 3 приведены результаты тех же измерений на пределе 100 мкВ·с. При замкнутом входе веберметра уровень шумов составляет 7,5 %, СКО шума – 0,20 %. Видно, что встречное включение второй катушки Гельмгольца, идентичной первой, позволяет приблизительно на порядок уменьшить влияние электромагнитных помех на процесс измерений и приблизить СКО напряжения шумов на входе веберметра к СКО его собственных шумов.

Таблица 2 – Оценка шумов на входе веберметра от одинарной катушки Гельмгольца и при встречном включении двух идентичных катушек. Предел 10 мВ·с

Катушка Гельмгольца	Средний уровень шума, %		Оценка СКО шума, %	
	Одна катушка	Две катушки	Одна катушка	Две катушки
КГ-ЗЭТ-1	0,14	0,13	0,045	0,006
КГ-ЗЭТ-2	0,12	0,12	0,161	0,012

Таблица 3 – Оценка шумов на входе веберметра от одинарной катушки Гельмгольца и при встречном включении двух идентичных катушек. Предел 100 мкВ·с

Катушка Гельмгольца	Средний уровень шума, %		Оценка СКО шума, %	
	Одна катушка	Две катушки	Одна катушка	Две катушки
КГ-3ЭТ-1	8,6	7,6	4,1	0,35
КГ-3ЭТ-2	5,4	6,7	10,7	1,7

Для выполнения рутинных измерений, например, разбраковки большого количества однотипных образцов из МТМ по потокосцеплению с катушкой Гельмгольца в веберметре ТВП-2 введен режим измерений «Непрерывный». При использовании этого режима у оператора отпадает необходимость для измерения каждого образца нажимать клавишу запуска измерений (и, соответственно, прикасаться к прибору и кабелям). Функции оператора сводятся к следующему: удалить из катушки Гельмгольца образец; считать с дисплея и записать результат измерения; поместить в катушку Гельмгольца следующий образец; по сообщению «Ожидание сигнала» удалить из катушки Гельмгольца этот образец; считать с дисплея и записать результат измерения; продолжать выполнение этих операций до выполнения программы испытаний. Время индикации результата измерения 5 с. Таким образом, с учетом возможных пауз, на выполнение программы испытаний 1000 образцов достаточно 10000 с.

В заключение стоит добавить следующее:

- веберметры (флюксметры) ТВП-2 успешно прошли испытания в целях утверждения типа средств измерений, они внесены в Федеральный информационный фонд под регистрационным номером 75099-19. Гарантийный срок эксплуатации составляет 18 месяцев, в комплект поставки входит свидетельство о первичной поверке;

- каждый экземпляр катушек Гельмгольца КГ-3ЭТ-1 и КГ-3ЭТ-2 поставляется с паспортом, который содержит гарантийные обязательства (24 месяца) и свидетельство о приемке, куда заносится постоянная катушки, измеренная с пределами погрешности ± 3 %.