

**В. А. КАДКИН**

(Свердловск)

## ОБ АВТОМАТИЧЕСКОМ СДВИГЕ КРИВЫХ НАМАГНИЧИВАНИЯ И ПЕТЕЛЬ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА

Изложен способ автоматического сдвига кривых намагничивания и петель магнитного гистерезиса эллипсоидальных ферромагнитных образцов, основанный на суммировании разностей потенциалов, получаемых с помощью двух датчиков. Применение данного способа позволяет автоматизировать запись кривых намагничивания и петель гистерезиса. Указаны некоторые известные конструкции магнитометров с автоматической записью, в которых используется этот способ.

Для дальнейшего развития теории ферромагнетизма, совершенствования старых и разработки новых его приложений одной из важнейших задач является более детальное исследование закономерностей статических кривых намагничивания, петель магнитного гистерезиса ферромагнетиков и их семейств. Решение этой задачи в связи с большим количеством различных операций требует применения высокопроизводительных методов. Основные методы измерения названных характеристик — баллистический и магнитометрический — несовершенны из-за низкой производительности, поэтому разработка для этой цели измерительных цепей, позволяющих получить высокую производительность и достаточную точность, представляется актуальной.

В идеальном случае такие измерительные цепи должны удовлетворять следующим условиям: 1) возможности получения электрических напряжений, пропорциональных величинам, характеризующим магнитное состояние ферромагнитного материала при помощи датчиков э. д. с.; 2) свободе образцов от датчиков э. д. с. и элементов намагничивающих устройств. Выполнение первого условия дает широкий выбор методов измерений (включая и наиболее точный — компенсационный метод) и измерительных приборов, а также позволяет автоматизировать процесс записи. Выполнение второго условия обеспечивает быструю замену исследуемых образцов (без перемещения датчиков с мест их расположения).

Для исследования ферромагнитных свойств применяются ферромагнитные образцы замкнутой и разомкнутой формы. В ряде случаев разомкнутая форма образцов удобнее, так как дает больше возможностей для быстрой их замены, особенно при исследовании во внешнем магнитном поле. Однако при снятии кривых намагничивания и петель гистерезиса с ферромагнитных образцов разомкнутой формы во внешнем магнитном поле возникают трудности в измерении напряженности

внутреннего магнитного поля. Это связано с тем, что из-за размагничивающего действия полюсов образца напряженность внутреннего магнитного поля ферромагнетика  $H_i$  меньше напряженности внешнего магнитного поля  $H_e$ , которую можно измерить сравнительно легко (в образцах кольцевой формы  $H_i = H_e$ , и поэтому не возникает особых трудностей в измерении  $H_i$ ). Для однородных образцов в форме эллипсоида, однородно намагничиваемых в однородном внешнем магнитном поле, вдоль главных осей напряженность  $H_i$  совпадает по направлению с напряженностью  $H_e$  и намагниченностью  $J$  и выражается наиболее просто и точно через соотношение

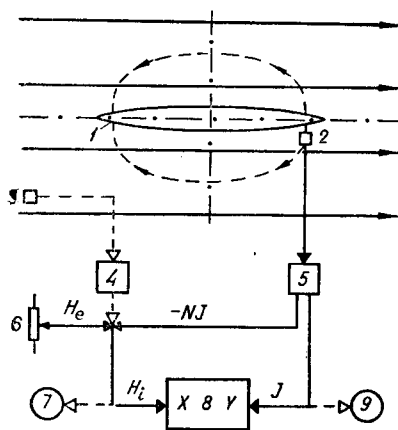
$$H_i = H_e - NJ, \quad (1)$$

где  $N$  — коэффициент размагничивания вдоль данной оси [1].

Поэтому для точных магнитных измерений применяют эллипсоидальные ферромагнитные образцы. Обычно их берут в форме оvoidа (а иногда и шара), располагая большой осью вдоль внешнего поля (при вытянутой форме они имеют меньший коэффициент  $N$ ). По формуле (1) вычисляют  $H_i$  по известному (для заданного отношения осей) коэффициенту размагничивания  $N$  и измеренным значениям  $H_e$  и  $J$ . Такой пересчет  $H_e$  в  $H_i$  позволяет перейти от кривых тела к кривым материала и ведет к так называемому сдвигу [2] кривых намагничивания и петель гистерезиса. При этом погрешности в определении  $H_i$  складываются из погрешностей измерения  $H_e$  и  $J$  и при одновременности измерения последних могут возрастать из-за нестабильности намагничивающего тока, температурных изменений и т. д. Сдвиг требует дополнительных затрат сил и времени исследователей и во многих случаях непроизводителен.

Для однородных образцов в форме эллипсоида и шара эти недостатки могут быть преодолены при помощи способа автоматического сдвига кривых намагничивания и петель магнитного гистерезиса, путем суммирования разностей потенциалов. Возможный вариант осуществления этого способа был показан Смитом [3] на блок-схеме магнитометра с вибрирующей катушкой и малыми сферическими образцами в поле электромагнита. Позднее автор [4] предложил другой вариант реализации этого способа в магнитометре с вибрирующей катушкой и образцами в форме эллипсоида вращения в поле соленоида. Данный способ автоматического сдвига заключается в получении разности потенциалов, пропорциональной  $H_i$ , путем суммирования разностей потенциалов, пропорциональных  $H_e$  и  $-NJ$ , по формуле (1). Разности потенциалов, пропорциональные  $H_e$  и  $-NJ$ , могут быть получены с помощью измерительных датчиков, и, если нужно, перед суммированием их можно усилить, выпрямить и свести к одному масштабу. Изменение поля  $H_e$  благодаря такому сложению вызывает соответствующее изменение разности потенциалов, пропорциональной  $H_i$ , что ведет к автоматическому сдвигу кривых намагничивания и петель гистерезиса.

На рисунке представлена общая электрическая блок-схема для получения статических кривых намагничивания и



ложен датчик 2. Он преобразует нормальную составляющую рёзмагничивающего поля образца в э. д. с., которая пропорциональна  $J$  и после усиления и выпрямления которой в усилительно-выпрямительном устройстве 5, если в этом есть необходимость, получаются напряжения, пропорциональные  $J$  и  $-NJ$ . Напряжение, пропорциональное  $J$ , может быть подано на вход  $Y$  самописца 8 или на измерительный прибор 9, а напряжение, пропорциональное  $-NJ$ , направляется для сложения с напряжением, пропорциональным  $H_e$ . Датчик 3 удален от образца настолько, что на величину его э. д. с. поле образца не оказывает заметного влияния. Он служит для преобразования  $H_e$  в пропорциональную э. д. с. После усиления и выпрямления в усилительно-выпрямительном устройстве 4, если в этом есть необходимость, получается напряжение, которое пропорционально  $H_e$  и которое можно сложить с упомянутым выше напряжением, пропорциональным  $-NJ$ . В результате получим напряжение, пропорциональное  $H_i$  (цепь датчика 3 обозначена пунктиром). Если источником внешнего намагничивающего поля является соленоид (на рисунке не указан), то напряжение, пропорциональное  $H_e$  можно получить непосредственно с сопротивления 6, включенного в цепь соленоида. Полученное напряжение, пропорциональное  $H_i$ , может быть подано на вход  $X$  самописца 8 или на измерительный прибор 7. Иногда целесообразно в 4 и 5 применять фазочувствительные выпрямители и автоматизировать регулирование намагничивающего тока. Это особенно относится к случаю, когда требуется производить запись семейств петель гистерезиса.

Из рассмотрения схемы видно, что она удовлетворяет первоначально поставленным условиям и может явиться основой для создания новых установок как для экспрессных и массовых испытаний, так и для прецизионных измерений характеристик ферромагнитных материалов.

В заключение считаю своим приятным долгом поблагодарить профессора Р. И. Януса за ценные замечания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. J. A. Osborn. Demagnetising Factors of the General Ellipsoid.— Phys. Rev., 1954, v. 67, № 11—12, p. 351.
2. В. И. Чечерников. Магнитные измерения. М., Изд-во МГУ, 1963.
3. D. O. Smith. Development of a Vibrating-Coil Magnetometer.— Rev. Sci. Instr., 1956, v. 27, № 5, p. 261.
4. В. А. Кадкин. Устройство для получения статических магнитных характеристик ферромагнитных материалов. Авторское свидетельство № 147672. Бюллетень изобретений, 1962, № 11.

Поступила в редакцию  
26 мая 1965 г.  
окончательный вариант —  
10 августа 1965 г.