

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОНА- СЫЩЕННЫХ ПЕРМАЛЛОВЫХ ДАТЧИКОВ

Б. Н. КАЛИНИН, В. Н. КУЗЬМИН, Ю. К. ПЕТРОВ

Пермалловые датчики с продольным насыщением находят широкое применение при измерениях постоянных, переменных и импульсных магнитных полей в ускорителях заряженных частиц и других устройствах.

Пермалловый датчик представляет собой полосу или проволочку из пермаллоя с сигнальной обмоткой, состоящей из 100 ÷ 500 витков тонкого провода. В момент прохождения составляющей магнитного поля, направленной вдоль оси сердечника, через нулевое значение сердечник перемагничивается, и в сигнальной обмотке возникает импульс напряжения. Параметры импульса зависят от многих факторов: размеров и материала сердечника, способов механической и термической обработок, а также от скорости изменения магнитного поля в момент возникновения импульса. Величина измеряемого магнитного поля в момент возникновения импульса определяется по току в измерительной обмотке, которая создает поле, равное и противоположное измеряемому.

В НИИЯФ при ТПИ была разработана конструкция и технология изготовления пермалловых датчиков для измерения магнитных полей, которые позволяют получать импульсы длительностью до 2 мксек и амплитудой 0,05 ÷ 0,1 в при скорости изменения магнитного поля 10 тл/сек. Для сердечников пермалловых датчиков применялся проволоочный пермаллой марки 80НХС диаметром 0,025 ÷ 0,075 мм и длиной 2 ÷ 5 см. Пермаллой подвергался отпуску в атмосфере водорода при температуре 500 ÷ 700°К и помещался в тонкую кварцевую трубку диаметром 0,5 ÷ 1 мм. На кварцевую трубку наматывалась сигнальная обмотка проводом ПЭЛ 0,02 ÷ 0,03 мм с числом витков 100 ÷ 500. Изготовленный таким образом датчик вставлялся в стеклянную трубку диаметром 3 ÷ 4 мм, а последняя в специальное устройство для вытяжки пермаллоя (рис. 1) [1]. Данное устройство помещалось в соленоид, питаемый током промышленной частоты. Вытягивая пермалловую проволочку с напряженностью  $(4 \div 5) \cdot 10^8 \text{ н/м}^2$  и одновременно скручивая ее, добиваются, чтобы импульс напряжения имел треугольную форму и минимальную длительность. Затем это напряженное состояние фиксируют с помощью зажимного винта, и стеклянную трубку заливают эпоксидной смолой. После выдержки в течение 24 часов датчик готов.

Недостатком такого метода изготовления является то, что форма и амплитуда импульса, а также величина коэрцитивной силы у напряженного датчика в значительной степени зависит от температуры датчика. Это обусловлено тем, что температурные коэффициенты расширения пермаллоя и эпоксидной смолы различны. Поэтому изменение температуры датчика приводит к изменению напряжения в пермаллоевой проволочке, что вызывает изменение параметров импульса. В ненапряженных датчиках зависимости параметров импульсов от температуры не наблюдалось.

Отжиг пермаллового сердечника в кварцевой трубке при температуре  $1300^{\circ}\text{K}$  без последующего создания напряжений позволяет получить импульс колоколообразной формы длительностью около  $4 \div \text{мксек}$ .

Известно, что с изменением скорости роста магнитного поля вследствие наличия вихревых токов в сердечнике изменяется коэрцитивная сила (ширина петли гистерезиса), а, следовательно, изменяется момент возникновения импульса относительно прохождения магнитного поля через нулевое значение. Это явление в некоторых случаях может привести к ошибке в измерениях.

Измерение ширины петли пермаллового сердечника проводилось авторами двумя методами.

Сущность первого метода [2] заключается в том, что на вертикальную развертку осциллографа подаются импульсы с сигнальной обмотки датчика, а горизонтальная развертка осуществляется с помощью напряжения, снимаемого с сопротивления включенного последовательно с дросселем, в котором создается магнитное поле промышленной частоты (рис. 2). В результате на экране получаем осциллограмму двух импульсов разной полярности, расстояние между которыми пропорционально ширине петли гистерезиса. По величине постоянного тока через измерительную обмотку датчика, которая перемещает эти импульсы по оси  $X$  на расстояние, равное расстоянию между импульсами, можно определить ширину петли гистерезиса пермаллового сердечника.

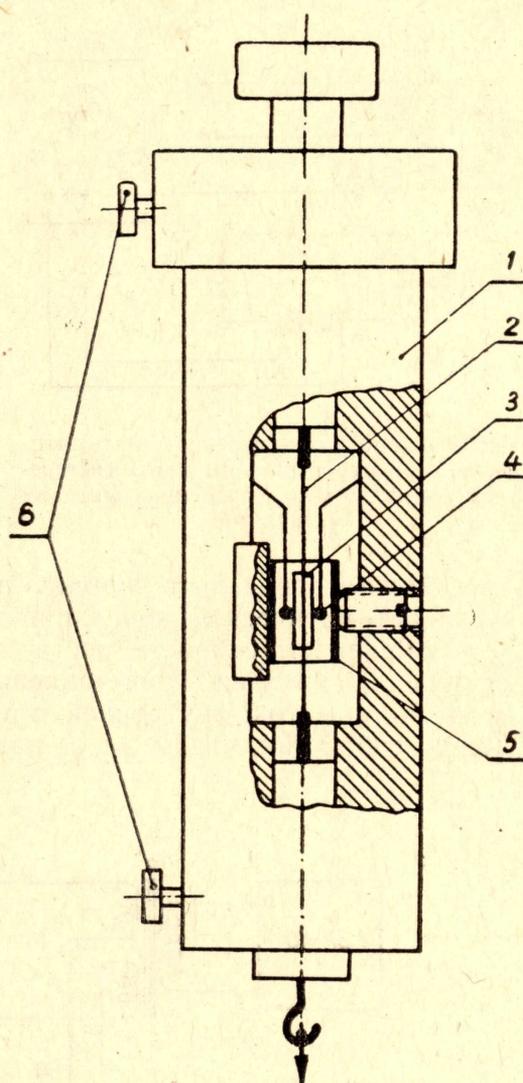


Рис. 1. Устройство для вытяжки пермаллового сердечника в магнитном поле: 1—обойма, 2 — пермалловый сердечник, 3 — кварцевая трубочка, 4 — сигнальная обмотка, 5 — стеклянная трубка, 6 — зажимные винты

Измерение ширины петли гистерезиса проводилось также по схеме, приведенной на рис. 3. Исследуемый пермаллоевый сердечник «Д» с сигнальной обмоткой  $\omega_2$  помещается внутрь катушки возбуждения  $\omega_1$ , которая питается синусоидальным током с частотой  $500 \div 800$  гц. Величина поля возбуждения определяется по известным геометрическим параметрам катушки и току через нее. Напряжение, пропорциональное току возбуждения,

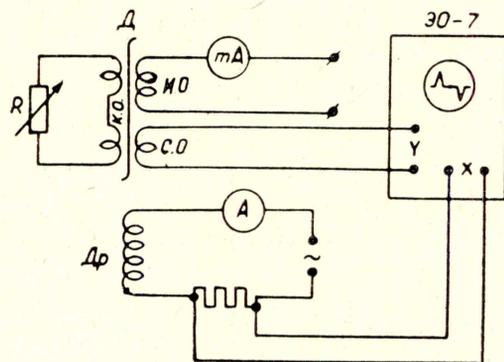


Рис. 2. Схема для измерения и автоматической коррекции ширины петли гистерезиса пермаллового сердечника методом импульсов

поступает на вертикальный вход осциллографа, создавая на экране непрерывную синусоиду. В тот момент, когда поле в сердечнике равно его коэрцитивной силе, в сигнальной обмотке возникает импульс напряжения, который поступает на модулятор яркости осциллографа. В результате на синусоиде возникают чередующиеся светлые и темные точки, расстояние между которыми по вертикали пропорционально ширине петли гистерезиса. Зная величину поля возбуждения, по осцилло-

грамме можно определить ширину петли гистерезиса.

Для автоматической коррекции изменения ширины петли гистерезиса с изменением скорости роста поля авторами предложена цепь коррекции [2], которая представлена на рис. 2. Цепь коррекции состоит из 2-х обмоток: внутренней и наружной. Эти обмотки соединяются между собой так, чтобы э.д.с., наводимые в них переменным полем,

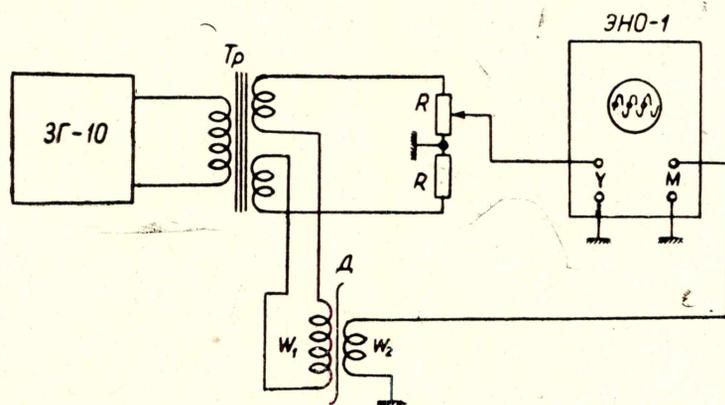


Рис. 3. Схема для измерения ширины петли гистерезиса пермаллового сердечника методом модуляции поля возбуждения

были направлены встречно, причем наружная обмотка должна создавать большую э.д.с., чем внутренняя. Концы корректирующей обмотки замыкаются на сопротивление  $R$ . При этом в области пермаллового сердечника создается опережающее поле, линейно зависящее от скорости роста магнитного поля. Ширина петли гистерезиса зависит не линейно от скорости роста магнитного поля, поэтому коррекцию ширины

петли гистерезиса можно осуществить лишь в некотором интервале скоростей роста магнитного поля.

Для настройки цепи коррекции датчик помещается в поле с заданной скоростью роста поля, и подбирается величина сопротивления так, чтобы импульсы на осциллограмме совместились. Правильность настройки проверяется путем изменения скорости роста поля в диапазоне рабочих скоростей роста, при этом импульсы не должны расходиться.

В одном из изготовленных авторами датчиков без коррекции ширины петли гистерезиса при изменении скорости роста магнитного поля на  $\pm 5\%$  погрешность измерений составляет  $\pm 1 \cdot 10^{-5}$  тл, а при наличии коррекции эта погрешность уменьшается до  $\pm 1 \cdot 10^{-7}$  тл.

Пермалловые датчики применялись авторами в фазометрах — приборах, используемых в бетатронах для определения момента перехода переменного магнитного поля через нулевое значение. В фазометре имеется два датчика, из которых один неподвижный, а другой передвигается и устанавливается в точке измерения. Оба импульса с сигнальных обмоток подаются на вертикальный вход осциллографа. Фазовый сдвиг между магнитными полями в точках, где установлены датчики, определяется по величине постоянного тока подпитки в измерительной обмотке одного из датчиков при совпадении импульса на осциллограмме. Если запитать током измерительную обмотку и второго датчика и поддерживать его постоянное значение в течение всех измерений, то можно измерять мгновенные значения поля, причем уровень измеряемого поля измерять величиной тока в измерительной обмотке второго датчика. Погрешность измерения поля этим методом составляет  $\pm 5 \cdot 10^{-7}$  тл.

Кроме этого пермалловые датчики использовались нами в магнитометре для измерения мгновенных значений импульсных магнитных полей [3], в приборе для измерения постоянных магнитных полей [4] и в устройстве для определения медианной поверхности магнитного поля синхротрона [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. К. Петров. Применение упругих деформаций сердечников при изготовлении пермалловых зондов. Электронные ускорители. Труды IV межвузовской конференции по электронным ускорителям, 259, 1964.
2. Ю. К. Петров, Б. Н. Калинин. Учет гистерезиса в пермалловых датчиках нулевого магнитного поля. Электронные ускорители. Труды III межвузовской конференции по электронным ускорителям, 213, 1963.
3. Б. Н. Калинин. Измерение отношения токов в датчиках пермаллового магнитометра (настоящий том).
4. В. Н. Епонешников, В. Н. Кузьмин. Прибор для измерения слабых постоянных магнитных полей. Электронные ускорители. Труды III межвузовской конференции по электронным ускорителям, 218, 1963.
5. В. Н. Кузьмин, Ю. К. Петров. ПТЭ, 1, 177, 1962.