

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МЕДИАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В УСКОРИТЕЛЕ

В. И. КУЗЬМИН, Ю. К. ПЕТРОВ

Принцип работы прибора

В настоящее время методика измерения медианной поверхности магнитного поля в ускорителях развивается по трем направлениям: электродинамические методы [1, 2], методы с измерительными катушками [3, 4] и методы с пермалловыми датчиками [5, 6, 7, 8]. Электродинамические приборы, чаще всего используемые в ускорителях типов циклотрона и фазотрона, не сложны по конструкции, однако дают невысокую точность и имеют громоздкие датчики. Методы с использованием индукционных катушек применяются в переменных полях и пригодны для ускорителей типа синхротрона. Эти методы обычно основаны на измерении радиальной составляющей магнитного поля. К их недостаткам относятся, в первую очередь, трудности устранения ошибок, обусловленных вертикальной составляющей магнитного поля.

В последнее время все большее распространение получают методы с применением пермалловых датчиков. Пермалловые датчики невелики по размерам, высокочувствительны и позволяют определять подробную конфигурацию медианной поверхности.

Описываемый ниже прибор использует пермалловый датчик и основан на нахождении в зазоре точек, в которых радиальная составляющая магнитного поля равна нулю. Пермалловый датчик закрепляется в штоке механизма перемещения. Механизм перемещения датчика позволяет устанавливать датчик в горизонтальной плоскости и изменять высоту положения датчика в воздушном зазоре электромагнита. В механизме предусмотрена возможность радиального перемещения датчика, что позволяет снимать зависимость $z_m(r)$. Для снятия зависимости $z_m(\theta)$ механизм переносится с подставкой.

При измерениях датчик устанавливается в воздушном зазоре таким образом, чтобы ось сердечника датчика была приблизительно параллельна радиусу кривизны электромагнита. Производится горизонтальная установка оси трубы по жидкостному (реверсионному) уровню, и затем датчик перемещается механизмом подъема по высоте в точку, где составляющая магнитного поля вдоль сердечника датчика равна нулю. Нулевое положение определяется электронной схемой. Отметка высоты датчика делается с помощью встроенного в механизм

жидкостного индикатора высоты. С целью учета ошибки, обусловленной вертикальной составляющей магнитного поля, датчик поворачивается на 180° вокруг оси трубы, после чего находится новое положение датчика по высоте, где составляющая поля вдоль его оси равна нулю. Среднеарифметическая величина из двух высотных отметок дает значение z_m с точностью до $\pm 0,3$ мм.

Механизм передвижения датчика

Общий вид механизма передвижения представлен на рис. 1. Основной частью механизма является труба. В трубу ввинчивается и стопорится винтом противовес с уровнем. Труба в двух подшипниках скольжения может поворачиваться на 180° и стопорится защелкой. Подшипники скольжения выполнены в общем латунном стакане, который жестко укреплен на внутренней трубе узла вертикального перемещения. Датчик медианной поверхности помещается в гнезде штока, причем кабель датчика выводится по внутреннему каналу штока и закрепляется у заднего отверстия штока замком. Шток может перемещаться вдоль оси трубы и закрепляется в нужном положении цанговым зажимом. На заднем конце штока нанесены отметки, соответствующие радиальным координатам положения датчика в воздушном зазоре. Передняя часть трубы выполнена из текстолита, чтобы не искажалось измеряемое магнитное поле.

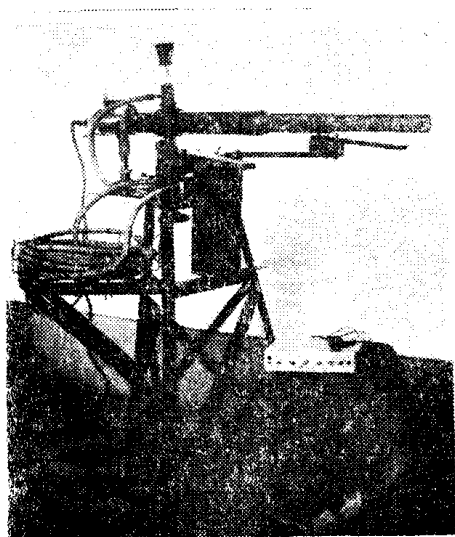


Рис. 1.

Установка оси трубы механизма в горизонтальной плоскости производится по реверсионному уровню с помощью регулировочного болта. Устойчивость горизонтального положения трубы обеспечивается пружиной и плотной посадкой оси экзаменатора.

Узел вертикального перемещения состоит из внутренней и внешней труб. Внешняя труба закрепляется в гнезде экзаменатора. Внутренняя труба может перемещаться во внешней трубе без люфта. Подъем и опускание трубы с датчиком осуществляется посредством винта с маховиком. Сохранение неизменного направления оси трубы в горизонтальной плоскости обеспечивается шпонкой.

Жидкостный индикатор высоты

Жидкостный индикатор высоты действует по принципу сообщающихся сосудов [9]. Он состоит из двух стоек, соединенных шлангами с цилиндром. В цилиндр вставлен поршень с микрометрическим винтом, причем уровни жидкости в стойках отсчитываются по шкалам микрометрического винта. При измерениях медианной поверхности одна из стоек устанавливается на механизме передвижения, а вторая укрепляется жестко в любом месте, и относительно нее измеряется положение медианной поверхности. Радиус действия прибора опреде-

ляется длиной шлангов, а последняя лимитируется переходными процессами установления уровня жидкости в шлангах. В описываемом приборе использовались вакуумные шланги 6х6 мм длиной 10 метров. Диаметр стеклянных стоек был равен 20 мм, диапазон измеряемых уровней составлял 30 мм.

Момент соприкосновения острий в стойках с уровнем воды определяется по замыканию электрической схемы с амперметром в качестве индикатора. Острия в стойках выполнены из серебряной проволоки диаметром в 1 мм и заточены до диаметра 0,3 мм. Работа проводилась только на замыкание контактов. При этом исключаются погрешности, связанные с явлением поверхностного натяжения жидкости и люфтом микрометрического винта.

Индикатор нуля магнитного поля

Для индикации нуля магнитного поля используется метод ферродатчика с большим продольным возбуждающим полем (с насыщением). Такой датчик в совокупности с электрической схемой (рис. 2) позволяет фиксировать нуль магнитного поля с точностью до $\pm 0,003$ эрстеда [10].

Датчик представляет из себя полосу из пермаллоя марки 80 НХС с размерами 0,02 х 0,1 х 25 мм. Непосредственно на полосу намотана сигнальная обмотка проводом ПЭЛ-0,02, сопротивление обмотки около 400 ом. Пермаллоевая полоска, предварительно подвергнутая отжигу, зажимается между двумя отшлифованными половинками каркаса обмотки перемангничивания, что обеспечивает выпрямление полоски в определенной плоскости. Перемангничивающая обмотка, состоящая из 700 витков провода ПЭЛ-0,15, питается током частотой 6 кГц от генератора ЗГ-10.

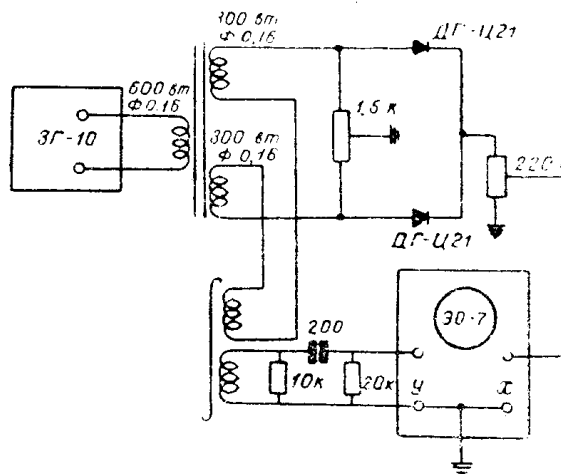


Рис. 2.

Погрешности измерения

Полная погрешность измерения медианной поверхности складывается из погрешности индикации нуля магнитного поля, погрешности индикации высоты и погрешности, обусловленной негоризонтальностью пермаллоевой полоски.

Как указывалось выше, электрическая схема обеспечивает индикацию нуля магнитного поля с точностью до $\pm 0,003$ э, что соответствует ошибке определения медианной поверхности 0,06 мм (при радиусе кривизны силовых линий 200 см и величине управляющего поля на орбите 100 э).

Погрешности жидкостного индикатора высоты обуславливаются неточностью отсчета со шкалы микрометрического винта, разностью температур столбов жидкости в плечах стоек, поверхностным натяжением жидкости и люфтом между ходовой гайкой винта и связан-

ным с ней поршнем. Использованный в приборе индикатор высоты испытывался с помощью калиброванных щупов, при этом разброс показаний индикатора не выходил за пределы $\pm 0,1$ мм.

Основные погрешности при измерении медианной поверхности обычно вызываются неточностью горизонтальной установки датчика в зазоре. Последняя определяется ценой деления жидкостного уровня и жесткостью связи уровня с датчиком.

Использованный реверсионный уровень имеет цену деления $27''$. Устанавливать уровень в горизонтальную плоскость можно с точностью до половины деления, при этом ошибка в измерении медианной поверхности составляет $\pm 0,14$ мм.

Жидкостный уровень трубы для удобства измерений вынесен из воздушного зазора электромагнита и установлен на противовесе. Под действием собственного веса тяжести труба изгибается так, что ось трубы образует угол α с горизонтальной плоскостью. Расчетная величина α для описываемого прибора составляет 0,00015 радиан. Погрешность в измерении медианной поверхности подсчитывается по формуле $\delta z_m = R\alpha$ (где R — радиус кривизны силовых линий) и составляет 0,3 мм. Эта ошибка может быть учтена при измерении медианной поверхности.

При склеивании трубы из нескольких элементов невозможно добиться абсолютное совпадение осей всех элементов. Изменение высоты датчика при повороте трубы на 180° создает дополнительную погрешность. В описываемом приборе эта погрешность была устранена выбором такой плоскости поворота, в которой все искривление трубы оказывается в горизонтальной плоскости.

Описанный прибор создан и испытан в Томском политехническом институте. Испытания подтвердили высокую точность и надежность прибора. Среднеквадратичная ошибка Π проверочных измерений в одной точке составила $\pm 0,14$ мм, максимальная ошибка не превышала 0,3 мм. Прибором легко и быстро определялась подробная конфигурация медианной поверхности магнитного поля в зазоре. В отличие от всех предшествующих отечественных и зарубежных приборов, в описываемом приборе привязка датчика не зависима от магнитопровода. Таким образом с помощью данного прибора может быть осуществлена высотная установка блоков ускорителя по медианной поверхности. Недостатком данного прибора является невозможность динамических измерений медианной поверхности.

Кратко укажем возможные пути улучшения характеристик прибора.

1. Использовать для индикации нуля магнитного поля метод феррозонда, работающего на сумме четных гармоник [9, 10]. В этом случае электрическая схема проста, а точность индикации может достигать $1 \cdot 10^{-4}$ эрст.

2. Использовать в жидкостном индикаторе высоты для стоек цилиндры с диаметром порядка 50 мм. Точность измерений при этом возможна до 0,02 мм.

3. Использовать жидкостный уровень с ценой деления 3–4 сек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anderson H. L., Marshall J., Kornblith L., Schwarz L., Muller R., Rev. Sci. Instr., **23**, 12, 707–728, 1952.
2. Данилов В. И., Дмитриевский В. П., Залодчиков Б. И., Катыхин В. С., Кропкин А. А., Честный А. В., ИТЭ, **3**, 17–22, 1956.
3. Richardson R. E., Sewell D. C., Rev. Sci. Instr., **22**, 9, 697, 1951.

4. Green G. K., Kassner R. R., Moore W. H., Smith L. W. Rev. Sci. Instr., **24**, 9, 743-755, 1953.
5. Diambriini-Palazzi G., Symposium CERN, 1, 442-475, 1956.
6. Diambriini-Palazzi G., Nuovo Cimento, **3**, 2, 331-349, 1956.
7. Шорин К. Н., Метальников Ю. Н., Бозин Г. М., Еремин Л. В., ПТЭ, **4**, 25-30, 1958.
8. Кузьмин В. Н., ИВУЗ, Электромеханика, **4**, 113-118, 1959.
9. Петров Ю. К., Жидкостный индикатор уровня (настоящий сборник).
10. Епояешников В. Н., Кузьмин В. Н. Прибор для измерения слабых постоянных магнитных полей. Сборник трудов III Межвузовской конференции по электронным ускорителям. Томск, Изд-во ТГУ, 218, 1961.
11. Дрожжина В. И., Фридман Л. А., Известия АН СССР, серия физическая, т. XXI, **9**, 1320-1322, 1957.
12. Афанасьев Ю. В. Сб. произв. технич. информации по геофизическому приборостроению. вып. 3, 1959.