

сообщения
Объединенного
Института
Ядерных
Исследований
Дубна

3201/82

12/7-82
13-82-221

Н.Н.Евдокимов, Ю.Т.Кирюшин, Ю.М.Колесников,
Н.А.Невская

ИНДУКЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ
ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ
ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

1982

Индукционный измеритель позволяет провести измерение центра тяжести /Ц.Т./ электронного пучка без его разрушения. Поэтому такой детектор выбран для установки на ускоритель СИЛУНД-20.

Измеритель представляет собой ферритовое кольцо размером 250x170x25 мм, содержащее 4 одинаковые обмотки, каждая из которых занимает четверть длины кольца. Сигналы с противоположных обмоток вычитаются. Для защиты от внешних электрических полей кольцо помещено в металлический экран. Если для каждой обмотки выполняются следующие условия:

- магнитная индукция \vec{H} и магнитная проницаемость μ постоянны по поперечному сечению S ,
- плотность витков N/L и сечение S постоянны вдоль средней длины обмотки L ,

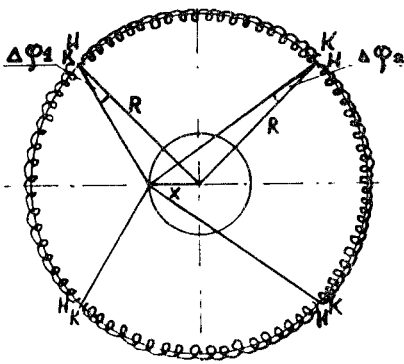
тогда выражение для напряжения U_1 , наведенного в одной обмотке, имеет вид^{/1/}

$$U_1 = \mu_0 \mu (N/L) S \frac{d}{dt} \int_L \vec{H} d\vec{\ell}.$$

С другой стороны, для прямого тока, перпендикулярного плоскости детектора, справедливо соотношение^{/2/}

$$\int_L \vec{H} d\vec{\ell} = i \phi / 2\pi.$$

Здесь ϕ - угол, под которым виден контур \mathcal{L} из точки пересечения плоскости детектора и тока. Смещение тока x по оси симметрии, как показано на рис.1, приведет к изменению напряжения



на противоположных обмотках пропорционально величинам приращения углов $2\Delta\phi_1$ и $2\Delta\phi_2$, для которых справедливы формулы

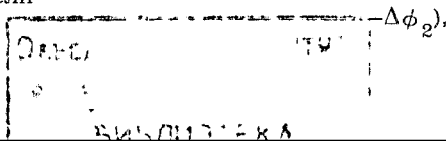
$$x/\sqrt{2}R = \text{tg}(\Delta\phi_1)/(1 + \text{tg}(\Delta\phi_1)),$$

$$x/\sqrt{2}R = \text{tg}(\Delta\phi_2)/(1 - \text{tg}(\Delta\phi_2)).$$

При малых x данные формулы преобразуются в приближенные соотношения

$$x/\sqrt{2}R \approx \Delta\phi_1/(1 + \Delta\phi_1), \quad x/\sqrt{2}R \approx \Delta\phi_2/(1 -$$

Рис.1. Зависимость приращения угла ϕ от величины смещения тока.



так что для разности напряжений U на противоположных обмотках будет справедливо

$$U \sim \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 = 2x/\sqrt{2}R,$$

а вклад нелинейного члена составит по порядку величины $x^2/2R^2$. Таким образом, при малых смещениях тока величина разности напряжений с противоположных обмоток пропорциональна величине смещения, и если указанные разности обозначить через U_x и U_y , то их связь с координатами X и Y выражается формулами

$$U_x = k_x'x + U_{0x}, \quad U_y = k_y'y + U_{0y},$$

или, вводя величину V , пропорциональную току, получим окончательно:

$$V_x = k_x x + V_{0x}, \quad V_y = k_y y + V_{0y},$$

где

$$V_x = U_x / V, \quad V_y = U_y / V, \quad V_{0x} = U_{0x} / V, \quad V_{0y} = U_{0y} / V.$$

Здесь коэффициенты k_x , k_y , V_{0x} , V_{0y} являются характеристиками конструкции измерителя. Их независимость от координат обуславливает линейность измерителя.

Для обеспечения широкополосности детектора каждая из его обмоток разделена на 10 секций по 5 витков, которые шунтируются парой сопротивлений $MOH - 10 \text{ Ом}$. Применение такого способа позволяет устранить паразитные колебания за счет малого количества витков в секции и тем самым повысить быстродействие обмотки. Сопротивление нагрузки имеет величину 50 Ом для согласования с 50-омным кабелем.

Внешний вид детектора положения Ц.Т. пучка и стенда для его калибровки показан на рис.2. Схема калибровка изображена на рис.3. Источником импульсов тока является тиратронный генератор с формирующей линией. Пояс Роговского /3/, установленный в цепи разряда формирующей линии, служит для запуска электронной схемы непосредственно от импульса тока. Это позволяет исключить джиттер тиратрона. Импульс тока подается на измеритель через кабельную задержку в 100 нс . Сигналы с обмоток поступают на линейные ворота /4/ с интегратором, стробируемые импульсами длительностью 30 нс . С интеграторов линейных ворот сигналы следуют на 1024-канальные АЦП /5/ и далее в ЭВМ. На ЭВМ проводится вычисление коэффициентов k_x , k_y , V_{0x} , V_{0y} по формулам

$$V = U_{1x} + U_{2x} + U_{2y} + U_{2y}; \quad V_{0x} = (U_{1x} - U_{2x}) / V |_{x=0};$$

$$V_{0y} = (U_{1y} - U_{2y}) / V |_{y=0};$$

$$k_x = [(U_{1x} - U_{2x}) / V - V_{0x}] / x;$$

$$k_y = [(U_{1y} - U_{2y}) / V - V_{0y}] / y,$$

где U_{1x} , U_{2x} , U_{1y} , U_{2y} - напряжения на обмотках.

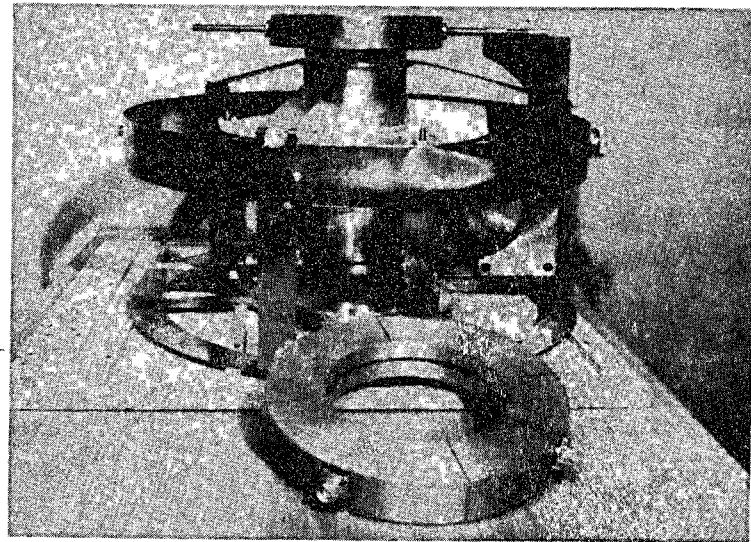
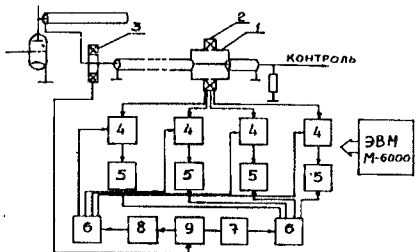


Рис.2. Внешний вид детектора положения Ц.Т. пучка и стенда для его калибровки.

Рис.3. Схема калибровки измерителя. 1 - стенд, 2 - измеритель, 3 - пояс Роговского, 4 - линейные ворота, 5 - АЦП, 6 - разветвитель, 7 - формирователь /1 мкс/, 8 - формирователь /30 нс/, 9 - преобразователь сигналов.



Механизм установки координат прямого тока внутри детектора обеспечивает пространственную точность лучше 1 мм . Точность интегрирования заряда с помощью линейных ворот лучше $1,5\%$.

Определение величин коэффициентов k_x , k_y , V_{0x} , V_{0y} и степени их постоянства в круге радиусом 3 см состояло в следую-

щем. Проводник с током был закреплен перпендикулярно плоскости измерителя и ступенчато перемещался в полярных координатах ρ и ϕ . Координаты ϕ соответствовали значениям относительно оси X 0° , 30° , 60° , 90° , -30° , -60° , и для каждого из них в пределах $-30 \div +30$ мм с шагом 5 мм устанавливали значение ρ . Результаты калибровки показали, что величины коэффициентов постоянны с относительной среднеквадратичной ошибкой 3%. Сумма напряжений с обмоток пропорциональна величине тока и не зависит от его положения /максимальная ошибка составляет 0,5%/.

Широкополосность детектора была проверена импульсами тока с фронтом 3 нс. При визуальном наблюдении искажений, обусловленных таким фронтом, не обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведена расчетная оценка точности измерителя Ц.Т. электронного пучка. На ее основе изготовлен измеритель, который исследован и откалиброван на стенде. По результатам испытаний он имеет следующие характеристики:

- разрешение по X и по Y в круге радиусом 3 см не хуже 1 мм,
- точность измерения полного заряда лучше 0,5%,
- фронты нарастания и спада не более 3 нс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. "Мир", М., 1972.
2. Калашников С.Г. Электричество. "Наука", М., 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 марта 1982 года.

Евдокимов Н.Н. и др.

13-82-221

Индукционный измеритель положения центра тяжести электронного пучка

Для диагностики электронного пучка СИЛУНДА-20 разработаны индукционные датчики положения центра тяжести пучка. Измеритель представляет собой ферритовое кольцо с четырьмя обмотками, заключенное в металлический экран. Сигналы с обмоток поступают на электронные блоки в стандарте КАМАК и далее в ЭВМ, где производится вычисление координат центра тяжести и заряда пучка. В работе описана конструкция измерителя и изложен расчет оценки его точности. Описаны также стендовые испытания на линии с ЭВМ по измерению характеристик датчика, результаты которых приводятся ниже:

- разрешение по X и по Y в круге радиусом 3 см не хуже 1 мм,
- точность измерения заряда не хуже 0,5%,
- фронты нарастания и спада не более 3 нс.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Evdokimov N.N. et al.

13-82-221

Induction Pick-Up of Placement of Electron Beam Centre of Gravity

For diagnostics of SILUND-20 electron beam induction pick-ups of placement of centre of gravity have been developed. The detector is a ferrite core with four winding, confined into the metallic screen. The signals are fed to the electron blocks in CAMAC standard and further on, into computer, where the coordinates of center of gravity and the beam charge are calculated. The detector construction is described. The estimation of its precision is given. The results of on-line tests on the measurements of pick-up characteristics are presented:

- resolution on X and Y in the circle with the radius of 3 cm is not less than 1 mm;
- precision of the charge measurement amounts to 0.5%;
- leading and travelling edges are not longer than 3 ns.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.