

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄ ՆԱՍԿՈՒՄ ՍՈՑԻԱԼԻՍՏԻԿԱՆ
НАУЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

ЕФИ-162(76)

547406537

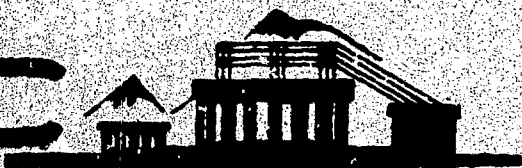
Ա.Յ.ԲԱԲԱՅԱՆ, Վ.Ի.ԳՐԴԻՆ, Լ.Օ.ՏԵՊՅԱՆ, Ա.Ր.ԿՄԱՆՅԱՆ

ՍԻՆԽՐՈՏՐՈՆԻ ՄԱՍԻՆՈՒՄԻ ՄԱՍԻՆՈՒՄԻ
ՄԱՍԻՆՈՒՄԻ ՄԱՍԻՆՈՒՄԻ
ՍԻՆԽՐՈՏՐՈՆ

ԱՐՄՍ

ԵՐԵՎԱՆ

1976



ԵՐԵՎԱՆ

Scientific Report EPM-162(76)

A.Z. BABAYAN, V. I. GORDIN,
L.O.TEPOYAN, A.R.TUMANYAN

A DEVICE FOR THE MEASUREMENT OF
INSTANTANEOUS VALUE OF FIELD
STRENGTH OF SYNCHROTRON ELECTRO-
MAGNET

A device for measuring the instantaneous value of electromagnet field strength with an error $\pm 0,2\%$ in the range of $0,05 \pm 0,8T$ is described. The device consists of a Hall probe, a generator of stabilized current pulses a thermostat with the electronic scheme of thermoregulation, an amplifier and pulsed numeral voltmeter.

Yerevan Physics Institute
Yerevan, 1976

УДК.621.3.095:538.122.08

Научное сообщение ЕФИ-162(76)

А.З.БАБАЯН, В.И.ГОРДИН, Л.О.ТЕПОЯН,
А.Р.ТУМАНЯН

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МГНОВЕННОГО
ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ СИНХРОТРОНА

Описано устройство для измерения мгновенного значения напряженности поля электромагнитов на равновесной орбите синхротрона с погрешностью $\pm 0,2\%$ в диапазоне 0,05, 0,8 Т. Устройство состоит из датчика Холла, генератора стабилизированных импульсов тока, термоста-та с электронной схемой терморегулирования, усилителя и импульсного цифрового вольтметра.

Ереванский физический институт
Ереван 1976

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Научное сообщение ЕФИ-162(76)

А.З.БАБАЯН, В.И.ГОРДИН, Л.О.ТЕПОЯН
А.Р.ТУМАНЯН

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МГНОВЕННОГО
ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ СИНХРОТРОНА

Ереван 1976

© *Ереванский физический институт. 1976*

С целью определения и контроля мгновенных значений энергии ускоренных частиц в электронном синхротроне было изготовлено устройство, измеряющее значение напряженности магнитного поля на равновесной орбите пучка.

Энергия ускоренных частиц в электронном синхротроне с сильной фокусировкой определяется по известному выражению:

$$E(t) = e \cdot R \cdot H(t),$$

где $E(t)$ и $H(t)$ - соответственно представляют временной ход энергии электронов и напряженности магнитного поля на равновесной орбите синхротрона, а e , R - заряд частиц и радиус кривизны движения электронов в магните. При использовании этого выражения определение энергии частиц сводится к измерению мгновенных значений напряженности магнитного поля и радиуса кривизны траектории электронов.

Радиус кривизны можно считать величиной постоянной, так как изменение его значения в процессе ускорения незначительно. Так, для Ереванского синхротрона [1], погрешность определения энергии частиц из-за непостоянства радиуса составляет не более $\pm 0,2\%$.

В работе [2] определение напряженности магнитного поля на равновесной орбите осуществляется методом измерения рассеянных магнитных полей пермаллоевым зондом, что приводит к известным погрешностям определения.

В разработанном устройстве, обеспечивающем оперативный контроль мгновенных значений энергии частиц в синхротроне с среднеквадратичной погрешностью не более $\pm 0,3\%$, измерение напряженности магнитного поля осуществляется непосредственно на равновесной орбите ускорителя с помощью датчика Холла (ДХ).

Сложность измерения переменных полей с высокой точностью при использовании ДХ массового производства заключается в трудности термостабилизации датчика и в устранении наводок на ДХ и кабельную трассу при низкой чувствительности датчиков. В разработанном устройстве повышение вольтовой чувствительности достигнуто питанием ДХ импульсным током [3]. При питании датчиков импульсным током прямоугольной формы со скважностью Q , импульсная мощность рассеивания может быть увеличена в Q раз, а амплитуда питающего тока в \sqrt{Q} раз, без нарушения теплового режима датчиков. Кроме того, импульсное питание датчика одновременно позволяет производить измерение мгновенных значений напряженности поля в заданный момент времени. Влияние индукционной наводки в устройстве уменьшено также обычными методами (скручиванием и экранированием подводящих проводов ДХ, рациональным выбором кабельных трасс и т.д.).

Блок-схема устройства показана на рис.1. В устройстве используется ДХ типа Х511 с чувствительностью 10 мВ/Т при номинальном токе 100 ма. ДХ запитывается прямоугольным импульсным током амплитудой 500 ма и длительностью 30 мксек от генератора стабилизированных импульсов тока. На выходных концах ДХ формируется импульсное напряжение, пропорциональное величине

не напряженности измеряемого магнитного поля, которое подается на вход импульсного цифрового вольтметра (ИЦВ). Таймерным устройством ускорителя осуществляется выбор момента измерения величины магнитного поля в течение цикла ускорения.

Необходимо отметить, что сопротивление ДХ изменяется в больших пределах в зависимости от изменения величины напряженности магнитного поля. Для обеспечения высокой точности измерения переменных магнитных полей импульсный стабилизатор тока должен обладать и высоким быстродействием. Известные схемы источников тока для импульсного питания с прерыванием стабилизированного постоянного тока, не обеспечивают высокого быстродействия и поэтому не были использованы в предложенном устройстве. Исходя из вышеизложенного был разработан генератор стабилизированных импульсов тока с быстродействием не более 1 мксек, обеспечивающий стабильность амплитуды тока $\pm 0,1\%$ при изменении величины нагрузки на $\pm 15\%$. Генератор тока вырабатывает импульсы положительной полярности длительностью 30 мксек. Принципиальная схема генератора стабилизированных импульсов тока показана на рис.2.

Генерирование импульсов тока осуществляется несимметричным мультивибратором с эмиттерной связью, собранным на транзисторах П309 (T_2-T_4). Амплитуда импульсов предварительно стабилизируется стабилитронами типа Д815Г. Стабилизация осуществляется с помощью компенсационного стабилизатора тока, собранного на транзисторах ГТ311 и П701 (T_6-T_9). Источник опорного напряжения состоит из каскада предварительной стабилизации напряжения на транзисторе П215 (T_1) и 2-х каскадов параметрического стабилизатора на кремниевых стабилитронах типа Д814А и Д818Е.

В качестве усилителя напряжения используется операционный усилитель с дифференциальным входом типа УТ 401 Б, позволяющий исключать синфазные помехи, на-

водимые на ДХ и входные цепи. Температурный дрейф усилителя не превышает $10 \text{ мкв/}^\circ\text{C}$. Коэффициент усиления выбран равным 60.

Сигнал с усилителя подается на вход импульсного цифрового вольтметра (ИЦВ), который осуществляет измерения амплитуды импульса с точностью $\pm 0,1\%$ [4]. Принцип работы ИЦВ заключается в следующем. Из измеряемого сигнала производится "вырезка" длительностью 10 мксек, которая запоминается блоком аналоговой памяти, а затем преобразуется при помощи АВП в соответствующий интервал времени. Интервал времени кодируется импульсами опорной частоты, который просчитывается счетчиком с индикацией. В ИЦВ имеется 10-ти канальный блок памяти, позволяющий запоминать значения поля в 10-ти последовательных циклах ускорения.

Формирователь импульсов служит, во-первых, для нормализации импульсов запуска генератора стабилизированного тока, во-вторых, для развязки генератора от земли. Необходимость последнего продиктована тем, что один из концов ДХ заземлен через усилитель.

Для уменьшения температурной зависимости параметров, датчик Холла помещается в термостат с электронной схемой терморегулирования (рис.3). Термочувствительным элементом схемы терморегулирования служит медная проволока R_1 , составляющая одно из плеч измерительного моста. В другое плечо моста подключена манганиновая обмотка R_2 . Сопротивления R_1 и R_2 подобраны таким образом, что при температуре термостата равной 50°C мост сбалансирован и напряжение на обмотке W_3 трансформатора TP_2 равно "нулю". Для надежной работы схемы терморегулирования измерительный мост питается от генератора синусоидальных колебаний, частота которого выбрана 10 кГц. Этим достигается необходимая значительная разность частот генератора и частоты магнитного поля кольцевого электромагнита ускорителя.

Трудность в обеспечении термостатирования заключается в том, что нельзя использовать термостат с теплопроводным корпусом (медь, алюминий). В противном случае переменное магнитное поле ($F \approx 50$ гц) индуцирует в токопроводящем корпусе паразитные токи, которые приводят к перегреву термостата. Учитывая вышеизложенное, корпус термостата был изготовлен из диэлектрика. Благодаря правильной расстановке элементов в термостате был достигнут минимальный градиент температуры между ДХ и термочувствительным датчиком. При изменении окружающей температуры в пределах $+15^{\circ}\text{C} \div +40^{\circ}\text{C}$ погрешность термостабилизации термостата не превышает $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. При этом температурная погрешность измерения с использованием ДХ типа Х511, имеющего ТКН $0,04\%/^{\circ}\text{C}$, составляет $\pm 0,02\%$.

Высокая точность измерений обеспечивается также периодической калибровкой устройства. Для этого в непосредственной близости от измеряемого блока электромагнита ускорителя установлен калибровочный электромагнит постоянного тока. Напряженность поля калибровочного магнита измеряется магнитометром на ЯМР с точностью $0,01\%$. Датчик Холла попеременно помещается в калибровочное и измеряемое поле и с помощью ИЦВ измеряются их значения. При этом напряженность поля в калибровочном магните устанавливается равной измеряемой в кольцевом электромагните. Таким образом, повторяется калибровка прибора во всем диапазоне изменения поля электромагнита.

Указанный способ калибровки прибора позволяет учесть все наводки, наводимые на измеряемую трассу, вплоть до ИЦВ и одновременно учесть нелинейность характеристики преобразования ДХ. На основании калибровочных данных весь диапазон измерения энергии был разбит на пять линейных поддиапазонов.

Среднеквадратичная погрешность измерения напряженности поля вычислена по следующей формуле:

$$\delta_{\text{изм}} = \sqrt{\delta_{\text{ст}}^2 + \delta_{\text{усил.}}^2 + \delta_{\text{ф}}^2 + \delta_{\text{темпл.}}^2},$$

где $\delta_{\text{ст}}$ - погрешность амплитуды генератора стабилизированных импульсов ($\pm 0,1\%$); $\delta_{\text{усил.}}$ - погрешность коэффициента усиления усилителя ($\pm 0,1\%$); $\delta_{\text{ф}}$ - погрешность измерения ИЦВ ($\pm 0,1\%$); $\delta_{\text{темпл.}}$ - температурная погрешность ДХ ($\pm 0,02\%$). После 30-ти минутного прогрева прибора среднеквадратичная ошибка прибора не превышала $\pm 0,2\%$.

При определении энергии ускоренных частиц среднеквадратичная погрешность измерения достигает величины $\pm 0,27\%$ за счет погрешности от изменения радиуса кривизны пучка относительно равновесной орбиты ($\pm 0,2\%$)

Временной ход изменения напряженности магнитного поля на равновесной орбите синхротрона описывается следующим выражением:

$$H = H_0 - H_m \cos \omega t.$$

При измерении значения энергии в момент времени, соответствующий $H \neq 0$, суммарная погрешность измерения возрастает на величину дополнительной погрешности, зависящую от длительности "вырезки" ИЦВ и скорости нарастания поля. При длительности "вырезки" 10 мксек и максимальной скорости поля дополнительная погрешность измерения составляет $\pm 0,14\%$. При этом среднеквадратичная погрешность измерения энергии достигает величины $\pm 0,3\%$.

Предложенное устройство использовалось также для измерения напряженности постоянных магнитных полей.

Погрешность измерений при этом не превышала величины $\pm 0,2\%$. Длительные испытания устройства на Ереванском синхротроне с июня по декабрь 1974 г. показали высокую надежность её работы.

Авторы выражают благодарность Н.А.Перельману, Б.Б.Айрапетяну, В.А.Вагаршакяну за оказанную помощь в работе.

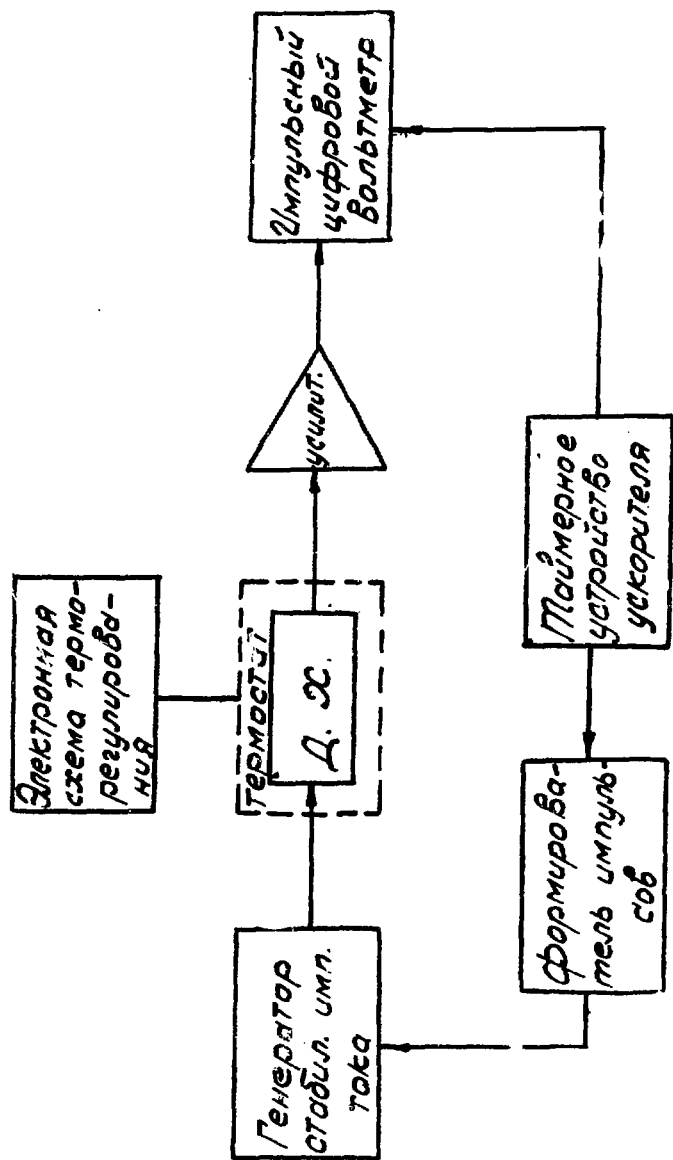


Рис. 1

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.Г.Агбалян, А.И.Алиханян. Труды Международной конференции по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1963, 1 Атомиздат 1964.
2. Г.А.Кошецян, А.Р.Туманян. Изв.АН Арм.ССР, Физика 7, 10, 1972.
3. А.Р.Туманян. Материалы республиканской научно-технической конференции молодых ученых, Ереван 1967.
4. В.П.Герасимов и др. Труды третьего Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т.2, Наука, 1973.

Рукопись поступила 18-го декабря 1975г.

Редактор Л.П.Мукаян

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 499

ВФ- 03757

Тираж 299

Подписано к печати 16/III-76г Формат издания 30x40

1,0 уч.изд.л.Ц. 7 к.

Отпечатано на ротаприте
Ереванского физического института, Ереван-36, пер. Марка-
ряна 2

