

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

57

1237 / 2-81

9/III-81

9-80-800

А.К.Евдокимов, Б.А.Кленин, С.И.Козлов,
Л.М.Мельникова, А.В.Михушкин, В.В.Носокин,
Т.С.Саламатина, Г.М.Соловьева, А.М.Сухов,
З.А.Тер-Акопьян, С.Г.Фефилова, Б.В.Фефилов,
В.А.Чугреев

АППАРАТУРА
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА У-400

1980

В течение ряда лет в Лаборатории ядерных реакций ведется работа по усовершенствованию методики измерения магнитных полей изохронных циклотронов. Основное внимание при этом уделяется повышению надежности, точности и быстродействия измерительной и регистрирующей аппаратуры. Измерительная аппаратура, созданная для измерений магнитных полей изохронных циклотронов У-200 и У-200П не могла быть использована по ряду причин для циклотрона У-400. Основные из них - возросшие точность и объем магнитных измерений для этого ускорителя. Если при формировании магнитного поля циклотрона У-200 полное число точек измерения составило ~ 400000, то для циклотрона У-400 оно в пять раз больше. Для увеличения скорости и точности магнитных измерений на У-400 методика, разработанная для циклотрона У-200^{1/1}, была усовершенствована. Основные изменения в измерительной аппаратуре свелись к следующему:

1/ перемещение датчика как по радиусу, так и по азимуту циклотрона /в полярной системе координат/ осуществлялось автоматически;

2/ измерение магнитного поля в точке проводилось в старто-стопном режиме, обеспечивающем более высокую точность измерения по сравнению с динамическим режимом;

3/ магнитное поле при каждом азимутальном положении измерительной штанги измерялось десятью датчиками Холла.

1. МАГНИТОМЕТР

Принципиальная схема разработанного для циклотрона У-400 магнитометра² представлена на рис. 1. Магнитометр состоит из несущей штанги /1/, выполненной из алюминиевого сплава. В центре магнита штанга фиксируется и крепится на поворотной опоре /2/, а за полюсами /R=205 см/ опирается на тележку /3/. Направляющие /4/ фиксируют движение каретки /5/, несущей датчики Холла /6/. Точность установки датчиков относительно средней плоскости зазора электромагнита составляет $\pm 0,1$ мм. Максимальный прогиб штанги равен 0,1 мм. Перемещение каретки по радиусу осуществляется лентой /7/ из бериллиевой бронзы толщиной 0,15 мм. Шаг перемещения датчиков составляет 20 \pm 0,02 мм. Лента приводится в движение цевочным барабаном /8/ с мальтийским восьмизаходным механизмом /9/. Радиальное перемещение датчиков

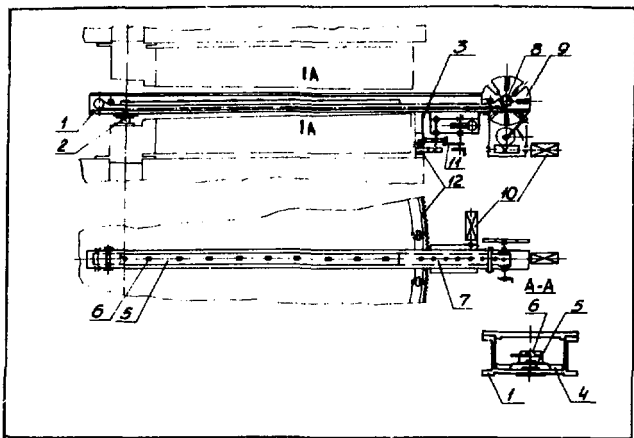


Рис. 1. Принципиальная кинематическая схема магнитометра. 1 - штанга, 2 - поворотная опора, 3 - тележка, 4 - направляющие, 5 - каретка, 6 - датчики Холла, 7 - лента, 8 - цевочный барабан, 9 - мальтийский восьмизаходный механизм, 10 - безстаторный электродвигатель, 11 - шестизаходный мальтийский механизм, 12 - шестерня.

производится безстаторным двигателем /10/, работающим в рассеянном магнитном поле / $\cdot 10$ кЭ/ циклотрона. Возможно и их ручное перемещение. Положение каретки с датчиком определяется конечным выключателем.

Азимутальное движение штанги осуществляется шестизаходным мальтийским механизмом /11/ с приводом от безстаторного двигателя. При этом штанга вместе с азимутальным и радиальным приводами перемещается на шестерне /12/ диаметром 402,6 см.

2. РЕГИСТРИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА

Электронная аппаратура системы измерения магнитного поля, блок-схема которой представлена на рис. 2, состоит из блока питания датчиков Холла, блоков регистрации, кодирования и записи данных на перфоленту, блоков управления движением измерительной штанги.

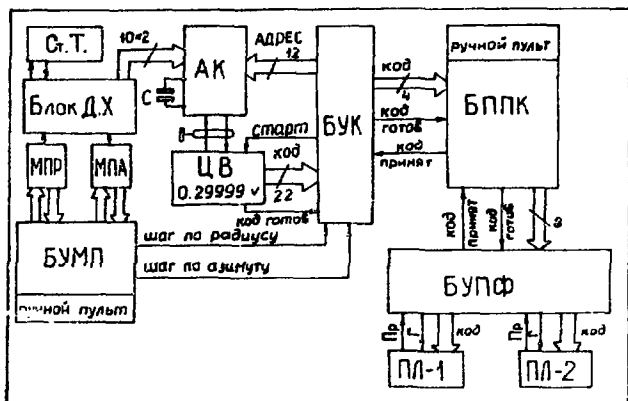


Рис. 2. Блок-схема электронной аппаратуры измерения магнитного поля. СТ.Т - стабилизатор тока, МПР МПА - механизм перемещения, БУК - блок управления коммутацией, БППК - блок предварительного преобразования кодов, ПЛ-1, ПЛ-2 - перфораторы.

Питание датчиков, соединенных последовательно по токовому каналу, осуществляется от одного стабилизатора тока /СТ/. Параметры СТ следующие: рабочий ток - 160 мА, максимальная нагрузка - 25 Ом, стабильность $\sim 2 \cdot 10^{-5}$. Схема СТ /рис. 3/ включает в себя источник опорного напряжения /+13В/ и собственно стабилизатор, построенный на базе операционного усилителя /ОУ/ УТ 531 /2/. На входе СТ используется мощный транзистор КТ 808А. Величина рабочего тока определяется токозадающим сопротивлением на инвертирующем входе ОУ /3,4/. Падение напряжения на этом сопротивлении соответствует опорному напряжению, поданному на неинвертирующий вход ОУ. В качестве токозадающих сопротивлений использованы сопротивления С5-5 с мощностью рассеивания 8 Вт. Для защиты схемы в режиме с отключенной нагрузкой параллельно сопротивлению нагрузки включен диод Д815В с обратным током $\sim 10^{-7}$ А /2/.

Съем информации об ЭДС Холла производился аналоговым мультиплексером 3301 /рис. 4/, входящим в состав системы передачи данных ДТИ-3200, и пятизначным цифровым вольтметром фирмы SOLARTRON /5/. Точность измерения в такой многодатчиковой системе составила 1-2 единицы младшего разряда цифрового вольтметра, т.е. 10-20 мкВ.

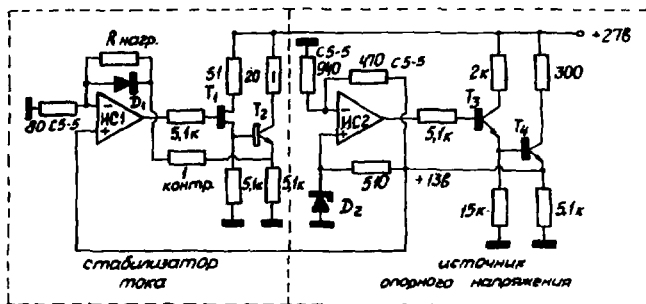


Рис. 3. Принципиальная схема стабилизатора тока для питания датчиков Холла. ИС₁, ИС₂ - УТ531, Т₁ - А508, Т₂ - КТ808А, Т₃ - КТ312, Т₄ - КТ605, Д₁ - Д815В, Д₂ - КС196Б.

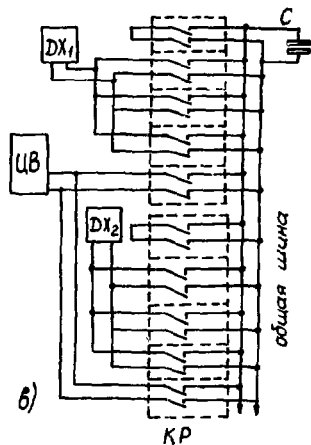


Рис. 4. Схема съема информации. ДХ - датчик Холла, ЦВ - цифровой вольтметр, С - запоминающий конденсатор.

Блок промежуточного преобразования кодов /БППК/, получая данные с цифрового вольтметра через блок управления коммутацией /БУК/, осуществляет преобразование Хемминга /1,6,7/. Данные преобразования передаются в блок управления перфоратором при использовании логической связи "код готов, код принят". БППК имеет на пульте управления наборные кодовые переключатели, позволяющие переносить на начало перфоленты управляющую информацию.

Блоки управления механизмами перемещения измерительной штанги /БУМП/ задают старт-стопный режим измерения магнитного поля по азимуту. Начало и конец этого процесса определяются концевыми выключателями. При использовании десяти датчиков Холла время измерения магнитного поля в точке составило 0,6 с. Описываемая система позволяет измерять поле и одним датчиком Холла.

В измерениях магнитного поля циклотрона У-400 использовались датчики из антимонида индия ^{8/} со следующими параметрами: размеры датчиков - 1,6x0,5x0,13 мм³, чувствительность - 10 мкВ/Э, температурный коэффициент чувствительности - 10⁻⁴ град⁻¹ линейность характеристик - 10⁻³, номинальный ток питания - 160 мА. Калибровка датчиков осуществлялась с помощью датчиков ЯМР в диапазоне поля 10-23 кЭ. Экспериментальная зависимость $H=f(E_x)$ / H - магнитное поле, E_x - ЭДС Холла/ для каждого датчика представлялась в виде полинома, коэффициенты которого определялись методом наименьших квадратов.

3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Обработка данных магнитных измерений проводилась на ЭВМ "Минск-32". Для этой цели был разработан комплекс программ, включающий в себя:

1. Программу МНК для вычисления коэффициентов a_i полинома $H = \sum_{i=1}^n a_i E_x^{i-1}$ / H - магнитное поле, E_x - ЭДС Холла/ методом наименьших квадратов для каждого датчика Холла по данным их калибровки.

2. Пакет программ для предварительной обработки данных с перфоленты, осуществляющих

а/ ввод перфоленты в ЭВМ,

б/ выявление и исправление ошибок в кодировании путем использования преобразования Хемминга;

в/ вычисление значений магнитного поля H в точках измерения (r, θ);

г/ запись результатов на магнитную ленту;

д/ вычисление коэффициентов Фурье - разложения магнитного поля по азимуту θ : среднего магнитного поля $\bar{H}(r)$, амплитуд $A_n(r)$ и фаз $\psi_n(r)$ гармоник разложения; флаттера магнитного поля для каждого радиуса измерения.

3. Программу численного интегрирования уравнений движения ионов в магнитном поле циклотрона, позволяющую вычислять:

а/ замкнутые стационарные орбиты ионов,

б/ частоты радиальных и аксиальных бетатронных колебаний,

в/ фазовое движение ионов в процессе их ускорения.

Созданная методика измерения магнитного поля изохронного циклотрона У-400 показала высокую надежность в работе и позволила в сжатые сроки и с необходимой точностью провести формирование поля У-400.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимов А.К. и др. ОИЯИ, 9-9545, Дубна, 1976.
2. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам. Изд. "Энергия", М., 1976.
3. Грэм Дж., Тоби Дж., Хьюлсман Л. Проектирование и применение операционных усилителей. Изд. "Мир", М., 1974.
4. Картер Р.И. Приборы для научных исследований. 1975, 4, с.159.
5. 3200 Data Transfer Unit; Analogue Scanner. Operating Manual the Solartron Electronic Group LTD, 1971.
6. Михушкин А.В., Сухов А.М. ОИЯИ, 10-5816, Дубна, 1971.
7. Сидоров А.М. Методы контроля цифровых машин. Изд. "Сов. Радио", М., 1966.
8. Погодин В.И., Юрьева Г.А. В сб.: Приборы и системы управления, М., 1972, 7, с. 15.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 декабря 1980 года.