

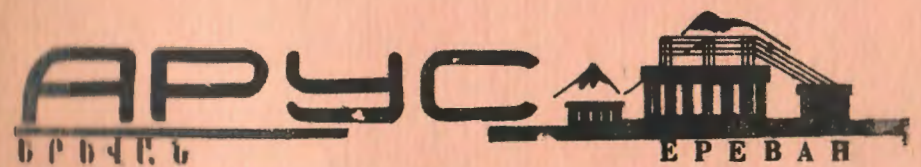
индекс 3624

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФ И- 324(49)- 78

Ա.Յ.ԲԱԲԱՅԱՆ, Լ.Օ.ՏԵՍՅԱՆ, Ա.Ր.ՏՄԱՆՅԱՆ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ
ТРАСС ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ МЕТОДОМ ГИБКОЙ
ПРОВОЛОКИ С ТОКОМ С НАКОПЛЕНИЕМ
ИНФОРМАЦИИ В ЭВМ



1978

ЕФИ-324(49)-78

A.Z.BABAYAN, L.O.TEPOYAN, A.R.TUMANYAN

THE AUTOMATION OF MEASUREMENT PROCEDURE OF CHARGED
PARTICLE TRACKS BY THE FLOATING CURRENT-CARRYING
WIRE METHOD WITH THE INFORMATION ACCUMULATED IN THE
COMPUTER

To automatize the measurement procedure the floating wire is fed in with the supplementary high-frequency current, permitting to use the inductive monitors under the "zero-indicator" regime of the track position. The suggested system provides the automatic measurement of coordinates of continuously displaced wire with the error not worse than $\pm 0,05$ mm; the program values of the wire current within wide limits with $\pm 0,25\%$ accuracy; the automatic angular tracing of the turning block after the wire position also the information input from all the detecting devices to the computer. The description of the function diagram of the developed system and of the automatic measuring equipment is given, as well as the results of the system implantation on the output channel of Yerevan Synchrotron.

Yerevan Physics Institute
Yerevan 1978

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ- 324(49)-78

А.З.БАБАЯН, Л.О.ТЕПОЯН, А.Р.ТУМАНЯН

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ТРАСС
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ МЕТОДОМ ГИБКОЙ ПРОВОЛОКИ С ТОКОМ
С НАКОПЛЕНИЕМ ИНФОРМАЦИИ В ЭВМ

Ереван 1978

В настоящее время все большее распространение получает метод гибкого проводника с током для определения протяженных трасс заряженных частиц в магнитном поле. Это обуславливается тем, что точности измерения этим методом систематически увеличиваются, а необходимые объемы измерений и обработки результатов существенно малы по сравнению с точечными измерениями топографии магнитных полей [1,2,3]. Кроме того, возможность интегральных измерений гибкой проволокой траекторий заряженных частиц в окончательно собранном магнитном тракте с большой протяженностью, с реальным учетом влияний на рассеянные магнитные поля различных сопутствующих тракту металлоконструкций, придает методу существенное преимущество.

Метод основан на известном совпадении положения, занимаемого проводником с током в магнитном поле с траекторией частицы, импульс которой связан следующим соотношением с током и натяжением нити

$$P = c \cdot g \frac{T}{I} \quad (1)$$

где I - ток в проволокѣ, T - натяжение проволоки
 C - скорость света, g - ускорение силы тяжести.

При определении трасс этим методом количество измерений координат проволоки может достигать десятка тысяч. При этом величина тока в проволоке варьируется в широких пределах и каждое значение должно устанавливаться с большой точностью. Решение таких задач посредством известных устройств, описанных в литературе имеет такие недостатки как необходимость в значительном времени и в количестве операторов для проведения измерений, ручной съем информации с регистрирующих устройств и т.д.

В связи с этим, в данной работе описывается разработанная и внедренная система, обеспечивающая автоматическое измерение координат непрерывно перемещаемой проволоки с дискретным регулированием шага и области измерений, а также значения тока в проволоке в широких пределах по заданной программе. Система связана с ЭВМ для одновременной регистрации и обработки значений координат и тока проволоки, а также величины напряженности магнитного поля измеряемого электромагнита. Такая комплексная автоматизация всех основных процессов измерений методом гибкой проволоки позволила увеличить точность измерений и существенно сократить время и трудоѐмкость исследований магнитных трактов, что расширяет возможности использования этого метода.

Блок-схема созданной системы показана на рис.1, где токопроводящая нить протянута между точками "А" и "Б" и расположена в исследуемом магнитном тракте. При этом конец "А"

нити закреплен на подставке каретки перемещения задающей координатной линейки (Зад.КЛ), а конец "Б" перекинут через блок и на нем закреплен груз T , создающий постоянное натяжение нити. Взаимодействие нити с магнитным полем обеспечивается питанием проволоки постоянным током с помощью кодовоеуправляемого "устройства питания проволоки". Индукционные датчики Д1 - Д5 используются в качестве "нуль-индикаторов" положения нити относительно оси датчика. Для обеспечения возможности использования индукционных датчиков, проволока дополнительно запитывается высокочастотным током с частотой 100 кГц с помощью "генератора 100 кГц". Выбор такой частоты обусловлен следующим. Во-первых, частота должна быть достаточно высокой, чтобы прохождение переменного тока через проволоку, находящуюся в магнитном поле, не приводило к её колебаниям. Во-вторых, исходя из радиотехнических соображений, желательно иметь частоту не выше ~ 500 кГц (широкий выбор простых схемных решений аппаратуры, вопросы помехозащищенности и т.д.). Индукционный датчик состоит из двух встречно включенных безжелезных катушек диаметром $D = 25$ мм, высотой $h = 25$ мм, намотанных проводом $\phi = 0,25$ мм в 4 слоя с числом витков 90×4 , закрепленных вертикально на общей основе с зазором 7 мм друг от друга. Для увеличения чувствительности датчика параллельно обмоткам подключена ёмкость, позволяющая использовать его в резонансном режиме. Индукционные датчики установлены на подвижных каретках координатно-следящих механизмов (координатных линеек КЛ1 - КЛ4).

Блок слежения I + 5 обеспечивают непрерывное слежение соответствующей каретки с индукционным датчиком за положением проволоки. Текущая координата каждой каретки просчитывается соответствующим реверсивным счетчиком (счетчик I-счетчик 4) и регистрируется в буферном регистре. Предварительно счетный сигнал с выхода координатно-слеящего механизма подается на соответствующий вход "схемы управления", которой обеспечивается управление счетом реверсивного счетчика. Единица счета младшего разряда реверсивных счетчиков соответствует перемещениям датчиков на величину 50 мкм.

"Устройство управления" (УУ) вырабатывает командный импульс съема информации со всех регистрирующих устройств при определенном шаге перемещения точки "А" [4]. Блок УУ управляет также следующими процессами измерения:

1. Управление перемещением каретки задающей координатной линейки в прямом и обратном направлении;
2. Установка дискретных значений тока в проволоке;
3. Остановка перемещения каретки Зад.КЛ после завершения программы измерений.

На переднюю панель блока УУ выведены два переключателя П1 и П2, которыми, соответственно, обеспечивается выбор шага и области перемещения точки "А". Дискретность выбора шага регулируется в интервале от 1 мм до 20 мм. Диапазон регулирования области перемещения точки "А" обеспечивается дискретно в интервале от 25 мм до 800 мм.

Устройство питания нити включает в себя многопредельный стабилизатор тока с кодовым управлением [5], позволяющий

автоматически выставлять требуемое дискретное значение тока в нагрузке в пределах $0,06 + 1A$ с точностью $\pm 0,025\%$. Весь интервал регулирования разбит на следующие 4 диапазона: $I + 0,5A$, $0,5 + 0,25A$, $0,25 + 0,125A$, $0,125 + 0,06A$. В каждом диапазоне возможно установление 25 дискретных значений тока. Каждое значение тока в диапазоне отличается от последующего на 2% от величины верхней границы диапазона, т.е.

$$I_n = I_i(1 - 0,02K), \quad (2)$$

где I_n - ток в нагрузке, I_i - значение верхней границы диапазона тока, K - выбранное значение поддиапазона, которое может принимать значение $I + 25$.

На рис.2а показан общий вид координатно-слеящего механизма. Кинематическая схема координатного механизма состоит из металлической перфорированной ленты, натянутой в петлю двумя шкивами. Один из шкивов зубчатый и жестко закреплен на валу электродвигателя 3. Другой шкив гладкий и служит для постоянного натяжения ленты. Стальная лента двумя концами прикреплена к каретке 2, которая перемещается на подшипниках по точным направляющим, установленным вдоль координатного механизма. В центре каретки на специальной подставке установлен индукционный датчик 1. Исполнительный двигатель 3, управляемый соответствующим блоком слежения, обеспечивает совмещение оси датчика с направлением гибкой проволоки. Угловым дифракционным датчиком 4 линейные перемещения индукционного датчика преобразуются в периодические импульсы напряжения. Схема управления преобразует периодические импульсы в счетные, а также в сигнала-

лы реверсирования счета при изменении направления перемещения каретки Зад.КЛ [6].

На рис.2б изображена осциллограмма качества регулирования координатно-следающего механизма. Предварительно осциллограф калиброван таким образом, чтобы смещение луча по оси "У" на 25 мм соответствовало бы смещению оси индукционного датчика относительно направления проволоки на величину 0,1 мм. Проволока перемещается с постоянной скоростью 40 см/мин. Из приведенной осциллограммы видно, что точность слежения датчика за положением проволоки составляет $\pm 0,07$ мм. При скорости подачи проволоки 20 см/мин точность слежения составляет $\pm 0,05$ мм. Передний выброс характеризует переходные процессы, имеющие место в момент включения подачи проволоки.

Блок "схема запрета" обеспечивает ввод информации в буферный регистр с реверсивных счетчиков без потери информации. Командный импульс ввода информации в буферный регистр, формируемый УУ, подается на вход управления схемы запрета. Другие 4 входа соединены с соответствующими входами реверсивных счетчиков. В случае, если командный импульс по времени совпадает с каким-либо счетным импульсом, схема запрета задерживает сигнал команды до перехода реверсивных счетчиков в установившиеся состояние.

На рис.3а показана функциональная схема запрета. Счетные импульсы длительностью $T_1 = 1$ мксек поступают на входы формирователей Ф1 - Ф4, выходы которых подключены к четырехходовой схеме "И - НЕ" (Э1). Формирователи формируют прямоугольные импульсы отрицательной полярности длительностью $t = 5$ мксек.

Выход элемента Э1 поступает на один из входов "R-S" триггера, построенного на двух ключах "И - НЕ" (Э3,Э4), второй вход которого подключен к выходу триггера (Э5). На вход триггера подается командный импульс со схемы УУ. Выходной импульс формируется на элементах Э6 и Э7.

На рис.3б показаны временные диаграммы схемы запрета, соответствующие моменту времени, когда запускающий импульс (рис.3в) по времени совпадает с каким-либо из счетных импульсов (рис.3б). При этом потенциал на элементе Э2 принимает нулевое значение на время T , а на выходе элемента Э3 потенциал удерживается в единичном состоянии на то же время. То есть на выходах "R-S" триггера устанавливаются единичные состояния. Такое неустойчивое состояние триггера длится до установления на выходе элемента Э2 единичного уровня. При этом на выходе элемента Э3 имеет место отрицательный перепад напряжения и формирование выходного импульса (рис.3д). Выходной импульс задерживается на время $T_{зад}$. От положительного фронта задержанного выходного импульса формируется импульс (рис.3е), опрокидывающий триггер в исходное состояние. В случае, когда командный импульс по времени не совпадает со счетным, выходной импульс формируется без задержки.

На рис.4 приведена принципиальная схема буферного регистра, собранного на "Д" - триггерах по принципу параллельного ввода информации. Буферный регистр многоканальный и состоит из шести регистров. Каждый регистр состоит из 18 разрядов, из которых 14 разрядов информационных, 3 разряда адресных и 1 разряд - разрешение. Информация с каждого координатно-следающего меха-

низма подается на соответствующие входы первых четырех регистров а1 - а14, б1 - б14, в1 - в14, г1 - г14. На входы д1 - д14 и с1 - с14 поступает, соответственно, информация значений тока в проволоке и контролируемая величина магнитного поля измеряемого электромагнита. Сигналы с выхода 6-го регистра "вых1 - вых18" поступают в ЭВМ. Выходы 10 и 20 обеспечивают связь системы с ЭВМ в режиме "on-line". Трехразрядный счетчик (Э14 - Э16) обеспечивает запирающее действие канала связи с ЭВМ, после ввода в неё информации со всех регистров, до поступления следующего командного импульса. Ввод информации с буферного регистра в ЭВМ обеспечивается схемой в следующей последовательности.

Командный импульс, поступающий на вход схемы, устанавливает все триггеры в нулевое состояние. Импульс ввода информации в соответствующие регистры, формируется на элементах Э2-Э4 и задерживается относительно командного на время T зад = 2 мксек. Импульс запроса в ЭВМ формируется на элементах Э7 - Э9 и через схему "ИЛИ - НЕ" (Э11) поступает одновременно на вход счетчика. После ввода информации в ЭВМ с шестого регистра, по каналу "Выход 20" поступает импульс ответа на элементы Э22 - Э24, выходы которых соединены с Т- входами соответствующих "Д"-триггеров. При этом имеет место одновременный последовательный сдвиг информации с нижних регистров в высшие. Одновременно, с задержкой 2 мксек, формируется импульс запроса, который считывается счетчиком и т.д. При формировании 6-го импульса запроса, выход элемента Э17 устанавливается счетчиком в нулевое состояние и запирается канал запроса в ЭВМ. Тем самым запирается ка-

нал связи, обеспечивающий режим диалога системы с ЭВМ, до поступления следующего командного импульса. Необходимо отметить, что 3-ий, 4-ый, 5-ый регистры в принципиальной схеме буферного регистра не показаны, так как схемные решения их аналогичны приведенным.

В отличие от известных систем измерения, в разработанной автоматической системе обеспечивается непрерывное угловое слежение поворотного блока за положением проволоки. В противном случае проволока, расположенная в канавке блока, будет касаться её стенок, что приведет к дополнительной погрешности измерения. Для достижения малого трения был изготовлен специальный блок 4 из дюралюминия диаметром 100 мм и толщиной 2 мм, конструкция которого показана на рис.5. Блок установлен на оси на двух рубиновых подшипниках. С помощью регулировочных винтов 5 выбирается оптимальное расстояние между подшипниками по оси вала, обеспечивающее минимальное трение. Опора 6 насаживается на поворотную платформу 7, которая соединяется с валом двигателя посредством муфты 12. Поворотная платформа устанавливается в корпусе механизма 10 на двух подшипниках - роликовой конической 8 и шариковой упорной 9. Выбранная конструкция позволяет исключить горизонтальные и вертикальные перемещения поворотной платформы и нормализовать нагрузку на вал двигателя 13. Для регистрации положения проволоки используется также индукционный датчик 2, жестко закрепленный к поворотной платформе. Слежение поворотного блока за положением нити обеспечивается исполнительным двигателем 13 и схемой слежения (рис.1, блок слежения 5). Место расположения индукцион-

ного датчика определяется исходя из допустимой величины угла рассогласования α между плоскостью блока и направлением проволоки. Экспериментально определенная величина допустимого значения угла α для приведенного поворотного блока составляет $0,2^\circ$ [7]. Индукционный датчик установлен на расстоянии 10 см от поворотного блока и при этом угол α не превышает величины $0,1^\circ$, что намного меньше допустимого значения.

Необходимо отметить, что влияние трения в рубиновых подшипниках существенно уменьшено за счет наличия небольших вибраций в арматуре крепления блока, создаваемых исполнительным двигателем переменного тока.

Вся электронная часть системы собрана на интегральных схемах в отдельную стойку типа "Вишня".

С целью исключения систематических ошибок траектории проволоки измеряются дважды, при прямом и обратном перемещении каретки Зад. Кл, и берется среднее значение двух измерений. При этом обеспечивается совмещение координат каретки при прямом и обратном перемещении с точностью не хуже 50 мкм [4]. Взаимно исключаются погрешности измерений координат проволоки, связанные с динамическим запаздыванием схемы слежения. Уменьшается также погрешность, обусловленная наличием гистерезиса трения оси поворотного блока в рубиновых подшипниках.

Предложенная система была использована при определении трасс заряженных частиц на одном из выводных каналов Ереванского синхротрона. На рис.6 показан общий вид системы с четырьмя координатными линейками (первая линейка установлена на входе магнитного тракта и на рисунке её не видно), с по-

мощью которой измерялись трассы частиц в диапазоне импульсов $0,5 + 5$ Гэв/С для различных значений координат и углов входа частиц в магнитный тракт. Двумя координатными линейками, установленными на входе магнитного тракта, определялись координаты и углы выхода траектории частиц. Третьей координатной линейкой (задающей), наиболее удаленной от магнита, задавался шаг и область измерения. За три смены измерения (по 8 часов работы в смену) было промерено около 50 тысяч трасс частиц со среднеквадратичной погрешностью измерения не более $0,1\%$.

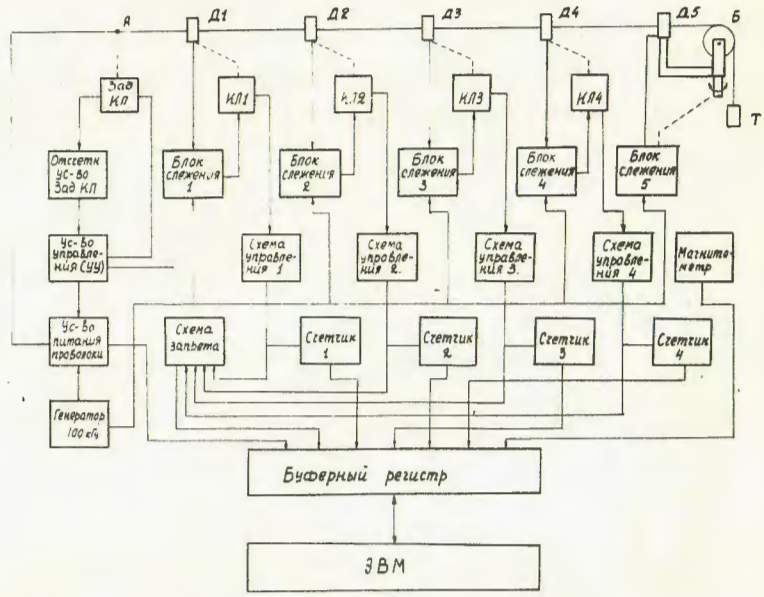


Рис. I

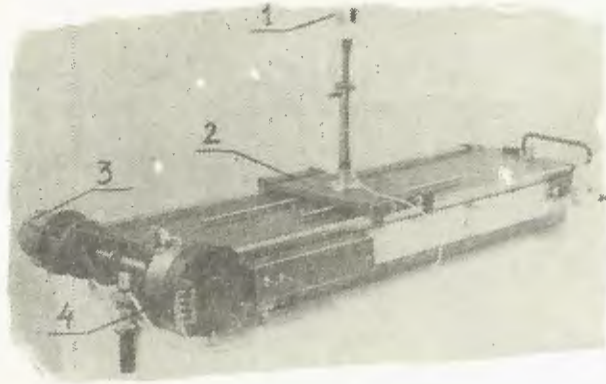


Рис. 2а

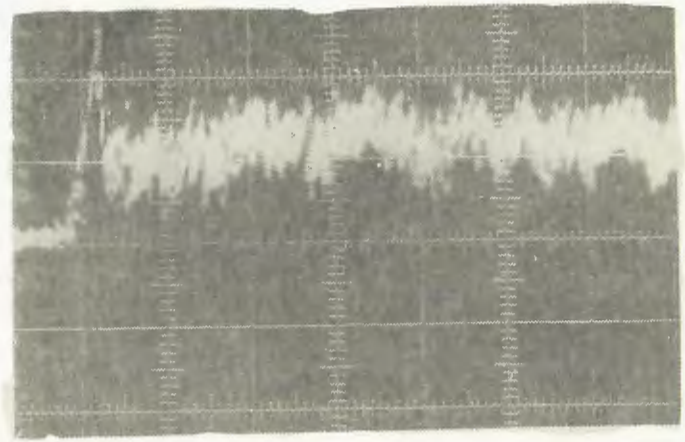


Рис. 2б

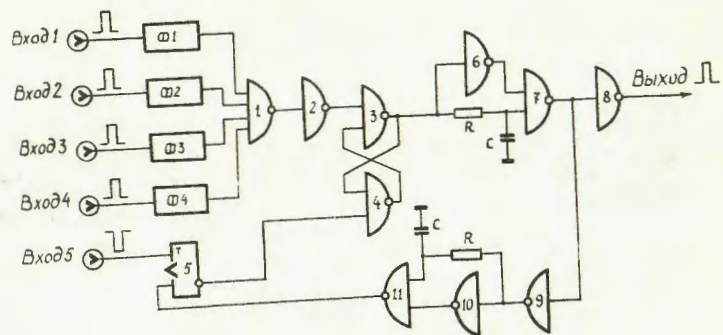


Рис. 3а

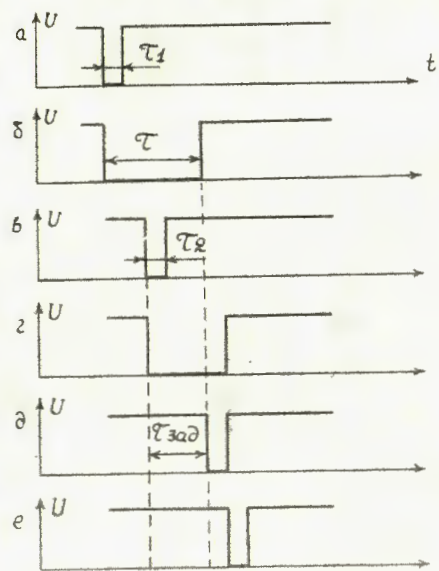


Рис. 3б

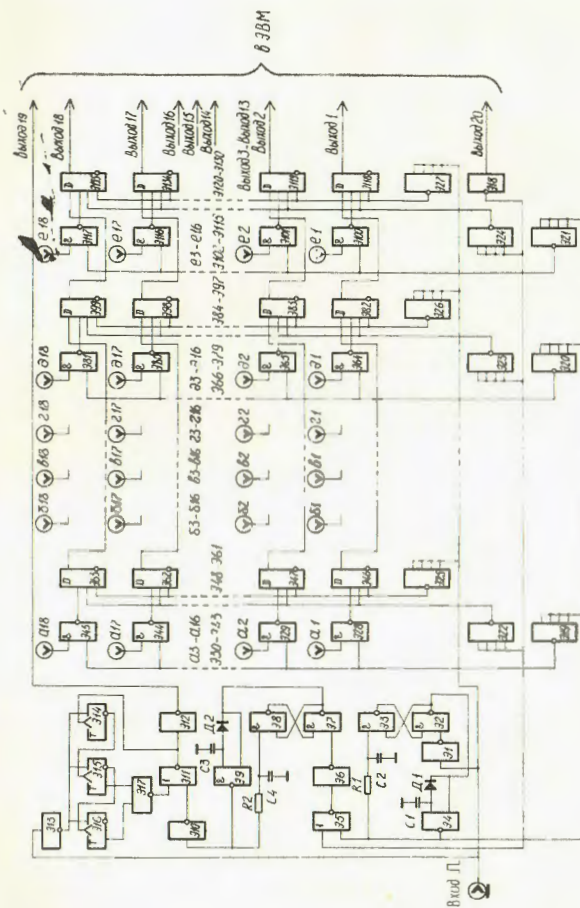


Рис. 4

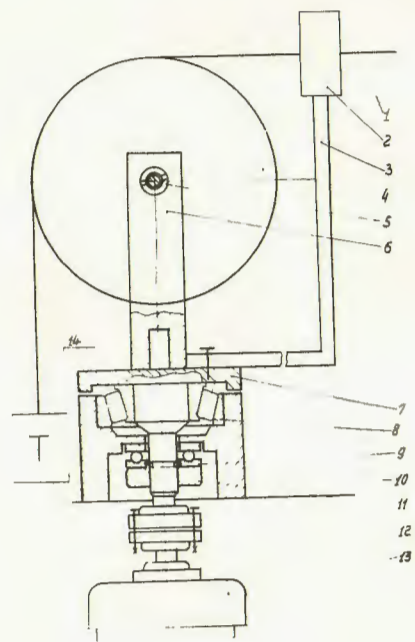


Рис. 5



Рис. 6

ЛИТЕРАТУРА

1. М.С.Козодаев, А.А.Тяпкин. ПТЭ, 1,21,1956.
2. М.С.Козодаев, ИТЭФ-85, 1974.
3. Vogel U., RSI, 36, N.2, 188-192, 1965.
4. Б.Б.Айрапетян, А.З.Бабаян. Научное сообщение ЕФИ-218(10)-77.
5. Б.Б.Айрапетян, А.З.Бабаян. Научное сообщение ЕФИ-117(75).
6. А.З.Бабаян, В.А.Вагаршакян, А.Р.Туманян. Изв.АН Арм.ССР, Физика, 10, 479-485, 1975.
7. А.З.Бабаян, Ю.В.Сафронов, Л.О.Тепоян. Научное сообщение ЕФИ-222(14)-77.

Рукопись поступила 27-го июня 1978 г.

Редактор Л.П.Мукаян

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 335

ВФ- 03397

Тираж 299

Подписано к печати 24/УШ-78г.

Формат издания 60x84/16

1,5 уч.изд.л. Ц. 10 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркаряна 2