

11.35

+

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

препринт

Е.А.Пирушкин, Т.И.Стародубцева

**Приборы для измерения равновесной
фазы сгустка в накопителе ВЭПП-2**

БИБЛИОТЕКА
ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ
ФИЗИКИ СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

✓
НОВОСИБИРСК 1965

А н н о т а ц и я

Описан метод измерения фазовых сдвигов между первой гармоникой сигнала, наводимого сгустком на электростатический электрод, и напряжением на резонаторе в диапазоне углов $0-360^\circ$ с точностью $0,5^\circ$ при разрешающей способности $0,1^\circ$.

Метод предполагается использовать для измерения когерентных потерь в накопителе ВЭП-2 и при регистрации факта встречи двух коротких сгустков.

Постановка задачи

Измерение фазового положения электрического центра тяжести электронного сгустка относительно напряжения на резонаторе представляет интерес в связи с двумя задачами /I/:

1. Измерение полных когерентных потерь сгустка в различных режимах работы накопителя;

задача возникает в плане программы получения больших электронных токов, предполагается изучить зависимость полных когерентных потерь от числа частиц в сгустке, его фазовых размеров и положения равновесной орбиты в камере накопителя.

2. В случае встречи коротких сгустков может оказаться интересным взаимное положение электронного и позитронного сгустков.

То, что число частиц в сгустках будет, по-видимому, различаться в несколько десятков раз, дает возможность делать выводы о взаимном положении сгустков в месте встречи из измерения положения электрического центра тяжести обеих сгустков относительно напряжения на резонаторе.

Последнее может представлять интерес при настройке накопителя, т.к. наглядные световые измерения с помощью электронно-оптических преобразователей затруднены, поскольку встреча пучков осуществляется в прямолинейном промежутке.

Проведенные оценки показывают, что точность измерения фазовых сдвигов должна быть не хуже 10^{-2} радиана при разрешающей способности аппаратуры $2 \cdot 10^{-3}$ радиана.

На фиг. I приведена блок-схема измерений. По фазе сравниваются сигнал с резонатора и первая гармоника сигнала, наводимого сгустком на электростатический пикап-электрод.

Требования к измерительной аппаратуре сводятся к следующим:

1. Аппаратура должна работать при частотах сравниваемых напряжений от 24 мГц до 26 мГц с относительной нестабильностью на каждой фиксированной частоте около 10^{-3} ;

2. Должна быть приспособлена для работы с импульсами, весьма богатыми гармониками, т.к. фазовые размеры сгустков в накопителе малы / $(\frac{T}{\tau})_{\max} \cong 100$ / , где: T - период обращения, τ - эффективная длительность импульса на электростатическом электроде/;

3. Минимальный сигнал, с которого должны начинаться измерения, по крайней мере, в одном из каналов, не должен превышать 1 мв, что соответствует величине циркулирующего тока в 1 ма.

Возможность начинать измерения с малых токов позволяет оценивать абсолютную величину когерентных потерь, предположив, что при малых токах они равны нулю и равновесная фаза сгустка определяется только некогерентными потерями.

4. Должна иметься возможность сравнивать по фазе входные сигналы в широком диапазоне амплитуд и фаз (разность фаз от 0° до 360°)

5. Входные параметры каналов фазометра должны быть такими, чтобы исключалась возможность паразитных резонансов в канализирующей системе (длина каждого канала около 50м).

Существенным является также вопрос об экранировке измерительной аппаратуры, включая подводящие кабели. Резонатор машины имеет добротность около $4 \cdot 10^3$; из-за возможного ухода собственной частоты резонатора в результате разогрева разность фаз между напряжением на ускоряющей щели и возбуждающим напряжением может меняться во время измерений, поэтому уровень наводки от системы, возбуждающей резонатор, на канализирующий тракт измерительной схемы должен быть не более 10^{-2} от величины минимального по амплитуде рабочего сигнала на входе измерителя.

Последнее требование привело к необходимости тщательной экранировки подводящих кабелей и измерительной аппаратуры; подводящие кабели проложены в медной трубе с толщиной стенок 1,5мм.

6. Т.к. возможны случаи, когда измерения ведутся несколько часов, то аппаратура должна обеспечивать высокую стабильность показаний фиксированного сдвига фаз (уход фазы за несколько часов работы-порядка разрешающей способности аппаратуры).

Как видно из блок-схемы (фиг.1), для измерений используется стандартный компенсационный фазометр Ф 2-3. Компенсационный фазометр Ф 2-3 на частоте входного сигнала около 700 кгц, постоянных амплиту-

дах на входах каналов и некоторой оптимальной величине содержания второй гармоники дает, как показала калибровка, точность измерений около $0,15^\circ$ при разрешающей способности не хуже чем $0,1^\circ$.

Т.к. измерения предполагалось вести на частотах в диапазоне 24 ± 26 мгц и никакие стандартные фазометры или описанные в литературе макеты фазометров /1,2/ перечисленным выше требованиям не удовлетворяли, то был разработан преобразователь сигналов, позволяющий проводить измерения разностей фаз с точностью $0,5^\circ$ при описанных выше условиях измерений.

Преобразователь для измерения фазовых сдвигов

Подробное знакомство с преобразователем можно получить из его функциональной схемы (фиг.2).

Сигналы с резонатора и электростатического электрода через аттенюаторы (фиг.1) и входные фильтры поступают на смесители соответствующих каналов. Входное и выходное сопротивления аттенюаторов равны 75 омам при любом ослаблении, измерения фазовых сдвигов производятся при фиксированных ослаблениях. Как видно из фиг.2, каналы электростатического электрода и резонатора содержат в качестве избирательных элементов 3-х-звенные L-C фильтры. Применение этих фильтров дает возможность ослаблять уже вторую гармонику сигнала с электростатического электрода не менее, чем в 500 раз. Частота среза фильтров равна 1,43 рабочей частоты. Малая крутизна фазовой характеристики фильтров нижних частот гарантирует малую фазовую погрешность при нестабильности частоты входного сигнала 10^{-3} и при изменении параметров фильтров в процессе эксплуатации. Хорошая избирательность фильтров относительно гармоник входного сигнала позволяет сделать большую часть элементов преобразователя широкополосными; кроме того, настройка фильтров очень проста.

На оба смесителя подаются сигналы от одного гетеродина с автоматической подстройкой частоты, в результате во всех элементах схемы, кроме входных фильтров, частота сравниваемых сигналов остается постоянной с точностью, задаваемой кварцевым генератором опорной частоты. По характеру задающего воздействия примененная автоматическая регулировка частоты относится к классу следящих систем автоподстройки частоты. Для автоподстройки частоты используется дискриминатор нулевых биений с "одно-

сторонней" статической характеристикой. Особенностью данной схемы АПЧ является то, что промежуточная частота сигнала резонатора как в отсутствие автоподстройки, так и при автоподстройке всегда выше опорной частоты кварцевого генератора ($f_{\text{оп.г.}}$), т.е.

$\Delta f = f_{\text{пр.рез.}} - f_{\text{оп.г.}} > 0$, рабочая точка дискриминатора всегда расположена на правом участке его характеристики. Последнее важно для работы фазометра, поскольку в этом случае исключен диапазон частот $2\Delta f$ (фиг.3), где автоматическая подстройка практически отсутствует.

Частота входного сигнала может изменяться в пределах 24-26 мГц. Полоса схватывания дискриминатора равна 200 кГц. Значит, автоматический захват частоты может происходить не при всех частотах входного сигнала. Для обеспечения захвата частоты дискриминатором во всем диапазоне частот входного сигнала в схеме предусмотрен переключатель П-1, с помощью которого создается медленно нарастающее искусственное управляющее напряжение (положение переключателя "захват"), при этом индикаторным прибором ИП-1 контролируется наличие нулевых биений дискриминатора. В момент появления нулевых биений переключатель ставится в положение "автоподстройка", после чего следящая система АПЧ способна поддерживать стабильной промежуточную частоту при изменении частоты входного сигнала в диапазоне (25 ± 1) мГц. Погрешность преобразователя, связанная с нестабильностью частоты входного сигнала 10^{-3} , меньше, чем $0,1^0$ (на уровне разрешающей способности фазометра $\Phi 2-3$).

С анодов смесителей через фильтры нижних частот $c f_{\text{среза}} = 1000$ кГц сигналы в обоих каналах поступают на широкополосные усилители. Т.к. оба канала работают с разными уровнями входных сигналов / канал электрода работает с входными сигналами 1-32 мВ, канал резонатора с почти постоянным (с точностью $\pm 10\%$) входным сигналом около 100 мВ/, то число широкополосных каскадов в обоих каналах различно.

Для расширения динамического диапазона уровня входных сигналов канала электростатического электрода в нем применен 4-х-ступенчатый фазостабильный аттенюатор с автоматическим переключением ослабления. Кратность каждой ступени ослабления равна 2, число ступеней 4. Аттенюатор поддерживает на входе ограничителя уровень сигнала в пределах 8 - 16.5 вольт (при колебаниях входного сигнала в 32 раза) с фазовой погрешностью не более $0,1^0$. Подключение выхода аттенюатора к компенсированному делителю осуществляется через контакты реле P_1, P_2, P_3, P_4 (фиг.4), при срабатывании которых происходит соответствующее переключение. Совместно с ограничителем аттенюатор поддерживает на выходе

ограничителя уровень сигнала постоянным при изменении входного сигнала в 32 раза, при этом суммарная фазовая погрешность меньше $0,2^\circ$. Предусмотрена возможность ручного переключения аттенюатора. Положение аттенюатора во всех случаях регистрируется сигнальными лампочками, а правильность введенного ослабления контролируется прибором ИП-1.

В анодных цепях ограничителей стоят фильтры нижних частот с $f_{\text{среза}} = 1000$ кГц, позволяющие выделить первую гармонику из ограниченного сигнала. На входы фазометра Ф2-3 подаются сигналы величиной в 2,5в.

Анодное питание и питание цепей накала преобразователя стабилизированное. Из особенностей монтажа преобразователя следует отметить чрезвычайно тщательную экранировку узлов схемы и развязку по цепям питания.

КОНТРОЛЬ РАБОТЫ И КАЛИБРОВКА АППАРАТУРЫ

Калибровка фазометра 2-3 производилась в соответствии с его описанием и показала, что при постоянных уровнях сигналов на входе фазометра точность измерений на частоте 706 кГц может быть доведена до $0,15^\circ + 0,20^\circ$. Фазовые погрешности, вносимые аттенюатором, ограничителями и нестабильностью частоты до 10^{-3} оценивались с помощью фазометра Ф 2-3. Суммарная погрешность по этим оценкам не превышает $0,2-0,3^\circ$. Основная погрешность измерения определялась в соответствии с фиг.4: измерительный тракт в интервале источник когерентных сигналов - входные аттенюаторы преобразователя тщательно согласовывался. Затем отрезки кабелей различной длины в тракте резонатора и пикап - электрода менялись между собой местами. Фазовая погрешность оценивалась по формуле:

$$\Delta\psi = \frac{\psi_1 + (\psi_2 - 360^\circ)}{2}$$

Полученная погрешность оказалась равной $0,3^\circ$. При этих измерениях никаких переключений в схеме преобразователя не производилось, поэтому к данной погрешности следует добавить погрешность в $0,2 + 0,3^\circ$, вносимую преобразователем при изменении амплитуды и частоты входного сигнала.

Таким образом, суммарная погрешность в измерениях оценивается

авторами в $0,5 - 0,6^\circ$.

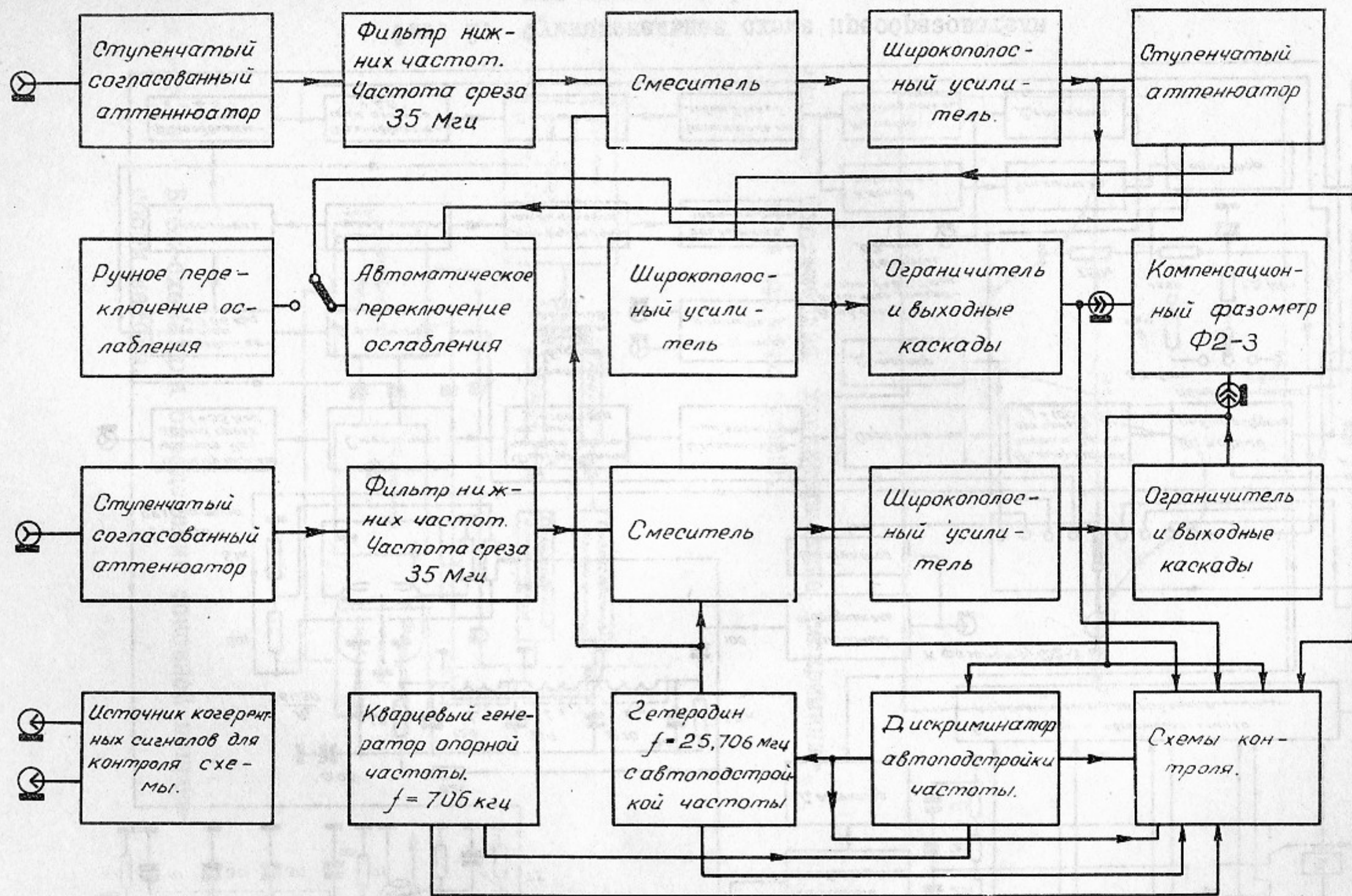
В качестве источника калибровочных сигналов использовался генератор Г5-22, дающий на выходе последовательность импульсов колокольной формы с частотой следования в нужном диапазоне и скважностью на частотах следования 24-26 мГц не менее 5.

Предусмотрена также возможность контроля и калибровки схемы измерений в процессе эксплуатации. Контроль работы преобразователя осуществляется с помощью измерительного прибора ИП-1 (милливольтметр М-592), находящегося на передней панели преобразователя. При различных положениях переключателя прибора ИП-1 контролируются:

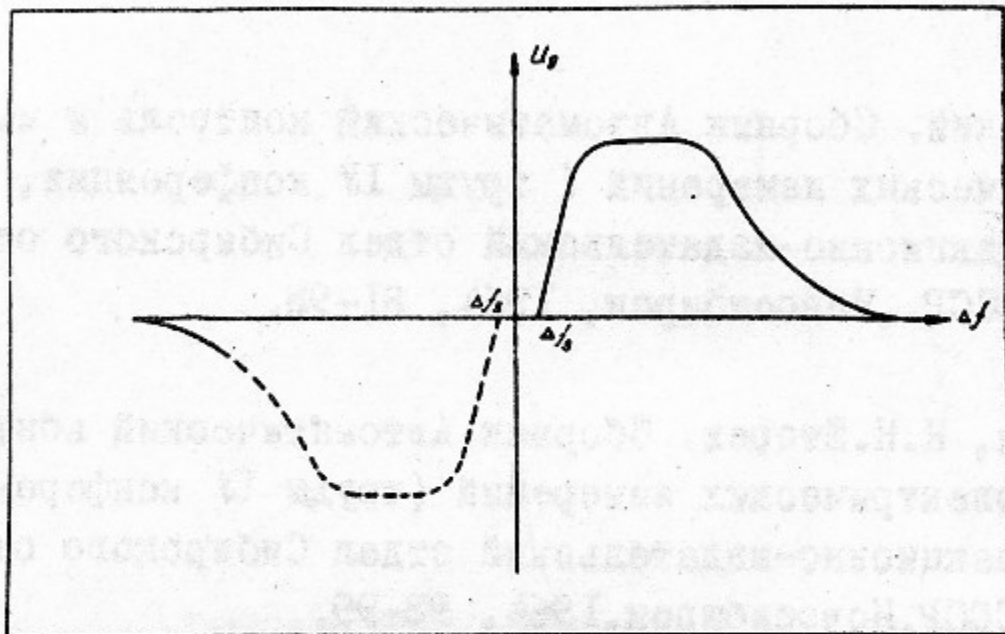
- уровень сигнала на входе ограничителя канала резонатора;
- уровень сигнала на выходе канала резонатора ;
- работа автоподстройки (наличие нулевых биений между сигналом опорной частоты и выходом блока резонатора);
- работа генератора опорной частоты $f = 706$ кГц;
- уровень выхода канала электростатического электрода;
- уровень сигнала на входе ограничителя канала электростатического электрода;
- уровень сигнала перед входом на аттенюатор;
- уровень управляющего напряжения автоподстройки частоты на управляющей сетке реактивной лампы;
- напряжение гетеродина;

Периодическая проверка правильности работы всей схемы производится путем подачи сигналов на входы схемы от внутреннего источника когерентных сигналов. В качестве фазосдвигающих цепей используются отрезки коаксиальных кабелей, предварительно прокалиброванные.

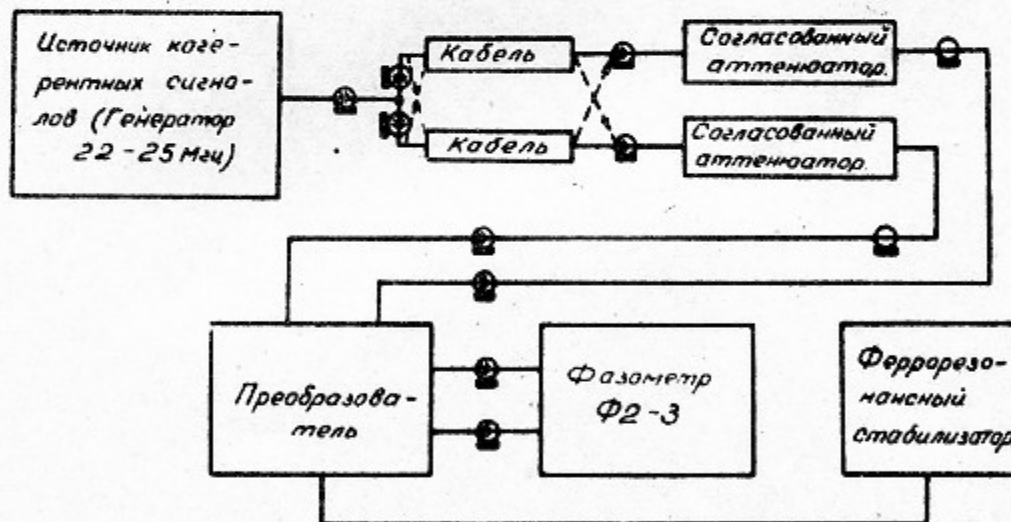
В заключение авторы выражают благодарность А.Н.Скринскому за ценные советы и Осокину М.И. за качественный монтаж аппаратуры.



Фиг. 1. Блок-схема измерений равновесной фазы сгустка в накопителе ВЭИИ-2.



Фиг. 3. Статическая характеристика дискриминатора нулевых биений.



Фиг. 4. Блок-схема для определения основной погрешности метода.

Л и т е р а т у р а

1. С.М. Маевский. Сборник Автоматический контроль и методы электрических измерений (труды IV конференции, 1962). Редакционно-издательский отдел Сибирского отделения АН СССР, Новосибирск, 1964, 81-93.
2. В.Я. Сурьян, Н.Н. Штарев. Сборник Автоматический контроль и методы электрических измерений (труды IV конференции, 1962). Редакционно-издательский отдел Сибирского отделения АН СССР, Новосибирск, 1964, 93-99.
3. И.М. Вишенчук, А.Ф. Котюк и Л.Я. Мизюк. Электромеханические и электронные фазометры. Госэнергоиздат, 1962.

Ответственный за выпуск В.П. Куграшов

Отпечатано на ротапринте в ИЯФ СО АН СССР
Тираж 150 экз. Бесплатно
ял.