

СЗУЧ.1Р

С-36

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



У13/2-77

13 - 10065

У11-77

Е.А.Силаев

ОБ АППАРАТУРЕ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

1976

13 - 10065

Е.А.Силаев

ОБ АППАРАТУРЕ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Силаев Е.А.

13 - 10065

Об аппаратуре предварительной обработки сигналов для диагностики параметров электрофизических установок

Проведена классификация датчиков, используемых для диагностики параметров основных электрофизических установок Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. На этой основе разработан перечень электронных блоков предварительной обработки сигналов и сформулированы общие требования к ним.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный рост числа электрофизических установок /ЭФУ/ в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, их постоянное усложнение, повышение требований к точности и стабильности привели к необходимости полностью или частично автоматизировать работу этих установок. В свою очередь, это потребовало значительного увеличения числа датчиков, сигналы которых несут информацию о многочисленных параметрах, подлежащих быстрому и точному измерению. Для больших и сложных ЭФУ /стенд для испытания сверхпроводящих магнитов, инжекционный комплекс ускорителя, кольцо ускорения/ число параметров, подлежащих измерению, и необходимый темп набора информации настолько велики, что анализ данных возможен только с помощью ЭВМ.

В простейшем случае каждый измерительный канал должен содержать аналого-цифровой конвертор, преобразующий сигнал датчика в цифровой код, и блок управления /контроллер/, организующий процесс преобразования и передачи информации в ЭВМ. В зависимости от конкретных требований в измерительный канал вводятся также устройства усиления /ослабления/, фильтрации, задержки, коммутации, стробирования, запоминания сигнала. После обработки на ЭВМ информация выводится на внешние устройства отображения /дисплей, цифровая печать, графопостроитель и т.п./.

Кроме того, ЭВМ через контроллер может управлять параметрами блоков измерительной системы, устанавливая оптимальные коэффициенты преобразования, усиление, пороги, задержку, период опроса и т.п.

В настоящее время имеется набор аналого-цифровых измерительных блоков в стандарте КАМАК, разработанных в ЛВЭ и выпускаемых ЦЭМ ОИЯИ^{1-5/}. Подобные блоки выпускаются также в странах-участницах ОИЯИ^{6,7/}.

Обстоятельства сложились так, что если электронная аппаратура, обслуживающая детекторы экспериментальных физических установок, в настоящее время выполняется в Лаборатории на основе единых схемных решений, с использованием стандартных напряжений питания и уровней выходных сигналов, с применением новейших интегральных микросхем и передовых методов монтажа, то состояние аппаратуры, обслуживающей датчики измерения и контроля параметров ЭФУ, соответствует более низкому качественному уровню. Это объясняется тем, что именно электроника предварительной обработки учитывает всю специфику датчиков и измеряемых параметров, поэтому она труднее всего поддается унификации. Кроме того, измерение ряда важных параметров полностью не обеспечено соответствующей аппаратурой. Следует также отметить, что использование промышленной аппаратуры в данном случае возможно только в крайне ограниченных масштабах /ввиду уникальности как самих установок, так и условий измерений/.

Целью настоящей работы является:

1/ изучение основных разновидностей датчиков, необходимых для диагностики параметров ЭФУ ЛВЭ, и их классификация с точки зрения съема сигналов;

2/ анализ условий работы и выработка единых требований к электронной аппаратуре для предварительной обработки сигналов датчиков ЭФУ;

3/ разработка минимально необходимого набора электронных блоков, принимающих сигналы с датчиков и преобразующих их в форму, пригодную для передачи в измерительные системы КАМАК^{1-7/}.

ОСНОВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ ДАТЧИКОВ

В экспериментальных физических установках, использующих бесфильмовую регистрацию излучений, применяются в основном два вида детекторов частиц:

а/ со сбором продуктов ионизации, вызванной прохождением частиц через вещество детектора /ионизационные, пропорциональные и дрейфовые камеры, полупроводниковые детекторы и т.п./;

б/ со сбором света, вызванного возбуждением вещества детектора /сцинтилляционные счетчики/ или поляризацией атомов релятивистскими частицами /счетчики Черенкова/, с последующим преобразованием света в импульсы тока.

Для решения задачи измерения параметров ЭФУ число разновидностей датчиков несравненно больше. Это объясняется, прежде всего, разнообразием физических параметров, подлежащих измерению.

Согласно данным, полученным от разработчиков и эксплуатационного персонала, в основных ЭФУ ЛВЭ наиболее часто применяются датчики, использующие следующие физические процессы:

1/ сбор продуктов ионизации /электронов и ионов/, вызванной прохождением частиц через вещество детектора /ионизационные камеры, коллекторные датчики, датчики вторичной электронной эмиссии, полупроводниковые детекторы и т.д./;

2/ наведение пучком заряженных частиц электрического заряда /пикап-электроды, антенные датчики/;

3/ наведение э.д.с. самоиндукции в катушке, сцепленной с полем пучка заряженных частиц /магнитоиндукционные датчики тока пучка/ или с изменяющимся полем магнита /индукционные датчики скорости изменения магнитного поля/;

4/ изменение магнитной проницаемости ферромагнитных материалов в зависимости от их намагниченности /пермаллоевый датчик, частотный датчик - автогенератор на катушке с ферритовым сердечником/;

5/ изменение частоты резонансного поглощения электромагнитной энергии веществом в зависимости от величины магнитного поля /датчики ЯМР и ЭПР/;

6/ изменение удельного сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры /термометры сопротивления, сверхпроводящие уровнемеры/;

7/ изменение контактной разности потенциалов при изменении температуры /термопары/;

8/ различие диэлектрических проницаемостей жидкостей и газов /емкостные уровнемеры/.

Кроме того, в качестве датчиков для измерения токов и напряжений /постоянных, переменных и импульсных/ широко используются шунты и делители напряжения /активные и емкостные/. Некоторое применение имеют также пьезоэлектрические датчики для измерения давлений и датчики, основанные на прерывании пучка света чувствительным элементом /например, датчики расхода жидкости с крыльчаткой в потоке/.

Чтобы выработать единый подход к способам преобразования сигналов этих датчиков, проведем их классификацию с точки зрения особенностей съема сигналов.

А. По способу генерации выходного сигнала датчики можно разделить на: а/ генераторные, чья эквивалентная схема может быть представлена в виде генератора, активный параметр которого модулирован измеряемой величиной; б/ параметрические, в которых измеряемая величина модулирует пассивный параметр датчика. В последнем случае для получения электрического сигнала к датчику обязательно должна быть подключена цепь питания. Для измерений в ЭФУ одинаково широко применяются обе разновидности датчиков.

Эквивалентные схемы параметрических датчиков с цепями питания мало отличаются от соответствующих схем генераторных датчиков. Отличие заключается лишь в том, что в случае параметрических датчиков вместе с изменением активного параметра зависимого генератора меняется его выходной импеданс, что накладывает определенные ограничения на параметры измерительной цепи. В противном случае может возникнуть источник дополнительной нелинейности.

К генераторным датчикам относятся термопары для измерения температур, шунты для измерения токов, магнитоиндукционные датчики для измерения тока частиц, коллекторные датчики для измерения профилей пучков и т.п. В качестве примеров параметрических датчиков можно назвать резистивные датчики температур, емкостные уровнемеры, ферритовые и пермаллоевые датчики магнитного поля и т.п.

Б. В зависимости от отношения выходного импеданса к реальному входному импедансу измерительной цепи датчики подразделяются на следующие группы: 1/ генераторы напряжения, 2/ генераторы тока, 3/ генераторы мощности.

Генераторы напряжения - это датчики, чей выходной импеданс значительно меньше реального входного импеданса измерительной цепи. Типичными представителями этой группы являются термопары, токовые шунты.

Генераторы тока характеризуются обратным соотношением между импедансами датчика и измерительной цепи. Типичными для этой группы являются датчики, основанные на сборе продуктов ионизации.

Генераторы мощности - это реже применяемая группа датчиков, импеданс которых обычно равен входному импедансу измерительной цепи. Эта разновидность характерна, в частности, для ВЧ- и СВЧ-датчиков /например, резонаторный датчик для измерения амплитуды и формы тока пучка в инжекторе/, работающих на согласованные нагрузки.

В. По характеру выходного импеданса датчики бывают с активным, емкостным, индуктивным и комплексным импедансами. С учетом паразитных составляющих фактически любой датчик обладает комплексным импедансом. В нашем случае комплексным считается импеданс, характеризующийся одновременным присутствием соизмеримых по модулю активной и реактивной компонент. Таким импедансом обладает, например, емкостный измеритель уровня проводящих жидкостей.

Г. По временным характеристикам сигналов различают датчики, имеющие на выходе:

1/ непрерывный однополярный сигнал /шунты постоянного тока, термопары/;

2/ непрерывный сигнал переменной полярности /термометры сопротивления с питанием переменным током/;

3/ видеоимпульсы /магнитоиндукционные и коллекторные датчики/;

4/ радиоимпульсы /резонаторные датчики, датчики ЯМР и ЭПР/.

Д. По виду функции преобразования датчики подразделяются на линейные /подавляющее большинство датчи-

ков в рабочем диапазоне измеряемых параметров можно считать линейными/ и нелинейные /например, угольные термометры сопротивления/.

Е. По распределению выходного напряжения относительно точки нулевого потенциала датчики делятся на несимметричные и симметричные. В несимметричных датчиках все напряжение сигнала выделяется на одном из выходных зажимов, в симметричных - напряжения сигнала на выходных зажимах равны по величине и противоположны по знаку. Применение симметричных датчиков дает известное преимущество при работе измерительной системы в условиях интенсивных внешних помех.

ПОМЕХИ И ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ

Особенностью условий работы систем диагностики параметров ЭФУ является высокий уровень внешних помех. По источникам возникновения и механизму воздействия на измерительную цепь можно выделить следующие виды внешних помех [8,9]:

1. Электрические /емкостные/ наводки, обусловленные наличием емкостной связи между измерительной цепью и источником помех /электрической сетью, источниками импульсного питания искровых камер и т.п./.
 2. Магнитные /индуктивные/ наводки из-за наличия паразитной взаимной индуктивности между измерительной цепью и цепью, несущей переменный или импульсный ток.
 3. Электромагнитные наводки из-за наличия электромагнитной связи через поле излучения с высокочастотными источниками помех.
 4. Помехи от паразитных термо-ЭДС. Они опасны в цепях постоянного тока с низким уровнем сигнала.
 5. Помехи, связанные с наличием контуров в цепях заземлений. Они вызываются неэквипотенциальностью точек заземления источников и приемников сигнала.
 6. Помехи, проникающие в измерительные устройства через цепи питания.
- К применяемым методам защиты от этих помех относятся: 1/ предельное укорочение цепей, несущих сигнал

низкого уровня, 2/ специальный выбор точек заземления источников и приемников сигнала, 3/ плотная скрутка проводов соединительных линий, 4/ экранирование, 5/ симметрирование источников и приемников сигнала, 6/ гальваническая развязка /изоляция/ элементов измерительной системы, 7/ компенсация помех, 8/ оптимальная фильтрация сигнала, 9/ применение помехоустойчивых видов модуляции, 10/ фильтрация и стабилизация питающих напряжений.

Естественно, что необходимо применять также все возможные меры по подавлению помех в месте их возникновения.

Не касаясь областей применения каждого метода, следует отметить, что при измерениях, проводимых на фоне интенсивных помех, необходимо применять совокупность различных методов защиты.

Отдельно следует остановиться на первом из перечисленных методов, имеющем важное значение для нашего случая. Он реализуется выполнением головной части измерительного канала в виде выносного блока, который устанавливается непосредственно возле датчика и повышает уровень сигнала или преобразует его в помехоустойчивую форму /например, в частоту/.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ

С учетом специфики работы электрофизических установок к аппаратуре предварительной обработки сигналов датчиков предъявляются определенные требования. В частности, эта аппаратура должна:

- 1/ допускать работу с широкими амплитудным и частотными диапазонами входных сигналов;
- 2/ нормально работать в условиях интенсивных внешних помех;
- 3/ при высоком уровне помех в зоне датчика иметь возможность подавлять синфазные помехи, например с помощью дифференциальных схем;

4/ осуществлять преобразование сигнала с применением помехоустойчивых видов модуляции в случае, если длина линии связи, соединяющей выносной блок с регистрирующей электроникой, велика, а сама линия проходит в зоне интенсивных помех;

5/ иметь цепи подачи контрольного сигнала для обеспечения сквозного контроля и калибровки;

6/ не требовать подстроек и другого обслуживания в процессе работы;

7/ иметь минимальные габариты выносных блоков и конструкцию, позволяющую устанавливать их непосредственно возле датчиков;

8/ предусматривать возможность установки выносных электронных блоков в специальной кассете для обслуживания многоканальных датчиков.

Кроме того, уровни питающих напряжений, параметры выходного сигнала и импеданс выходных цепей должны соответствовать рекомендациям стандарта КАМАК. Должна быть обеспечена также совместимость по уровням с аналоговой аппаратурой, ранее разработанной в ЛВЭ. Наконец, аппаратура должна быть достаточно простой и иметь высокую надежность.

НАБОР ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ ЭФУ

Проведенная классификация датчиков, анализ требований, предъявляемых к электронике предварительной обработки сигналов, и оценка имеющейся аппаратуры в стандарте КАМАК показывает, что для создания измерительных каналов диагностики параметров ЭФУ необходимы следующие основные группы аппаратуры:

1. Измерительные предусилители - устройства, принимающие сигнал с датчиков генераторного типа и осуществляющие его усиление и преобразование в унифицированную форму /напряжение, изменяющееся в заданном диапазоне/.

2. Измерительные преобразователи - устройства, служащие, прежде всего, для обработки сигналов параметрических датчиков и преобразования их в унифицированную форму /в частоту или период следования логических импульсов/. Сюда же относятся устройства, преобразующие сигналы с генераторных датчиков в частотно-временной сигнал.

Аппаратура указанных выше групп должна быть выполнена в виде выносных блоков, допускающих установку в непосредственной близости от датчиков.

3. Блоки связи - устройства, выполненные в стандарте КАМАК и служащие для приема сигналов с выносных блоков и преобразования их в форму, необходимую для стыковки с аналого-цифровой регистрирующей электроникой.

Перечень электронных блоков для предварительной обработки сигналов с датчиков измерения и контроля параметров приведен в табл. 1,2,3.

Таблица 1
Измерительные предусилители

№ п/п	Наименование	Обслуживаемые датчики	Назначение	Основные параметры
1.	Предусилитель тока	Магнито-индукционные, коллекторные, антенные датчики	Измерение токов пучков	$K_{п. макс} = 0,5 \text{ В/мкА}$ $D_{д} \geq 10^4$ $\Delta F \geq 0,1 \div 20 \cdot 10^4 \text{ Гц}$
2.	Предусилитель заряда	Коллекторные датчики	Измерение собранного заряда	$K_{п. макс} = 5 \cdot 10^4 \text{ В/к}$ $q_{ш} = 1 \cdot 10^{-16} \text{ к}$
3.	Предусилитель напряжения	Токовые шунты, магнитоиндукционные датчики. Пикап-электроника	Измерение разности потенциалов на электродах датчиков	$K_{п. макс} = 100$ $R_{вх} \geq 100 \text{ Ом}$, $D_{д} \geq 10^5$ $\Delta F \geq 0 \div 20 \cdot 10^4 \text{ Гц}$
4.	Усилитель-формирователь	Вариантно-электронные умножители датчиков малых интенсивностей	Формирование импульсов для последующего счета	$U_{п. мин} = 2 \text{ мВ}$, $R_{вх} = 50 \text{ Ом}$ $t_{д} \leq 1 \text{ мкс}$, $t_{р} \leq 1 \text{ нс}$ $K_{о} \geq 60 \text{ дБ}$
5.	Изолирующий предусилитель	Высокочастотные токовые шунты и -мосты	Измеритель скорости распространения нормальной фазы в сверхпроводящем колленоиде	$K_{п. макс} = 10$ $D_{д} \geq 10^4$, $\Delta F = 0 \div 10^4 \text{ Гц}$ $U_{ввх} = 1,5 \text{ нВ}$
6.	Пиковый детектор	Емкостные делители	Измерение уровня ВЧ импульсов	$K_{п} = 1$ $D_{д} \geq 10^4$, $\Delta F = 0,1 \div 10 \text{ МГц}$
7.	Полосовой усилитель-детектор	Антенный ВЧ датчик	Измерение уровня ВЧ импульсов	$K_{п. макс} = 60 \text{ дБ}$ $D_{д} \geq 10^4$, $\Delta F = 10 \div 160 \text{ МГц}$

В таблицах приняты следующие условные обозначения параметров блоков: $K_{п}$ - коэффициент передачи/преобразования/, $D_{д}$ - амплитудный диапазон, ΔF - рабочая полоса частот, $R_{вх}$ - входное сопротивление, $U_{вх}$ - вход-

Таблица 2
Измерительные преобразователи

№№	Наименование	Обслуживаемые датчики	Назначение	Основные параметры
1.	Преобразователь "сопротивление - период"	Термометры сопротивления	Измерение криогенных температур в импульсных магнитных полях	$K_n = 10 \text{ мкс/}^\circ\text{Ом}$ $T_{\text{изм}} = 10 \text{ мкс}$ $R_p = 1 - 30 \cdot 10^3 \text{ Ом}$
2.	Преобразователь "малое сопротивление - период"	Сверхпроводящие уровнемеры	Измерение уровня жидкого гелия	$K_n = 1 \text{ мкс/}^\circ\text{Ом}$ $R_p = 0,01 - 20 \text{ Ом}$
3.	Преобразователь "емкость - частота"	Емкостные датчики	Измерение уровня жидкостей	$K_n = 10 \text{ Гц/пФ}$ $C_p = 10 - 10^4 \text{ пФ}$
4.	Преобразователь для пермаллового датчика	Пермалловые датчики	Измерение малых магнитных полей	Параметры согласуются с требованиями к датчику
5.	Преобразователь для ферритового датчика	Ферритовые датчики	Измерение относительных изменений магнитного поля	—
6.	Преобразователь для датчика ЭПР	Датчик ЭПР	Точное измерение малых магнитных полей	—
7.	Преобразователь "напряжение - частота"	Токовые шунты, делители напряжения, датчики Холла	Измерение токов и напряжений	$K_n = 10 \text{ Гц/В}$ $U_{\text{вх}} = 0 - 10 \text{ В}$ $D_n \geq 10^5$
8.	Преобразователь "ток - частота"	Ионизационные вакуумметры, коллекторные датчики	Измерение вакуума, медленно-меняющейся ионизации и т.п.	$K_{\text{п. макс}} = 100 \text{ Гц/мм.А}$ $D_n \geq 10^5$ $I_{\text{вх}} = 0 - 5 \text{ мА}$
9.	Приемник-преобразователь световых вспышек	Датчики с прерыванием светового луча	Связь с устройствами, находящимися под высоковольтным потенциалом, измерение скорости потока и расхода жидкостей	$f = 0 - 100 \text{ Гц}$ Выход НИМ/ТТЛ

ного напряжения, $q_{\text{ш}}$ - собственный шум в единицах заряда, $U_{\text{п}}$ - пороговое напряжение, пересчитанное ко входу, t_3 , $t_{\text{Г}}$ - времена задержки и "гуляния" выходного сигнала, K_0 - коэффициент подавления синфазной помехи, $U_{\text{из}}$ - максимальное напряжение "изоляции", $R_{\text{Д}}$, $C_{\text{Д}}$ - сопротивление или емкость датчика, $I_{\text{изм}}$ - измерительный ток в датчике.

При разработке блоков должны быть приняты меры, обеспечивающие универсальность их применения /высокая чувствительность, возможность широкодиапазонной регулировки коэффициента передачи, высокое быстродействие и т.п./, а также высокую помехоустойчивость

Таблица 3
Блоки связи с регистрирующей электроникой

№№	Наименование	Обслуживаемые устройства	Назначение	Основные параметры
1.	Приемник-преобразователь линейный	Связь выносных линейных преобразователей с линейными блоками "Камак"	Прием аналогового сигнала, поступающего по симметричной линии, подавление синфазной помехи преобразование в стандартные уровни	$K_{\text{п. макс}} = 10$; $K_0 \geq 60 \text{ дБ}$; $\Delta f = 0 - 20 \text{ МГц}$
2.	Приемник-формирователь	Связь выносных преобразователей с блоками "Камак" в условиях сильных помех	То же для дискретных сигналов	$K_0 \geq 70 \text{ дБ}$; $f_{\text{ток}} = 10 \text{ МГц}$; Выход НИМ/ТТЛ
3.	Делитель частоты управляемый	Связь измерительных преобразователей "аналог-частотно-временной" сигнал со счетчиками в стандарте "Камак"	Формирование строба кратного периода входного сигнала, для цифрового измерения периода	$K_n = 1 - 10^4$ $f_{\text{макс}} = 10 \text{ МГц}$ Выход НИМ/ТТЛ

/дифференциальные входы, подавление синфазных помех в широком диапазоне частот, активное подавление наводок от сети переменного тока и т.п./.

Входы блоков, на которых в процессе эксплуатации могут появиться опасные перегрузки, должны быть снабжены защитой. Замыкания входов и выходов на землю также не должны приводить к повреждению приборов.

Выходные каскады предусилителей должны быть рассчитаны для передачи сигналов обеих полярностей в диапазоне $0 \pm 6 \text{ В}$. Выходное сопротивление - 50 Ом . Выходной формирователь преобразователей должен обеспечивать токовый сигнал - 16 мА для работы на согласованные или несогласованные кабели, соответственно, в уровнях НИМ или ТТЛ.

Напряжения питания блоков должны соответствовать стандарту КАМАК /10/. Для выносных блоков число одновременно используемых значений напряжений не должно превышать двух.

Выносные блоки, в основном, должны быть смонтированы в унифицированном корпусе размером $155 \times 90 \times 40 \text{ мм}^3$, который предусматривает возможность их установки как автономно, так и в простейшей кассете /для обслуживания многоканальных датчиков/.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа параметров, подлежащих регистрации, используемых для этого датчиков, а также условий измерения предлагается минимальный стандартный набор электронных блоков для предварительной обработки сигналов датчиков. Создание этой аппаратуры в совокупности с существующими системами блоков в стандарте КАМАК обеспечит основные потребности Лаборатории высоких энергий в измерительных системах /как автономных, так и на линии с ЭВМ/ для диагностики параметров электрофизических установок.

Возможность работы с большим набором датчиков в условиях сильных помех и совместимость со стандартной регистрирующей аппаратурой позволит применить описанную аппаратуру также на ЭФУ других лабораторий ОИЯИ.

Автор признателен М.А.Воеводину, И.Н.Гончарову, Е.И.Дьячкову, Н.К.Жидкову, Г.С.Казанскому, А.Д.Коваленко, В.П.Матвеевой за предоставленные материалы и консультации, а также С.Г.Басиладзе - за полезные советы.

Литература

1. С.Г.Басиладзе, И.Ф.Колпаков, Е.Хмелевски. Сообщение ОИЯИ, 10-8372, Дубна, 1974.
2. С.Г.Басиладзе и др. Сообщение ОИЯИ, 13-6383, Дубна, 1972.
3. С.Г.Басиладзе и др. Сообщение ОИЯИ, 13-7613, Дубна, 1973.
4. В.А.Арефьев и др. Препринт ОИЯИ, 10-7326, Дубна, 1973.
5. V.A.Arefiev et al. SAMAC Bulletin, No. 5, 19-21.
6. Каталог "САМАС" фирмы "ПОЛОН" /ПНР/, 1976.
7. Каталог "САМАС" ЦИФИ /ВНР/, 1975.
8. К.Э.Эрглис. ПТЭ, №3, 1969, стр. 5.
9. Е.В.Михайлов. Помехозащищенность информационно-измерительных систем. "Энергия", М., 1975.
10. SAMAC, ESONE Committee, EUR-4100e, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 августа 1976 года.