

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗУУ,Зг
Г-944

29/1-79
10 - 11926

386/2-79

В.А.Гуляев, Г.П.Жуков, В.Н.Замрий, Л.А.Маталин

АНАЛОГОВАЯ ПОДСИСТЕМА
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ
И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

1978

10 - 11926

В.А.Гуляев.* Г.П.Жуков. В.Н.Замрий, Л.А.Маталин*

АНАЛОГОВАЯ ПОДСИСТЕМА
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ
И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ



*Физико-энергетический институт, г.Обнинск.

Гуляев В.А. и др.

10 - 11926

Аналоговая подсистема для измерения статических и динамических параметров

Обсуждаются условия и особенности построения аналоговой подсистемы для измерения статических и динамических параметров ядерно-экспериментальных установок. Рассмотрены особенности измерительных каналов для аналоговых сигналов как низкого, так и высокого уровней. Анализируются некоторые схемные решения и приводятся основные характеристики созданного базового комплекта выполненных в стандарте КАМАК модулей помехоустойчивой аналоговой подсистемы. Это позволяет расширить применение измерительно-информационных систем для контроля и регулирования параметров установок в условиях интенсивных помех.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Gulayev V.A. et al.

10 - 11926

An Analog Subsystem for Measuring Static and Dynamic Parameters

Conditions and distinctive features of the structure of an analog subsystem for measuring static and dynamic parameters of experimental nuclear installations are discussed. Characteristics of channels for measurement of analog signals both of low and high levels are considered. Some circuits are analyzed and some essential characteristics of a basic set of CAMAC modules for analog subsystem with noise resistance are given. This enables one to expand the utilization of data acquisition systems for supervision and control of installation parameters under conditions of intensive noise.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

При исследовании стационарных или квазистационарных процессов /статических измерениях/ в ядерно-экспериментальных установках /ЯЭУ/ к аппаратуре измерения и регистрации предъявляются следующие требования:

- количество измеряемых каналов - $10 \div 1000$;
- число измерений - несколько десятков тысяч за один режим работы;
- точность измерений - $0,05 \div 2\%$;
- разрешающая способность - $10 \div 100$ мкВ для сигналов постоянного тока;
- скорость измерения и регистрации - $5 \div 15$ изм./с;
- измерения проводятся в условиях интенсивных помех промышленной частоты.

При исследовании переходных режимов /динамических измерениях/ необходимо измерять нестационарные поля ряда параметров. В этом случае к измерительной и регистрирующей аппаратуре предъявляются следующие требования:

- количество измерительных каналов - $1 \div 100$;
- число измерений - несколько тысяч на один режим работы;
- точность измерений - $0,5 \div 2\%$;
- разрешающая способность - $10 \div 100$ мкВ для сигналов постоянного тока;
- скорость измерения и регистрации - до нескольких тысяч/с.;
- измерения должны проводиться в условиях интенсивных промышленных помех.

В обоих случаях на исследуемых объектах устанавливается определенное количество датчиков по каждому параметру и с помощью многоканальной аппаратуры определяются параметры дискретных полей с целью контроля или выработки управляющего воздействия на объект. Измерение сигналов наиболее распространенных датчиков /термопары, термометры сопротивления, магнитные расходомеры и т.п./, как правило, ведутся в условиях помех большой интенсивности, которые могут иметь сложный спектр, например, при тиристорном регулировании электрической мощности стенда.

Напряжение продольной помехи может быть от нескольких милливольт до нескольких сотен вольт. Поперечная помеха, возникающая в контуре датчик - измерительная линия - вход измерительного преобразователя, может достигать единиц милливольт. В то же время полезный сигнал датчиков имеет амплитуду пульсаций $0 \div 1 \text{ мВ}$ с постоянной составляющей, изменяющейся в диапазоне $0 \div 100 \text{ мВ}$. Спектр переменных сигналов находится в диапазоне $0 \div 10 \text{ Гц}$. Для измерения параметров таких сигналов система должна иметь повышенное быстродействие, чтобы погрешность дискретизации оставалась достаточно малой. Так, при полношкальном сигнале, изменяющемся с частотой 10 Гц , необходимо проводить 700 изм./с , чтобы погрешность дискретизации оставалась в пределах $0,1\% U_{\text{полн}}$, где $U_{\text{полн}}$ - значение полной амплитуды измеряемого сигнала. Следовательно, быстродействие системы должно быть $\geq 700 \cdot K \text{ изм./с}$, где K - число измерительных каналов с сигналами указанных параметров.

Измерения статических параметров проводятся, как правило, при большем числе измерительных каналов с существенно меньшим быстродействием по сравнению с динамическими измерениями. Проблема помехоустойчивости в случае статических измерений решается более простыми средствами. В связи с этим практическая реализация измерительных каналов /которые должны включать датчики, измерительные линии, фильтры, помехоустойчивые нормирующие преобразователи, мультиплексоры аналоговых сигналов различного уровня, ана-

лого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи и т.п./ для статических и динамических измерений различна.

Аппаратура систем, кроме функции измерения, должна осуществлять функции накопления, обработки данных, а в некоторых случаях - и управления процессами, протекающими в установках. Для выполнения этих функций рационально использовать малые ЭВМ, а связь между средствами измерения и ЭВМ осуществлять через стандартный интерфейс.

Учитывая разнообразие измерительных задач на ЯЭУ, целесообразно предусматривать переменную структуру системы, возможность работы с произвольным числом различных датчиков и достаточное быстродействие при сохранении помехоустойчивости измерений. Основой унификации и стандартизации подобных систем должна быть модульная структура, позволяющая легко изменять функциональное назначение систем, обладающая широкими возможностями согласования с различными источниками информации, а также допускающая работу как в автономном режиме, так и с ЭВМ любого типа. Используя принцип программно-управляемой структуры, переход с режима измерения статических параметров на режим измерения динамических параметров и обратно можно проводить по командам от ЭВМ, сохраняя высокое быстродействие системы. При таком подходе рационально применять известный стандарт КАМАК.

Архитектура КАМАК и логика работы ориентированы на создание систем сбора и обработки экспериментальных данных и позволяют получить достаточно высокое быстродействие. Поэтому целесообразно в качестве базового варианта принять систему на основе стандарта КАМАК, работающую либо с автономным контроллером, либо с ЭВМ, аппаратные и программные возможности которых обеспечивают решение задач контроля и управления технологическими процессами, а также проведение научных исследований /включая работу в реальном времени/. При такой организации систем наиболее перспективными могут быть ЭВМ с магистральной структурой. Такие системы в основном обеспечивают решение проблем автоматизации физических экспериментов. Приня-

тые стандарты /ISO, МЭК/ обеспечивают возможность сопряжения с наиболее распространенными средствами вычислительной техники.

В качестве примера рассмотрим задачу по отработке оптимального алгоритма регулирования теплофизического контура. Сложность задачи заключается в том, что регулирующее воздействие необходимо вычислять по ряду параметров, причем каждый должен быть измерен в нескольких точках контура. Поэтому входом такого регулятора должна быть многоканальная аналоговая подсистема сбора данных, а решающим блоком - ЭВМ. Обратная связь должна включать в себя преобразователь код-аналог и согласованный с ним сервопривод для подачи регулирующего воздействия на объект регулирования. Прежде чем петля регулирования может быть замкнута, система должна на этапе первоначальной отработки алгоритма работать в режиме "Советчик оператора".

Требования к аналоговой подсистеме:

- количество измеряемых параметров - 20 /в том числе датчиков активности кислорода - 6, датчиков температуры - 10/;
- периодичность измерения - 0,1 с;
- порог чувствительности аппаратуры - 10 ± 20 мкВ;
- основная погрешность измерения системы - 0,1%;
- помехоустойчивость к продольным помехам постоянного тока - 100 дБ, помехоустойчивость к поперечным помехам промышленной частоты - 40 дБ.

Кроме функции измерения система должна обеспечивать:

- проверку правильности работы измерительных каналов, вычислительного оборудования и прохождения программ;
- циклический опрос датчиков через установленные периоды времени;
- регистрацию данных и результатов обработки на различные носители информации, в том числе в виде графиков;
- иметь канал выхода на сервопривод регулирования активности кислорода, задатчик диапазона регулирования, индикатор положения регулирующего органа.

Второй задачей может быть необходимость измерения параметров реакторов /например, ИБР/, а также создания условий, обеспечивающих безопасную и надежную эксплуатацию установки. В этом случае требуется получить надежные и стабильные результаты измерений, несмотря на наличие интенсивных помех при работе измерительной аналоговой подсистемы у выходов нейтронных пучков. Регистрирующая часть системы должна работать на линии с ЭВМ.

Основные технические требования, предъявляемые к системе:

- число контролируемых параметров /в том числе датчиков термосопротивления и термопар, давления, разрежения, расхода, вакуума, а также датчиков положения, движения, сигнальных/ - 100 ± 200 ;
- периодичность контроля отклонений каждого параметра - $0,1 \pm 1$ с;
- порог чувствительности - 50 ± 100 мкВ;
- частные погрешности измерения и преобразования сигналов датчиков - 0,1%;
- основная относительная погрешность измерения системы - 1%.

Требования к помехоустойчивости формулируются при измерении интенсивности помех на работающей установке. Нижняя граница может быть определена априори:

- помехоустойчивость к продольным помехам постоянного тока - 100 дБ;
- помехоустойчивость к поперечным помехам промышленной частоты / $50 \pm 0,5\%$ Гц/ - 40 дБ.

Система должна обеспечивать предупредительную и аварийную сигнализацию отклонений измеряемого параметра от нормы, выдачу сигнала для аварийной остановки, регистрацию протокола. Уставки предупредительной и аварийной сигнализации могут быть программно изменены. Оператору должна быть представлена визуальная информация о поведении важнейших параметров установки. Надежность системы определяется требованием безотказной работы всего аппаратно-программного комплекса в течение 2 тыс. час.

Для решения первой задачи система должна обеспечить следующие информационные процессы:

- измерение стационарных и динамических параметров в условиях интенсивных помех;
- накопление, регистрация цифровой информации;
- вычисление с целью выдачи обработанных результатов измерения и управляющего воздействия;
- выработка управляющего воздействия;
- регистрация или отображение результатов измерения и вычисления на каком-либо носителе или дисплее.

Для решения второй задачи система должна обеспечить:

- измерение стационарных и динамических параметров в условиях интенсивных помех;
- контроль, т.е. логическую обработку цифровой информации /сравнение с уставками/;
- регистрацию или отображение результатов измерения и контроля на каком-либо носителе или дисплее.

Таким образом, несмотря на то, что одной задачей является обеспечение регулирования, а другой - контроль параметров установки, у них много общего, и аппаратные средства могут быть аналогичными.

В настоящее время для решения указанных задач создан базовый комплект измерительных модулей устройства связи с объектом - УСО, состоящий из:

- мультиплексора сигналов низкого уровня - МСНУ;
- мультиплексора сигналов высокого уровня - МСВУ;
- аналого-цифрового преобразователя - АЦП;
- группового нормирующего преобразователя - ГНП;
- генератора управляющих импульсов - ГУИ.

Управление блоков УСО может осуществляться специализированным автономным контроллером или контроллером связи крейта /КК/ с ЭВМ.

Структурная схема системы представлена на рис. 1. На схеме указаны перечисленные блоки, подключенные к магистрали КАМАК, а также блок нормирующих преобразователей - БНП.

Модуль МСНУ подключает датчики, генерирующие аналоговые сигналы милливольтового диапазона, к общему выходу МСНУ, связанному с ГНП. Групповой нормирующий преобразователь ГНП осуществляет приведение сигнала низкого уровня, который поступает с выхода МСНУ, к уровню сигнала, измеряемого АЦП.

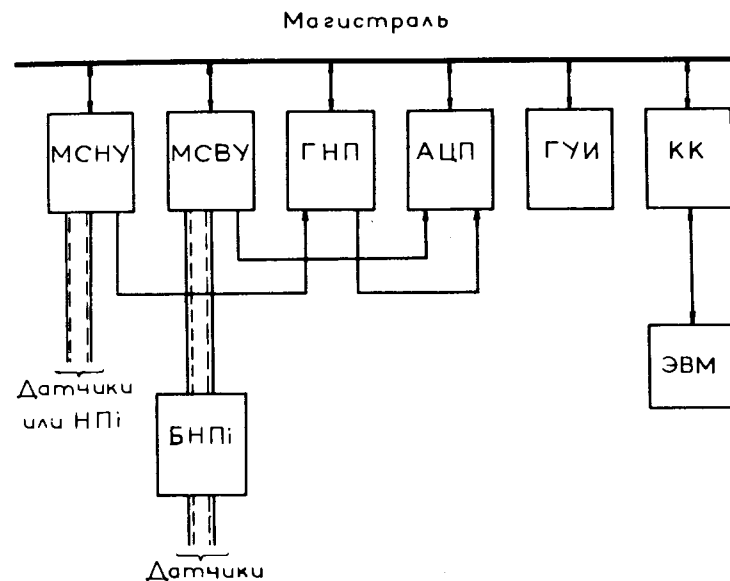


Рис. 1. Аналоговая подсистема для измерения статических и динамических параметров.

Измерительный канал, состоящий из МСНУ, ГНП и АЦП, предназначен для помехоустойчивого измерения сигналов постоянного тока или сигналов переменного тока низких частот $\leq 0,1$ Гц. Для ослабления продольной помехи в указанном измерительном канале применен принцип гальванического разделения на уровне АЦП /1/. В его основе лежит, во-первых, отказ от передачи через разделительную цепь /трансформатор/ аналогового сигнала и, во-вторых, заключение на момент измерения всего измерительного тракта в изолированный от "земли" экран, находящийся под потенциалом продольной помехи - U_0 . На рис. 2 изображена измерительная часть канала МСНУ-ГНП-АЦП. Мультиплексор построен на ключах КЧ, способных выдерживать напряжение - $U_{0 \text{ макс.}}$, соответствующее максимальной продольной помехе в измерительных каналах - 250 В. Нормирующие преобразователи НП /без гальванического разделения/, ключи КЧ и АЦП заключены в изолированные от "земли" экраны. Причем экраны каждого канала /НП_i/ всегда находят-

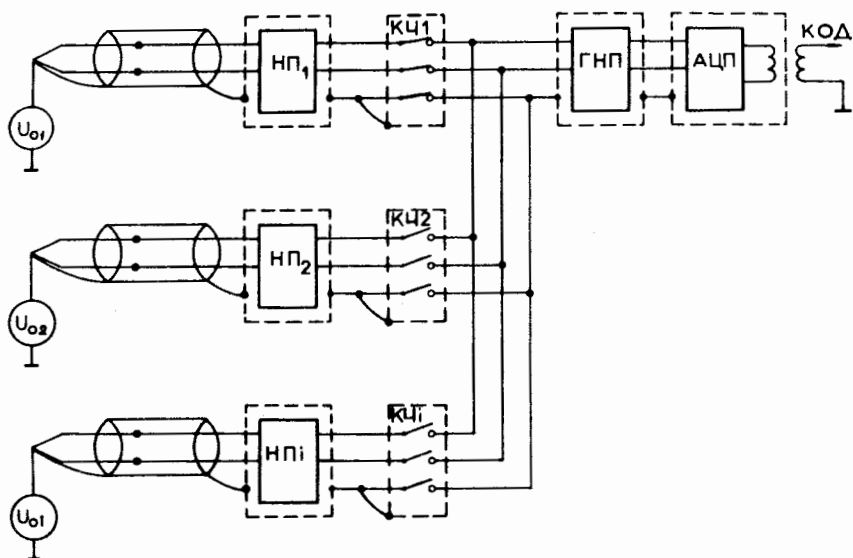


Рис. 2. Измерительный канал МСНУ-ГНП-АЦП.

ся под потенциалом продольной помехи U_{0i} данного канала, а экран АЦП находится под потенциалом экрана того НП, который подключен в данный момент. Через разделительную цепь передается значение последовательного кода, получаемого в АЦП во время преобразования аналоговой величины. Погрешности разделительной цепи исключаются при передаче информации об измерительном сигнале. Необходимым условием реализации этой схемы является наличие точных и быстродействующих коммутирующих элементов, способных выдержать максимальное напряжение продольной помехи $U_{0 \text{ макс.}}$, а также наличие экранированного АЦП с незаземленным входом. В данной схеме и мультиплексор /МСНУ/, и АЦП удовлетворяют этим требованиям.

Проблема помехоустойчивого измерения динамических сигналов при большом количестве каналов может быть решена, если измерительный канал аналоговой подсистемы имеет структуру - датчик - НП - МСВУ - АЦП /рис. 1/. Такая структура оказывается менее экономичной, чем структура МСНУ - ГНП - АЦП, главным

образом, из-за-высокой стоимости и большого количества нормирующих преобразователей БНП. Ее применение оправдано в случае измерения быстро меняющихся сигналов при наличии значительных $\geq \pm 5$ В/ синфазных помех. Ранее было показано, что при заданной величине погрешности дискретизации и заданном количестве каналов система должна обладать быстродействием ~ 1000 и более измерений/с. Мультиплексоры с таким быстродействием могут быть построены на полупроводниковых ключах, которые, однако, не в состоянии выдерживать значительные синфазные сигналы. Поэтому на ключи МСВУ можно подавать только усиленный дифференциальный сигнал датчика. В нормирующих преобразователях, или кондиционерах, в этом случае осуществляется гальваническое разделение входа и выхода /т.е. существенное ослабление влияния синфазной помехи/, фильтрация, приведение сигнала датчика к уровню входного сигнала МСВУ и АЦП, согласование импедансов датчиков и МСВУ.

Блоки подсистемы

МСНУ предназначен для коммутирования аналоговых сигналов в диапазоне $\pm /0,02 \div 81,90/$ мВ /при усилении в ГНП, равном 50/.

Максимальная синфазная помеха - ± 250 В.

Сопротивление открытого ключа - 0,5 Ом.

Сопротивление закрытого ключа - 100 МОм.

Емкость между каналами - 20 пФ.

Частота переключения каналов - 400 Гц.

Количество коммутируемых линий в канале - 3.

Количество коммутируемых каналов - 32 или 16.

Предусмотрена возможность каскадирования таких модулей мультиплексоров. Управление мультиплексором может осуществляться по сигналам с передней панели модуля и по командам через магистраль КАМАК. Режимы работы - циклический и адресный. В мультиплексоре имеется задержка сигнала запуска АЦП на время переключения реле, равная 2 мс. Ширина модуля - 3М.

МСВУ предназначен для коммутирования аналоговых сигналов в диапазоне $\pm /0,001 \div 4,095/$ В.

Входное сопротивление каждого канала - 10^6 Ом.

Коэффициент передачи - $1 \pm 0,1\%$.

Погрешность нелинейности - $\leq 0,1\%$.

Максимальный выходной сигнал - ± 5 В / ± 5 мА/.

Число коммутируемых линий в канале - 1 или 2.

Число коммутируемых каналов - 32 или 16.

Скорость коммутации /при сохранении метрологических характеристик/ - 50 кГц.

Управляющие сигналы и команды МСВУ и МСНУ одинаковы. Предусмотрена задержка сигнала запуска АЦП на время переключения ключей и окончания переходного процесса в выходных операционных усилителях, равная 20 мкс. Ширина модуля - 1М.

АЦП построен на основе конвейерно-циклического метода преобразования, что позволило уменьшить число связей между экранированной измерительной частью и "заземленной" регистрирующей частью АЦП. К преимуществам АЦП можно также отнести наличие на входе аналоговой запоминающей схемы, которая значительно снижает динамическую погрешность измерения, и отсутствие многоразрядной эталонной сетки сопротивлений с ключами. Блок-схема измерительной части АЦП показана на рис. 3. По сигналу "Старт" /10/ через линейную схему переключения /1/ на входы компаратора /2/ и схемы "выборки и запоминания" /5/ подается текущее значение измеряемого напряжения $U_{вх}$. Время 2 мкс, на которое производится подключение входа /определяется быстродействием компаратора и способностью схемы /5/ накопить в запоминающей емкости заряд с заданной величиной погрешности $0,02\% U_{полн.}$ /, определяет абсолютную временную погрешность датирования момента измерения. Затем схема /1/ подключается к выходу схемы "Выборка и запоминание" /7/ и остается в этом состоянии. Если $U_{вх} \geq U_{полн.}/2$, компаратор срабатывает и включает генератор компенсирующего тока /3/, что позволяет, при помощи сумматора /6/, усилителя /8/, схем /7/ и /1/ уменьшить входное напряжение схемы /5/ на величину $U_{полн.}/2$. Состояние компаратора определяется при помощи логической схемы /4/, на которую через формирователь /13/ поступают импульсы опроса /15/, синхронизированные со сдвигающими импульсами

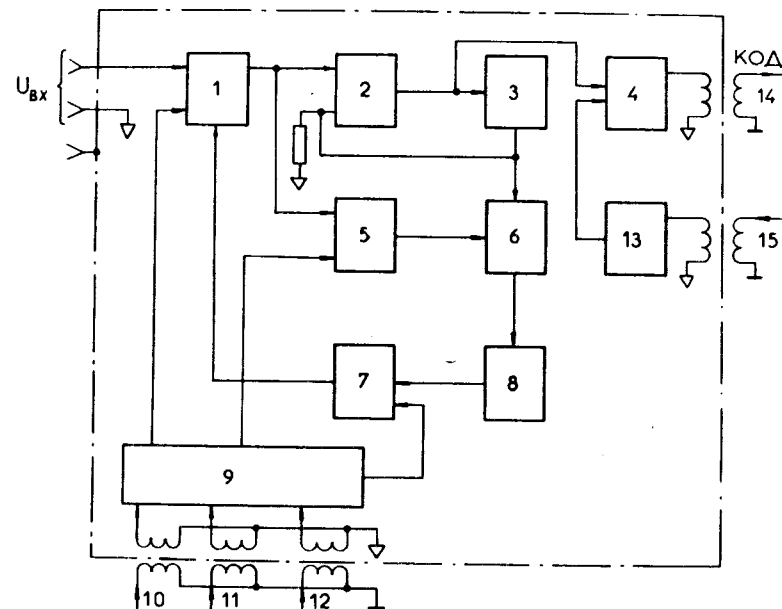


Рис. 3. Измерительная схема АЦП с "изолированным входом".

регистра величины. При срабатывании компаратора на выходной обмотке разделительного трансформатора появляется импульс "1" кода величины /14/. Если компаратор не срабатывает (при $U_{вх} < U_{полн.}/2$), в этом цикле импульс /14/ отсутствует. При этом значение выходного напряжения схемы /5/ удваивается /8/ и передается на схемы /7/ и /5/. Повторяя цикл за циклом, в регистре величины получаем двоичный код, соответствующий $U_{вх}$. Последовательность циклов измерения завершается по сигналу "Стоп" /12/. Работа схемы управления /9/ синхронизована импульсами серии 1 МГц /11/. Для ранее разработанного АЦП время измерения равно 8 мкс/разряд.

Основные метрологические характеристики следующие:

- верхний предел измеряемой величины - 4,095 В;
- единица дискретности - 0,5; 1 или 2 мВ;
- число разрядов двоичного кода - 13, 12 или 11;
- входной ток - 1 мкА;

- входное сопротивление в момент подключения - 1 МОм;
- помехоустойчивость к продольным помехам - 100 дБ;
- температурная стабильность нуля - 10 мкВ/°С;
- температурная стабильность коэффициента преобразования - 0,002%/°С.

Предусмотрен запуск АЦП по сигналам "Старт АЦП" /от внешнего генератора или мультиплексоров/ или по командам КАМАК. Ширина модуля - 4М.

ГНП выполнен на основе операционного усилителя, имеющего высокую стабильность нуля, большой коэффициент усиления и малое время установления.

Основные характеристики ГНП:

- вход и выход незаземленные, рассчитанные на подключение 3-проводных соединительных линий;
- диапазон входного сигнала - $\pm 10^{-2} \div 10^2$ / мВ;
- коэффициент усиления - 50 (20) $\pm 0,02\%$;
- входное сопротивление - 100 МОм;
- максимальный выходной сигнал - ± 5 В / ± 10 мА/;
- стабильность нуля - 1 мкВ/день; 1 мкВ/°С;
- ширина модуля - 2М.

При постановке измерений на ЯЭУ возникают различные сочетания требований к аппаратуре по помехоустойчивости, быстродействию, порогу чувствительности. В зависимости от конкретной задачи необходимо выбирать рациональную структуру измерительного канала и соответствующие этой структуре и требованиям аппаратные измерительные средства. Особую роль играют нормирующие преобразователи, поскольку именно на этом уровне требуется наибольшее их разнообразие. Например, для измерения температуры разработано в настоящее время три типа нормирующих преобразователей.

1. НП, по схеме измерительного усилителя /2/, может применяться при сравнительно невысокой точности измерений, если уровень продольной помехи не превышает ± 5 В. Эта схема реализуется на стандартных интегральных операционных усилителях и сравнительно проста в настройке. НП обладает следующими метрологическими характеристиками:

- коэффициент усиления - $100 \pm 0,1\%$;

- выходной сигнал - ± 5 В / ± 5 мА/;
- входное сопротивление - 1 МОм;
- входной ток - 10^{-7} А;
- порог чувствительности - 10 мкВ;
- подавление продольной помехи постоянного тока /в диапазоне ± 5 В/ - 100 дБ;
- подавление поперечной помехи /50 Гц/ - 40 дБ;
- полоса пропускания /на уровне 0,7 АЧХ фильтра Баттерворта/ - 5 Гц.

2. НП, по схеме без гальванического разделения /для структуры рис. 2/, имеет следующие характеристики:

- коэффициент усиления - $100 \pm 0,02\%$;
- выходной сигнал - ± 5 В / ± 2 мА/;
- входное сопротивление - 50 МОм;
- входной ток - 10^{-10} А;
- порог чувствительности - 1 мкВ;
- подавление продольной помехи постоянного тока /в диапазоне ± 200 В/ - 140 дБ;
- подавление поперечной помехи /50 Гц/ - 40 дБ;
- полоса пропускания /на уровне 0,7 АЧХ фильтра Баттерворта/ - 5 Гц.

3. НП, предназначенный для помехоустойчивого измерения и аналоговой регистрации динамических сигналов, при структуре измерительного канала датчик - НП-МСВУ-АЦП, обеспечивает гальваническое разделение входа и выхода, фильтрацию, приведение сигнала датчика к уровню сигнала АЦП, согласование импедансов, вывод информации на аналоговый регистратор. Этот НП разработан на основе преобразователя напряжение-частота /ПНЧ/. Входной сигнал преобразуется в частотно-импульсную последовательность, которая через импульсный трансформатор поступает на схему обратного преобразования в напряжение /ПЧН/. Блок-схема преобразователя изображена на рис. 4а /1 - усилитель "нуль-орган", 2 - ПНЧ, 3 и 4 - ПЧН/. Элементом гальванического разделения является импульсный трансформатор с малой межобмоточной емкостью. Благодаря этому дости-

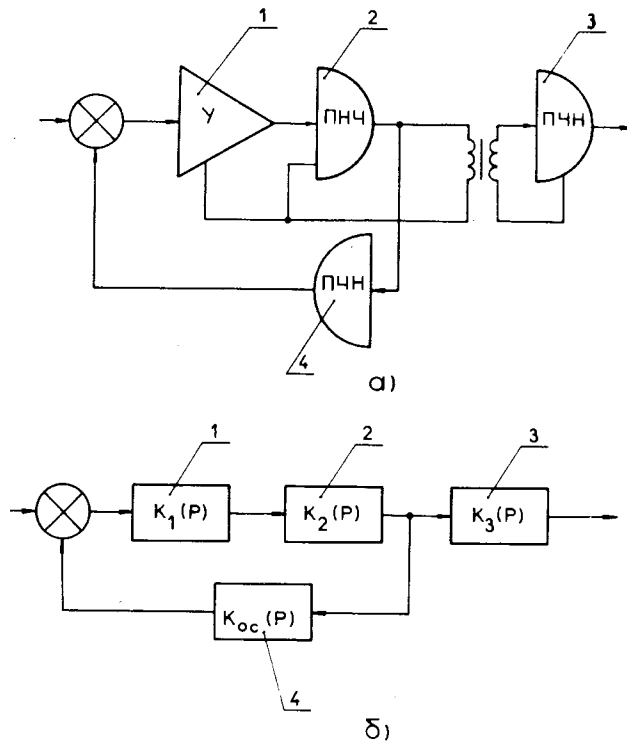


Рис. 4. Нормирующий преобразователь с гальваническим разделением входа и выхода: а/ схема ПНЧ - ПЧН; б/ передаточные звенья.

дается полное исключение погрешности передачи измеряемого сигнала и высокое качество гальванического разделения.

Разработанный преобразователь имеет порог чувствительности 1 мкВ , погрешность нелинейности $\pm 0,02\% U_{\text{полн}}$. Столь малое значение погрешности получается благодаря взаимной компенсации отдельных инструментальных погрешностей. На рис. 4б показана блок-схема передаточных звеньев, из которых состоит разработанный НП. Комплексный коэффициент передачи преобразователя напряжение-частота

$$K_{\text{ПНЧ}}(P) = \frac{K_1(P) \cdot K_2(P)}{1 + K_{\text{ОС}}(P) \cdot K_1(P) \cdot K_2(P)}$$

При вещественных значениях коэффициентов погрешность передачи сигнала

$$y_{\text{ПНЧ}} = \frac{1}{1 + K_{\text{ОС}} \cdot K_1 \cdot K_2} (y_{K_1} + y_{K_2} - y_{K_{\text{ОС}}} \cdot K_{\text{ОС}} \cdot K_1 \cdot K_2)$$

Если усиление достаточно велико, $K_{\text{ОС}} \cdot K_1 \cdot K_2 \gg 1$, и

$$y_{\text{ПНЧ}} = -y_{K_{\text{ОС}}}$$

т.е. погрешность этой части НП определяется в основном погрешностью ПЧН, $-y_{\text{ПЧН}}$. Полный коэффициент передачи преобразователя

$$K_{\text{НП}} = K_{\text{ПНЧ}} \cdot K_{\text{ПЧН}}$$

следовательно, его погрешность

$$y_{K_{\text{НП}}} = y_{\text{ПЧН}4} - y_{\text{ПЧН}3}$$

и, если ПЧН3 и ПЧН4 /в прямой и обратной ветви схемы, рис. 4/ идентичны, то погрешность коэффициента передачи НП может быть равной нулю.

НП имеет следующие метрологические характеристики:

- коэффициент усиления - $100 \pm 0,02\%$;
- выходной сигнал - $\pm 5 \text{ В} / \pm 2 \text{ мА}$;
- входное сопротивление - 100 МОм ;
- погрешность нелинейности - $\pm 0,02\%$;
- порог чувствительности - 1 мкВ ;
- входной ток - 10^{-10} А ;
- подавление продольной помехи постоянного тока /в диапазоне $\pm 200 \text{ В}$ / - 140 дБ ;
- полоса пропускания /на уровне $0,7 \text{ АЧХ}$ фильтра Баттерворта/ - 5 Гц ;
- подавление поперечной помехи / 50 Гц / - 40 дБ .

Для измерения сигналов датчиков термодинамической активности кислорода и токовых камер разработан нормирующий преобразователь, имеющий следующие метрологические характеристики:

- коэффициент усиления - $20 \pm 0,1\%$;

- выходной сигнал - $\pm 5 \text{ В} / \pm 5 \text{ мА}$;
- входное сопротивление - 10^{12} Ом ;
- входной ток - 10^{-12} А ;
- порог чувствительности - 10 мкВ ;
- подавление продольной помехи постоянного тока /в пределах $\pm 200 \text{ В} / - 100 \text{ дБ}$.

Созданный базовый комплект модулей КАМАК и разработанные на его основе измерительные каналы для аналоговых сигналов низкого уровня и сигналов высокого уровня позволяют строить помехоустойчивые модульные подсистемы для измерения статических и динамических параметров установок. Это определяет возможность расширить применение измерительно-информационных систем для контроля и регулирования параметров в ЯЭУ, работающих в условиях интенсивных помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алещенков В.Б. и др. Измерительный модуль для исследования нестационарных процессов. "Автоматика и вычислительная техника", изд-во "Зинатне", Рига, 1975.
2. "Проектирование и применение операционных усилителей" /под ред. Д.Грэма/. "Мир", М., 1974.

*Рукопись поступила в издательский отдел
3 октября 1978 года.*