

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3243/2-81

29/6-81

P13-81-230

В.А.Гуляев, В.Н.Замрий

ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ
С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ
"НАПРЯЖЕНИЕ-ЧАСТОТА-НАПРЯЖЕНИЕ"

1981

При проведении экспериментов на ядернофизических и теплофизических установках часто необходимо измерять медленно меняющиеся аналоговые сигналы /полоса частот $0 \div 5$ Гц/ низкого уровня / $0,001 \div 50$ / мВ с малой погрешностью / $0,1\%$ /. Измерения аналоговых сигналов низкого уровня /СНУ/ проводятся во время работы основного и вспомогательного оборудования установок, когда генерируются помехи постоянного и переменного тока промышленной частоты /50 Гц/.

К настоящему времени накоплен определенный опыт решения подобных задач, например /1/. В каждом конкретном случае анализ возможных структур помехоустойчивых измерительных каналов определяет выбор оптимального решения с целью удовлетворения требований эксперимента, а также минимума необходимых аппаратных и программных средств. В рассматриваемой ниже задаче учитывались условия измерения аналоговых СНУ от 4-8 датчиков. Часть измерительной аппаратуры /измерительные преобразователи СНУ/ устанавливается на экспериментальной установке в условиях, исключающих постоянное обслуживание, на расстоянии от датчиков /20-30 м/. Информация об измеряемом параметре передается по протяженной линии /100 \div 1000 м/ для регистрации и обработки на ЭВМ. Кроме того, возможна аналоговая регистрация измеряемого параметра.

Далее рассматриваются особенности помехоустойчивого канала для измерения аналоговых СНУ, построенного на основе изолированного преобразователя "Напряжение-частота" /ПНЧ/ и удаленного регистра-счетчика. Обратное преобразование "Частота-напряжение" /ПЧН/ позволило получить аналоговый выход с погрешностью нелинейности измерительного канала $\pm 0,02\%$, порогом чувствительности - 1 мкВ, подавлением продольной помехи постоянного тока - 140 дБ, подавлением поперечной помехи /50 Гц/ - 40 дБ при полосе пропускания 5 Гц.

Помехоустойчивый измерительный канал с преобразованием "Напряжение-частота-напряжение" содержит датчик СНУ, блок преобразователя ПНЧ, к выходу которого могут быть подключены интегрирующий регистр-счетчик импульсов /РС/, с выходом на ЭВМ, и блок преобразователя ПЧН, к выходу которого могут быть подключены шлейфовый осциллограф /ШО/, аналого-цифровой преобразователь /АЦП/ и т.п.

На датчике имеется синфазное напряжение помехи, например, по отношению к некоторому базовому потенциалу точки заземления

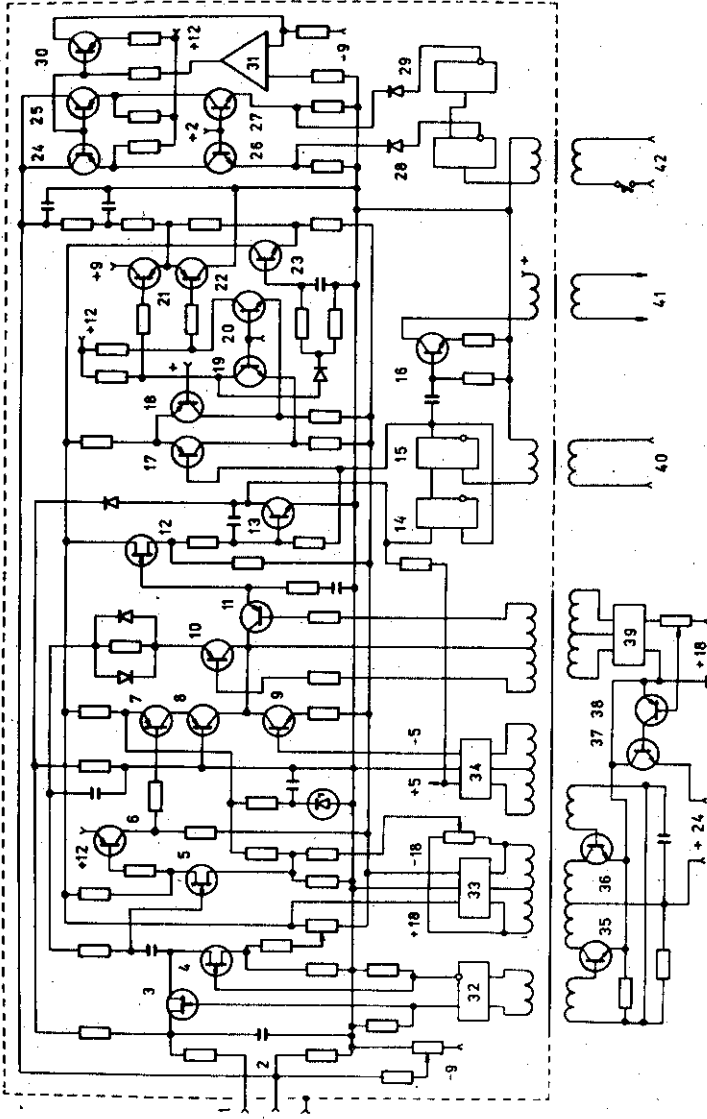


Рис. 1. Блок преобразования "Напряжение-частота".

источника питания блока ПНЧ. Защита от возникновения продольного тока помехи в измерительной линии датчика СЧУ обеспечивается изоляцией входа ПНЧ, гальваническим разделением в цепях питания и выхода, а также управления и синхронизации, с применением импульсных трансформаторов с малой межобмоточной емкостью. Разделительный трансформатор на выходе ПНЧ исключает продольные токи в протяженной линии связи, когда потенциал точки заземления удаленного приемника, РС, отличается от базового. Таким образом достигается исключение погрешности передачи и высокое качество гальванического разделения. Продольный ток по линии аналогового выхода ПНЧ исключается, если, например, гальванометр ШО изолирован от его "земли", вход удаленного АЦП является "плавающим" по отношению к базовому потенциалу. Величина частных погрешностей, возникающих за счет протекания остаточных продольных токов /зависящих от величины синфазных напряжений помехи, длины линии связи, характеристик изоляции входов приемников, качества экранировки и т.п./, снижена до уровня основной погрешности измерительного канала /0,1%/ применением рассматриваемых ниже схемных решений.

Схема блока преобразователя ПНЧ, с ПЧН в цепи обратной связи /1/, с некоторым упрощением показана на рис.1. Измеряемое напряжение отрицательной полярности ($U_{вх}$) подается на вход /1/ усилителя, который состоит из модулятора параллельно-последовательного типа /транзисторы 3,4/, усилителя переменного тока /5-9/, демодулятора /10,11/ и выходного каскада /12/. Сигнал усилителя М-ДМ поступает на интегратор /13/, формирующий пилообразное напряжение со скоростью нарастания, зависящей от входного напряжения. Когда сигнал интегратора достигает порогового уровня, включается триггер /14/. Затем синхроимпульсом, поступившим на вход /40/, включается второй триггер /15/. Поэтому триггер /14/ возвращается в исходное состояние. Затем вторым синхроимпульсом сбрасывается и триггер /15/. Его выходной импульс, длительность которого ($t_{и}$) задана периодом следования синхроимпульсов, подается на вход интегратора /13/, где вызывает быстрый спад сигнала, и в схему преобразования ПЧН, где после предварительного формирования /17-20/ поступает на ключ /21,22/, формирующий импульс с заданной амплитудой ($U_{оп}$). Последовательность этих импульсов интегрируется на двухзвенном РС -фильтре. С выхода фильтра напряжение отрицательной обратной связи ($U_{ос}$) подается на вход /2/ усилителя. На выход блока ПНЧ /41/ через формирователь /16/ поступают импульсы с частотой следования (f_x), зависящей от входного напряжения ($U_{вх}$).

Зависимость частоты следования выходных импульсов от входного напряжения можно определить, учитывая, что для усилителя М-ДМ коэффициент усиления без обратной связи $A_0 = 10^5$, и ста-

тическая ошибка $e = U_{вх} - U_{ос} \leq \Delta U_y / A_0$, где $\Delta U_y = 0,4$ В есть изменение выходного напряжения усилителя при изменении $U_{вх}$ от 0 до 50 мВ, не превышает $4 \cdot 10^{-6}$ В, т.е. $U_{ос} \cong U_{вх}$. Далее, можно показать, что при идеальных характеристиках ключа напряжение $U_{ос}$ связано с частотой, длительностью и амплитудой импульсов соотношением:

$$U_{ос} = f_x \cdot r_{и} \cdot U_{оп} \cdot K,$$

где коэффициент $K = R_{ос} / (R_{ос} + R_{ф})$; $R_{ос}$ - сопротивление на входе /2/ усилителя; $R_{ф}$ - сумма сопротивлений двухзвенного RC-фильтра. Отсюда следует, что частота

$$f_x = U_{вх} / r_{и} \cdot U_{оп} \cdot K$$

прямо пропорциональна входному напряжению. Если для схемы ключа учесть реальные остаточные параметры транзисторов /21,22/ во включенном состоянии ($U_{от}$, $I_{б}$, $r_{э}$, $r_{к}$) и динамическое сопротивление ($r_{д}$) источника напряжения питания /+9 В/, например, опорного стабилитрона, тогда напряжение обратной связи:

$$U_{ос} = \frac{f_x \cdot r_{и} \cdot (E_{ст} + E_{от}) - E_{от}}{r_x \cdot r_{и} \cdot r_{д} + R_{фэ} + R_{ос}} R_{ос},$$

где $E_{ст} = U_{ст} + U_{от} - I_{б}(r_{д} + r_{к})$; $U_{ст}$ - напряжение стабилитрона; $E_{от} = I_{б} \cdot r_{к} - U_{от}$; $R_{фэ} = R_{ф} + r_{э} + r_{к}$. При этом предполагается, что разность параметров транзисторов не вносит погрешности. Учитывая, что $E_{от} \ll f_x \cdot r_{и} \cdot (E_{ст} + E_{от})$, можно записать

$$U_{ос} \cong f_x \cdot r_{и} \cdot (E_{ст} + E_{от}) \cdot K_f.$$

Здесь величина $(E_{ст} + E_{от})$ является реальной амплитудой импульса на выходе ключа ($U_{оп}$), а коэффициент $K_f = R_{ос} / (f_x \cdot r_{и} \cdot r_{д} + R_{фэ} + R_{ос})$ оказывается зависящим от частоты. На основании полученного выражения

$$f_x = U_{вх} \cdot (R_{ос} + R_{фэ}) / r_{и} \cdot [(E_{ст} + E_{от}) \cdot R_{ос} - U_{вх} \cdot r_{д}]$$

могут быть определены частные инструментальные погрешности ПНЧ.

Динамическое сопротивление стабилитрона /типа Д818Е/ вносит погрешность нелинейности. При $r_{д} = 10$ Ом, $r_{и} = 2$ мкс и изменении f_x от 10 до 210 кГц коэффициент преобразования ПНЧ ($\Delta f_x / \Delta U_{вх} \cong 4$ кГц/мВ) изменяется на 0,04%. Для компенсации этой погрешности в схему ПНЧ введен частотнозависимый источник тока, состоящий из RC-фильтра на входе эмиттерного повторителя /23/ и токозадающего резистора на выходе. Это позволило снизить погрешность нелинейности в 2÷3 раза.

Компенсатор постоянной составляющей /24-31/, позволяющий измерять более точно малые отклонения $U_{вх}$ на уровне относительно большого постоянного напряжения, создает на входе усили-

теля /2/ компенсирующее напряжение /12,5; 25; 37,5/ мВ. Значения тока компенсатора /24,25/ переключаются /26,27/ сигналами счетчика /28,29/, на вход которого поступают импульсы внешней управляющей схемы /42/. Для стабилизации тока компенсатора введены операционный усилитель /31/ и транзистор /30/, находящийся на одной подложке с транзисторами /24,25/. При температурных отклонениях параметров U_{03} и β этих транзисторов компенсирующий ток остается постоянным с погрешностью 0,002%/°C (зависит от нестабильности параметров задающего напряжения -9 В стабилизатора /типа Д818Е/ и токозадающего резистора /типа С2-29/).

Питание блока ПНЧ осуществляется через разделительный трансформатор меандром с частотой 4 кГц. Преобразователь постоянно-го напряжения /+24 В/ в переменное представляет собой мульти-вibrator /35,36/, работающий совместно со стабилизатором напряжения /37,38/. Сигнал магнитной обратной связи стабилизатора подается через выпрямитель /39/. Коэффициент стабилизации ~700. Напряжения питания /+18; -18; +5; -5 В/ подаются с выхода выпрямителей /33,34/, без дополнительных стабилизаторов. С этого же трансформатора снимаются импульсы, управляющие работой модулятора, через формирователь /32/ с парафазным выходом /типа 122УТ1/, и демодулятора.

Динамические свойства ПНЧ определяются, главным образом, динамическими свойствами усилителя Д-МД и двухзвенного RC-фильтра в цепи обратной связи, а также соотношением их параметров, удовлетворяющим условию устойчивой работы. При ступенчатом воздействии входного сигнала /от 0 до U_{Π} / переходный процесс в ПНЧ определяется линейным переходным процессом в усилителе переменного тока / $\tau_1 = 5$ мс/, временем насыщенного режима, т.е. заряда конденсатора на выходе демодулятора постоянным током / $\tau_2 = 10$ мс/, и переходным процессом в линейной области ПНЧ после начала действия обратной связи / $\tau_3 = 25$ мс/. При завершении переходного процесса выходная частота достигает установившегося значения с погрешностью $\pm 0,02\%$.

Соотношение между постоянными времени усилителя (T_1), первого звена RC-фильтра (T_2) и второго его звена (T_3) выбирается из условия устойчивой работы ПНЧ при замыкании обратной связи. При последовательно соединенных аperiodических звеньях с передаточными функциями вида $W_i(p) = K_i / (pT_i + 1)$, где $i = 1, 2, 3$, требуется, согласно критерию Гурвица^{2/}, выполнение неравенства

$$K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 < K_k = (1/T_1 + 1/T_2 + 1/T_3) (T_1 + T_2 + T_3) - 1.$$

Здесь $K_1 = A_0 = 10^5$ - статический коэффициент усиления усилителя М-ДМ, $K_2 \cdot K_3 = U_{oc} / U_y = 0,1$ - общий коэффициент передачи схем преобразования "Напряжение-частота-напряжение" /при выходном на-

пряжении усилителя $U_y = 0,5$ В имеем $U_{ос} = U_{вх} = 50$ мВ/. Значение критического коэффициента $K_k > 10^4$ можно получить, если постоянные времени сильно различаются. Кроме того, выбор их значений ограничивается условиями обеспечения малых пульсаций на выходе усилителя М-ДМ и на выходе фильтра. Для схем ПНЧ установлены значения $T_1 = 2$ с, $T_2 = 10^{-8}$ с, $T_3 = 10^{-4}$ с.

Диапазон измеряемых сигналов. Напряжение измеряемого сигнала датчика (U_d) может принимать значение в пределах $0 \geq U_d \geq U_{п} = -50$ мВ. На этот сигнал наложена основная периодическая помеха /50 Гц/ с амплитудой U_a , и на вход ПНЧ поступает сигнал $U_{вх} = -U_d + U_a \cdot \sin \omega t$. ПНЧ будет работать без искажений /как в области $U_a > U_{вх} > 0$, когда $U_d \approx 0$ мВ и действует положительная амплитуда помехи, так и в области $U_{п} - U_a < U_{вх} < U_{п}$, когда $U_d \approx -50$ мВ и действует отрицательная амплитуда/, если диапазон входных напряжений ПНЧ расширен и имеет 3 участка: $U_{вх} > 0$; $0 \geq U_{вх} \geq U_{п}$; $U_{п} < U_{вх} < U_{п}$. Для рассматриваемого ПНЧ таким участкам $+2,5 \pm 0,1$; $-0,5 \pm 0,1$; -50 ± 60 мВ соответствует изменение выходных частот $/0 \pm 10$; $/10 \pm 210$; $/210 \pm 250/$ кГц. При этом предельная помехоустойчивость интегрирующего измерительного канала составляет 46 дБ при $U_d = 0$ мВ; 68 дБ при $U_d = U_{п}/2$; 60 дБ при $U_d = U_{п}$. Смещение диапазона выходных частот на $f_0 = 10$ кГц при $U_{вх} = 0$ улучшает динамические свойства ПНЧ. Накопленный при интегрировании за время $T_{и}$ отсчет $N_0 = f_0 \cdot T_{и}$ может быть скомпенсирован аппаратными или программными средствами.

Использование блока ПНЧ совместно с интегрирующим РС, управляемым блоком таймера $T_{и}$, в режиме интегрирующего АЦП, позволяет применить аппаратно-программные методы защиты результата измерения от действия поперечных помех, наложенных на сигнал датчика. С этой целью устанавливается время интегрирования $T_{и} = m \cdot T_{п}$, где $m = 1, 2, 3, \dots$, а $T_{п} = 20$ мс - период основной помехи. Увеличение времени интегрирования в m раз приводит к тому, что на частоте помехи коэффициент помехоустойчивости увеличивается на величину $6(m-1)$ дБ /3/. При этом отношение сигнал/шум для низкочастотных шумов также линейно растет.

Помехоустойчивый канал с интегрированием не позволяет полностью реализовать динамические характеристики ПНЧ. При аппроксимировании переходного процесса экспонентой динамические свойства ПНЧ можно охарактеризовать постоянной времени, равной 3 мс. Это эквивалентно амплитудно-частотной характеристике /АЧХ/ РС -цепи с частотой среза 50 Гц. Такая полоса пропускания достаточна для исследования низкочастотных процессов в ядерно-физических установках. Когда выходная частота ПНЧ измеряется интегрирующим счетчиком за время $T_{и} = T_{п} = 20$ мс, происходит сужение полосы пропускания измерительного канала, так как АЧХ интегратора $W(j\omega) = 1 - \omega^2 \cdot T_{и}^2 / 24$ /4/ имеет полосу пропускания

20 Гц. При этом максимальное число измерений за секунду - 50. Вместе с тем, такой канал дает возможность без искажений передавать на большие расстояния значение измеряемого СЧУ.

Использование блока ПЧН совместно с быстродействующим АЦП или ШО предусмотрено для экспериментов по изучению пульсаций сигналов и переходных процессов, когда требуются более высокие динамические характеристики измерительного канала и малая погрешность, обусловленная временной дискретизацией процесса. Блок ПЧН, преобразующий частоту выходных импульсов блока ПНЧ в пропорциональное напряжение $U_{\text{вых}}$, позволяет установить общий коэффициент усиления последовательно включенных блоков ПНЧ и ПЧН равным $K_y = 100; 200; 400$; при этом начальная частота ПНЧ (f_0) не влияет на значение выходного напряжения ПЧН. Схема блока ПЧН представлена на рис.2. Импульсы, следующие с частотой f_x на вход /27/, подаются через формирователь /28/ на дополнительный выход /29/ для интегрирующего счетчика и на пересчетную схему /15,16/ с переключателем коэффициента деления частоты /17-20/, устанавливаемым сигналами счетчика /23, 24/ и дешифратора /25,26/. Импульсы управления счетчиком, от кнопки или от внешней схемы /36/, могут быть поданы через /37,38/ и в блок ПНЧ /для переключения компенсатора напряжения/.

Описываемая схема нормирует максимальное значение входной частоты (f_M) к величине $f_H = (f_M - f_0)/n + f_0/n$, где $n = 1, 2, 4$ - коэффициент пересчета. Значение n выбирается так, чтобы не нарушить условие нормировки. Трем диапазонам измеряемого напряжения /0÷12,5; 0÷25; 0÷50 мВ/ соответствуют три диапазона частот /10÷60; 10÷110; 10÷210 кГц/. Для первого диапазона можно /устанавливая $n = 1, 2$ или 4 / задавать соответственно $K_y = 400, 200$ или 100 ; для второго диапазона / $n = 2$ или 4 / $K_y = 200$ или 100 ; для третьего диапазона ($n = 4$) - только $K_y = 100$. При минимальном n для трех диапазонов нормированная начальная частота f_0/n равна соответственно 10; 5; 2,5 кГц. Такая схема позволяет практически без погрешности переключать коэффициент усиления по напряжению преобразователей ПНЧ-ПЧН.

Импульсы нормированной частоты поступают на схему формирования длительности импульса τ_H /21,22/, аналогичную примененной в ПНЧ. Однако, поскольку $f_H = 60$ кГц, выбрано $\tau_H = 8$ мкс /для улучшения условий последующей фильтрации/. Синхроимпульсы для задания τ_H , поступающие с частотой 500 кГц из встроенного генератора /30/ или из внешнего устройства /31/, через формирователь /32/ передаются в ПНЧ /33/, а после деления на 4 /34,35/ - на вход синхронизации триггера /22/. Его выходной сигнал поступает на схему формирования импульсов заданной вольтсекундной площади /1-7/, аналогичную примененной

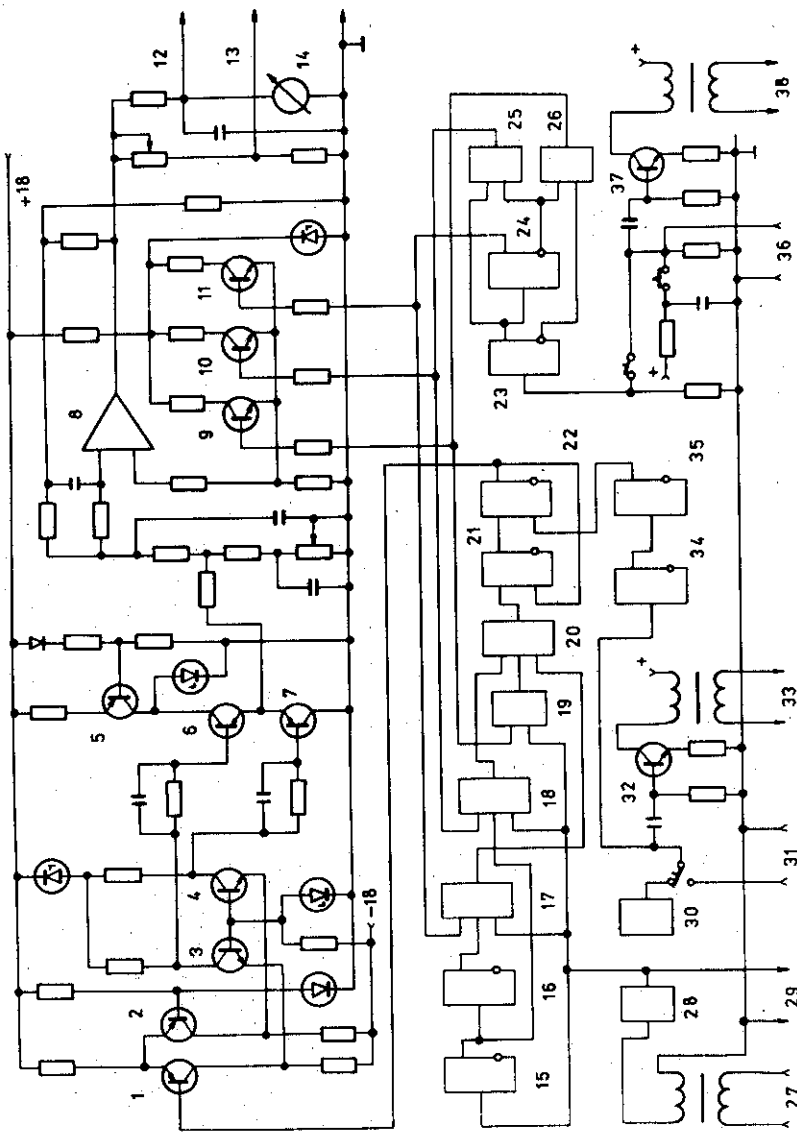


Рис. 2. Блок преобразования "Частота-напряжение".

в блоке ПНЧ, затем - на операционный активный фильтр /8/. АЧХ фильтра, выбранная по условиям помехоустойчивого измерительного канала, представляет собой характеристику Баттерворта второго порядка с частотой среза - 5 Гц. Статический коэффициент преобразования фильтра определяет значения коэффициента преобразования ПЧН - 25; 50; 100 мВ/кГц, что соответствует $K_y = 100; 200; 400$. Для выполнения условия $U_{\text{вых}} = 0$ при $U_{\text{вх}} = 0$ необходимое компенсирование напряжения смещения, образовавшегося из-за преобразования частоты f_0/n , выполняется схемой /9, 10, 11/, которая в зависимости от выбранного $n = 1, 2, 4$ устанавливает компенсирующее напряжение - 1000; 500; 250 мВ. Выход нормированного аналогового сигнала - /0÷5/ В предусмотрен для подключения АЦП /12/, а выход /13/ - для подключения гальванометра ШО. Кроме того, в ПЧН встроен контрольный стрелочный прибор /14/.

В измерительном канале ПНЧ-ПЧН, а также ПНЧ-счетчик с таймером, блоки могут работать совместно от встроенного в ПЧН генератора синхроимпульсов, к стабильности которого не предъявляются особые требования, так как при малых отклонениях его частоты происходит взаимная компенсация погрешностей.

Основные метрологические характеристики канала ПНЧ-ПЧН:

Коэффициент усиления	- 100; 200; 400
Диапазон входного сигнала	- /0÷50; 0÷25; 0÷12,5/мВ;
Основная относительная погрешность	- +0,02%
Входное сопротивление	- 100 МОм
Порог чувствительности	- 1 мкВ
Входной ток	- 0,1 нА
Подавление продольной помехи постоянного тока /в диапазоне +200В/	- 140 дБ
Полоса пропускания /на уровне 0,7 АЧХ фильтра Баттерворта/	- 5 Гц
Подавление поперечной помехи /50 Гц/	- 40 дБ.

Столь малое значение основной относительной погрешности достигнуто, в значительной мере, благодаря взаимной компенсации отдельных инструментальных погрешностей блоков ПНЧ и ПЧН^{1/}. При указанной полосе пропускания канала и требуемой погрешности временной дискретизации /0,1%/ частота выборки и измерения сигнала АЦП - не менее 350 изм./с. Если АЦП допускает большую частоту измерений^{5/}, между выходами блоков ПЧН и входом АЦП можно включить общий мультиплексор сигналов высокого уровня /МСВУ/^{6/}. В этом случае ПЧН, МСВУ и АЦП размещаются так, что их измерительная линия имеет небольшую протяженность.

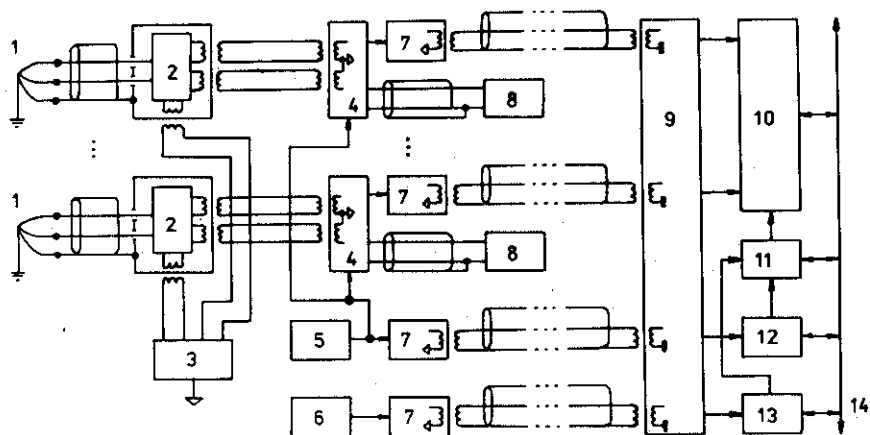


Рис. 3. Схема многоканальных измерений.

Схема многоканальных измерений, удовлетворяющая рассмотренным выше условиям /рис.3/, содержит: 1 - датчик СНУ; 2 - ПНЧ; 3 - источник напряжения питания; 4 - ПЧН; 5,6 - генераторы импульсов синхронизации /ГИС/ и стартовых импульсов /ГСТ/; 7 - формирователь импульсов /ФИ/; 8 - аналоговый измерительный прибор /ИП/; 9÷13 - модули усилителя-формирователя /МФ/, регистра-счетчика /МР/, счетчика-таймера /МТ/, генератора синхроимпульсов /МСИ/ и стартовых импульсов /МСТ/; 14 - магистраль связи модулей КАМАК. Помехозащищенная линия в виде скрученной пары проводов подключена к дифференциальному входу ПНЧ, причем экран линии соединен с экраном блока ПНЧ. В блоки ПНЧ и ПЧН вводятся синхроимпульсы стабильной частоты от общего ГИС. К аналоговому выходу ПЧН предусмотрено подключение измерительных приборов /АЦП, ЦВ/ и аналоговых регистраторов /ШО/, размещаемых непосредственно у ПЧН или на расстоянии /10÷100/м, с целью контроля, дублирования измерений или расширения пропускной способности канала. Для ослабления воздействия помех по длинной линии связи блок ФИ /выход согласован с коаксиальным кабелем/ и МФ /с дифференциальным входом/ соединены через импульсные трансформаторы. Поступающие импульсы регистрируются в МР за время, заданное управляющим сигналом МТ. На входы МТ подаются импульсы старта и синхронизации отсчета времени регистрации из МСТ и МСИ, причем последние могут запускаться импульсами ГСТ и ГИС. В качестве стартовых импульсов могут быть использованы импульсы ГСТ, поступающие от установки, либо импульсы стабильной частоты МСТ. Тогда каждое измерение /выборка значения сигнала/ будет синхронизировано с исследуемым

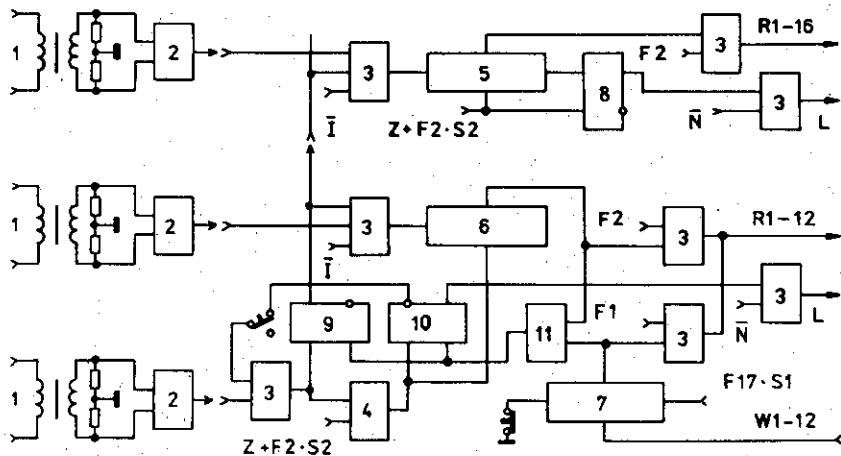


Рис. 4. Интегрирующий регистратор.

процессом /периодом работы установки/ либо с определенным моментом реального времени /и может быть точно датировано/. В последнем случае линия связи с ГСТ не нужна. При времени регистрации $T_{И} = T_{П} = 20$ мс относительная погрешность из-за дискретности регистрируемых данных - 0,024% /можно снизить увеличением времени интегрирования/. Дополнительные погрешности из-за дискретности отсчитываемого времени и нестабильности частоты ГИС /500 кГц, стабилизирована кварцем/ достаточно мала /... 0,01%/. Если для отсчета времени использовать импульсы стабильной частоты МСИ /1000 кГц, стабилизирована кварцем/, погрешность из-за несинхронности ГИС и МСИ так же мала, и нет необходимости в линии связи с ГИС.

Построение регистратора /модули МФ, МР, МТ/ иллюстрируется на примере одного канала схемой /рис. 4/, где: 1, 2 - разделительный трансформатор и формирователь /типа 521СА1/ регистрируемых импульсов, импульсов отсчета времени и стартовых импульсов; 3, 4 - логический элемент И, ИЛИ; 5÷7 - регистр-счетчик /РС/; 8÷10 - триггер /Т/; 11 - схема сравнения кодов /СК/; I, Z, N, S, L, R, W - сигналы магистрали и F1, F2, F17 - команды КАМАК. В исходном состоянии РС /5, 6/ и Т/8-10/ сброшены, РС /7/ хранит код времени регистрации $T_{И}$ /запись кода вручную или программно /ЭВМ/ через магистраль, по F17, а чтение - по F1 /, блокировка входов I снята. Импульс старта включает Т/9/ и подтверждает сброс Т/10/. РС/6/. После этого в РС/5/ регистрируется число импульсов $N_X = f_X \cdot T_{И}$, в РС/6/ отсчитывается время $T_{И}$ и его значение в СК/11/ сравнивается

с кодом РС/7/. По сигналу СК/11/ сбрасывается Т/9/ - закрывается вход РС/5,6/, включается Т/10/ - блокируется старт и устанавливается сигнал запроса L. В случае переполнения РС/5/ включается Т/8/ и передается сигнал запроса /"Ошибка"/. Содержание РС/5,6/ читается, затем РС/5,6/ и Т/8,10/ сбрасываются /по F2 /. После сброса Т/10/ и L разрешен старт регистрации. При отключенном сигнале Т/10/ старт возможен после окончания регистрации /режим автономных измерений/. Регистрирующая схема построена на основе модулей счетчиков /7/, при этом в МТ введены вход внешнего старта и триггер управления /9/. В МФ размещены 8 формирователей /2/ с изолирующими трансформаторами /1/.

Преобразователи ПНЧ и ПЧН, генератор ГИС и блок дальней связи /8 изолированных формирователей импульсов/, выполненные в виде отдельных модулей, установлены в специальном каркасе, где размещается до 8 модулей ПНЧ и 8 модулей ПЧН. Созданный комплекс аппаратуры обеспечивает одновременную выборку и измерение 8 параметров установки со скоростью до 400 изм./с в интегрирующем режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев В.А. и др. ОИЯИ, 10-11926, Дубна, 1978.
2. Воронов А.А. Элементы теории автоматического регулирования. Воениздат, М., 1954.
3. Харкевич А.А. Борьба с помехами. "Наука", М., 1965.
4. Новицкий П.В., Кнорринг В.Г., Гутников В.С. Цифровые приборы с частотными датчиками. "Энергия", Л., 1970.
5. Гуляев В.А., Замрий В.Н., Иванов В.С. ОИЯИ, 10-11949, Дубна, 1978.
6. Гуляев В.А., Замрий В.Н., Иванов В.С. ОИЯИ, 10-11927, Дубна, 1978.
7. Журавлев Н.И. и др. ОИЯИ, 10-8754, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1981 года.