

КУЙБЫШЕВСКИЙ  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО  
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
имени С. П. КОРОЛЕВА

*В. К. Компанец,  
О. П. Скобелев*

**ТЕХНИЧЕСКИЕ  
СРЕДСТВА  
АСНИ ГТД  
НА БАЗЕ КАМАК  
и МИКРО-ЭВМ**

КУЙБЫШЕВ

1983

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО  
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
имени академика С. П. КОРОЛЕВА

---

*В. К. Компанец, О. П. Скобелев*

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА  
АСНИ ГТД НА БАЗЕ КАМАК  
И МИКРО-ЭВМ

*Утверждено редакционным советом института  
в качестве учебного пособия*

Компанец В. К., Скобелев О. П. *Технические средства АСНИ ГТД на базе КАМАК и микро-ЭВМ.* — Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1983. — с. 90.

В пособии рассматривается полный комплекс технических средств автоматизированных систем научных исследований и испытаний авиационных газотурбинных двигателей (АСНИ ГТД). Приводится описание структуры АСНИ ГТД на базе стандарта КАМАК и микро-ЭВМ «Электроника-60», рассматриваются модули КАМАК, предназначенные для сбора и преобразования сигналов групп однотипных датчиков, а также описывается датчиковая аппаратура, применяемая в системе. Пособие предназначено для студентов специальности 0646, специализирующихся в области АСНИ, и может быть полезно при изучении систем сбора и преобразования информации, измерительно-вычислительных комплексов, а также курсовом и дипломном проектировании.

Ил. 47, табл. 19, библиогр. — 13 назв.

Рецензенты: кафедра «Вычислительная техника» Куйбышевского политехнического института им. В. В. Куйбышева, доц. В. А. Лукиных.

Процесс создания современного авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) предполагает большой объем экспериментальных исследований. В ходе испытаний отдельных агрегатов и двигателя в целом ведется измерение и обработка сотен, а иногда и тысяч разнообразных физических параметров.

В целях повышения эффективности эксперимента в настоящее время в научно-исследовательских и конструкторских организациях, занимающихся разработкой ГТД, широко используются автоматизированные системы научных исследований и производственных испытаний (АСНИ ГТД), что позволяет достаточно оперативно строить модели исследуемых явлений и процессов, рационально управлять ходом испытаний, уменьшать их трудоемкость. В ряде случаев применение АСНИ дает возможность существенно сэкономить топливо, сократить время эксперимента и, соответственно, сроки доводки опытных образцов ГТД. Однако анализ существующих АСНИ ГТД показывает, что в силу ряда объективных факторов, связанных со спецификой технологии испытаний ГТД и условиями работы технических средств, вычислительная техника используется в основном для вторичной обработки результатов испытаний. Между тем, наибольшего эффекта можно достичь, если обеспечить экспресс-анализ результатов эксперимента, когда обработка данных ведется непосредственно в темпе эксперимента по мере сбора измерительной информации. Экспресс-анализ позволяет значительно точнее представлять состояние объекта испытаний, более полно исследовать поведение двигателя на переходных и предельных режимах, быстрее определять предаварийные и аварийные ситуации.

Широкие перспективы для внедрения экспресс-анализа в практику испытаний ГТД открывает применение стандарта КАМАК и микро-ЭВМ.

В состав технических средств системы входит датчиковая аппаратура, крейт (крейты) КАМАК с набором модулей, осуществляющих сбор и преобразование сигналов датчиков, а так-

же микро-ЭВМ с внешними устройствами ввода—вывода. В такой системе КАМАК выполняет функции устройства связи с объектом (УСО). Магистрально-модульный принцип построения УСО в стандарте КАМАК позволяет решать различные задачи на единой технической базе, обеспечивает гибкость системы и ее эволюцию. Малые габариты крейта и микро-ЭВМ позволяют размещать АСНИ в непосредственной близости к объекту на стенде рядом с инженером-испытателем, а технические возможности обеспечивают высококачественные преобразование и обработку данных в реальном времени.

Можно констатировать наличие большого числа литературных источников, в которых освещаются все компоненты АСНИ от датчиков до ЭВМ.

Тем не менее, наиболее доступные учебные пособия и монографии [1—6] не дают достаточно полного представления о разновидностях датчиковой аппаратуры, которые нашли применение в испытаниях ГТД. Это касается отдельных вариантов конструкций и, главным образом, характеристик и параметров, необходимых при проектировании АСНИ.

В существующих монографиях и справочных изданиях по стандарту КАМАК [7, 8] приводятся подробные сведения о технических средствах, выпускаемых промышленностью и крупными исследовательскими организациями. Однако создание АСНИ ГТД, в которых осуществляется сбор и преобразование сигналов большого числа однотипных датчиков, повлекло за собой разработку специальных модулей, ориентированных на группы терморезисторов, термопар, индуктивных датчиков и т. д. без промежуточных устройств нормализации. Развитие этой ветви КАМАКа значительно опережает издание доступной широкому кругу читателей литературы, тем более учебно-методической направленности, поэтому предлагаемое учебное пособие призвано в какой-то мере восполнить этот пробел.

В первой главе пособия рассматриваются принципы действия и основные технические характеристики датчиков температуры, давления, усилий, оборотов и расходов, применяемых в АСНИ ГТД. Публикуемые материалы позволяют произвести обоснованный выбор того или иного варианта, а также ряд расчетов в процессе курсового или дипломного проектирования системы.

Во второй главе освещаются принципы построения системы КАМАК, приводится описание разработанных в Куйбышевском авиационном институте специализированных модулей, предназначенных для сбора и преобразования сигналов датчиков температуры, давления, оборотов и расхода. Анализируются структурные варианты системы экспресс-анализа. В третьей главе дается описание измерительно-вычислительного комплекса на базе

КАМАК и микро-ЭВМ «Электроника-60», предназначенного для получения дроссельных характеристик ГТД.

Следует подчеркнуть, что вторая и третья главы пособия написаны главным образом на основе оригинальных материалов. Это касается структуры и состава системы, а также специализированных модулей КАМАК.

Ограниченный объем пособия не позволил рассмотреть модули КАМАК, выпускаемые промышленностью. Сведения об этих модулях можно найти в работах [7, 8].

Авторы выражают благодарность инженерам Б. К. Райкову, В. И. Терских, А. В. Логвинову, В. Г. Любимкину, А. А. Хритину, Е. В. Васиной и О. Н. Кагуновой за предоставленные материалы и помощь, оказанную в подготовке книги к изданию.

## ДАТЧИКИ В АСНИ ГТД

## 1.1 ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

## 1.1.1. Проводниковые терморезисторы (ТР)

Применяются, главным образом, для преобразования температуры воздуха на входе ГТД, температуры топлива и масла, а также температуры поверхности конструктивных элементов двигателя и его агрегатов.

В настоящее время при испытаниях ГТД используются два вида терморезисторов — платиновые (ТСП) и медные (ТСМ) термометры сопротивления. Для указанных материалов свойственны высокая стабильность температурного коэффициента сопротивления (ТКС), хорошая воспроизводимость характеристик, инертность к воздействию окружающей среды. В наибольшей степени это относится к платине. Недостаток платины — высокая стоимость, медь значительно дешевле [2,5].

Уравнения преобразования ТСП и ТМС стандартизованы (ГОСТ 6651-59). ТСМ работают в диапазоне температур  $-50 \dots +180^\circ\text{C}$ , уравнение преобразования ТСМ

$$R_\theta = R_0 (1 + \alpha \theta),$$

где  $R_0$  — сопротивление при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$ ,  $\theta$  — температура в  $^\circ\text{C}$ .

ТСП работают в диапазоне температур от  $-200$  до  $+650^\circ\text{C}$ , в диапазоне  $-200 \dots 0^\circ\text{C}$  его уравнение преобразования имеет вид

$$R_\theta = R_0 [1 + A\theta + B\theta^2 + C(\theta - 100)^3],$$

а в диапазоне  $0 \dots +650^\circ\text{C}$

$$R_\theta = R_0 (1 + A\theta + B\theta^2),$$

где  $A = 3,96847 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$ ,  $B = -5,847 \cdot 10^{-7} \text{ 1/K}^2$ ,  
 $C = -4,22 \cdot 10^{-12} \text{ 1/K}^3$ .

По величине сопротивления  $R_0$  ТСП изготавливаются трех видов: с  $R_0 = 10 \text{ Ом}$  (обозначение стандартной градуиров-

ки — гр. 20), с  $R_0 = 46 \text{ Ом}$  (гр. 21) и с  $R_0 = 100 \text{ Ом}$  (гр. 22). ТСМ выпускаются с  $R_0 = 53 \text{ Ом}$  (гр. 23) и с  $R_0 = 100 \text{ Ом}$  (гр. 24). ГОСТ регламентирует отклонения от стандартного уравнения преобразования: они зависят от класса точности ТС и от измеряемой температуры (табл. 1.1). Практически указан-

Таблица 1.1

Характеристики терморезисторов

Тип	Диапазоны температур, °С	Класс точности	Формула для подсчета погрешности, °С
ТСП	от -200 до 0 от 0 до +650	I	$\pm (0,15 + 3,0 \cdot 10^{-3}  \Theta )$ $\pm (0,15 + 4,5 \cdot 10^{-3}  \Theta )$
	от -200 до 0 от 0 до +650	II	$\pm (0,30 + 4,5 \cdot 10^{-3}  \Theta )$ $\pm (0,30 + 6,0 \cdot 10^{-3}  \Theta )$
ТСМ	от -50 до +180	II III	$\pm (0,30 + 3,5 \cdot 10^{-3}  \Theta )$ $\pm (0,30 + 6,0 \cdot 10^{-3}  \Theta )$

ные отклонения определяют статические погрешности ТР. Погрешности можно уменьшить только с помощью индивидуальной градуировки датчика. Причиной погрешности может быть также нагрев ТР за счет тока в измерительной цепи, в которую включается ТР. Согласно ГОСТ величина нагрева током ТР, расположенного в тающем льде, не должна превышать 0,2°С для ТСП и 0,4°С для ТСМ при выделяющейся мощности в 10 мВт.

Динамические погрешности можно определить, зная динамические характеристики ТР, например, передаточную или переходную функцию. Можно приближенно считать, что передаточная функция ТР имеет вид

$$W(p) = \frac{\Theta_1(p)}{\Theta_2(p)} = \frac{1}{1 + Tp},$$

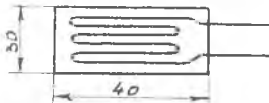
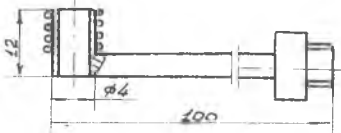
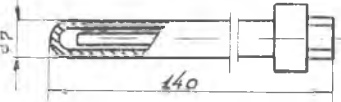

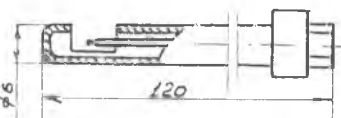

а переходная (реакция на единичный скачок)

$$h(t) = 1 - e^{-t/T},$$

где  $\Theta_1$  — температура чувствительного элемента,  $\Theta_2$  — температура среды,  $t$  — время,  $T$  — постоянная времени. Постоянная времени определяет инерционность ТР, которая тем больше, чем больше его масса и теплоемкость и чем меньше теплопередача в окружающую среду. Параметр  $T$  колеблется в широких пределах — от долей секунды у пленочных ТР для преобразования температуры поверхностей до сотен секунд у герметизированных ТР для преобразования температуры жидкости (табл. 1.2).



Таблица 1.2  
Датчики температуры

Тип *	Назначение	Конструкция и габариты	T, с
Терморезисторы	ТР-1	Измерение температуры поверхности 	0,2
	ТР-2	Измерение температуры газа 	5
	ТР-3	Измерение температуры жидкости 	100
Термопары	ТП-1	Измерение температуры поверхности и газа 	0,2
	ТП-2	Измерение температуры заторможенного потока газа 	20
	ТП-3	Измерение температуры жидкости 	50

\* Типы датчиков условны. Параметры ориентировочны. Сведения о промышленных ТР и ТП можно найти в [6].

### 1.1.2. Термопары

Если составить цепь из двух различных проводников, концами соединив их между собой, причем температуру  $\Theta_1$  одного места соединения сделать отличной от температуры  $\Theta_0$  другого, то в цепи появится э.д.с., представляющая разность функций температур мест соединения проводников:

$$E(\Theta_1, \Theta_0) = \int(\Theta_1) - \int(\Theta_0).$$

Подобная цепь называется термоэлектрическим преобразователем или термопарой, а места соединения — спаями [5].

Если один спай термопары (ТП), называемый рабочим (или «горячим»), поместить в среду с температурой  $\Theta_1$ , подлежащей измерению, а температуру  $\Theta_0$  другого, нерабочего (или «холодного»), спая поддерживать постоянной, то  $f(\Theta_0) = \text{const}$  и  $E(\Theta_1, \Theta_0) = f(\Theta_1) - C = f_1(\Theta_1)$

независимо от того, каким образом произведено соединение термоэлектродов (спайкой, сваркой и т. п.). Таким образом, естественной входной величиной ТП является температура  $\Theta_1$  рабочего «горячего» спая, выходной — э.д.с., которую развивает ТП при строго постоянной температуре  $\Theta_0$  нерабочего «холодного» спая. ТП перекрывают широкий диапазон температур ( $-270... + 2500^\circ\text{C}$ ), хотя определенные виды ТП работают в более узком диапазоне.

В зависимости от используемых материалов различают 2 группы ТП: выполненных из «неблагородных» и «благородных» металлов. Наиболее распространенные ТП, относящиеся к первой группе, выполнены из сплавов хромель—копель (ХК) и хромель—алюмель (ХА) (хромель—сплав хрома с никелем, копель—меди с никелем, алюмель—алюминия с никелем). Наиболее распространенные ТП второй группы выполнены из сплавов платина—платинородий (ПП) и платинородий (30% родия) — платинородий (6% родия) (ПР).

ТП выпускаются в СССР в соответствии с ГОСТ 6616-61, их основные параметры приведены в табл. 1.3. Уравнения преобразования ТП, как и ТР, стандартизованы и задаются таблично (ГОСТ 3044-61) [5]. Предполагается, что температура «холодного» (нерабочего) спая ТП постоянна и равна  $0^\circ\text{C}$ . ГОСТ ре-

Таблица 1.3

**Характеристики термопар**

Тип	Обознач. градуир.	Материалы термоэлектродов	Пределы измерений, $^\circ\text{C}$		Кратковременно, до $^\circ\text{C}$
			от	до	
ТПП	ПП	Платинородий — платина	-20	1300	1600
ТПР	ПР	Платинородий (30% родия) — Платинородий (6% родия)	300	1600	1800
ТХА	ХА	Хромель — алюмель	-50	1000	1300
ТХК	ХК	Хромель — копель	-50	600	800

главными являются отклонения от стандартного уравнения преобразования (табл. 1.4). Они определяют статические погрешности ТП, которые могут быть уменьшены при индивидуальной граду-

Т а б л и ц а 1.4

Погрешности термомпар

Граду- ировка	Диапазон температур, °С	Допустимое отклонение термо-э.д.с., мВ
ТП	от -20 до +300 от +300 до +1600	0,01 $0,01 + 2,5 \cdot 10^{-5} (\Theta - 300)$
ПР	от +300 до +1800	$0,01 + 3,3 \cdot 10^{-5} (\Theta - 300)$
ХА	от -50 до +300 от +300 до +1300	0,16 $0,16 + 2,0 \cdot 10^{-4} (\Theta - 300)$
ХК	от -50 до +300 от +300 до +800	0,20 $0,20 + 6,0 \cdot 10^{-4} (\Theta - 300)$

ировке. Динамические характеристики ТП аналогичны динамическим характеристикам ТР. Примеры конструкций ТР и ТП, их назначение и постоянные времени  $T$  приведены в табл. 1.2.

## 1.2. ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

Датчики давления применяются для преобразования давлений воздушного потока в различных сечениях ГТД, а также давлений в топливной и маслосистемах. В установившемся режиме работы в идеализированной модели ГТД давление постоянно, а его изменение наблюдается только в переходных режимах. Однако реально давление имеет пульсирующий характер. Пользователей АСНИ интересует как среднее значение переменной составляющей, так и ее параметры. Среднее значение давления даже в переходном режиме медленно изменяется во времени, его частотный спектр не превышает 1 Гц. Переменная составляющая по амплитуде достигает нескольких процентов от среднего значения, а основная часть ее энергетического спектра находится в диапазоне 0... 20 Гц. В подавляющем большинстве экспериментов ведется измерение среднего значения давлений и лишь при специальных испытаниях изучаются пульсации.

В настоящее время для измерения средних значений давлений используются потенциометрические и индуктивные датчики. Для измерения пульсаций применяются индуктивные датчики специальных конструкций. Для уменьшения пульсаций на входе датчиков устанавливаются механические фильтры—демпферы.

### 1.2.1. Потенциометрические датчики

(реостатные датчики)

Предназначены для преобразования давлений жидкостей и газов. Входным измерительным преобразователем обычно является мембрана, прогиб которой характеризует измеряемое давление (рис. 1.1). При переходе от диапазона к диапазону

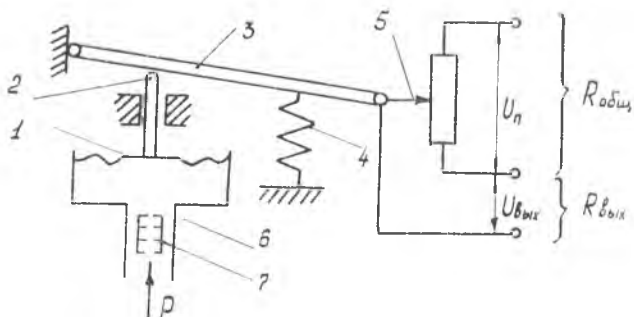


Рис. 1.1. Потенциометрический (реостатный) датчик давления: 1 — мембрана, 2 — шток, 3 — рычаг; 4 — возвратная пружина; 5 — щетка; 6 — штурвер; 7 — демпфер

стараяются выбрать толщину мембраны таким образом, чтобы перемещения ее центра сохранялись неизменными. Такой выбор позволяет унифицировать кинематику и выходной реостатный преобразователь датчика, преобразующие перемещение штока в перемещение щетки реостата и в выходной электрический сигнал.

Благодаря потенциометрической схеме включения реостатного преобразователя на его выходе напряжение изменяется в пределах от 0 до  $U_n$ . Возможность получения напряжения высокого уровня — основное достоинство потенциометрических датчиков.

Уравнение преобразования — это зависимость выходного напряжения  $U_{вых}$  от входного давления  $P$ . Однако обычно оно задается в виде  $\Delta = f(P)$ , где  $\Delta = \frac{R_{вых}}{R_{общ}} 100\%$  — относительное сопротивление (см. рис. 1.1). На заводе-изготовителе уравнение преобразования определяют экспериментально для каждого датчика и полученные данные заносят в паспорт в виде табл.1.5. Значения  $P_1, P_2, \dots, P_9$  обычно выбирают равными  $0,1 P_n, 0,2 P_n, \dots, P_n$ , где  $P_n$  — номинальное значение входного давления. Значения  $\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_9$  определяются как средние при многократном повторении входных параметров в прямом и обратном направлении.

Отклонения показателей датчиков от усредненного уравнения преобразования в нормальных условиях составляют основную погрешность, а отклонения при изменении нормальных условий — дополнительную погрешность.

Таблица 1.5

$P$	$O$	$P_1$	$P_2$	...	$P_9$
$\Delta$	$\Delta_0$	$\Delta_1$	$\Delta_2$	...	$\Delta_9$

Динамические погрешности определяются динамическими характеристиками датчиков, которые зависят от конструктивных параметров входного преобразователя, механической передачи, от свойств мембраны и других факторов. Приближенная динамическая модель датчика может быть представлена в виде массы, упругого элемента и демпфера. В амплитудно-частотной характеристике такой системы возможно появление резонансного максимума при малых коэффициентах успокоения [3]. Однако в датчиках давления, применяемых для измерения средних значений, степень успокоения существенно увеличивается за счет введения в датчик демпфера (см. рис. 1.1). В этом случае датчик ведет себя как инерционное звено, динамика которого может с достаточной точностью характеризоваться постоянной времени  $T$ , а передаточная функция имеет вид

$$W(P) = \frac{1}{T\omega + 1}.$$

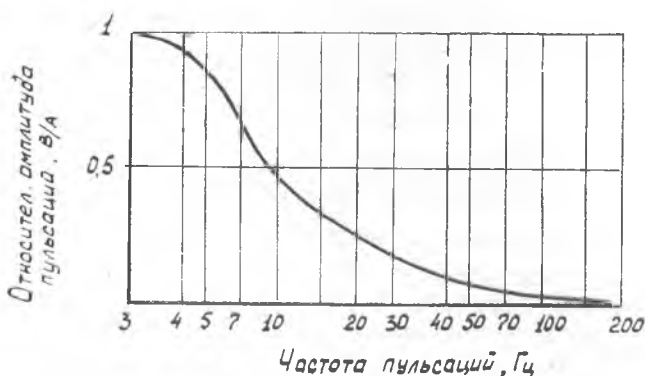


Рис. 1.2. Амплитудно-частотная характеристика датчика:  $B$  — амплитуда пульсаций в датчике;  $A$  — амплитуда пульсаций на входе;  $A - 0,05P_n$ ;  $P_{cp} = (0,7 \div 0,8)P_n$ ; постоянная времени  $T = 0,065$  с

В паспорте приводятся амплитудно-частотные характеристики датчиков с различными типами демпферов, снятые в жидкой и газообразной среде. Экспериментальная амплитудно-частотная характеристика в газовой среде для одной из конструкций потенциометрического датчика с демпфером представлена на рис. 1.2.

Характеристики и параметры некоторых потенциометрических датчиков приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6  
Характеристики датчиков давления

Тип*	Верхние пределы входных давлений, кг/см <sup>2</sup> ***	Среда	Диапазон окружающих температур, °С	Погрешность, %	
Реоэстативные	ДП-1	600	Жидкость, газ	±50 -40 ÷ +60	2,5 1,5
	ДП-2	600	—»—	±60	2,5
	ДП-3	25	—»—	±50	1,5
Индуктивные	ДТД	18	Жидкость, газ	-60 ÷ +220	3
	ИД	250	—»—	-60 ÷ +100	3
	ИКД**	250	Воздух	±60	3

\* Типы датчиков условны, их характеристики и параметры ориентировочны.

\*\* ИКД может измерять абсолютные давления в диапазонах от 1—30 мм рт. ст. до 17 кг/см<sup>2</sup>, а также избыточные давления до 250 кг/см<sup>2</sup>.

\*\*\* Указаны верхние пределы давлений.

Практика показывает, что рассматриваемые датчики имеют высокую надежность по входному преобразователю. Вероятность безотказной работы в гарантийный срок составляет 0,999. По электрическому выходному преобразователю надежность меньше, что обусловлено наличием контакта.

### 1.2.2. Индуктивные датчики

Как и потенциометрические, они предназначены для преобразования давления жидкостей и газов. Различают две группы индуктивных датчиков, ориентированных на преобразование средних значений давлений и на преобразование пульсаций.

Рассмотрим последовательно датчики обеих групп. На рис. 1.3,а представлена структурная схема измерительного комплекса давления (ИКД). В ИКД датчик и согласующее устройство совмещены в единой конструкции. Преобразуемое давление воспринимается входным измерительным преобразователем ( $B_x.П$ ), выполненным в виде манометрической (или anerоидной) коробки. При изменении давления коробка, деформируясь, перемещает шток с якорем индуктивного преобразователя (ИП). Перемещение якоря вызывает изменение зазоров между якорем и «Ш»-образными магнитопроводами. При этом изменяется потокооплеание между секциями первичной и вторичной обмоток катушек, расположенных на магнитопроводах.

Пары секций первичных и вторичных обмоток соединяются

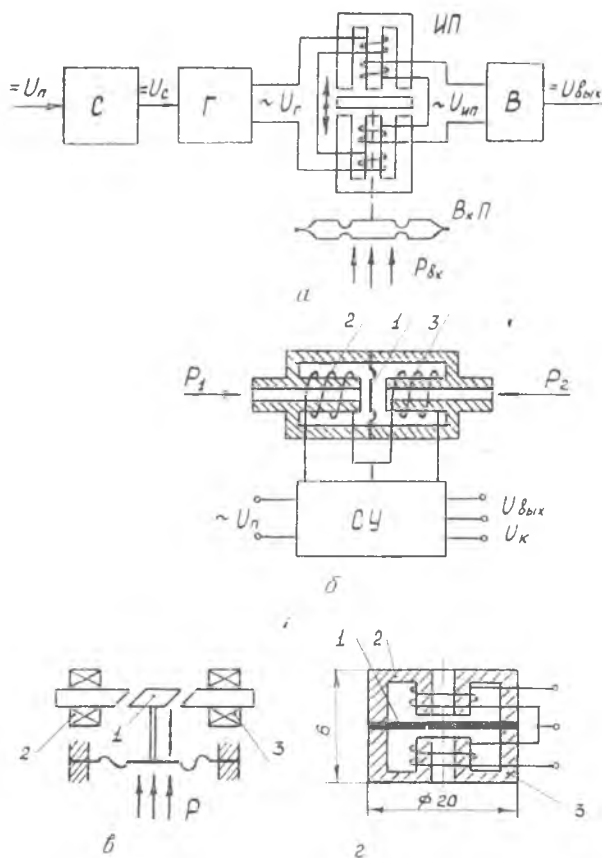


Рис. 1.3. Индуктивные датчики давления: а — ИКД; б — ИД; в — ДТД; г — ДМИ

последовательно. На первичные обмотки подается синусоидальное напряжение порядка 12 В и частотой примерно 30 кГц. Генератор Г питается от стабилизатора С, на вход которого подается напряжение сети постоянного тока (27 В). Выходное напряжение, снимаемое с секций вторичных обмоток, выпрямляется, сглаживается, фильтруется и поступает на выходные клеммы в виде напряжения постоянного тока, пропорционального измеряемому давлению.

На рис. 1.3,б представлен вариант конструкции индуктивного датчика (ИД) разности давлений. Под действием разности давления гофрированная мембрана 1 деформируется. При этом изменяются воздушные зазоры магнитопроводов с катушками 2 и 3. Индуктивность одной катушки увеличивается, другой — уменьшается на величину, соответствующую перемещению, а, следовательно, и давлению. Индуктивный датчик этого типа обычно используют совместно с внешним согласующим устройством (СУ) (см. рис. 1.3,б), которое питается синусоидальным напряжением 40 В, частотой 400 Гц. Изменения индуктивности ИД преобразуются в СУ в изменения постоянного напряжения на его выходе, не превышающие 10 В. СУ рассчитано на подключение четырех датчиков. Для уменьшения погрешностей преобразования СУ выдает калибровочное напряжение  $U_1$ , которое используется при обработке результатов испытаний.

На рис. 1.3,в представлен еще один вариант конструкции дифференциально-трансформаторного датчика (ДТД) [4]. При изменении давления деформация мембраны приводит к перемещению якоря 1 вверх, при этом уменьшается зазор магнитопровода с катушками 2 и увеличивается зазор магнитопровода с катушками 3, что приводит к изменению напряжения на выходе ДТД. Питание осуществляется синусоидальным напряжением 36 В, частотой 400 Гц. Изменение напряжения той же частоты на выходе не превышает 6,0 В.

Уравнение преобразования ИКД представляет собой единую для всех датчиков этого типа линейную функцию, заданную таблично для шести точек входного давления (табл. 1.7). Значения  $P_1, P_2, \dots, P_5$  выбираются равными  $0,2 P_n; 0,4 P_n; \dots, 1,0 P_n$ , где  $P_n$  — номинальное давление. Основная погреш-

Таблица 1.7

Градуировочная характеристика датчика ИКД

$P$	0	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$U_{\text{вых}}, \text{В}$	0,8	2,24	3,68	5,12	6,56	8,0



ность определяется как отклонение от единого уравнения преобразования. Уравнение преобразования для датчиков ДТД — единое (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Градуировочная характеристика датчика ДТД

$P$	0	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$U_{\text{вых}}, В$	0,57	1,70	2,85	4,0	5,00	6,18

Уравнение преобразования ДТД нелинейно. Выходное напряжение (его среднее значение) получено на сопротивлении нагрузки 100 кОм.

Уравнения преобразования ИД составляются для каждого датчика отдельно в комплексе с СУ. Оно задается таблично как зависимость  $\Delta = f(P)$ , где  $\Delta = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{к}}}$ ,  $U_{\text{вых}}$  — выходное напряжение СУ,  $U_{\text{к}}$  — калибрующее напряжение.

Следует подчеркнуть, что естественным выходным сигналом ИД является зависимость изменений индуктивности  $\Delta L$  от входного параметра. К сожалению, в литературе такие функции обычно не приводятся, что затрудняет проектирование устройств сбора и преобразования сигналов, в которых используются методы частотной, частотно- и время-импульсной модуляции.

В табл. 1.6 приведены основные характеристики рассмотренных датчиков. Все они предназначены для преобразования медленно меняющихся давлений. В датчиках используется демпфирование пульсаций давлений. Частотная характеристика датчика с демпфером близка к частотным характеристикам потенциометрических датчиков.

Далее рассматривается индуктивный преобразователь, который в основном используется для измерения быстро меняющихся давлений воздуха (рис. 1.3,г). Избыточное давление воздействует на чувствительный элемент датчика 1. Мембрана деформируется, при этом изменяются воздушные зазоры магнитопроводов катушки 2 и 3, а, следовательно, их индуктивности. Датчик имеет малые габариты (тип ДМИ — датчик малогабаритный индуктивный [4]). Он может работать с различными видами согласующих устройств. Плечи датчика включаются в мостовую схему, питаемую синусональным напряжением 2...5 В частотой 3...15 кГц. При изменении входного давления в диапазоне 0... $P_{\text{н}}$  выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  изменяется линейно в диапазоне 4...20 мВ. Минимальный диапазон входных давлений

$\pm 0,1 \text{ кг/см}^2$ , максимальный —  $\pm 10 \text{ кг/см}^2$ . Основная погрешность не превышает 3%. Диапазон динамической погрешности частот пульсаций составляет  $0 \dots 500 \text{ Гц}$  с глубиной  $\pm P_n$  не более 5% от диапазона измерений.

### 1.3. ДАТЧИК СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ

Применяется для измерения тяги газотурбинного двигателя.

Конструкция датчика силы тяги типа ТВС представлена на рис. 1.4,а. Упругий элемент 1 опирается на неподвижную подставку 2. Появление силы вызывает деформацию изгиба: ниж-

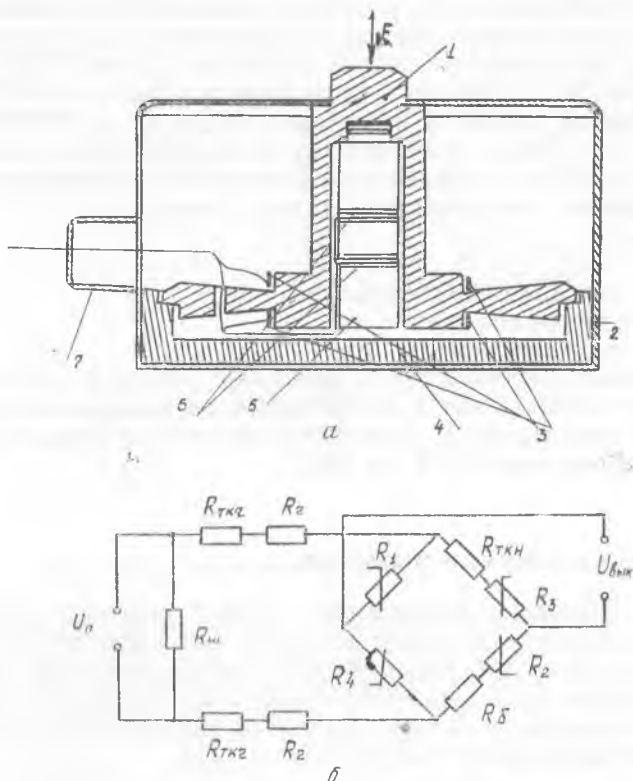


Рис. 1.4. Конструкция (а) и электрическая схема (б) датчика усилий ТВС ( $R_1, R_2$  — тензорезисторы сжатия;  $R_3, R_4$  — тензорезисторы растяжения;  $R_{\text{ч}}$  — резистор подгонки чувствительности;  $R_{TKH}, R_{TKH}$  — резисторы температурной компенсации нуля и чувствительности;  $R_{\text{ш}}$  — резистор подгонки входного сопротивления;  $R_6$  — резистор балансировки моста)

няя цилиндрическая поверхность растягивается, верхняя — сжимается. Эта деформация передается тензорезистором 3. Защита тензорезисторов от влаги и газов осуществляется с помощью герметического корпуса 4. Стержень 5, запрессованный во внутреннюю полость упругого элемента 1, служит для намотки тензорезисторов термокомпенсации, а также для предохранения от аварии при выходе из строя упругого элемента. Внутренняя полость датчика ТВС заполнена специальной жидкостью. Тензорезисторы, выполненные из константанового провода диаметром 0,03 мм, включаются в мостовую схему (рис. 1.4,б). Все четыре плеча моста активны, что увеличивает чувствительность и улучшает линейность преобразования. Балансировочный, шунтирующий резисторы, резисторы подгонки чувствительности, а также термокомпенсации нуля собираются на отдельных катушках и помещаются в патрубок корпуса 7 (рис. 1.4,а).

Датчик ТВС работает в тягоизмерительной системе. Диапазон измерений меняется в широких пределах: от 0—0,25 тс до 0—32 тс (тс — тонна статическая). Выходной сигнал при номинальной нагрузке и напряжении питания 24 В составляет 50 мВ.

Уравнение преобразования датчика имеет вид

$$U = S \cdot F,$$

где  $U$  — выходное напряжение, мВ,

$F$  — измеряемое усилие, тс,

$S$  — чувствительность, мВ/тс.

Для датчика, работающего в диапазоне усилий 0—32 тс, чувствительность составляет 1,25 мВ/тс. Основная погрешность имеет величину порядка 0,1%, дополнительная температурная погрешность не превышает 0,1% на 10°C.

## 1.4. ДАТЧИКИ ОБОРОТОВ

Приборы, измеряющие частоту вращения, называются тахомерами. В стендовых испытаниях применяются авиационные тахометры, позволяющие вести измерения оборотов вала турбины ГТД (до 20000 об/мин). В тахометрах, как правило, используются датчики оборотов, построенные по принципам преобразователей индукционного типа.

### 1.4.1. Датчик тахогенераторный (ДТ)

Он входит в состав стрелочного дистанционного тахометра и представляет собой трехфазный синхронный генератор, вал которого связан с валом турбины через редуктор, понижаю-

щий обороты. В дистанционном стрелочном тахометре напряжение генератора подается на синхронный двигатель, вращающий постоянные магниты, которые наводят вихревые токи в электропроводном диске. Взаимодействие поля магнитов и вихревых токов приводит к появлению момента, вызывающего поворот диска и указателя.

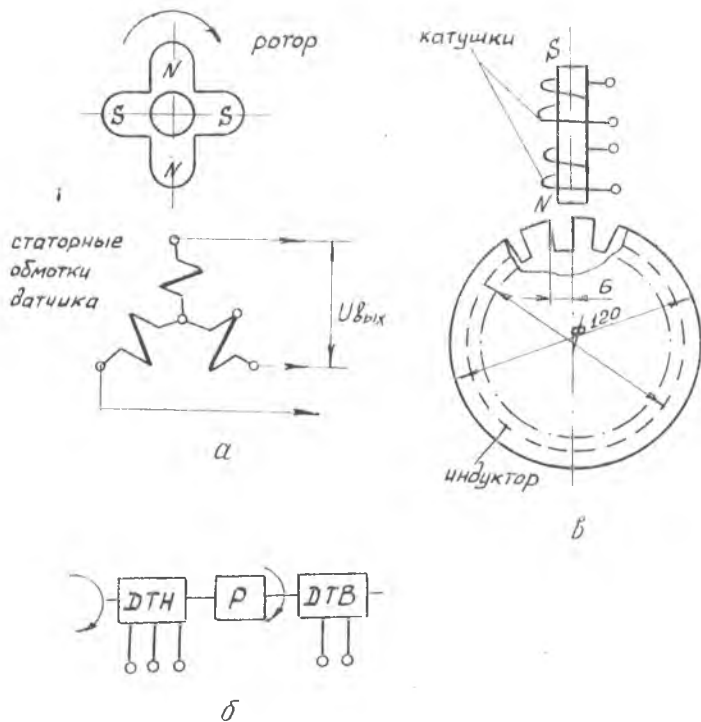


Рис. 1.5. Датчики оборотов: а — ДТ; б — ДТК; в — ДЧВ

В системах автоматизации используется выходной сигнал ДТ (рис. 1.5,а). Ротор ДТ выполнен в виде постоянного магнита с двумя парами полюсов. Сплав, из которого изготовлен магнит, обладает высокой индукцией и значительной коэрцитивной силой, причем вибрации не оказывают заметного влияния на магнитные свойства. Статор с трехфазной обмоткой, соединенной в звезду, набран из листовой электротехнической стали. При вращении ротора на выходе ДТ формируется сигнал в виде синусоидального напряжения, частота и амплитуда которого линейно связаны со скоростью вращения.

Частота выходного сигнала определяется выражением

$$f = \frac{np}{60} = \frac{n}{30},$$

где  $n$  — число оборотов в мин,

$p = 2$  — число пар полюсов,

$f$  — частота в Гц.

Диапазон оборотов составляет 250...3000 об/мин, соответственно, диапазон частот выходного сигнала будет 8...100 Гц. При этом амплитуда выходного сигнала изменяется от 2,5 до 25 В при работе датчика со стрелочным указателем оборотов.

С целью повышения частоты выходного сигнала применяют конструкцию, в которой вал трехфазного низкочастотного тахогенераторного датчика (ДТН) соединен через повышающий редуктор ( $P$ ) с валом однофазного высокочастотного тахогенераторного датчика (ДТВ) (рис. 1.5,в). ДТН предназначен для работы со стрелочным указателем оборотов. Сигнал ДТВ используется в АСНИ ГТД. При этом на выходе однофазного генератора обеспечивается частота сигнала 60 Гц на 1 об/мин. Это означает, что диапазону оборотов 250...3000 об/мин соответствует диапазон частот 250...3000 Гц. Амплитуда выходного напряжения при 250 об/мин составляет примерно 0,8 В, при 2500 об/мин — не более 15 В.

#### 1.4.2. Датчик частоты вращения с зубчатым индуктором

Датчик частоты вращения (ДЧВ) выполнен на постоянном магните и содержит две электрически не связанные между собой катушки и зубчатый индуктор (рис. 1.5,в). При вращении индуктора, находящегося на валу объекта, каждый из его зубьев, проходя в непосредственной близости от торца датчика, изменяет магнитное поле, охватывающее витки катушки, в результате чего в катушках датчика возникает э.д.с. индукции. Частота импульсов напряжения, снимаемая с датчика, соответствует частоте прохождения зубьев мимо торца датчика и зависит от скорости вращения индуктора. Число зубьев индуктора — 32. Амплитуда выходного сигнала порядка 0,2 В при частоте следования импульсов 250 Гц и не менее 1,0 В при частоте 2500 Гц (сопротивление нагрузки 2 кОм). Зазор между торцами индуктора и датчика порядка 1,0 мм. Датчики ДТ и ДЧВ работают в температурном диапазоне —60...+250°С.

### 1.5. ТУРБИННЫЙ ДАТЧИК РАСХОДА

Турбинный датчик расхода (ТДР) представляет собой участок трубопровода с чувствительным элементом — винтовой гидрометрической турбинкой. Поток жидкости, проходящей по трубопроводу, приводит во вращение турбину, угловая скорость которой пропорциональна скорости движения жидкости в трубопроводе. Обороты турбинки посредством магнитоиндукционного узла преобразуются в электрический сигнал переменного тока, частота которого пропорциональна измеряемому расходу. Принципиальная схема ТДР приведена на рис. 1.6. Магнитный поток, создаваемый магнитом 1, проходит через магнитопровод 3, пересекает витки катушки 2 и магнитопроводящие лопасти турбины 4. При вращении турбинки вследствие периодического изменения зазора между магнитопроводом 3 и лопастями турбинки 4 возникает пульсация магнитного потока, наводящая э.д.с. в катушке 2. Частота наведенной э.д.с.  $f$  равна частоте изменения проводимости магнитопровода:

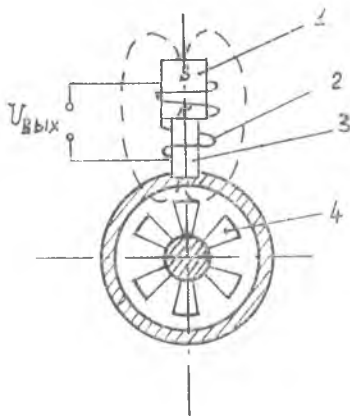


Рис. 1.6. Турбинный датчик расхода

$$f = kn,$$

где  $n$  — число оборотов турбинки, об/с;

$k$  — число изменений проводимости магнитной цепи за один оборот турбинки, определяемое числом магнитопроводящих лопастей турбинки, имп/об.

Уравнение преобразования датчика определяется зависимостью частоты выходного сигнала  $f$  (Гц) от проходящего через датчик объемного расхода  $Q$  (л/с). В идеальном случае, без учета сил сопротивления, уравнение преобразования имеет вид

$$Q = f/B,$$

где  $B$  — градуировочный коэффициент, 1/л.

В действительности на турбину оказывают тормозящее воздействие силы трения в опорах, вязкого трения жидкости, торможение от генератора электрических сигналов и др. Это приводит к тому, что вращение турбинки начинается только при та-

ком расходе, когда вращающий момент на турбинке больше сил сопротивления.

Реальная градуировочная характеристика датчика имеет зону нечувствительности и через начало координат не проходит:

$$Q = a + bf,$$

где  $a$  — смещение характеристики от начала координат, л/с,

$b$  — градуировочный коэффициент, л.

Индивидуальная градуировочная характеристика датчика определяется по результатам градуировки его на воде на заводе-изготовителе или по результатам градуировки датчика на топливе пользователем на своих стендах. С целью повышения точности преобразования градуировочную характеристику представляют как

$$Q = a + bf + cf^2,$$

где  $c$  — градуировочный коэффициент, л/Гц.

Недостаток ТДР — сравнительно узкий диапазон изменений расхода каждого датчика в отдельности. Общий диапазон, перекрываемый ТДР, составляет 0,03 ... 100 л/с, причем на больших расходах отношение верхнего к нижнему пределу возрастает (0,03 ... 0,16; 0,05 ... 0,25; ...; 5,0 ... 60,0; 8,0 ... 100,0 л/с). Основная погрешность составляет 0,5—1,0%. Температура измеряемой среды  $\pm 200^\circ\text{C}$ . Величина напряжения выходного сигнала на нижнем пределе измерения составляет 25—50 мВ (нагрузка 3 кОм). Частота выходного сигнала на верхнем пределе —  $500 \pm 50$  Гц.

В качестве примера приводится градуировочная характеристика ТДР, работающего в диапазоне 2,5 ... 25 л/с ( $j$  изменяется в пределах 50 ... 500 Гц):

$$Q = 0,003 + 0,05041 j, \text{ л/с.}$$

## 2.1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КАМАК

КАМАК — это стандарт на модульное электронное оборудование общего назначения для сбора и преобразования информации. Система, построенная на основе этого стандарта, получила название системы КАМАК.

Стандарт КАМАК (САМАС — Computer Application to Measurement and Control) разработан и предложен комитетом ESONE (European Standards of Nuclear Electronics). В СССР стандарт КАМАК утвержден ГОСТом с 1980 г. [9]. Стандарт распространяется на модульную стационарную аппаратуру системы КАМАК и устанавливает требования к конструкции, электрическим сигналам, питанию и логике обмена информацией, которые обеспечивают совместимость блоков с крейтом и между собой.

**Стандарт на конструкцию.** Конструктивно система КАМАК представляет собой набор сменных блоков—модулей, размещенных в каркасе — крейте. Несколько крейтов могут размещаться в специальной стойке. Внешние размеры крейта: ширина — 482 мм, высота — 355 мм, глубина — 525 мм. Крейт содержит 25 станций (позиций) с шагом 17,2 мм (1М) для установки сменных модулей. Нумерация станций с 1-й по 25-ю ведется слева направо. Станции с 1-й по 24-ю получили название рабочих (или нормальных) станций, 25-я — управляющей (или контрольной) станции. На каждой станции имеются верхняя и нижняя направляющие для соответствующих полозьев модуля, розетка 86-контактного разъема и отверстие с резьбой для фиксирующего винта модуля. В заднем отсеке крейта размещается блок питания.

Каждый модуль занимает одну или несколько станций (1М, 2М, 3М и т. д. до 8М). Шасси модуля состоит из передней и задней панелей, двух направляющих и боковых экранов из листового алюминия. Размеры модуля: высота — 200 мм, глубина — 293 мм, ширина зависит от типа модуля и кратна М (т. е. 17,2 мм). Внутри модуля помещается печатная плата с электронными элементами. Заканчивается плата вилок



разъема. Количество плат в модуле определяется его шириной. Модули внутри крейта соединены между собой и с источником питания с помощью проводников, образующих магистраль крейта. Магистраль содержит сигнальные шины и шины питания, наименование и обозначение которых те же, что и у сигнала, передаваемого по этой шине (табл. 2.1).

Сигнальные шины магистралей крейта подразделяются на сквозные и индивидуальные. Сквозные связывают одноименные контакты всех рабочих станций (с 1-й по 24-ю), индивидуальные — один контакт разъема рабочей станции с одним контактом управляющий (25-й) станции. К индивидуальным относятся шины  $N$  и  $L$ .

Шины питания соединяют соответствующие контакты разъемов всех станций.

**Стандарт на электрические сигналы.** Сигналы в магистрале выбраны под инверсную логику: высокий потенциал соответствует логическому «0», низкий — логической «1». Это позволяет подключать к шине несколько источников сигнала с помощью схем «монтажное ИЛИ» путем использования логических элементов с открытым коллектором (155ЛА7, 155ЛА8).

Уровни напряжений сигналов на магистрале соответствуют уровням сигналов ТТЛ-логики.

**Стандарт на питание.** Магистраль включает шины для обязательных, дополнительных и запасных источников. В крейте обеспечивается питание всех обязательных шин: +24В (6А), +6В (25А), —24В (6А), —6В (25А). Имеются мощные шины для дополнительных источников +12В и —12В и маломощные шины +200 В и ~117 В переменного тока. Дополнительных источников в крейте может не быть, в этом случае необходимые напряжения могут быть получены с помощью специальных модулей (например, преобразователя типа 058, обеспечивающего получение напряжений +12 В и —12 В).

**Стандарт на логику обмена информацией.** По структуре КАМАК — магистральная система. К магистрале подключаются все модули, обеспечивающие взаимодействие внешнего оборудования с ЭВМ. ЭВМ подключается к магистрале с помощью специального модуля — крейт-контроллера. Для каждого типа ЭВМ необходим свой специализированный контроллер. При наличии специального программного крейт-контроллера возможна работа системы без ЭВМ. Контроллер занимает в крейте минимум две станции — 24 и 25. Крейт-контроллер является управляющим блоком по отношению ко всем модулям крейта, взаимодействует с ними, отдает все команды и предопределяет работу крейта. Между собой по магистрале модули взаимодействовать не могут.

Таблица 2.1

## Шины магистральной, подключенные к разъему рабочих станций

Наименование	Обозначение	Количество проводников
<i>Команда</i>		
номер станции	<i>N</i>	1
субадрес	<i>A1, A2, A4, A8</i>	4
функция	<i>F1, F2, F4, F8, F16</i>	5
<i>Синхронизация</i>		
строб 1	<i>S1</i>	1
строб 2	<i>S2</i>	1
<i>Данные</i>		
запись	<i>W1 — W24</i>	24
чтение	<i>R1 — R24</i>	24
<i>Состояние</i>		
запрос на внимание	<i>L</i>	1
занято	<i>B</i>	1
ответ	<i>Q</i>	1
команда принята	<i>X</i>	1
<i>Общее управление</i>		
пуск	<i>Z</i>	1
запрет	<i>I</i>	1
сброс	<i>C</i>	1
<i>Нестандартные соединения</i>		
свободные сквозные шины	<i>P1, P2</i>	2
индивидуальные дополнительные контакты	<i>P3, P4, P5</i>	3
<i>Обязательные шины питания</i>		
+24 В (пост.)	+24	1
+6 В (пост.)	+6	1
-6 В (пост.)	-6	1
-24 В (пост.)	-24	1
Общий провод (0 В)	0	2
<i>Дополнительные шины питания</i>		
+200 В (пост.)	+200	1
+12 В (пост.)	+12	1
-12 В (пост.)	-12	1
~117 В (перем.)	<i>ACL</i>	1
~117 В (перем.)	<i>ACN</i>	1
чистая земля	<i>E</i>	1
резервные	<i>Y1, Y2</i>	2
Всего		86

Т а б л и ц а 2.2

## Операции системы КАМАК

Код операции	Наименование операции	Примечание
<i>F</i> (0)	Чтение регистра группы 1*	Операции, использующие шины <i>R</i>
<i>F</i> (1)	Чтение регистра группы 2**	
<i>F</i> (2)	Чтение и сброс регистра группы 1	
<i>F</i> (3)	Чтение обратного кода регистра группы 1	
<i>F</i> (16)	Перезапись регистра группы 1*	Операции, использующие шины <i>W</i>
<i>F</i> (17)	Перезапись регистра группы 2**	
<i>F</i> (18)	Селективная установка регистра группы 1	
<i>F</i> (19)	Селективная установка регистра группы 2	
<i>F</i> (8)	Проверка запросов	Операции, не использующие шины <i>R</i> и <i>W</i>
<i>F</i> (9)	Сброс регистра группы 1	
<i>F</i> (10)	Сброс запроса	
<i>F</i> (11)	Сброс регистра группы 2	
<i>F</i> (23)	Селективный сброс регистра группы 2	
<i>F</i> (24)	Завращение	
<i>F</i> (25)	Исполнение	
<i>F</i> (26)	Разрешение	
<i>F</i> (27)	Проверка состояния	
<i>F</i> (5), <i>F</i> (7), <i>F</i> (13), <i>F</i> (15), <i>F</i> (21), <i>F</i> (29), <i>F</i> (31)	Резервные	
<i>F</i> (4), <i>F</i> (6), <i>F</i> (12), <i>F</i> (14), <i>F</i> (20), <i>F</i> (22), <i>F</i> (28), <i>F</i> (30)	Не стандартизованы	

\* В регистр группы 1 записываются данные.

\*\* Регистр группы 2 используется для запоминания сигналов управления или данных

Контроллер генерирует два типа команд: адресные и безадресные. К адресным относится группа команд *NAF*. Каноническая форма записи адресуемой команды  $N(i) A(j) F(k)$ , где  $N(i)$  — номер станции, занимаемой модулем, к которому обращается контроллер, ( $1 \leq i \leq 23$ );

$A(j)$  — субадрес, т. е. адрес узла или элемента внутри модуля, к которому непосредственно обращается контроллер ( $0 \leq j \leq 15$ );

$F(k)$  — код операции, т. е. то, что должно быть выполнено в выбранном элементе модуля ( $0 \leq k \leq 31$ ).

Сигнал  $N$  выдается по индивидуальной для каждого модуля шине. Субадрес  $A$  и код операции  $F$  выдаются в двоичном параллельном коде соответственно по четырем и пяти сквозным шинам. Перечень операций приведен в табл. 2.2.

Команда  $NAF$  сопровождается сигналом  $B$  («Занято»), который блокирует различные части системы, способные конкурировать в использовании магистрали крейта. Во время подачи команды  $NAF$  генерируются два стробирующих сигнала  $S1$  и  $S2$  (рис. 2.1,а). По сигналу  $S1$  происходит запись данных с шин  $W$

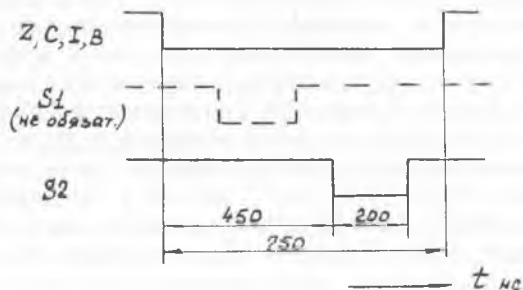
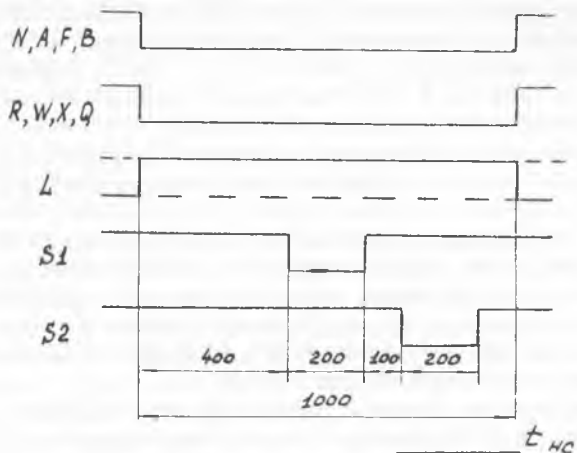


Рис. 2.1. Временные диаграммы сигналов на магистрали крейта КАМАК во время прохождения адресной (а) и безадресной (б) команды

в модуль или считывание данных с шин  $R$  контроллером. По сигналу  $S2$  при исполнении команды «Чтение и сброс регистра» производится сброс регистров.

Если команда  $NAF$  входит в состав списка разрешенных для данного модуля команд, правильно расшифрована модулем и воспринимается им, то в ответ на эту команду модуль выдает сигнал  $X = 1$  («Команда принята»). Отсутствие сигнала  $X$ , т. е. когда  $X = 0$ , воспринимается контроллером как аварийный сигнал, вызванный различными причинами: модуль неисправен или отсутствует, на модуль не подано питание, нарушен контакт в разъеме модуля, допущена ошибка при программировании, в результате чего на модуль подана команда, на выполнение которой он не рассчитан. В ответ на  $X = 0$  контроллер формирует требование на прерывание ЭВМ.

При операциях чтения  $F(0) — F(3)$  в ответ на команду  $NAF$  модуль наряду с сигналом  $X = 1$  выставляет данные на шинах  $R$ . При операциях записи  $F(16) — F(19)$  контроллер одновременно с командой  $NAF$  выставляет данные на шинах  $W$ .

При безадресной команде контроллер генерирует один из общих управляющих сигналов на шинах  $Z$  («Пуск»),  $C$  («Сброс»),  $I$  («Запрет»), действующих на все модули. Сигнал  $Z$  используется при запуске системы и имеет абсолютный приоритет над другими сигналами; сигналы  $Z$  и  $C$  сопровождаются сигналами  $B$  и  $S2$  (рис. 2.1,б). Может при этом присутствовать и сигнал  $S1$ , однако он не обязателен, и модули на него не реагируют. Исполнение команд  $Z$  и  $C$  модулями происходит по сигналу  $S2$ . Сигнал  $I$  запрещает выполнение безадресной команды всеми элементами, подключенными к шине  $I$ .

Любой элемент модуля, имеющий свой субадрес, может выдать запрос в крейт-контроллер, а следовательно и в ЭВМ, для того чтобы обратить на себя внимание. Для этого он вырабатывает сигнал  $LAM$  (Look At Me) — «Запрос на внимание». Источников сигналов  $LAM$  в модуле может быть несколько. Модули могут работать в активном или пассивном режиме. При работе в активном режиме наличие хотя бы одного источника  $LAM$  вызывает появление на индивидуальной шине  $L$  модуля сигнала  $L = 1$  («Запрос»)\*, при этом контроллер формирует требование на прерывание ЭВМ для обслуживания модуля.

В пассивном режиме обслуживание модуля происходит по инициативе ЭВМ. Для этого сигнал  $L$  маскируется (т. е. запрещается программным путем выход сигнала  $LAM$  на шину  $L$ ) с помощью команды  $F(24) —$  «Запрещение». Разрешение запро-

---

\* При обращении к модулю сигнал  $L$  исчезает на время прохождения команды  $NAF$ .

са, т. е. перевод модуля из пассивного режима работы в активный, осуществляется командой  $F(26)$  — «Разрешение».

В контроллере сигналы  $L$  от всех модулей объединяются по схеме «ИЛИ» и поступают в виде одного сигнала в ЭВМ, поэтому для выявления источника запроса ЭВМ подает команду  $F(8)$  — «Проверка запроса» по соответствующим адресам. В ответ на эту команду источник сигнала  $LAM$  (если он не замаскирован) отвечает о готовности выработкой сигнала  $Q = 1$ . («Ответ») по шине  $Q$ . Для проверки состояния источника сигнала  $LAM$  используется команда  $F(27)$  — «Проверка состояния».

Сигнал  $Q$  обязательно генерируется при исполнении команд чтения и записи. Отсутствие сигнала  $Q$  (т. е.  $Q = 0$ ) сигнализирует о том, что модуль команду чтения или записи не выполнил. Сигнал  $Q$  воспринимается контроллером по строб-импульсу  $SI$ .

Источники сигналов  $LAM$  сбрасываются при подаче команды  $F(10)$  — «Сброс запроса» и при появлении сигналов  $Z$  («Пуск») и  $C$  («Сброс»).

## 2.2. СИСТЕМЫ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА НА БАЗЕ КАМАК И МИКРО-ЭВМ

В задачи системы экспресс-анализа входит:

сбор и преобразование в цифровой код сигналов датчиков оборотов, расхода, усилий, давлений и температур;

первичная обработка, включающая отбраковку результатов преобразования в цифровой код и усреднение их во времени;

вторичная обработка, включающая получение физических значений преобразованных, отбракованных и усредненных во времени параметров; усреднение по сечениям ГТД; определение основных параметров ГТД, приведение их к стандартным атмосферным условиям; вычисление нормальных значений параметров на максимальном и форсированных режимах ГТД;

выдача результатов обработки данных на печать в виде протокола, содержащего значение измеренных, вычисленных и приведенных (нормализованных) параметров;

взаимодействие оператора с системой, включая градуировки и аттестацию измерительных каналов, подготовку исходных данных с последующей их корректировкой в процессе работы и управление системой.

Решение перечисленных задач позволяет получить в темпе эксперимента дроссельные характеристики ГТД, а также ряд термодинамических характеристик, рассчитать степени повышения давления, коэффициенты полезного действия ступеней компрессора и компрессора в целом, а также расход воздуха.

На рис. 2.2. представлена структура системы экспресс-анализа, которая построена на базе микро-ЭВМ и использует КАМАК в качестве устройства связи с объектом (УСО). Вход-

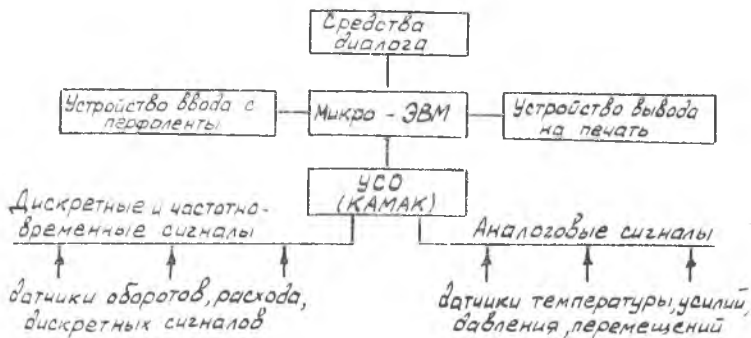


Рис. 2.2. Система экспресс-анализа

ные сигналы системы можно разделить на две группы: к первой относятся дискретные и частотно-временные сигналы датчиков оборотов и расхода, во второй группе подавляющее большинство (несколько сотен) составляют сигналы датчиков температуры и давления, которые позволяют контролировать поля давления и температуры в различных сечениях ГТД.

В настоящее время промышленность выпускает ряд модулей, выполненных в стандарте КАМАК, обеспечивающих сбор дискретных сигналов, а также преобразование частотно-временных и аналоговых сигналов.

### 2.2.1. КАМАК — структуры сбора и преобразования дискретных и частотно-временных сигналов

В составе технических средств КАМАК для сбора дискретных сигналов используются модули типа «Входной регистр».

Для преобразования частотно-временных сигналов используется простейший алгоритм преобразования частоты в код, известный как «метод средних значений», в соответствии с которым высокостабильный временной интервал заполняется преобразуемым сигналом. В этом случае число импульсов в интервале времени пропорционально частоте входного сигнала, а следовательно, частоте вращения роторов ГТД или расходу топлива.

Преобразование частотно-временных сигналов производится с помощью модулей типа: «Генератор», «Таймер», «Счетчик» (рис. 2.3).

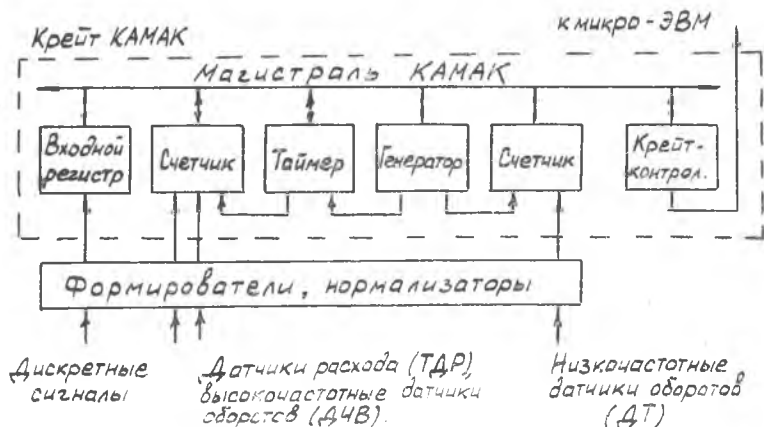


Рис. 2.3. Преобразование частотно-временных и дискретных сигналов с помощью модулей КАМАК и внешних формирователей и нормализаторов

Модуль «Таймер» формирует необходимый временной интервал, а в модуле «Счетчик» фиксируются коды оборотов и расхода.

Как уже было отмечено, у тахогенераторных датчиков оборотов (ДТ) выходной сигнал низкочастотен, и для получения требуемой точности преобразования частоты в код «методом средних значений» требуется недопустимо большое время. Уменьшить время преобразования можно, измерив период сигнала. Такой метод измерения частоты получил название «метода мгновенных значений». Его реализация осуществляется с помощью модуля «Генератор», обеспечивающего стабильную частоту сигнала, заполняющего преобразуемый период, и модуля «Счетчик», фиксирующего код, пропорциональный периоду (рис. 2.3). Аналогично ведется преобразование сигналов штихпробера, представленных в виде временного интервала [10].

Следует подчеркнуть, что рассмотренные способы преобразования рассчитаны на сигналы прямоугольной формы с амплитудой 2,5—5,0 В, в то время как амплитуда частотно-временных сигналов датчиков изменяется в широких пределах от десятков милливольт до нескольких десятков вольт, а напряжение дискретных сигналов обычно составляет 24—30 В. Для согласования датчиков и модулей КАМАК требуются специальные устройства нормализации и формирования, обеспечивающие необходимый уровень и форму сигнала. Устройства можно расположить вне крейта КАМАК, но для пользователя более удобно размещение



их в виде специализированного модуля внутри крейта (рис. 2.4). Помимо формирователей частотно-временных сигналов, нормализаторов и регистра, принимающего дискретные сигналы, в таком модуле предусмотрены устройства,

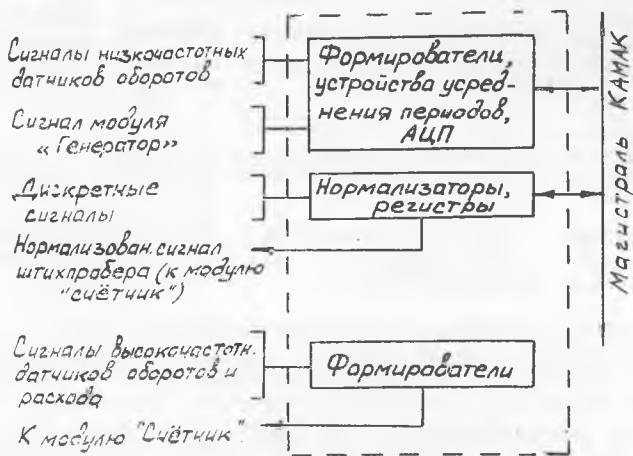


Рис. 2.4. Структура специализированного модуля преобразования сигналов датчиков оборотов, расхода и дискретных сигналов

предназначенные для усреднения временных интервалов, соответствующих периодам выходных сигналов низкочастотных датчиков оборотов. Периоды преобразуются далее в АЦП «время — код», которые входят в состав специализированного модуля. Специализированный модуль разработан в Куйбышевском авиационном институте.

### 2.2.2. КАМАК — структуры сбора и преобразования аналоговых сигналов

В состав технических средств КАМАК для сбора и преобразования аналоговых сигналов входят выпускаемые промышленностью модули «Мультиплексор» и АЦП. На рис. 2.5,а представлен один из возможных вариантов структуры подсистемы сбора аналоговой информации. На входы модулей «Мультиплексор» и АЦП подаются сигналы высокого уровня 5—10 В, следовательно, реостатные датчики давления (ДП<sub>1</sub>—ДП<sub>3</sub>) или датчики ИКД могут непосредственно подключаться к входам модуля «Мультиплексор». Однако непосредственный ввод естественных выходных сигналов многих других датчиков

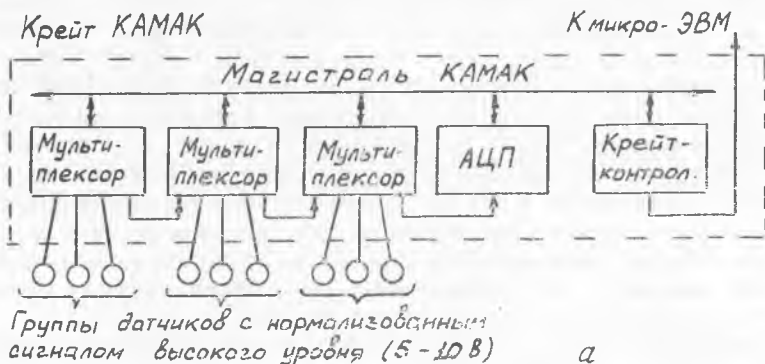


Рис. 2.5. Варианты КАМАК-структуры сбора и преобразования нормализованных (а) и ненормализованных (б) сигналов

не представляется возможным без предварительной нормализации (рис. 2.5,б).

Структура нормализатора зависит от вида датчика. Например, нормализатор сигналов термопары содержит мост с терморезистором для компенсации температуры холодного спая. Питание моста осуществляется от источника, в котором для уменьшения влияния помех общего вида измерительная цепь термопары и «земляная» шина разделены гальванически. Суммарный сигнал термопары и моста подается далее на усилитель, на выходе которого обеспечивается необходимый уровень напряжения. Нормализаторы сигналов индуктивных датчиков обычно строятся по принципу «модуляция — усиление — демодуляция» и содержат для каждого датчика мостовую схему, усилитель, демодулятор с фильтром.

При значительном числе измеряемых параметров индивидуальная нормализация связана с появлением вне КАМАК дополнительного приборного оборудования, объем которого нередко значительно превышает объем аппаратуры КАМАК (см. рис. 2.5,6). Оно требует дополнительных материальных затрат, организационных усилий пользователя и внимание в процессе эксплуатации. Разумеется, возможно создание модулей нормализации в стандарте КАМАК. В этом случае модули размещаются внутри крейтов примерно в том же объеме, что и вне крейтов. Кроме того, при большом числе датчиков из-за ограниченной мощности внутрикрейтовых источников питания возникают трудности в энергоснабжении модулей.

Недостатки в значительной мере следуют из самих принципов построения существующих подсистем, основу которых составляют:

- дифференциация функций аналогового и аналого-цифрового преобразования по отдельным модулям («Мультиплексор», АЦП и т. д.);

- индивидуальная нормализация сигналов каждого датчика; непрерывное питание измерительных цепей с параметрическими датчиками и устройств нормализации.

В работе [11] предлагается новый подход к построению подсистем аналогового входа в стандарте КАМАК, в основу которого положены следующие антитетические принципы:

- интеграция функций аналогового и аналого-цифрового преобразования в одном модуле;

- групповое преобразование сигналов однотипных датчиков;

- дискретное (импульсное) питание параметрических датчиков или измерительных цепей только в моменты опроса (преобразования). Использование таких принципов позволяет строить подсистемы аналогового входа в виде специализированных модулей

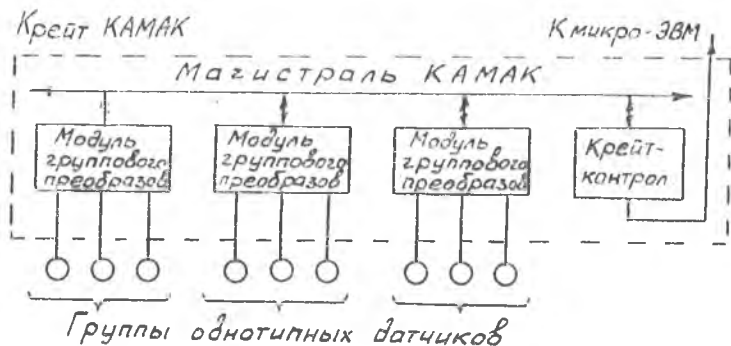


Рис. 2.6. КАМАК-структура с модулями группового преобразования

КАМАК, каждый из которых ориентирован на преобразование сигналов группы однотипных датчиков: терморезисторов, термодпар, индуктивных датчиков и т. д. (рис. 2.6). Каждый модуль содержит групповое согласующее устройство (ГСУ) и АЦП (рис. 2.7). В состав ГСУ входят коммутаторы (К), измерительные схемы (ИС<sub>х</sub>) и устройства нормализации (УН). Коммутация осуществляется на уровне датчиков или измерительной схемы, причем в ГСУ используется единое УН на все датчики.

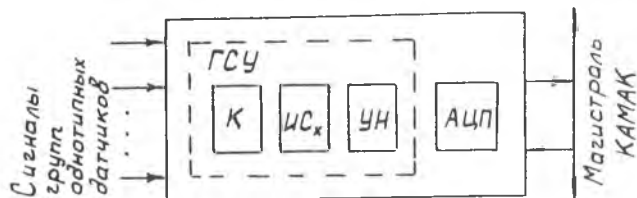


Рис. 2.7. Специализированный модуль для преобразования аналоговых сигналов

Успешной реализации предлагаемого подхода в значительной мере способствует применение методов преобразования, в которых используются тестовые переходные процессы в измерительных цепях с датчиками. Методы тестовых переходных процессов имеют ряд достоинств, вытекающих из самой природы этих процессов [12]:

- дискретный во времени процесс преобразования сигналов, облегчающий построение аналого-цифровых устройств;

- возможность создания групповых преобразователей, в которых процесс коммутации органично сочетается с процессом измерения;

- малое энергопотребление, поскольку оно происходит только в момент опроса датчика.

Указанные достоинства методов практически однозначно соответствуют перечисленным выше принципам интеграции, группового преобразования и импульсного питания. Применение методов тестовых переходных процессов в ряде случаев повышает быстродействие, надежность и точность даже в условиях интенсивных воздействий мешающих факторов.

Специализированные модули преобразования сигналов групп однотипных датчиков разработаны в Куйбышевском авиационном институте.

### 2.3. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ, СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ОБОРОТОВ И РАСХОДА

Специализированный модуль предназначен для преобразования сигналов низкочастотных тахогенераторных датчиков оборотов (ДТ), дискретных сигналов, имеющих импульсный или потенциальный характер, а также для формирования сигналов высокочастотных датчиков оборотов (ДЧВ), турбинных датчиков расхода (ТДР) и штихпробера. Сокращенно модуль называется преобразователем оборотов и расхода (ПОР), он занимает две позиции крейта (ширина 2М) и содержит канал низкочастотных датчиков оборотов ДТ, канал дискретных сигналов, канал штихпробера и формирователи сигналов датчиков расхода ТДР и оборотов ДЧВ (рис. 2.8). Канал низкочастотных датчиков оборотов обеспечивает параллельное преобразование в цифровой код частоты сигналов трех датчиков ДТ и содержит три независимых формирователя, устройства усреднения периодов и аналого-цифровые преобразователи «время—код» (АЦП). Запуск устройств усреднения производится с блока «Логика КАМАК» по сигналу *ST*. «Логика КАМАК» осуществляет связь модуля с магистралью крейта. Об окончании преобразования «Логика КАМАК» оповещается сигналами *SLS*<sub>1—3</sub>. По сигналам *RD*<sub>1—3</sub> АЦП выдают результаты преобразования на шины *R*-магистрали КАМАК. Установка АЦП в исходное состояние («очистка») производится сигналами *CL*<sub>1—3</sub>. Режимы работы задаются с шин *W* магистрали по сигналу *WR*. Для работы устройств усреднения периодов используются внешние импульсы частотой  $f_r$  с модуля КАМАК «Генератор».

Канал дискретных сигналов рассчитан на подключение 17 датчиков (контактные датчики, сигнализаторы, реле, переключатели, кнопки, тумблеры и др.). О появлении сигнала с датчика *ДС*<sub>0</sub> «Логика КАМАК» оповещается сигналом *SLS*<sub>4</sub>. Сигналы датчиков *ДС*<sub>1—16</sub> выводятся на шины *R* магистрали КАМАК по сигналу *RD*<sub>4</sub>. Часть из них запоминается в регистре, который «очищается» по сигналу *CL*<sub>4</sub>.

В канале штихпробера производится формирование сигналов преобразователя, входящего в состав штихпробера. Эти сигналы в виде интервалов времени преобразуются в цифровой код вне модуля. Об окончании временного интервала «Логика КАМАК» оповещается сигналом *SLS*<sub>5</sub>.

Формирователи сигналов датчиков расхода ТДР и оборотов ДЧВ служат для преобразования сигналов датчиков синусоидальной формы амплитудой от 20 мВ и выше в последовательность импульсов прямоугольной формы с амплитудой 5 В. Пре-

образование частоты импульсов в цифровой код ведется вне модуля. Связь формирователей с магистралью крейта осуществляется только по шинам питания.

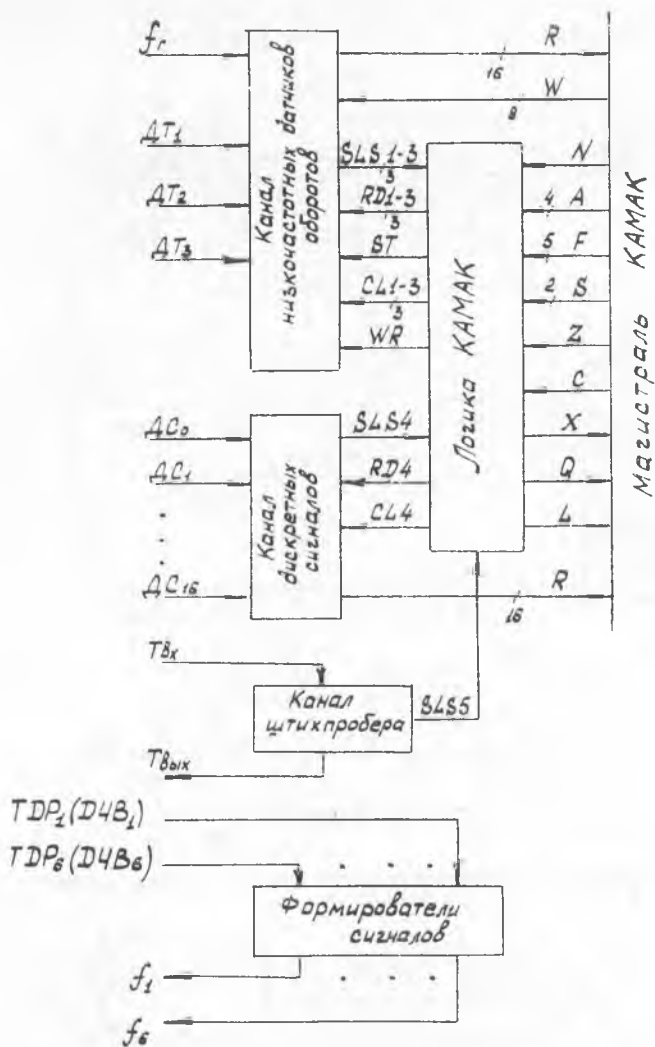


Рис. 2.8. Структурная схема модуля ПОР

### 2.3.1. Канал низкочастотных датчиков оборотов

Сигналы датчиков оборотов ДТ с помощью формирователя  $\Phi$  преобразуются в последовательность импульсов, которые поступают на вход устройства усреднения, выполненного в виде счетчика  $CT_1$  и устройства управления  $УУ$  (рис. 2.9).

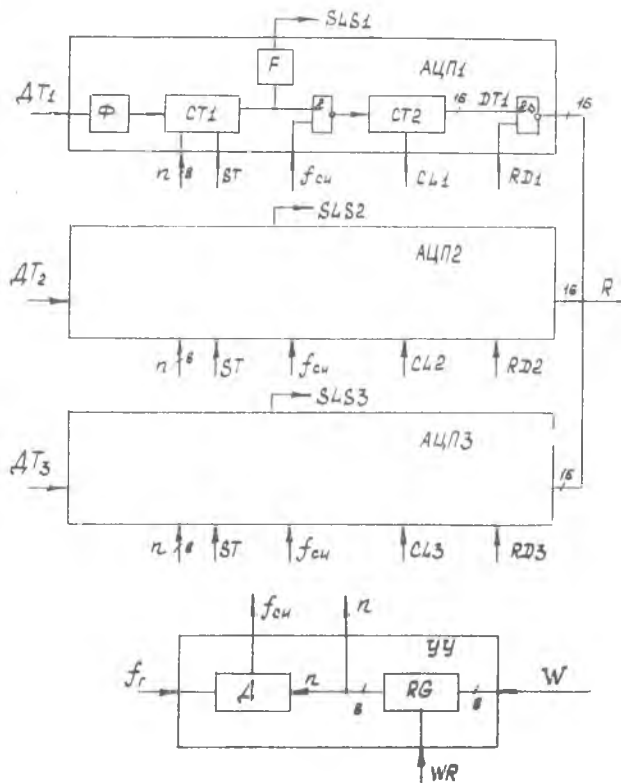


Рис. 2.9. Структурная схема канала низкочастотных датчиков оборотов

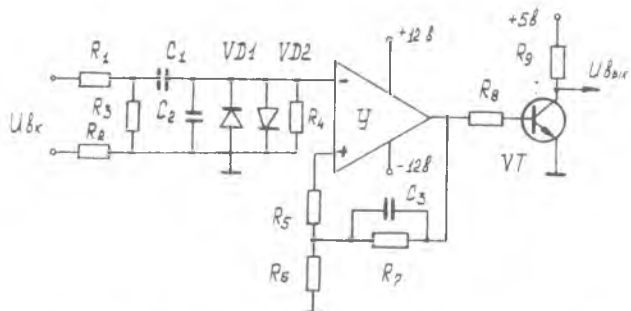


Рис. 2.10. Принципиальная схема формирователя

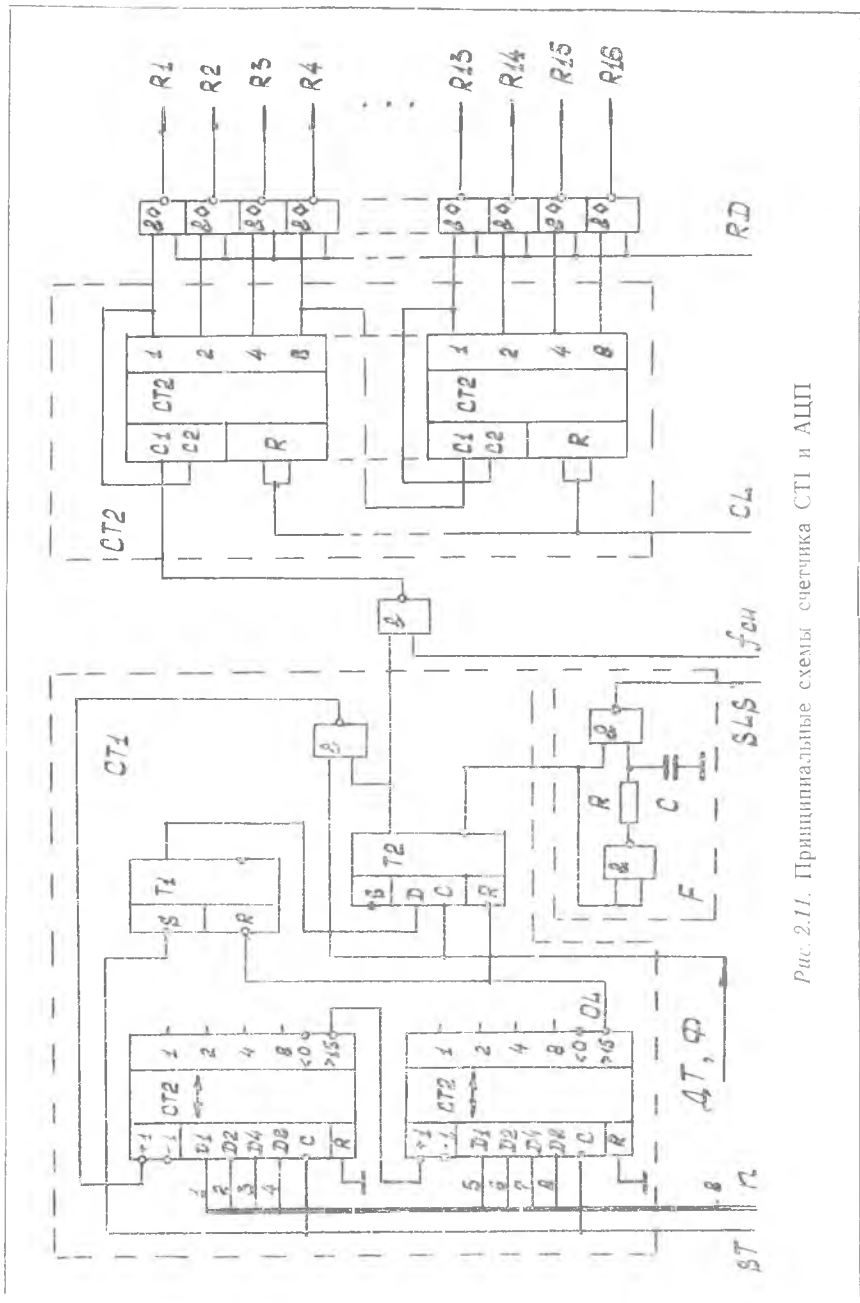


Рис. 2.11. Принципиальные схемы счетчика СТ1 и АЦП



Для усреднения используется суммирование  $n$  периодов. При этом для устранения переполнения счетчика АЦП временной интервал  $T_{\Sigma} = n T_x$  заполняется частотой  $f_{\text{сн}}$ , в  $n$  раз меньшей частоты  $f_r$  генератора стандартной частоты. В итоге результат преобразования  $N = T_{\Sigma} f_{\text{сн}} = n T_x f_r / n = T_x f_r$  не зависит от количества суммируемых периодов. Число  $n$  суммируемых периодов задается с УУ. Его установка производится путем записи по сигналу  $WR$  8-разрядного двоичного кода с шины  $W$  магистрали в регистр  $RG$  устройства управления. Деление частоты  $f_r$  на  $n$  осуществляется в УУ делителем  $D$ .

Начало суммирования задается сигналом  $ST$ , поступающим с «Логики КАМАК». Суммарный временной интервал с выхода  $CT_1$  преобразуется в АЦП «время — код» путем заполнения его импульсами  $f_{\text{сн}}$ , поступающими с УУ. Предварительная «очистка» счетчика  $CT_2$  АЦП производится импульсом  $CL$ . По окончании временного интервала формирователь  $F$  вырабатывает импульс  $SLS$ . По сигналу  $RD$  результат преобразования в виде 16-разрядного двоичного кода  $DT$  выдается на шины  $R$  магистрали крейта. Формирователь  $\Phi$  представляет собой усилитель-ограничитель и собран на операционном усилителе 553УД2 (рис. 2.10). Сигнал датчика выделяется на резисторе  $R_3$ . С по-

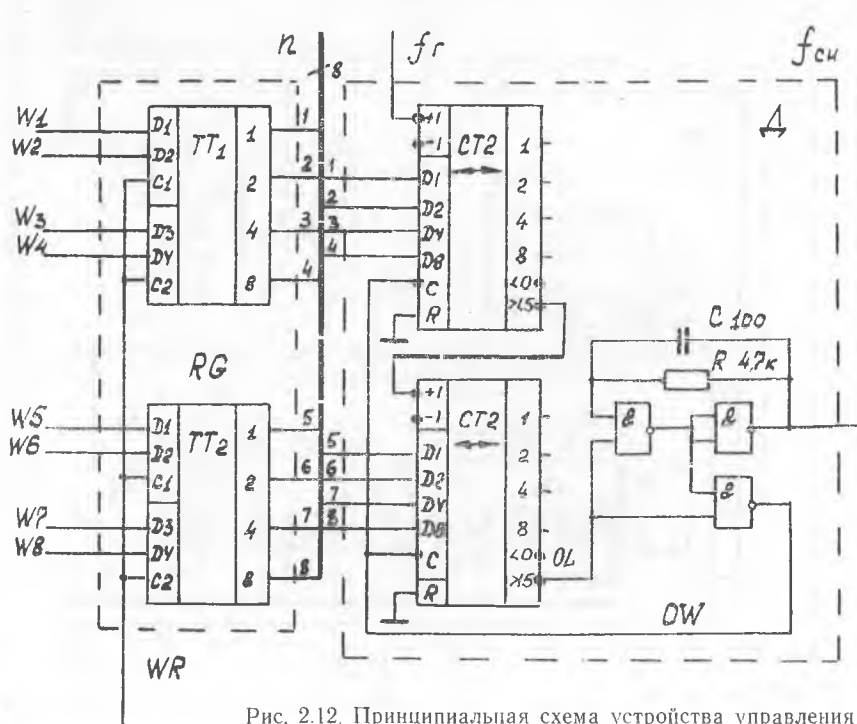


Рис. 2.12. Принципиальная схема устройства управления

мощью конденсатора  $C_1$  выделяется переменная составляющая сигнала, конденсатор  $C_2$  служит для подавления помех. Для устранения перегрузки усилителя по входу применяется ограничитель на диодах  $VD_1, VD_2$ . Положительная обратная связь в усилителе, создаваемая с помощью резисторов  $R_5—R_7$  и конденсатора  $C_3$ , повышает крутизну фронтов импульсов на выходе усилителя. Ключевой каскад на транзисторе  $VT$  служит для согласования выходного напряжения усилителя с уровнями ТТЛ.

В счетчике  $CT_1$  и АЦП (рис. 2.11) по сигналу  $ST$  число  $n$  в виде обратного двоичного кода записывается в счетчик, который подсчитывает число периодов сигнала с выхода формирователя  $\Phi$ . Как только счетчик переполнится, с его выхода поступает сигнал переполнения  $OL$ ; сигналы  $ST$  и  $OL$  фиксируются триггером  $T1$ . Для синхронизации этих сигналов с сигналами датчика ДТ служит  $D$ -триггер  $T2$ . Схемы собраны на микросхемах серии 155 (155ЛА3, 155ЛА8 155ИЕ5, 155ИЕ7).

В устройстве управления (рис. 2.12) по сигналу  $WR$  информация с шин  $W1—W8$  магистрали КАМАК записывается в регистр  $RG$ . С выхода  $RG$  число  $n$  в обратном коде записывается в счетчик делителя  $D$ , при переполнении счетчика с его выхода снимается импульс  $OL$ . По заднему фронту этого импульса формируется сигнал  $OW$ , который производит запись числа  $n$  в счетчик. Частота импульсов  $OL$   $f_{ст} = f_r/n$ ; импульсы частотой  $f_{ст}$  поступают на АЦП. В устройстве управления используются микросхемы 155-й серии (155ЛА3, 155ТМ5, 155ИЕ7).

### 2.3.2. Канал дискретных сигналов (рис. 2.13)

Канал имеет 17 входов. Сигналы  $ДС_0—ДС_{16}$  напряжением  $+27$  В с помощью нормализаторов  $H_0—H_{16}$  приводятся к уровням ТТЛ. Сигнал  $ДС_0$  в виде сигнала  $SLS_4$  поступает в «Логикку КАМАК», сообщая о начале какого-либо процесса (например, о запуске системы). Остальные сигналы  $ДС_1—ДС_{16}$  в виде 16-разрядного кода по сигналу  $RD_4$  поступают на шины  $R$  магистрали КАМАК, при этом дискретные сигналы  $ДС_1—ДС_8$ , имеющие импульсный характер, предварительно запоминаются в регистре  $RG$ . «Очистка» регистра производится сигналом  $CL_4$ .

Нормализаторы  $H$  представляют собой резисторные делители напряжения с ограничением на уровне 5 В (рис. 2.14,а).

### 2.3.3. Канал штихпробера

Если в качестве измерителя расхода используется штихпробер, то с него на модуль поступает сигнал в виде интервала времени  $T_{вк}$ . В канале штихпробера производится пре-

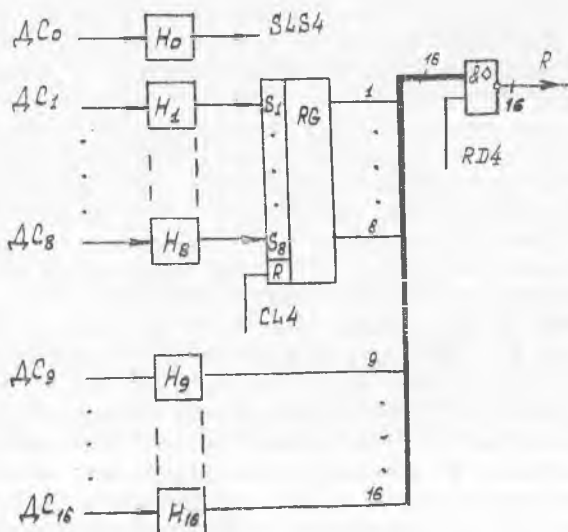


Рис. 2.13. Структурная схема канала дискретных сигналов

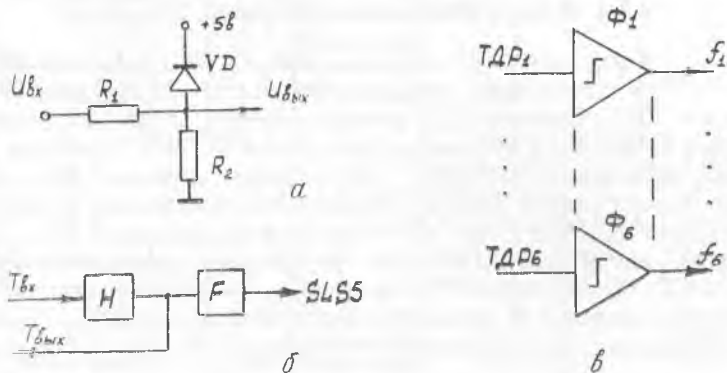


Рис. 2.14. Элементы модуля ПОР: а — нормализатор, б — канал штихпробера, в — формирователи сигналов

образование этого сигнала по уровню (рис. 2.14,б). По окончании временного интервала формирователь  $F$  вырабатывает для «Логике КАМАК» сигнал  $SLS_5$ . Преобразование временного интервала  $T_{\text{вых}}$  с выхода нормализатора  $H$  в цифровой код осуществляется вне модуля.

### 2.3.4. Каналы высокочастотных датчиков оборотов и турбинных датчиков расхода

Для преобразования по форме и уровню сигналов шести высокочастотных датчиков оборотов (ДЧВ) или турбинных датчиков расхода (ТДР) в модуле имеется шесть параллельно работающих формирователей  $\Phi_1—\Phi_6$ , представляющих собой усилители-ограничители (рис. 2.14,в). Принципиальная схема их не отличается от схемы формирователей сигналов низкочастотных датчиков оборотов (см. рис. 2.10).

### 2.3.5. «Логика КАМАК»

Блок служит для связи модуля с магистралью крейта.

В состав «Логике КАМАК» входит дешифратор команд  $ДС$ , пять регистров состояния  $LS_1—LS_5$ , регистр маски  $LM$  и схемы «И», «ИЛИ» (рис. 2.15). С выхода  $ДС$  команды через схему «ИЛИ» выводятся на шину  $X$  ( $X = 1$  — команда принята). Установка регистров  $LS_1—LS_5$  в единичное состояние производится соответствующими сигналами  $SLS_1—SLS_5$ . Регистры  $LS_1—LS_3$  сигнализируют об окончании преобразования в канале низкочастотных датчиков оборотов. Регистр  $LS_5$  фиксирует окончание временного интервала в канале штихпробера. Регистр  $LS_4$  сообщает о появлении сигнала  $ДС_0$  (например, сигнала «Запуск»). Сигнал  $LAM_4$  этого регистра выводится на шину  $L$  и маскируется регистром  $LM$ . Остальные регистры состояния имеют выход только на шину  $Q$ .

Сброс всех регистров состояния осуществляется сигналами  $CL_1—CL_4$  или  $CLLS$  по командам чтения  $A(1—4) F(2)$  и сброса  $A(0) F(10)$ , а также при появлении безадресных сигналов  $Z$  и  $C$ . Прохождение команд чтения  $A(1—4) F(2)$  вызывает появление сигналов  $RD_1—RD_4$ , а также сигналов сброса  $CL_1—CL_4$  по строб-импульсу  $S2$ . С приходом строб-импульса  $S1$  по команде  $A(0) F(25)$  формируется сигнал  $ST$  запуска АЦП, а по команде  $A(0) F(16)$  — сигнал  $WR$  записи информации с шины  $W$  магистралей.

«Логика КАМАК» рассчитана на выполнение команд, приведенных в табл. 2.3.

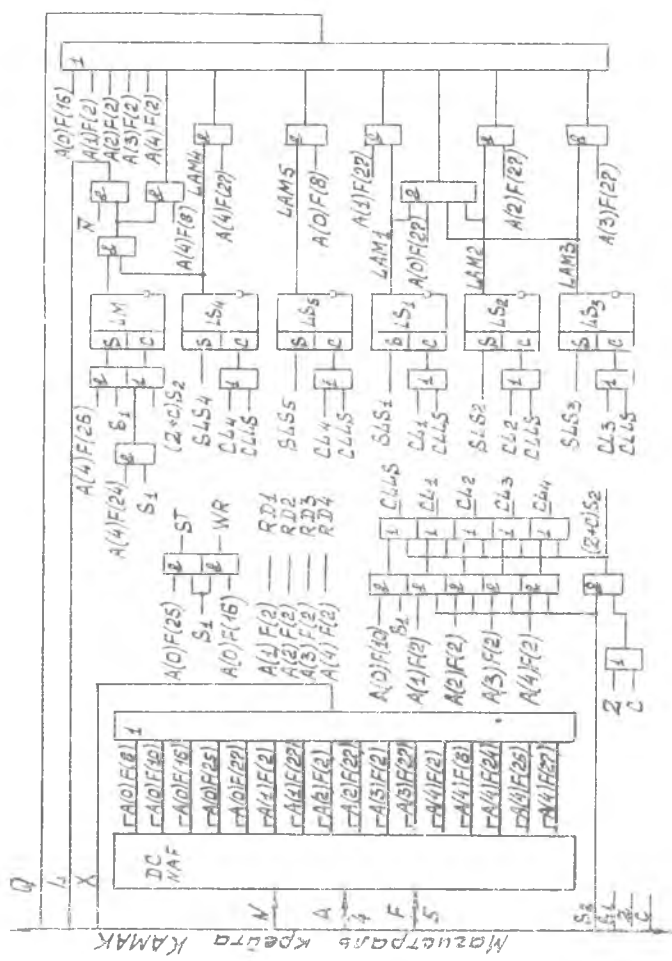


Рис. 2.15. «Логика КАМАК» модуля ПОР

Таблица 2.3

## Команды модуля ПОР

Команда	Действие	Сигнал ответа
A(1) F(2)	Чтение и сброс 1-го АЦП и сброс регистра $LS_1$	$Q = 1$
A(2) F(2)	Чтение и сброс 2-го АЦП и сброс регистра $LS_2$	$Q = 1$
A(3) F(2)	Чтение и сброс 3-го АЦП и сброс регистра $LS_3$	$Q = 1$
A(4) F(2)	Чтение канала дискретных сигналов и сброс его регистра и регистра $LS_4$	$Q = 1$
A(0) F(16)	Установка числа суммируемых периодов	$Q = 1$
A(0) F(25)	Запуск аналого-цифровых преобразователей	—
A(4) F(8)	Проверка сигнала запроса $L$	$Q = LAM_4 \cdot LM$
A(4) F(24)	Запрет запроса $L$	—
A(4) F(26)	Разрешение запроса $L$	—
A(0) F(27)	Проверка готовности к чтению всех АЦП	$Q = LAM_1 \cdot LAM_2 \cdot LAM_3$
A(1) F(27)	Проверка готовности к чтению 1-го АЦП	$Q = LAM_1$
A(2) F(27)	Проверка готовности к чтению 2-го АЦП	$Q = LAM_2$
A(3) F(27)	Проверка готовности к чтению 3-го АЦП	$Q = LAM_3$
A(4) F(27)	Проверка состояния регистра запроса $LS_4$	$Q = LAM_4$
A(0) F(8)	Проверка состояния регистра $LS_5$	$Q = LAM_5$
A(0) F(10)	Сброс всех регистров $LS_1—LS_5$	—
Z и C	Устанавливает все АЦП и регистры в нулевое состояние	—

#### 2.4. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МОДУЛИ КАМАК ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Модули предназначены для преобразования сигналов терморезисторов (ПСТР), термпар (ПСТП), индуктивных датчиков (ПСИД), а также сигналов в виде напряжений высокого уровня, поступающих с согласующих устройств или потенциометрических датчиков (ПН). Модули имеют единую структуру

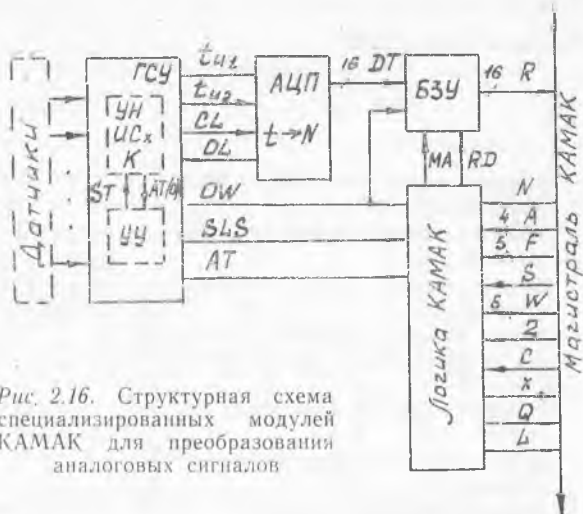


Рис. 2.16. Структурная схема специализированных модулей КАМАК для преобразования аналоговых сигналов

(рис. 2.16): в состав модуля входит групповое согласующее устройство (ГСУ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), буферное запоминающее устройство (БЗУ) и «Логика КАМАК». Модули выполнены 16- 32- и 64-канальными. Ширина модуля зависит от числа каналов (табл. 2.4). На лицевой панели модулей размещаются разъемы для подключения датчиков.

Таблица 2.4

**Ширина модуля преобразования аналоговых сигналов**

Число каналов	Тип модуля			
	ПСТР	ПСТП	ПСИД	ПН
16	2М	*	2М	*
32	*	2М		*
64	*	*		1М

\* Модули, находящиеся на стадии разработки.

**2.4.1. Структура модулей**

Модули имеют одинаковые АЦП, БЗУ и «Логика КАМАК» (см. рис. 2.16) и различаются только групповыми согласующими устройствами. Перечень сигналов и их назначение приведены в табл. 2.5. Во всех модулях ГСУ обеспечивает пре-

образование параметров датчиков во временные интервалы  $t_{и1}$ . ГСУ содержит коммутатор (К), измерительную схему (ИСх), устройство нормализации (УН) и устройство управления (УУ). Коммутатор производит поочередное подключение датчиков. Измерительная схема совместно с устройством нормализации служит для преобразования параметров датчиков во временные интервалы. Устройство управления обеспечивает взаимодействия узлов ГСУ между собой и с внешними устройствами. Переключение коммутатора производится по тактовому импульсу  $ST$  с устройства управления. Установка коммутатора в исходное («нулевое») положение может осуществляться внешним импульсом  $HP$ . Коммутатор помимо переключения цепей датчиков вы-

Таблица 25

Сигналы модулей преобразования аналоговых сигналов

Обозначение	Наименование	Назначение
$t_{и1}, t_{и2}$	Временной интервал	Выходной сигнал ГСУ в первом и втором такте преобразования
$CL$	«Очистка»	Установка счетчика АЦП в нуль
$SLS$	Установка регистра запроса	Сигнал завершения цикла опроса всех датчиков. Предназначен для выработки сигнала готовности $L$ модуля к выдаче результатов преобразования
$OL$	Переполнение	Сигнал переполнения счетчика АЦП. Используется для работы системы автокоррекции чувствительности ГСУ
$OW$	Перезапись	Запись в БЗУ результатов опроса очередного датчика
$ST$	Запуск	Тактовый импульс переключения коммутатора
$OP$	Внешний запуск	Запуск модуля от внешнего источника тактовых импульсов
$HP$	Кадровый импульс	Установка коммутатора в «нулевое» состояние от внешнего источника
$AT(0)$	Адрес нулевого канала	Сигнал с коммутатора при установке его в «нулевое» состояние
$AT$	Адрес датчика	Номер опрошенного датчика. Сигнал используется для выработки адреса при записи в БЗУ результатов опроса
$MA$	Адрес БЗУ	Адрес ячейки БЗУ, к которой производится обращение
$DT$	Данные	Результат преобразования в виде 16-разрядного двоичного кода
$RD$	Чтение данных	Команда выдачи содержимого БЗУ на магистраль крейта



дает в двоичном коде номер опрашиваемого канала (сигнал  $AT$ ) и единичный уровень  $AT(0)$  при опросе «нулевого» канала.

До начала преобразования устройство управления посылает в АЦП сигнал  $CL$  установки в исходное состояние. Результат преобразования параметра датчика в виде временного интервала  $t_{и1}$  поступает в АЦП «время—код». В модулях ПСТР и ПСИД результат преобразования представлен в виде двух временных интервалов  $t_{и1}$  и  $t_{и2}$ . Выходные сигналы АЦП в виде двоичных кодов  $DT$  по сигналу  $OW$  записываются в БЗУ и далее выводятся на шины  $R$  магистрали крейта.

Взаимодействие модуля с магистралью крейта осуществляется с помощью блока «Логика КАМАК». «Логика» принимает с магистрали и расшифровывает команды  $NAF$ , принимает данные по шинам  $W$  для формирования адресных сигналов  $MA$  при обращении к БЗУ, вырабатывает сигнал запроса  $L$  и сигналы ответа  $X$  и  $Q$ , подает команду  $RD$  чтения БЗУ. О завершении цикла опроса датчиков ГСУ оповещает «Логика КАМАК» сигналом  $SLS$ .

Отличительной особенностью рассматриваемых модулей является асинхронный по отношению к магистрали режим работы ГСУ. Опрос датчиков в ГСУ циклический, частота опроса задается внутренним генератором тактовых импульсов и определяется временем преобразования в ГСУ. Генератор может быть синхронизирован частотой сети 50 Гц. Возможна работа от внешнего генератора тактовых импульсов (сигналы  $OP$ ). В каждом цикле опроса датчиков результаты преобразования в БЗУ обновляются. По запросу контроллера информация из БЗУ выдается на магистраль крейта КАМАК.

Далее будут более подробно рассмотрены основные элементы структуры: АЦП, БЗУ, «Логика КАМАК» и ГСУ.

#### 2.4.2. Аналого-цифровой преобразователь

В модулях используется АЦП «время—код» с реверсивным счетчиком (рис. 2.17,а). Преобразуемые временные интервалы  $t_{и1}$  и  $t_{и2}$  заполняются импульсами генератора счетных импульсов ( $G_0$ ) и подаются соответственно на суммирующий и вычитающий входы 16-разрядного двоичного реверсивного счетчика (СТ). С выхода счетчика снимается цифровой код  $DT$ , соответствующий разности поступающих временных интервалов.

В модулях ПСТП и ПН вычитание временных интервалов не требуется, однако в целях унификации и в них используется АЦП с реверсивным счетчиком, который работает только в режиме суммирования.

Установка счетчика АЦП в нулевое состояние производится

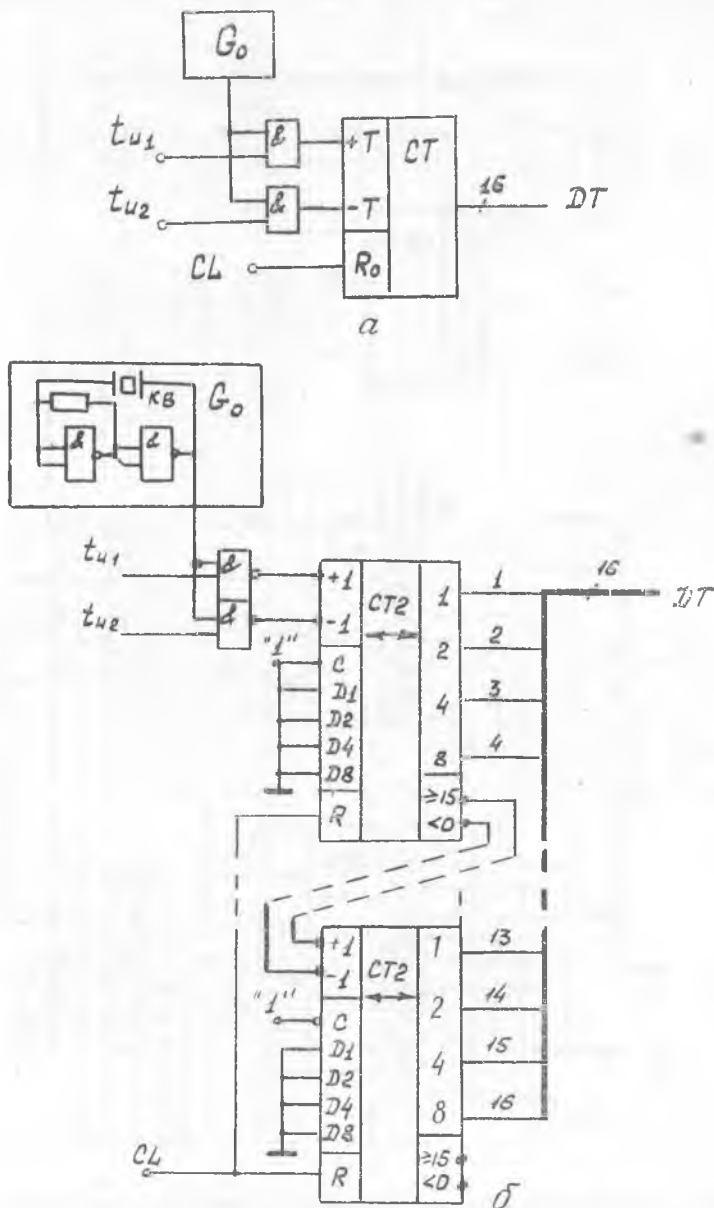


Рис. 2.17. Структурная (а) и принципиальная (б) схемы АСП

по входу  $R_0$  сигналом  $CL$ . Частота генератора  $G_0$  стабилизирована кварцевым резонатором. АЦП собран на микросхемах 155ЛА3 и 155ИЕ7 (рис. 2.17,б).

### 2.4.3. Буферное запоминающее устройство

БЗУ состоит из оперативного запоминающего устройства ( $MEM$ ) и вентилей «И-НЕ» (рис. 2.18,а).  $MEM$  служит для

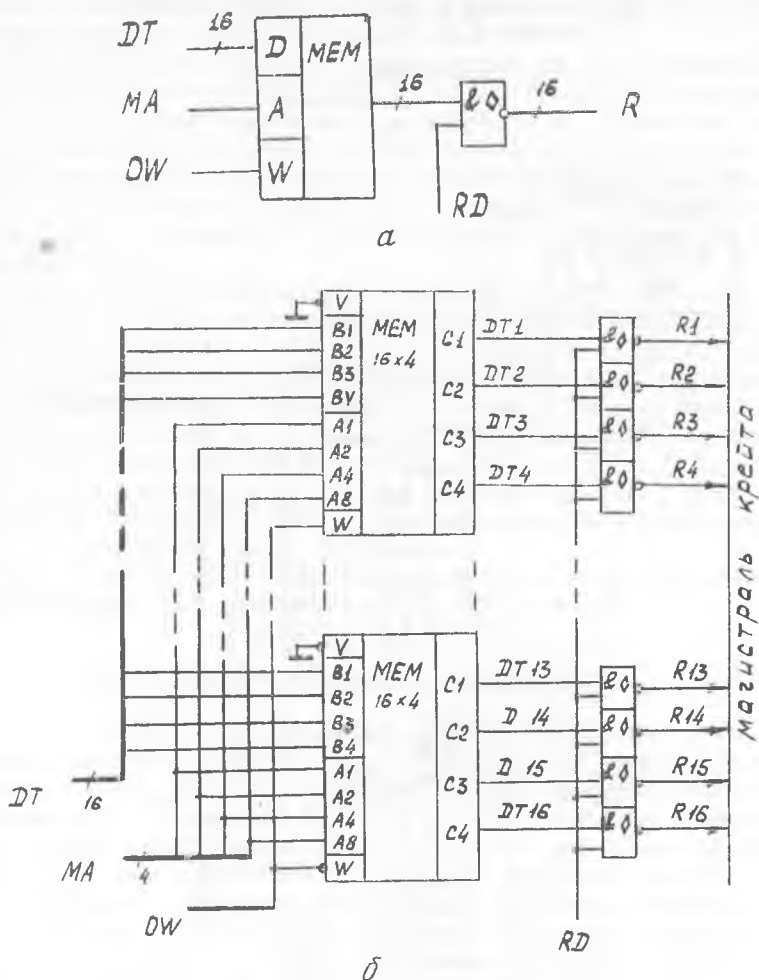


Рис. 2.18. Структурная (а) и принципиальная (б) схемы БЗУ 16-канального модуля

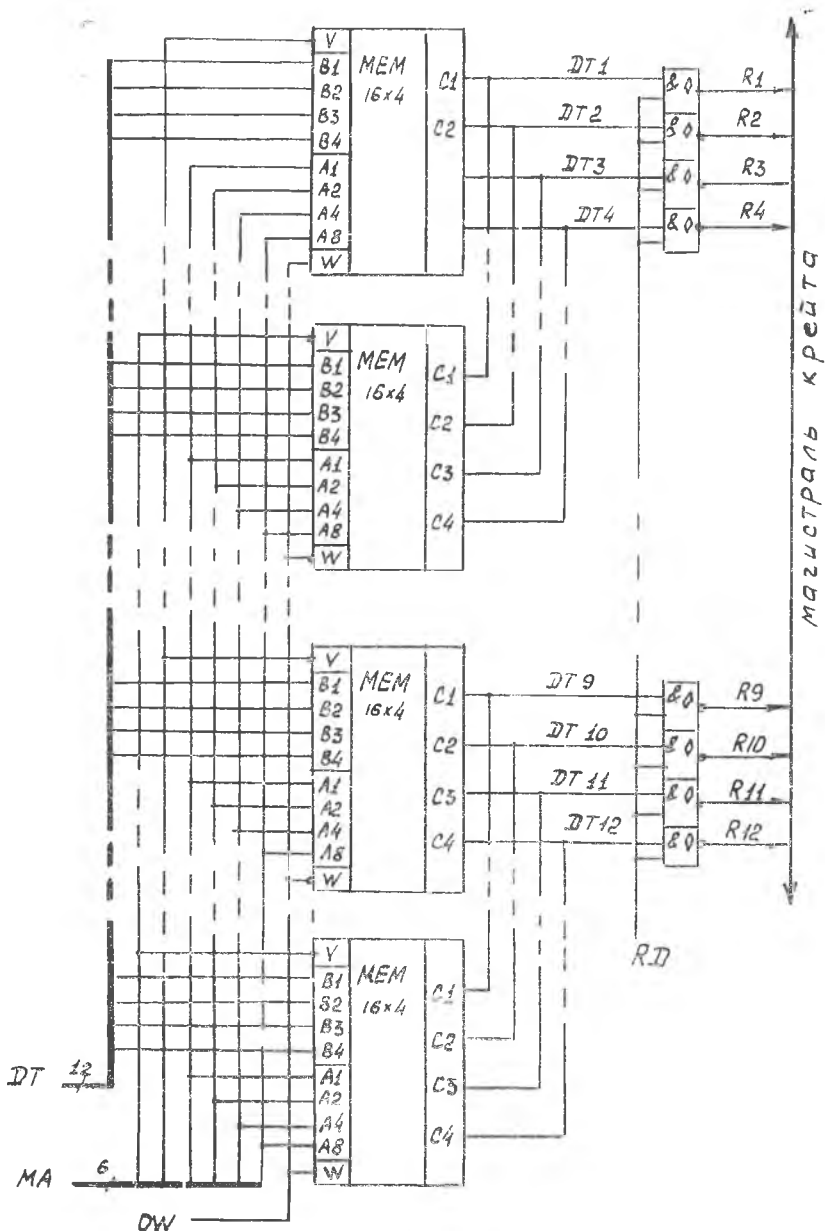


Рис. 2.19. Принципиальная схема БЗУ 32- и 64-канальных модулей

хранения 16-разрядных слов. Емкость *МЕМ* определяется числом каналов модуля. Запись данных *DT* в *МЕМ* производится по адресу *МА* сигналом *OW*. При отсутствии сигнала *OW* *МЕМ* находится в режиме чтения. Выдача содержимого *МЕМ* на шины *R* магистрали крейта производится по сигналу *RD*.

БЗУ собраны на микросхемах 155РУ2 и 155ЛА8. Емкость памяти микросхемы 155РУ2 составляет 16 4-разрядных слов. В БЗУ 16-канальных модулей используется 4 микросхемы 155РУ2 (рис. 2.18,б), в БЗУ 32- и 64-канальных модулей используется соответственно 8 и 16 микросхем 155РУ2 (рис. 2.19). Все микросхемы разбиты на 4 группы (по 2 микросхемы в 32-канальных модулях и по 4 микросхемы в 64-канальных модулях). Одноименные выходы микросхем одной группы запараллелены — в результате получена память емкостью соответственно 32 и 64 16-разрядных слова. Для адресации ячеек памяти при обращении используются как адресные входы *A1—A8* микросхем, так и сигналы *V* выбора кристалла. Сигнал записи *OW* подается на вход *W* записи всех микросхем одновременно.

#### 2.4.4. «Логика КАМАК»

Блок осуществляет связь модуля с магистралью крейта. Схема «Логика КАМАК» модулей на 32 и 64 канала (рис. 2.21) имеет некоторые отличия от схемы «Логика КАМАК», используемой в 16-канальных модулях (рис. 2.20).

Команда *NAF* с магистрали крейта поступает на дешифратор (*DC NAF*), где расшифровывается и появляется в виде единичного уровня на соответствующем выходе дешифратора. Дешифратор рассчитан на выполнение команд (табл. 2.6), каждая из которых через схему «ИЛИ» поступает на шину *X* ( $X = 1$  — команда принята). После опроса «нулевого» канала ГСУ выдает сигнал *SLS*, который устанавливает триггер запроса *LS* в единичное состояние ( $LAM = 1$ ). Если триггер «маски» *LM* установлен в единичное состояние, то на шине *L* появляется сигнал запроса  $L = 1$ . На время прохождения команды *NAF* сигнал запроса отключается от шины *L* сигналом *N*. Запрос может быть запрещен программным путем, для чего по команде  $A(0)F(24)$  триггер «маски» *LM* приводят в нулевое состояние, запрещая тем самым выход сигнала *LAM* на шину *L*. Разрешение запроса осуществляется путем установки триггера *LM* в единичное состояние по команде  $A(0)F(26)$ . Команды  $A(0)F(24)$  и  $A(0)F(26)$  воспринимаются триггером *LM* в момент появления стробирующего импульса *S1*.

В момент появления первой же команды чтения  $A(0—15)F(0)$  или  $A(0)F(2)$ , а также при подаче команды  $A(0)F(10)$ , триггер



Таблица 2.6

## Команды модулей преобразования аналоговых сигналов

Команда	Назначение	Примечание
$A(0-15) F(0)$	Чтение БЗУ по субадресам ( $Q = 1$ )	В модулях на 32 и 64 канала используется только $A(0) F(0)$
$A(0) F(2)$	Чтение БЗУ с инкрементом адреса ( $Q = 1$ )	
$A(0) F(16)$	Запись субадреса по шинам $W$ ( $Q = 1$ )	В модулях на 16 каналов не используется
$A(0) F(8)$	Проверка запроса ( $Q = 1$ , если $LAM = 1$ и запрос разрешен)	
$A(0) F(10)$	Сброс запроса и регистра адреса	
$A(0) F(24)$	Запрет запроса	
$A(0) F(26)$	Разрешение запроса	
$A(0) F(27)$	Проверка состояния регистра запроса ( $Q = LAM$ )	

$LS$  по сигналу  $S1$  устанавливается в нулевое состояние, т. е. происходит сброс запроса. По команде  $A(0) F(27)$  по сигналу на шине  $Q$  можно проверить состояние триггера  $LS$  (сигнал  $LAM$ ), а по команде  $A(0) F(8)$  — наличие сигнала  $L$ . При этом  $Q = LAM$  или  $Q = L$ . Сигнал  $Q = 1$  генерируется и при командах чтения  $A(0-15) F(0)$ ,  $A(0) F(2)$ , если отсутствует сигнал записи  $OW$ , а также при команде записи  $A(0) F(16)$ . Во время записи информации с АЦП в БЗУ в ответ на команду чтения вырабатывается  $Q = 0$ .

При обращении к БЗУ на его адресные шины выдается сигнал  $MA$ . При записи адрес  $MA$  задается в двоичном коде коммутатором ГСУ (сигнал  $AT1-AT8$  на рис. 2.20 и  $AT1-AT32$  на рис. 2.21) и стробируется сигналом записи  $OW$ .

Чтение из БЗУ может производиться в двух режимах: чтение из каждой ячейки БЗУ последовательно по команде  $A(0) F(2)$  и чтение по субадресам по команде  $A(0-15) F(0)$  (см. рис. 2.20) или  $A(0) F(0)$  в схеме (см. рис. 2.21). В первом случае адрес задается регистром  $RGA$ , содержимое которого увеличивается на единицу стробирующим импульсом  $S2$  по команде  $A(0) F(2)$ . Сброс регистра  $RGA$  в нулевое состояние производится импульсом  $S1$  по команде  $A(0) F(10)$ . Во втором случае адрес БЗУ (см. рис. 2.20) задается контроллером по шинам  $A1-A8$  магистрали и выводится на адресные шины  $MA$  по команде  $A(0-15) F(0)$ . По команде  $A(0) F(16)$  адрес БЗУ задается

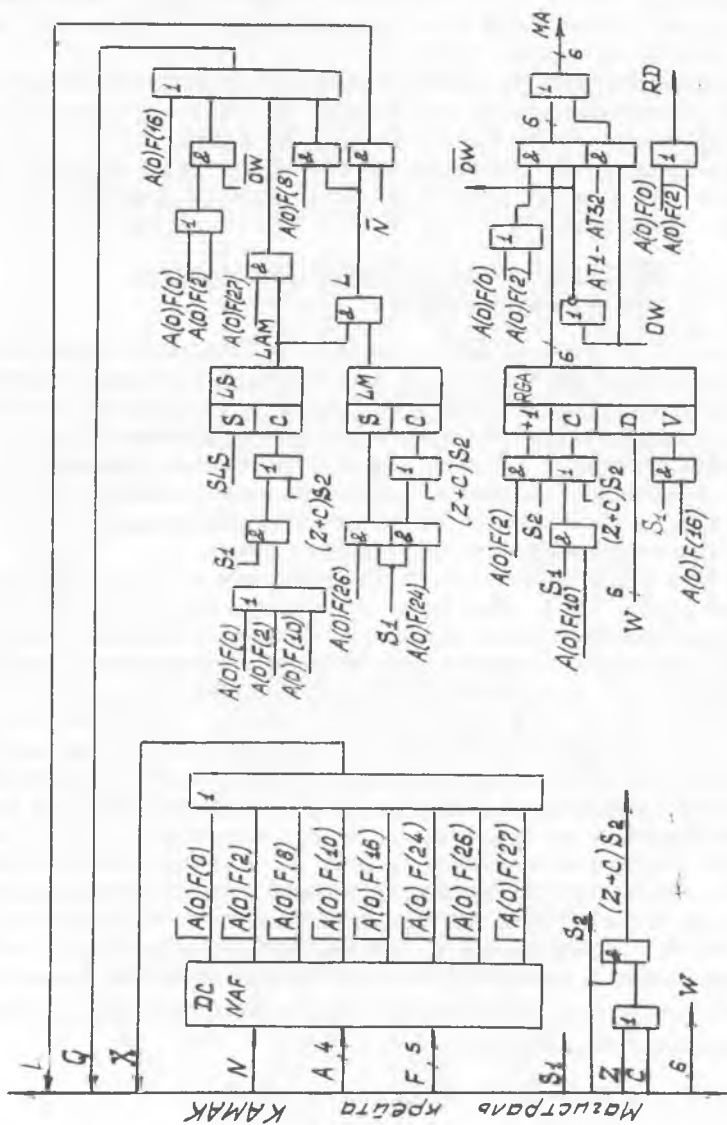


Рис. 2.21. Блок «Логика КАМАК» 32- и 64-канального модуля



контроллером по шинам записи  $W$  и предварительно записывается в регистр адреса  $RGA$  (см. рис. 2.21). Из регистра адрес выводится на шины  $MA$  по команде  $A(0) F(0)$ . В момент записи на адресные шины БЗУ поступает только адрес, задаваемый ГСУ; адреса чтения при этом отключаются от адресных шин БЗУ импульсом записи  $OW$ .

Выдача результатов преобразования на шины  $R$  магистралю крейта производится путем подачи на БЗУ сигнала  $RD$  по команде чтения  $A(0-15) F(0)$  или  $A(0) F(2)$ .

При появлении сигналов  $Z$  и  $C$  триггеры запроса  $LS$ , «маски»  $LM$  и регистр  $RGA$  устанавливаются импульсом  $S2$  в нулевое состояние.

#### 2.4.5. Групповое согласующее устройство для терморезисторов

ГСУ используется в модуле ПСТР и предназначено для преобразования сопротивления во временной интервал. Преобразование основано на использовании свойств переходного процесса, возбуждаемого включением питающего напряжения  $E$  (рис. 2.22) на апериодическую  $RC$ -цепь (метод постоянной времени) [12]. Для устранения влияния сопротивления линии датчика  $R_{д1} \dots R_{д(n-1)}$  включаются по трехпроводной схеме  $R_{д1} \dots R_{д(n-1)}$ , а преобразование производится за два такта.

Работа ГСУ происходит в соответствии с временной диаграммой (рис. 2.23). Внешним кадровым импульсом  $HP$  возможна установка коммутатора в исходное состояние. Частота опроса датчиков задается внутренним генератором тактовых импульсов  $GST$  или внешним генератором (импульсы  $OP$ ). Тактовым импульсом  $OW$  производится запись содержимого счетчика АЦП (результат предыдущего опроса) в БЗУ по адресу, задаваемому распределителем ( $P$ ) коммутатора. Задержанным тактовым импульсом  $CL$  счетчик АЦП устанавливается в нулевое состояние, а распределитель подготавливается к опросу очередного  $i$ -го датчика. Затем триггер  $T_1$  устанавливается в единичное состояние. Начинается первый такт преобразования (опрос датчика). Размыкается разрядный ключ КР и замыкается ключ  $K'_i$ . Конденсатор  $C_0$  заряжается от источника  $E$  через сопротивление датчика  $R_{дi}$ , сопротивления проводов линии  $R'_{дi}$ ,  $R''_{дi}$  и балластный резистор  $R_0$ , включенный в схему для ограничения тока через ключи. Через время

$$t_{н1} = (R_{дi} + R'_{дi} + R''_{дi} + R_0) C_0 \ln \frac{1}{1 - U_{оп}/E}$$

напряжение  $U_c$  на конденсаторе  $C_0$  достигает опорного уровня  $U_{оп}$ , и устройство сравнения напряжений (УСН) возвращает

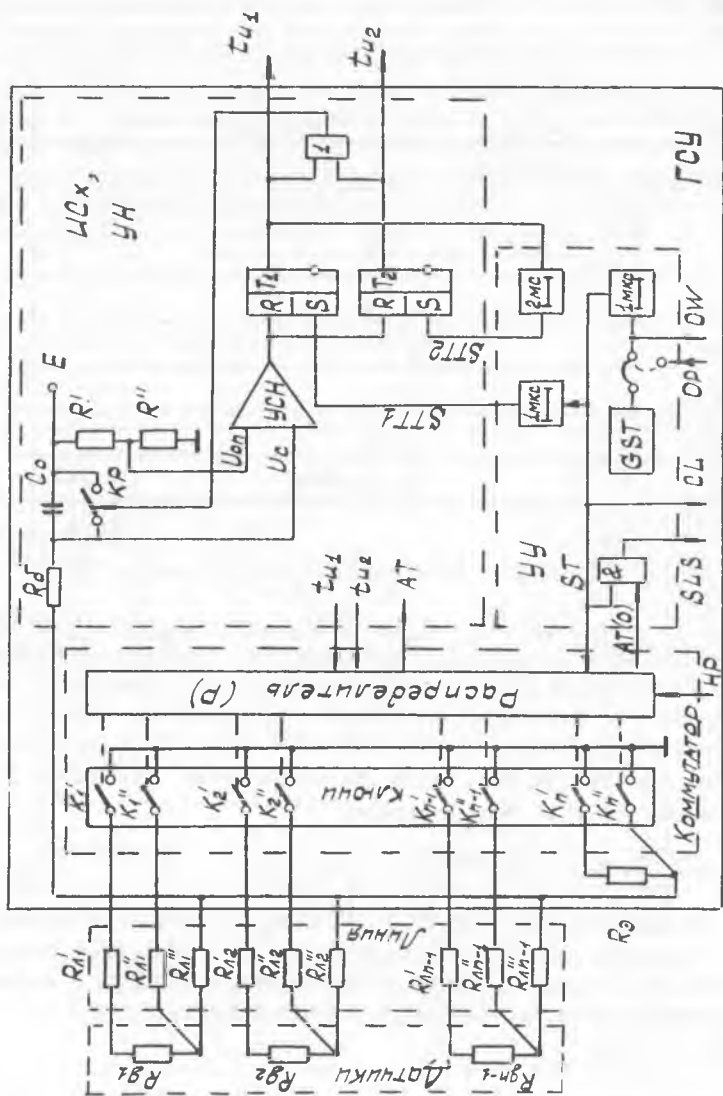


Рис. 2.22. Структурная схема ГСУ модуля ПСТР

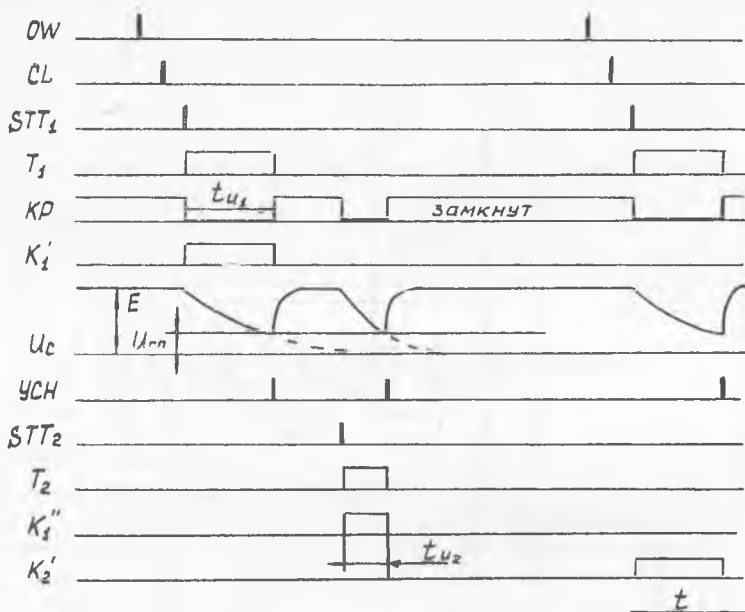


Рис. 2.23. Временные диаграммы работы ГСУ модуля ПСТР

триггер  $T_1$  в нулевое состояние. Размыкается ключ  $K_1'$ , замыкается ключ  $KP$ , и конденсатор  $C_0$  быстро разряжается. Через время, достаточное для разряда конденсатора, триггер  $T_2$  устанавливается в единичное состояние. Начинается второй такт преобразования (опрос линии). Размыкается  $KP$  и замыкается ключ  $K_1''$ .  $C_0$  заряжается через сопротивления проводов  $R_{л1}'$ ,  $R_{л1}''$  и резистор  $R_6$ . Через время

$$t = (R_{л1}' + R_{л1}'' + R_6) C_0 \ln \frac{1}{1 - U_{оп}/E}$$

$UCH$  возвращает триггер  $T_2$  в нулевое состояние. Размыкается  $K_1''$  и замыкается  $KP$ , подготавливая  $C_0$  к очередному опросу. На этом цикл опроса датчика заканчивается. В АЦП в кодированном виде производится вычитание временных интервалов  $t_{н1}$  и  $t_{н2}$ :

$$N_i = N_{н1} - N_{н2}.$$

Если сопротивления двух проводов линии одинаковы ( $R_{л1}' = R_{л1}''$ ), то

$$N_i = R_{дi} \cdot S_R,$$

где  $S_R = f_0 C_0 \ln \frac{1}{1 - U_{он}/E}$  — чувствительность ГСУ,

$f_0$  — частота кварцевого генератора  $G_0$  АЦП.

Очередной тактовый импульс производит опрос датчика  $R_{д(i+1)}$ .

Помимо влияния сопротивлений проводов большое влияние могут оказать емкостные параметры линий и нестабильность емкости  $C_0$ . Они вызывают изменения чувствительности  $S_R$ , т. е. мультипликативные погрешности, для устранения которых используется специальный («нулевой») канал с эталонным резистором  $R_3$ . В программном обеспечении предусматривается вычисление чувствительности  $S_{R_{вмч}}$  по результату преобразования  $N_3$  в эталонном канале и известному  $R_3$ :

$$S_{R_{вмч}} = \frac{N_3}{R_3}.$$

Определение  $R_{дi}$  ведется с учетом  $S_{R_{вмч}}$ :

$$N_i = R_{дi} \cdot S_{R_{вмч}}.$$

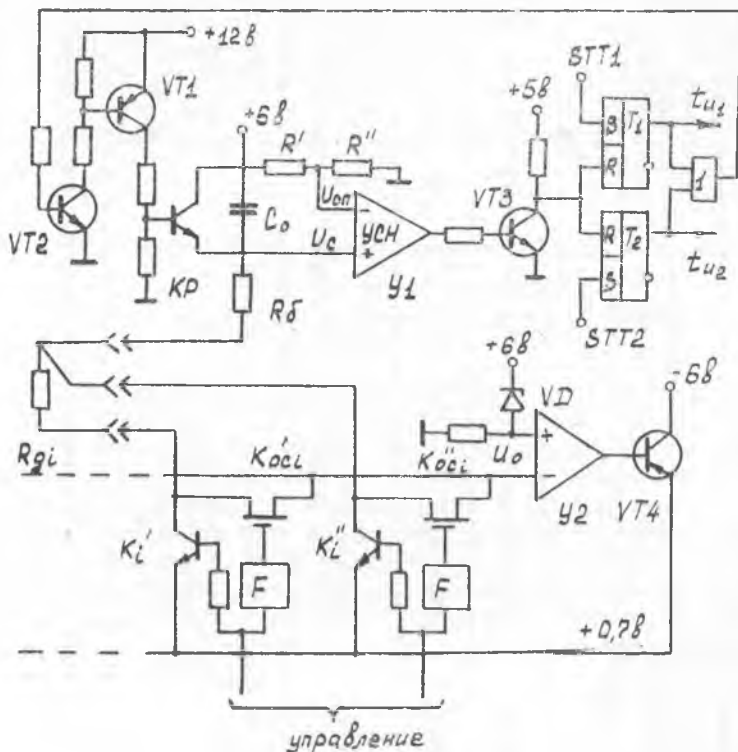


Рис. 2.24. Принципиальная схема измерительных цепей ГСУ модуля ПСТР

Таблица 27

## Технические характеристики специализированных модулей аналоговых сигналов

Наименование модуля	Вид датчика	Диапазоны входных сигналов модуля	Составляющие уравнения преобразования		Разрешающая способность	Погрешность, %		Время преобразования на канал
			$N_0$	$S$		основная	допол. температурная на $10^\circ$	
ПСТР	Терморезистор	30—320 Ом	$\pm 10^*$	25 1/Ом	0,04 Ом	0,1	0,1	10 мс
ПСП	Термопара	0—50 мВ	400	100 1/мВ	0,01 мВ	0,1	0,1	10 мс
ПСИД	Дифференциальный индуктивный датчик	0,1 $\pm$ 0,01 Гн		10 <sup>-5</sup> 1/Гн	10 <sup>-5</sup> Гн			10 мс
		150 $\pm$ 15 мкГн		10 <sup>2</sup> 1/мкГн	10 <sup>-2</sup> мкГн	0,3	0,1	
ПН	Потенциметрический датчик, ИКД, согласующее устройство	0—5 В		200 1/В	5 · 10 <sup>-3</sup> В	0,1	0,1	2,5 мс

\* Определяется при индивидуальной градуировке модуля с линией связи.

Практически уравнение преобразования модуля ПСТР имеет вид  $N_i = N_0 + R_{дi} \cdot S_{R \text{ выч}}$ , где  $N_0$  появляется в связи с неодинаковостью сопротивлений  $R_{дi}'$  и  $R_{дi}''$  реальной линии связи.

Технические характеристики модуля ПСТР приведены в табл. 2.7.

Упрощенная принципиальная схема измерительных цепей одного канала ГСУ представлена на рис. 2.24. Особенность коммутатора ГСУ состоит в том, что его измерительные ключи охвачены обратной связью (рис. 2.25). Распределитель синхронно замыкает рабочий ключ  $K_i$  и ключ обратной связи  $K_{осi}$  (где  $i = 1, 2 \dots n$ ) и размыкает дополнительный ключ  $K_{д}$ . Стаби-

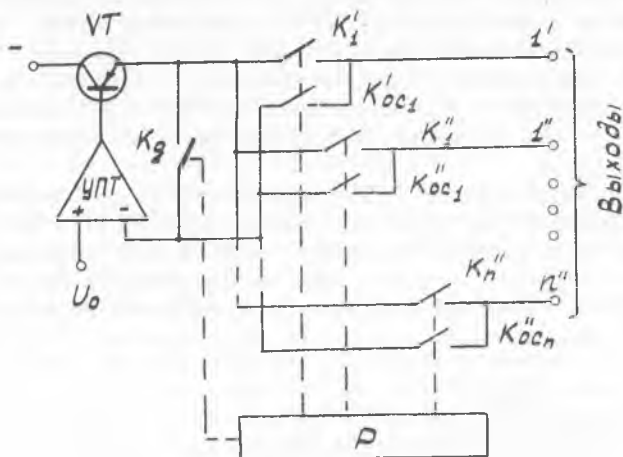


Рис. 2.25. Структурная схема коммутатора ГСУ модуля ПСТР

лизатор, состоящий из дифференциального усилителя постоянного тока (УПТ) и регулирующего транзистора  $VT$ , поддерживает напряжение  $U_0$  на выходе замкнутого ключа  $K_i$ , тем самым устраняется влияние остаточных параметров замкнутого ключа на выходное напряжение коммутатора, а следовательно, и на результат преобразования параметра датчика. В качестве измерительных ключей  $K_i$  и разрядного ключа  $K_P$  в ГСУ (см. рис. 2.24) используются транзисторы микросхемы 149КТ1, ключей обратной связи  $K_{осi}$  — интегральные ключи 143КТ1, (на МОП-транзисторах), усилителей  $U_1$  и  $U_2$  — интегральные операционные усилители 553УД2.

## 2.4.6. Групповое согласующее устройство для термопар

ГСУ используется в модуле ПСТП и предназначено для преобразования во временной интервал параметров термопар градуировки ХК, ХА и ПП. В ГСУ предусмотрена коррекция температуры «холодных спаев» ТП.

Э.д.с. ТП можно представить в виде разности  $E_{\text{ТП}} = E_{\text{Г}} - E_{\text{Х}}$ , где  $E_{\text{Г}}$  — э.д.с. рабочего «горячего» спая,  $E_{\text{Х}}$  — э.д.с. нерабочего «холодного» спая. В реальных условиях температура «холодного» спая непостоянна, что вызывает изменение  $E_{\text{Х}}$  и является источником погрешности преобразования. В большинстве существующих преобразователей для коррекции изменений  $E_{\text{Х}}$  используется терморезистор (ТР) и мостовая схема, диагональ которой включается в цепь ТП [5]. Тогда  $E_{\text{ТП}} = E_{\text{Г}} - E_{\text{Х}} + U_{\text{М}}$ , где  $U_{\text{М}}$  — напряжение в диагонали моста. Чувствительность моста согласуется с чувствительностью ТП и ТР таким образом, чтобы  $U_{\text{М}} - E_{\text{Х}} = 0$  при любых изменениях температуры «холодного» спая.

В рассматриваемом ГСУ производится раздельное преобразование температуры горячего и холодного спая ТП. Для преобразования температуры холодного спая также используется ТР. Однако коррекция производится на кодированном уровне в счетчике АЦП путем сложения результатов преобразования э.д.с. термопары и спротивления терморезистора, поэтому ГСУ (рис. 2.26)

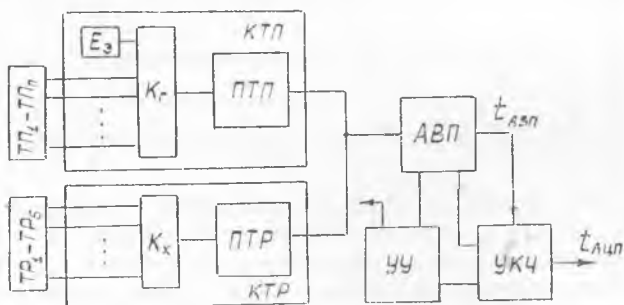


Рис. 2.26. Блок-схема ГСУ модуля ПСТП

имеет независимые каналы преобразования сигналов термопар (КТП) и терморезисторов (КТР). Опрос датчиков циклический. Переключение термопар осуществляется коммутатором  $K_{\text{Г}}$ . В каждом цикле опроса для устранения мультипликативных погрешностей КТП производится опрос эталонного источника напряжения  $E_{\text{э}}$  и подстройка чувствительности ГСУ с помощью устройства автоматической коррекции чувствительности (УКЧ).

Для коррекции температуры холодных спаев все термопары разбиваются на группы. Максимальное число групп — пять. В каждую группу входит от одной до шести термопар одинаковой градуировки. Настройка чувствительности каждой группы для работы с ТП заданной градуировки осуществляется с помощью кроссировочного поля, выполненного в виде заглушки, установленной на задней панели модуля. Холодные спаи группы помещаются в пассивный термостат, температура внутри которого контролируется одним из пяти терморезисторов  $ТР_1—ТР_5$ . Опрашиваются ТР с помощью коммутатора  $K_x$ . Параметры термопар и терморезисторов преобразуются в амплитуду импульсов  $U_L$  и  $U_C$  преобразователями ПТП и ПТР. Далее с помощью амплитудно-временного преобразователя (АВП) амплитуда импульсов преобразуется во временной интервал  $t_{АВП}$ . Чтобы скомпенсировать влияние температуры холодного спаия путем сложения кодов в АЦП, необходимо обеспечить одинаковый коэффициент преобразования во временной интервал температуры по каналам КТП и КТР. Для этого коэффициент преобразования э.д.с. остается постоянным для всех термопар, а коэффициент преобразования сопротивления ТР меняется путем переключения чувствительности АВП с устройства управления в зависимости от вида градуировки опрашиваемых термопар.

Устройство управления (УУ) осуществляет взаимодействие элементов ГСУ.

**Канал преобразования сигналов термопар.** Преобразование э.д.с. термопары в амплитуду импульса основано на использовании свойств переходного процесса, возникающего при коммутации цепи, содержащей инерционные элементы. Принцип преобразования можно пояснить на примере схемы рис. 2.27 [12]. Замыкаются ключи  $K_1'$ ,  $K_1''$ , и накопительный конденсатор  $C_H$  заряжается до напряжения  $E_{ТП}$  термопары. Затем ключи  $K_1'$ ,

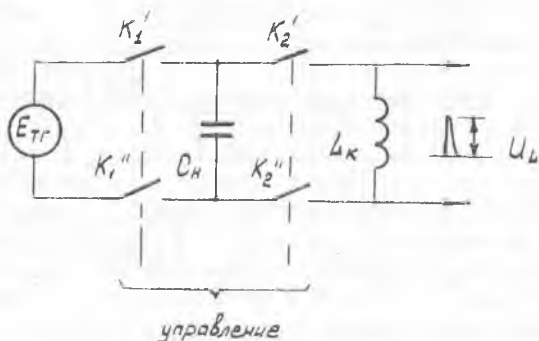


Рис. 2.27. Измерительная схема преобразователя сигналов термопары



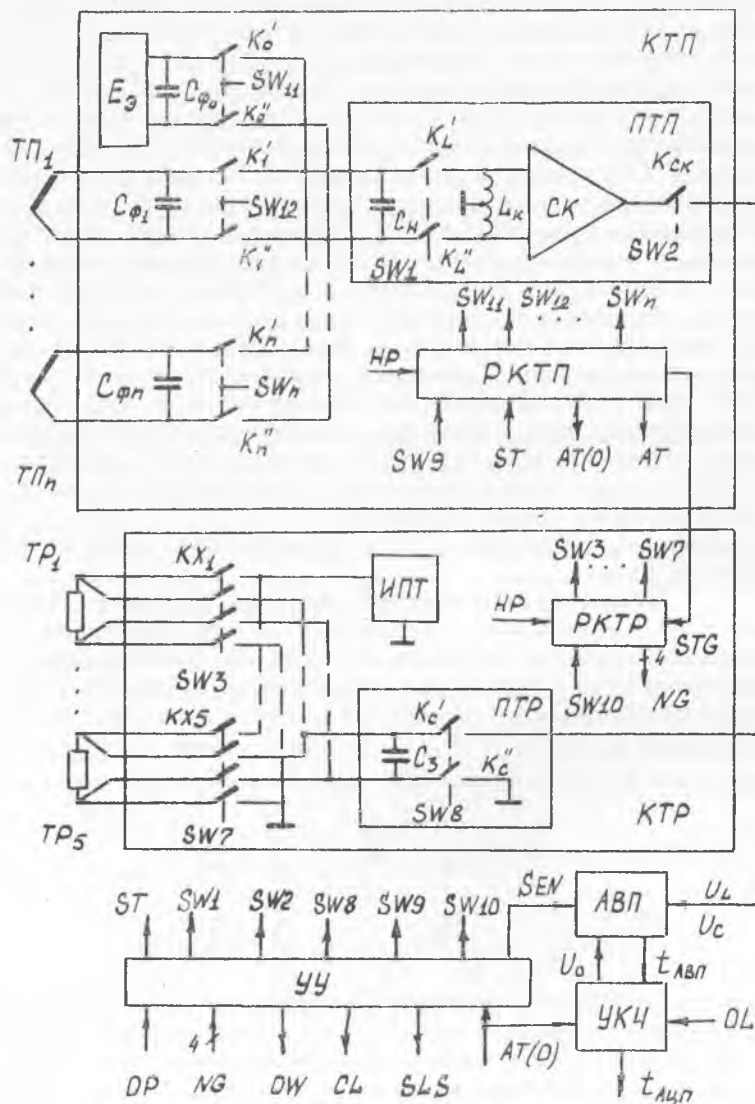


Рис. 2.28. Структурная схема ГСУ модуля ПСТП

$K_1''$  размыкаются, а  $K_2'$ ,  $K_2''$  замыкаются. Конденсатор  $C_{II}$  начинает разряжаться через катушку индуктивности  $L_K$ . При достижении максимального тока разряда ключи  $K_2'$ ,  $K_2''$  размыкаются. На катушке  $L_K$  возникает импульс напряжения, амплитуда которого равна  $U_L = E_{тп} \cdot R_p / R_3$ , где  $R_p$  и  $R_3$  — сопротивления цепи контура  $L_K$ ,  $C_{II}$  соответственно при разомкнутых и замкнутых ключах  $K_2'$ ,  $K_2''$ . Напряжение  $U_L$  в сотни раз превышает э.д.с.  $E_{тп}$  термопары. Схема реализует «метод первой производной на размыкание» (МПП-Р) [12]. В схеме обеспечивается гальваническое разделение входных и выходных цепей.

На рис. 2.28 приведена структурная схема ГСУ. КТП содержит коммутатор и преобразователь сигналов термопар ПТП. Коммутатор состоит из ключевых элементов  $K_0$  —  $K_n$  и распределителя РКТП. Выход коммутатора соединен с накопительной емкостью  $C_{II}$  ПТП. Для повышения помехозащищенности катушка индуктивности  $L_K$  выполнена симметричной относительно «земляной» шины, а для согласования ее с несимметричным входом АВП используется согласующий каскад (СК). Сигнал с выхода СК через ключ  $K_{СК}$  поступает на АВП. Для фильтрации помех в цепи каждой термопары включен конденсатор  $C_{Ф}$ . Подключение термопары к накопительной емкости  $C_{II}$  производится ключами  $K_i'$  и  $K_i''$  ( $i$  — номер опрашиваемой термопары). С помощью ключей  $K_0'$  и  $K_0''$  опрашивается источник эталонного напряжения  $E_э$ . Распределитель РКТП управляет работой ключей  $K_0$  —  $K_n$ , выдает в двоичном коде номер опрашиваемого датчика (сигнал  $AT$ ) и сигнал  $AT(0)$  в виде единичного уровня при опросе источника с эталонного напряжения. После опроса каждой группы термопарных датчиков распределитель РКТП вырабатывает сигнал  $STG$  на переключение распределителя РКТП канала терморезисторов. Установка РКТП в исходное состояние осуществляется внешним импульсом  $HP$ .

На рис. 2.29 приведена схема измерительных цепей КТП. В качестве ключей  $K_i$ ,  $K_L$  и  $K_{СК}$  используются микросхемы 143КТ1. Согласующий каскад собран на базе усилителя  $У$  типа 553УД2. Резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  и конденсатор  $C_{Ф}$  образуют входной фильтр, а диоды  $VD_1$  —  $VD_4$  ограничивают величину входного синфазного сигнала на уровне  $\pm 3В$ . Резисторы  $R_3$  и  $R_4$  служат для уменьшения влияния нестабильности параметров катушки индуктивности  $L_K$  на погрешность преобразования.

**Канал преобразования сигналов терморезисторов.** Преобразование сопротивления  $TR$  в амплитуду импульса (см. рис. 2.28) производится путем подачи на него импульса тока от источника постоянного тока (ИПТ) с помощью ключей  $KX_j$  ( $j$  — номер опрашиваемого  $TR$ ). Применение источника тока, четырех-

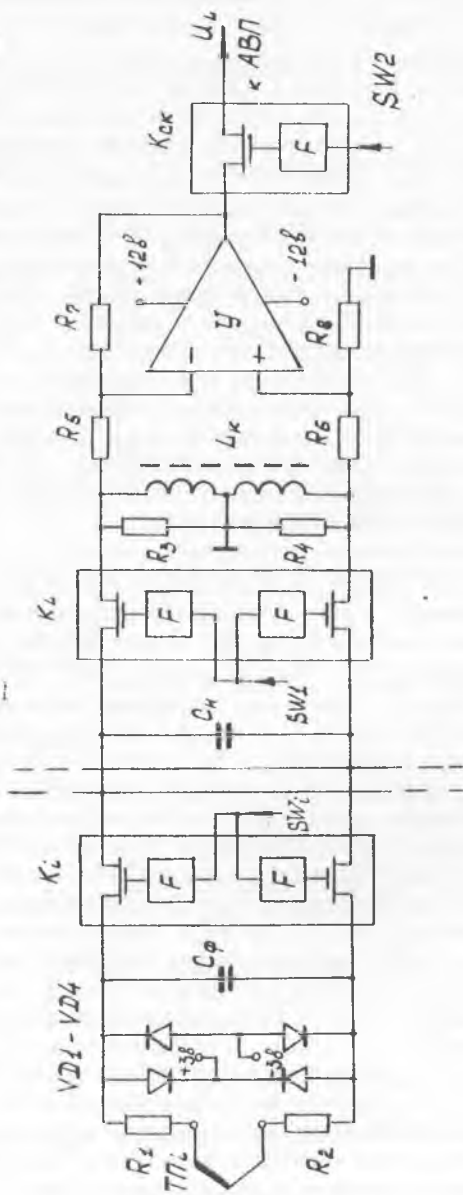


Рис. 2.29. Принципиальная схема КТП

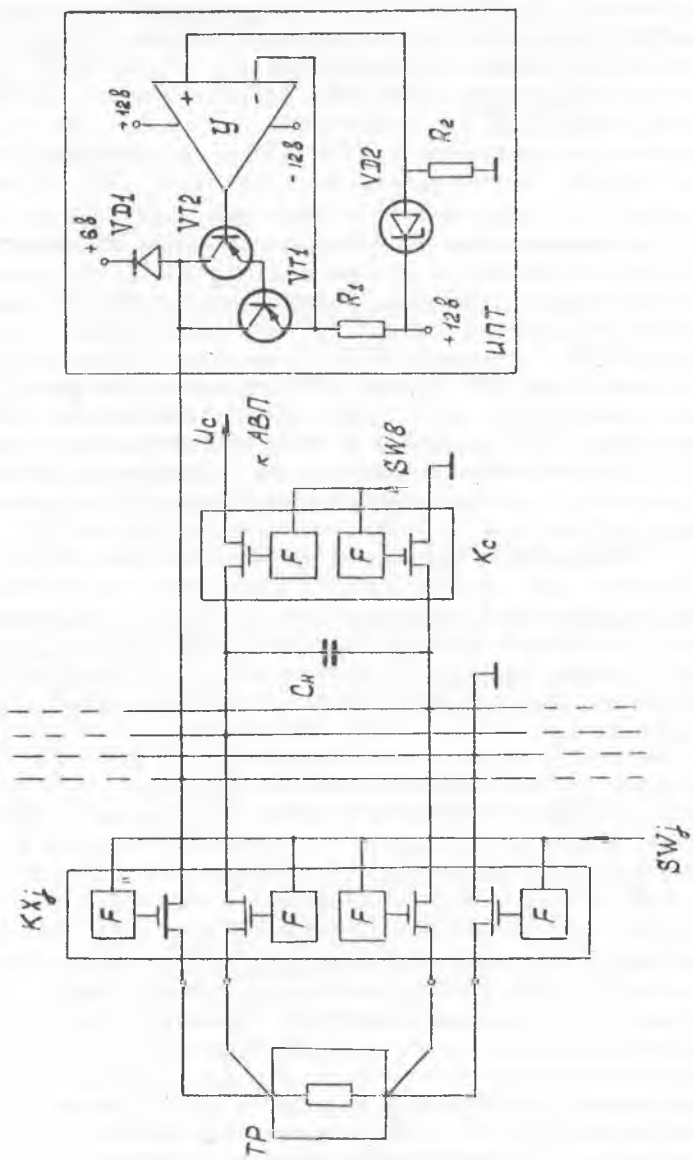


Рис. 2.30. Принципиальная схема КТР

проводной схемы включения ТР, а также четырехполюсной коммутации обеспечивает линейность преобразования и устраняет влияние линии и остаточных параметров ключевых элементов на погрешность преобразования. Для согласования симметричного выхода терморезистора с несимметричным входом АВП служит запоминающий конденсатор  $C_3$  с ключами  $K_c'$ ,  $K_c''$ . При замыкании группы ключей  $KX_j$  по ТР протекает ток  $I$  и конденсатор заряжается до напряжения  $U_c = IR_{tj}$  (где  $R_{tj}$  — сопротивление опрашиваемого ТР). После размыкания ключей  $KX_j$  на короткое время замыкаются ключи  $K_c'$ ,  $K_c''$ , и на вход АВП подается напряжение  $U_c$  в виде импульса. Ключи управляются распределителем РКТР. Переключение распределителя происходит по сигналу с распределителя РКТП после опроса каждой подгруппы термпар. Распределитель РКТР выдает в устройство управления сигнал  $NG$  на переключение чувствительности АВП. Установка РКТР в исходное состояние производится импульсом НР. Схема КТР приведена на рис. 2.30. В качестве ключей  $KX_j$  и  $K_c$  используются микросхемы 143КТ1. Источник тока ИПТ выполнен на базе операционного усилителя 553УД2. Для уменьшения влияния тока управления регулирующей транзистор выполнен составным. Диод  $VD_1$  ограничивает выходное напряжение ИПТ при разомкнутых ключах  $KX_j$ .

**Амплитудно-временной преобразователь (АВП).** АВП предназначен для преобразования амплитуды одиночных импульсов во временной интервал (рис. 2.31). На неинвертирующий вход усилителя подается преобразуемый импульс напряжения  $U_{вх}$ . По мере нарастания напряжения  $U_{вх}$  (передний фронт импульса) усилитель  $У$  через диод  $VD$  заряжает конденсатор  $C$  до напряжения  $U_c = U_{вх}$ . В это время диод  $VD$  открыт и усилитель охвачен стопроцентной отрицательной обратной связью. Напряжение  $U_y$  на выходе усилителя больше  $U_c$  на величину гадения напряжения открытого диода. Как только входное напряжение начнет уменьшаться,  $U_y$  становится меньше  $U_c$ , диод закрывается и обратная связь усилителя разрывается. Усилитель входит в насыщение. Конденсатор  $C$  разряжается постоянным током  $I_D$  от генератора разрядного тока ГРТ. Как только напряжение  $U_c$  становится равным  $U_{вх} = 0$ , усилитель выходит из насыщения, диод  $VD$  открывается и отрицательная обратная связь усилителя восстанавливается. Усилитель поддерживает напряжение на конденсаторе равным входному напряжению.

Время разряда конденсатора до нуля  $t_{авп} = U_{вх} C / I_D$ . В течение времени  $t_{авп}$  усилитель находится в насыщении. С помощью формирователя  $\Phi$  отрицательное напряжение усилителя  $У$  преобразуется в положительный импульс длительностью  $t_{авп}$  пропорциональной амплитуде входного импульса.

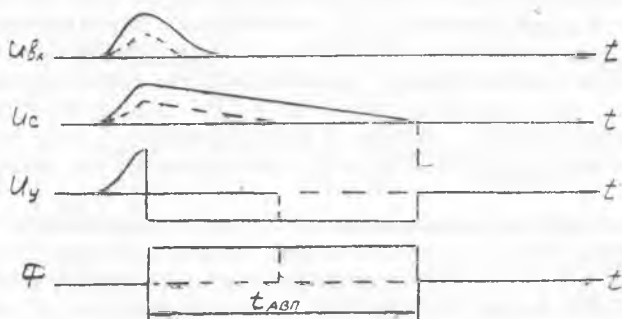
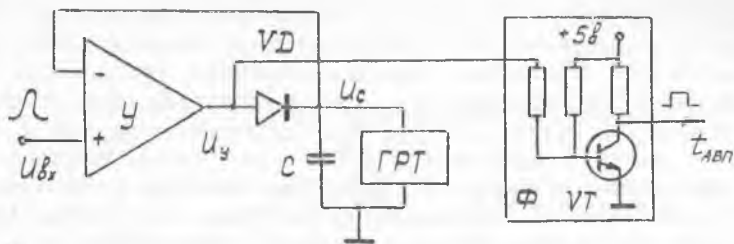


Рис. 2.31. Структурная схема (а) и временные диаграммы работы (б) АВП

Изменяя величину тока  $I_p$ , можно менять коэффициент преобразования АВП.

На схеме АВП (рис. 2.32) заряд конденсатора  $C$  осуществляется усилителем  $Y_1$  (типа 574УД1) через диод  $VD$ . Формиро-

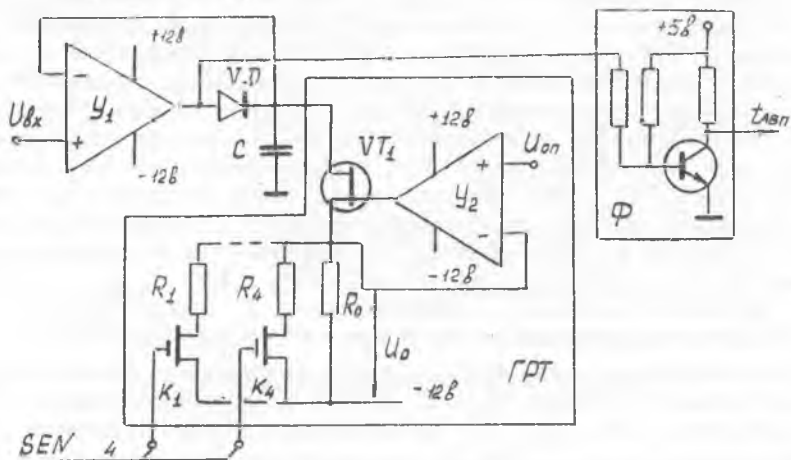


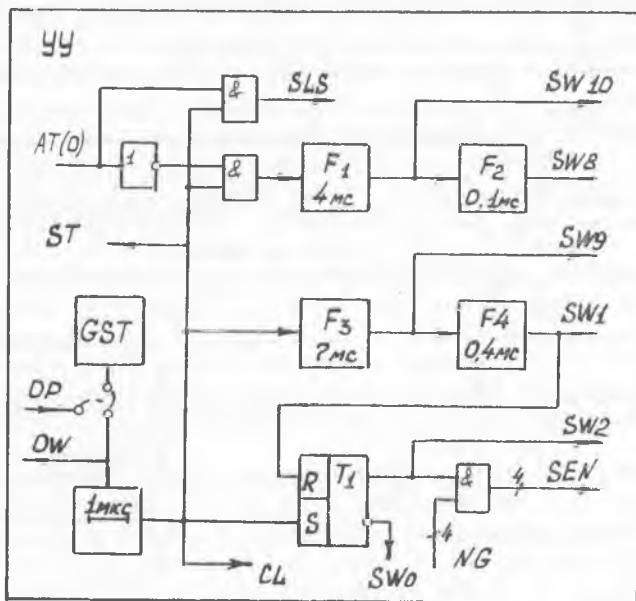
Рис. 2.32. Принципиальная схема АВП

ватель  $\Phi$  временного интервала выполнен на транзисторе  $VT_2$ . Генератор разрядного тока собран на базе операционного усилителя 574УД1. Усилитель с помощью полевого транзистора  $VT_1$  поддерживает напряжение  $U_{оп}$  на резисторе  $R_0$ . Ток разряда конденсатора  $C$  равен  $I_p = U_{оп} / R_0$ . Следовательно, ток и связанная с ним чувствительность АВП может регулироваться путем изменения напряжения  $U_{оп}$  или сопротивления резистора  $R_0$ . В ГСУ используются оба способа регулировки. Устройство автокоррекции чувствительности подстраивает чувствительность ГСУ при опросе источника эталонного напряжения путем изменения напряжения  $U_{оп}$ , с помощью же изменения сопротивления  $R_0$  производится переключение чувствительности при опросе терморезистора для согласования коэффициентов преобразования температуры по каналам КТП и КТР. Сопротивление  $R_0$  меняется ступенчато путем шунтирования резисторами  $R_1 - R_4$  с помощью ключей  $K_1 - K_4$ , выполненных на микросхемах 143КТ1.

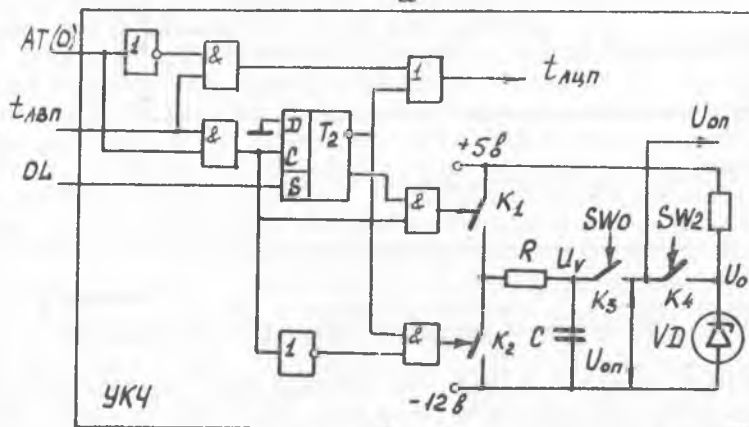
**Устройства управления (УУ) и автокоррекции чувствительности (УКЧ).** УУ осуществляет взаимодействие всех узлов ГСУ (рис. 2.33,а), УКЧ устраняет мультипликативные погрешности КТП путем подстройки чувствительности по результату опроса источника эталонного напряжения (рис. 2.33,б); временные диаграммы их работы представлены на рис. 2.34.

В момент времени  $t_1$  внутренний генератор тактовых импульсов  $GST$  (или внешний генератор по входу  $OP$ ) вырабатывает импульс  $OW$ , по которому результат преобразования предыдущего датчика из АЦП переписывается в БЗУ модуля. В момент времени  $t_2$  вырабатывается импульс  $CL$ , устанавливающий счетчик АЦП в нулевое состояние. Запускаются формирователи  $F_1$  и  $F_3$ , а триггер  $T_1$  устанавливается в единичное состояние. По сигналу  $NG$  с распределителя РКТР вырабатывается сигнал  $SEN$ , устанавливающий чувствительность АВП, соответствующую номеру опрашиваемой группы термомпар. Замыкается ключ  $K_1$  и на генератор разрядного тока АВП подается напряжение  $U_{оп} = U_0$  со стабилитрона  $VD$ . Одновременно распределитель ГКТП (см. рис. 2.28) по сигналу  $ST$  переключается на опрос очередного датчика. Размыкается ключ  $K_{ск}$ , замыкаются ключи  $K_i$ ,  $KX_j$  и конденсаторы  $C_{нi}$ ,  $C_3$  заряжаются до напряжений, соответствующих сигналам датчиков  $ТП_i$  и  $ТР_j$ .

В момент времени  $t_3$  формирователь  $F_1$  выключается и запускается формирователь  $F_2$ . Ключи  $KX_j$  размыкаются,  $K'_c$ ,  $K''_c$  замыкаются и на вход АВП подается напряжение, соответствующее сигналу датчика  $ТР_j$ . В момент  $t_4$  формирователь  $F_2$  выключается, ключи  $K'_c$ ,  $K''_c$  размыкаются и АВП начинает преобразование сигнала  $ТР_j$  во временной интервал до момента  $t_5$ .



а



б

Рис. 2.33. Функциональные схема УУ (а) и УКЧ (б)



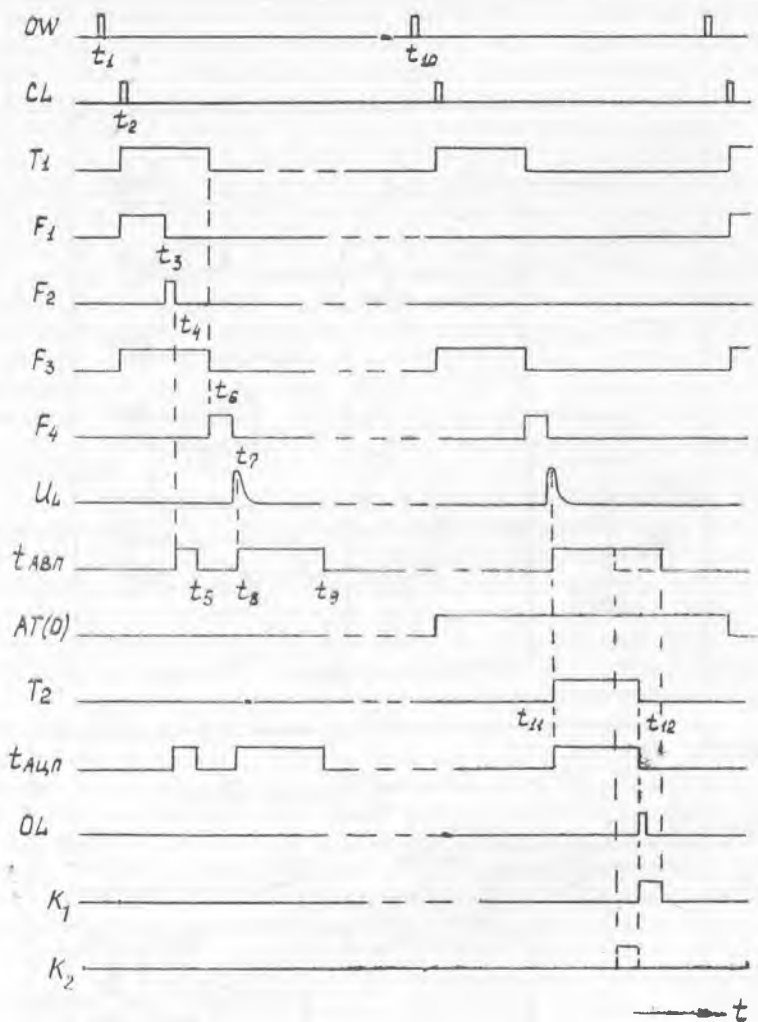


Рис. 2.34. Временные диаграммы работы ГСУ модуля ПСТП

Временной интервал  $t_x = t_5 - t_4$  соответствует температуре холодных спаев  $j$ -й подгруппы термопар. АЦП «время—код» преобразует  $t_x$  в цифровой код.

В момент времени  $t_6$  выключается формирователь  $F_3$  и запускается  $F_4$ . Ключи  $K_i$  размыкаются,  $K'_L$  и  $K''_L$  замыкаются. Конденсатор  $C_n$  разряжается на катушку индуктивности  $L_K$ . Од-

новременно триггер  $T_1$  устанавливается в нулевое состояние, размыкается ключ  $K_4$ , замыкается ключ  $K_3$  и на ГРТ АВП подается напряжение  $U_{оп} = U_V$ . Ключ  $K_{ск}$  (см. рис. 2.33) замыкается.

В момент времени  $t_7$ , когда ток разряда конденсатора  $C_n$  достигает максимального значения, формирователь  $F_4$  выключается, размыкаются ключи  $K'_L, K''_L$  и на катушке индуктивности  $L_K$  возникает импульс напряжения  $U_L$ , амплитуда которого пропорциональна э.д.с. опрашиваемой термопары ТП. АВП преобразует амплитуду этого импульса во временной интервал  $t_r = t_9 - t_8$ . В АЦП «время — код» к цифровому коду, соответствующему сигналу  $TR_i$ , добавляется код, пропорциональный сигналу ТП<sub>*i*</sub>. В результате в АЦП модуля в момент  $t_9$  фиксируется цифровой код, соответствующий только температуре горячего спая термопары. На этом цикл опроса одной термопары заканчивается.

При опросе источника эталонного напряжения  $E_3$  с помощью УКЧ производится автоматическая коррекция чувствительности ГСУ путем изменения напряжения  $U_{оп}$ , а следовательно, и чувствительности АВП.

После опроса всех датчиков в момент времени  $t_{10}$  вырабатывается импульс  $OW$ . Затем АЦП «очищается», а по сигналу  $ST$  распределитель РКТП устанавливается на опрос источника эталонного напряжения  $E_3$ , и на шине  $AT(0)$  появляется единичный уровень. В результате формирователи  $F_1$  и  $F_2$  не запускаются, канал КТР не работает и датчики холодных спаев не опрашиваются. Работает только канал КТП.

В момент времени  $t_{11}$  АВП начинает преобразование амплитуды импульса  $U_L$ , пропорциональной величине  $E_3$ , во временной интервал  $t_{авп}$ . Однако на АЦП «время — код» этот временной интервал не поступает. На вход АЦП подается импульс с выхода триггера Т2, который устанавливается в единичное состояние в момент времени  $t_{11}$ . При переполнении счетчика АЦП импульсами генератора счетных импульсов с него в момент времени  $t_{12}$  поступает сигнал  $OL$ , возвращающий триггер Т2 в исходное состояние. Длительность импульса на выходе триггера Т2  $t_3 = N_0/f_0$  (где  $N_0$  — емкость счетчика,  $f_0$  — частота кварцованного генератора счетных импульсов АЦП «время — код») является эталоном для устройства коррекции чувствительности. Импульсы с выходов триггера Т2 и АВП сравниваются по длительности. Если  $t_3 > t_{авп}$ , то ключ  $K_2$  замыкается на время  $\Delta t = t_3 - t_{авп}$  (см. рис. 2.33). Напряжение  $U_V$  на конденсаторе  $C$  уменьшается на величину, соответствующую интервалу времени  $\Delta t$ , увеличивая тем самым чувствительность АВП. При  $t_3 < t_{авп}$  ключ  $K_1$  замыкается на время  $\Delta t = t_{авп} - t_3$ , увели-

чивая напряжение  $U_V$  и, соответственно, уменьшая чувствительность АВП. При  $t_{\theta} = t_{\text{АВП}}$  чувствительность АВП равна заданной и напряжение  $U_V$  не изменяется.

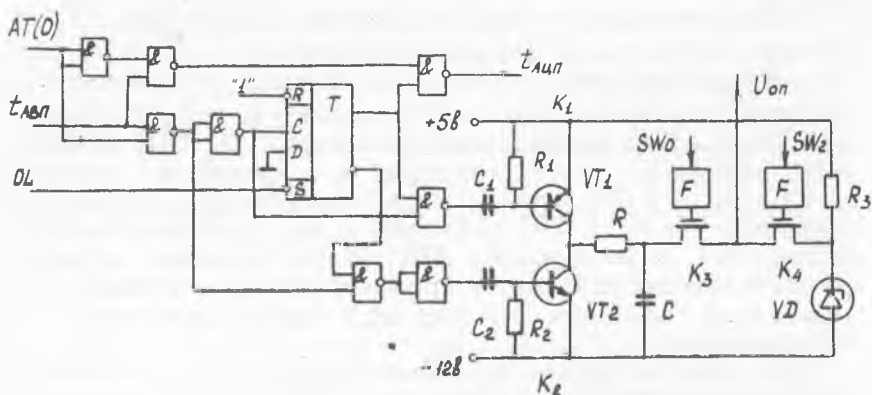


Рис. 2.35. Принципиальная схема УКЧ

На схеме УКЧ (рис. 2.35) ключи  $K_1$  и  $K_2$  собраны на транзисторах  $VT_1$  и  $VT_2$ . В качестве ключей  $K_3$  и  $K_4$  использована микросхема 143КТ1. Стабильное напряжение  $U_0$  снимается со стабилитрона  $VD$  типа Д818Е. Логическая часть схемы УКЧ собрана на микросхемах серии 155 (155ЛА3 и 155ТМ2).

**Уравнение преобразования модуля ПСТП.** Э.д.с. на выходе термопар равна разности э.д.с. «горячего»  $E_r$  и «холодного»  $E_x$  спаев:

$$E = E_r - E_x.$$

При опросе термопары в КТП э.д.с.  $E$  преобразуется в напряжение  $U_L = S_r E$ , где  $S_r$  — чувствительность КТП.

В АВП напряжение  $U_L$  преобразуется во временной интервал  $t_r = S_{\text{АВП}} U_L$  и далее в АЦП — в цифровой код  $N_r = f_0 t_r = = f_0 S_{\text{АВП}} S_r E$ , где  $S_{\text{АВП}}$  — чувствительность АВП,  $f_0$  — частота генератора счетных импульсов.

При опросе датчика температуры  $T_{\text{хс}}$  холодного спая ТП сопротивление  $R_t$  терморезистора преобразуется сначала в напряжение  $U_c = I R_t$ , затем во временной интервал  $t_x = S_{\text{АВП}}^* U_c$  и в цифровой код  $N_x = f_0 t_x = f_0 S_{\text{АВП}}^* I R_t$ , где  $I$  — ток, протекающий через терморезистор,  $S_{\text{АВП}}^*$  — чувствительность АВП при опросе терморезистора.

В результате в счетчике АЦП фиксируется код

$$N = N_r + N_x = f_0 S_{\text{АВП}} S_r (E_r - E_x) + f_0 S_{\text{АВП}}^* I R_t.$$

При настройке модуля в процессе его изготовления подбирают чувствительность  $S_{\text{АВП}}^*$  для различных градуировок термопар (ХК, ХА, ПП) так, чтобы  $\int_0 S_{\text{АВП}}^* IR_t - \int_0 S_{\text{АВП}} S_T E_x = N_0$ , причем  $E_T = f(T_{\text{гс}})$  при  $T_x = 0^\circ\text{C}$ , следовательно, уравнение преобразования для модуля ПСТП примет вид

$$N = N_0 + SE,$$

где  $E$  — э.д.с. термопары при  $T_{\text{гс}} = 0^\circ\text{C}$ ,

$S = S_{\text{АВП}} S_T f_0$  — чувствительность модуля.

Технические характеристики модуля ПСТП и значения  $N_0$ ,  $S$  приведены в табл. 2.7.

#### 2.4.7. Групповое согласующее устройство для индуктивных датчиков

ГСУ используется в модуле ПСИД и предназначено для преобразования параметров дифференциальных индуктивных датчиков во временной интервал. В рассматриваемом ГСУ, так же как и в ГСУ для терморезисторов, реализуется «метод постоянной времени». В ГСУ используется трехпроводная схема включения дифференциального датчика с поочередным опросом плеч и вычитанием результатов преобразования в кодовом виде в АЦП «время—код». Для повышения чувствительности преобразования применяется многократный опрос датчика с суммированием результатов в АЦП. Датчики представлены в виде последовательно соединенных индуктивности  $L_i$  и активного сопротивления  $R_i$  (рис. 2.36), временная диаграмма работы ГСУ приведена на рис. 2.37. Установка коммутатора в исходное состояние может производиться внешним импульсом ИР. Частота опроса датчиков задается внутренним генератором тактовых импульсов ( $GST$ ), либо внешним генератором (импульсами ОР). Тактовым импульсом  $OW$  производится запись содержимого счетчика АЦП (результат предыдущего опроса) в БЗУ по адресу, задаваемому распределителем (Р) коммутатора. Задержанным тактовым импульсом  $CL$  счетчик циклов СТ и счетчик АЦП устанавливаются в нулевое состояние, распределитель подготавливается к опросу очередного  $i$ -го датчика, триггер  $T_1$  устанавливается в единичное состояние. Начинается первый такт преобразования (опрос первого плеча датчика  $L'_i$ ). Замыкается ключ  $K_i$ , и в цепи  $L'_i R'_i R_0$  нарастает ток, а следовательно, и напряжение  $U_R$  на резисторе  $R_0$ . Через время  $t_{n1} = \frac{L'_i}{R'_i + R_0} \times \ln \frac{1}{1 - (R_0 + R'_i) U_{\text{он}} / R_0 E}$  напряжение  $U_R$  достигает опорного уровня и устройство сравнения напряжений УСН возвращает

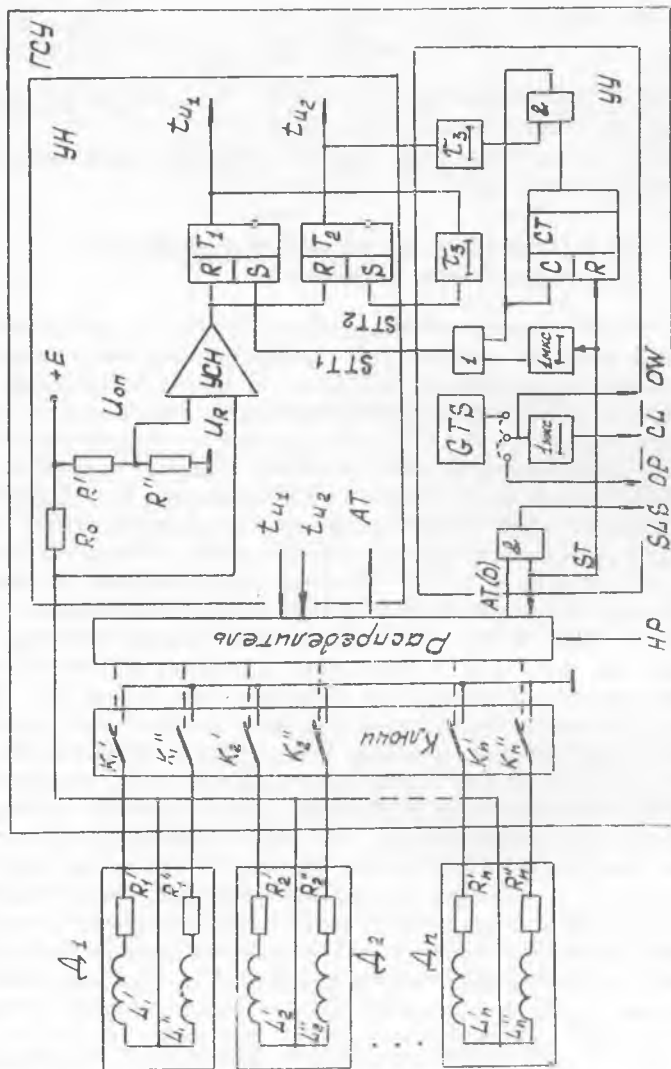


Рис. 2.36. Структурная схема ГСУ модуля ПСИД

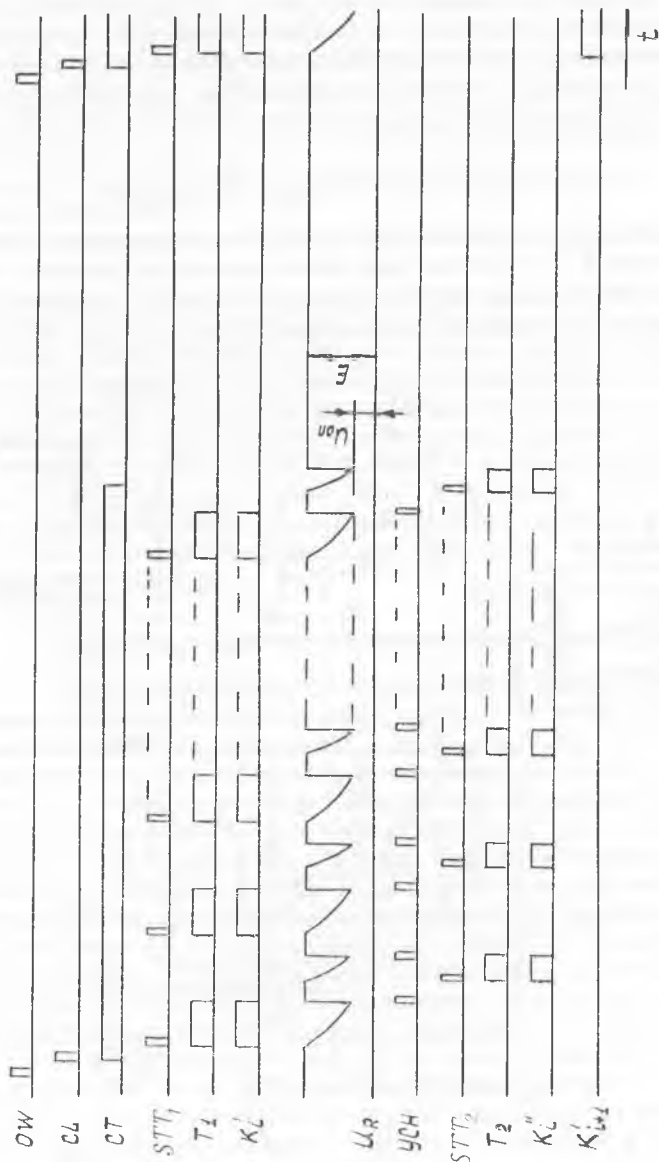


Рис. 2.37. Временные диаграммы работы ГСУ модуля ПСИД

триггер  $T_1$  в нулевое состояние. Размыкается ключ  $K'_i$ , и ток в контуре  $L'_i R'_i R_0$  быстро уменьшается до нуля. Через время  $t_3$ , достаточное для разряда контура  $L'_i R'_i R_0$ , триггер  $T_2$  устанавливается в единичное состояние. Начинается второй такт преобразования (опрос второго плеча датчика  $L^i$ ). Замыкается ключ  $K''_i$ , и в цепи  $L''_i R''_i R_0$  нарастает ток, а на резисторе  $R_0$  — напряжение  $U_R$ . Через время

$$t_{н2} = \frac{L''_i}{R''_i + R_0} \ln \frac{1}{1 - (R_0 + R''_i) U_{он} / R_0 E}$$

УСН возвращает триггер  $T_2$  в нулевое состояние. Размыкается ключ  $K''_i$ . На этом один цикл опроса  $i$ -го датчика заканчивается. В счетчике АЦП фиксируется код, соответствующий разности  $\Delta t_{н}$  временных интервалов  $t_{н1}$  и  $t_{н2}$ . Если  $R'_i = R''_i =$

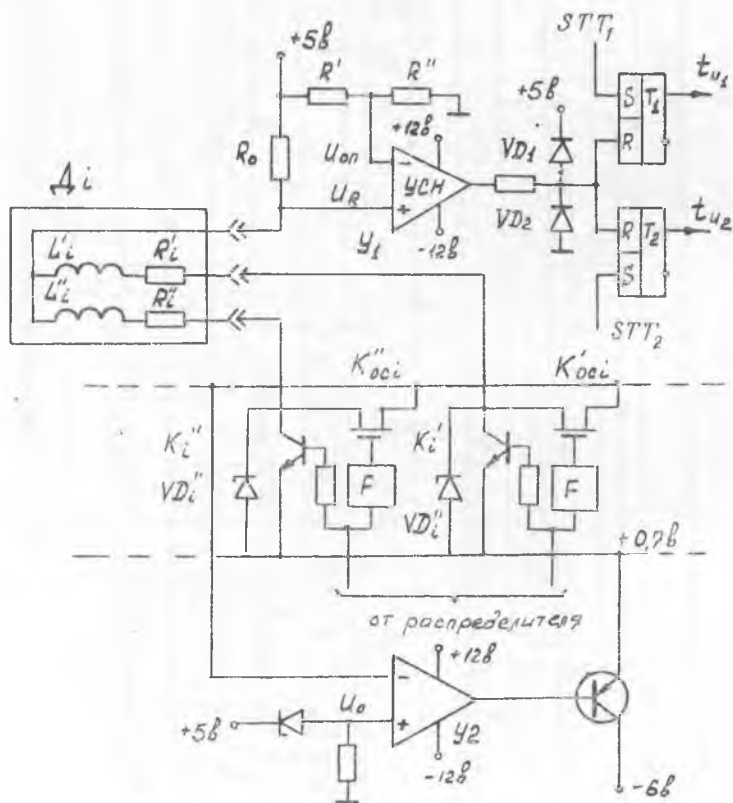


Рис. 2.38. Принципиальная схема измерительных цепей ГСУ модуля ПСИД

$$= R_i, \text{ то } N = (L_i' - L_i'') S_L, \text{ где } S_L = \frac{I_0}{R_i + R_0} \ln \frac{1}{1 - (R_0 + R_i) U_{\text{он}} / R_0 E},$$

$i_0$  — частота генератора в АЦП. Через время  $\tau_3$  триггер  $T_1$  снова устанавливается в единичное состояние, и цикл опроса  $i$ -го датчика повторяется. Подсчет циклов опроса осуществляется счетчиком СТ. Как только количество циклов достигает заданного числа  $n$ , опрос датчика прекращается. В счетчике АЦП фиксируется код  $N_\Sigma = (L_i' - L_i'') S_\Sigma$ ,  $S_\Sigma = n S_L$ . Необходимая чувствительность ГСУ задается установкой соответствующей емкости счетчика циклов СТ.

Очередной импульс  $GST$  производит опрос  $(i + 1)$ -го датчика.

Упрощенная принципиальная схема измерительных цепей ГСУ представлена на рис. 2.38. Здесь изображены измерительные ключи коммутатора только для одного датчика. Коммутатор рассматриваемого ГСУ аналогичен коммутатору ГСУ ПСТР. Стабилитроны  $VD_i$  ограничивают напряжение на ключах  $K_i$  при их размыкании. В качестве измерительных ключей  $K_i$  используются транзисторы микросхемы 149КТ1, ключей обратной связи  $K_{\text{ос } i}$  — интегральные ключи 143КТ1 на основе МОП-транзисторов, усилителей  $У_1$  и  $У_2$  — интегральные операционные усилители 553УД2. Технические характеристики модуля ПСИД приведены в табл. 2.7.

#### 2.4.8. Групповой преобразователь напряжений (ГПН)

ГПН используется в модуле ПН и предназначен для преобразования сигналов высокого уровня, в том числе сигналов потенциометрических датчиков и датчиков ИКД. Постоянное напряжение 0—5 В преобразуется в прямоугольный импульс, амплитуда которого в амплитудно-временном преобразователе (АВП) преобразуется во временной интервал (рис. 2.39, а).

Частота опроса задается внешним или внутренним генератором тактовых импульсов ( $GST$ ). Тактовым импульсом  $OW$  производится запись содержимого счетчика АЦП (результат предыдущего опроса) в БЗУ модуля по адресу  $AT$ , задаваемому распределителем  $P$  коммутатора. Задержанным тактовым импульсом  $CL$  счетчик АЦП устанавливается в нулевое состояние, а распределитель замыкает ключ очередного  $i$ -го входа ГПН. Затем формирователь  $F$  на короткое время замыкает ключ  $K$ , в результате на вход АВП поступает преобразуемое напряжение  $U_i$ . После размыкания ключа АВП преобразует это напряжение во временной интервал. АВП по структуре и принципу работы аналогичен амплитудно-временному преобразователю



ГСУ для термопар, однако чувствительность АВП ГПН не регулируется. Эталонирование в ГПН не используется.

При необходимости установка распределителя Р в исходное состояние может производиться внешним кадровым импульсом.

Поочередное подключение преобразуемых напряжений осуществляется с помощью микросхем  $MC_1—MC_k$  типа 590КН1, представляющих собой 8-ходовые коммутаторы аналоговых сигналов (рис. 2.39,б). АВП собран на базе операционных усил-

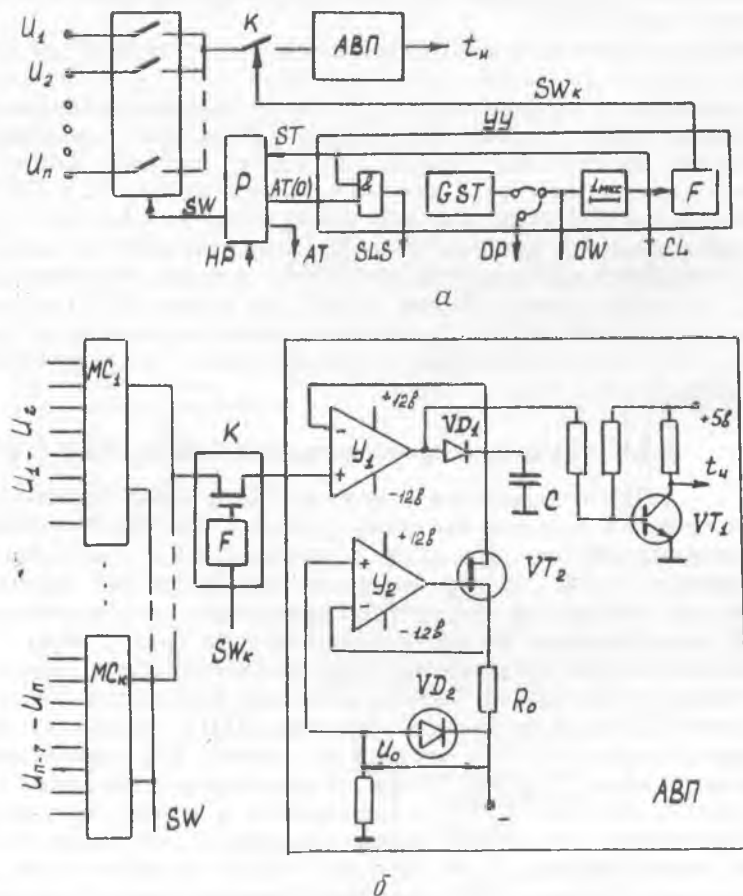


Рис. 2.39. Структурная схема ГПН (а) и принципиальная схема его измерительных цепей (б)

лителей 574УД1. В качестве ключа К используется микросхема 143КТ1. Устройство управления ГПН собрано на микросхемах серии 155.

Уравнение преобразования модуля ПСИД имеет вид

$$N_i = U_i S_u,$$

где  $S_u$  — чувствительность. Технические характеристики модуля приведены в табл. 2.7.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДРОССЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГТД

Измерительно-вычислительный комплекс ИВК-1-микро (ИВК-1-М) предназначен для автоматизированного сбора, преобразования и обработки информации в темпе испытаний ГТД. ИВК-1-М обеспечивает решение одной из задач экспресс-анализа — получение дроссельных характеристик ГТД. Предусматривается развитие ИВК-1-М на решение других задач экспресс-анализа, к которым, в частности, относится определение ряда термогазодинамических характеристик.

ИВК-1-М выполнен на базе микро-ЭВМ «Электроника-60» (15ВМ16), крейта КАМАК и внешних устройств (рис. 3.1). ЭВМ представляет собой набор устройств, связанных между собой общей шиной (табл. 3.1). Для управления ЭВМ используются внешние устройства (табл. 3.2). Связь ИВК-1-М с объектом осуществляется с помощью крейта КАМАК и набора модулей (табл. 3.3).

Таблица 3.1

Устройства, подключенные к общей шине микро-ЭВМ

Наименование устройства	Тип	Кол-во	Примечание
Центральный процессор	М2	1	
Запоминающее устройство	П3	1	16К шестнадцатиразрядных слов
Устройство управления	В1	1	Для подключения ЭПМ Consul-260 и фотосчитывателя FS-1501
Устройство управления	В21	1	Модифицируется для подключения АЦПУ DARO
Устройство сопряжения КАМАК-15ВМ-16-004	—	1	

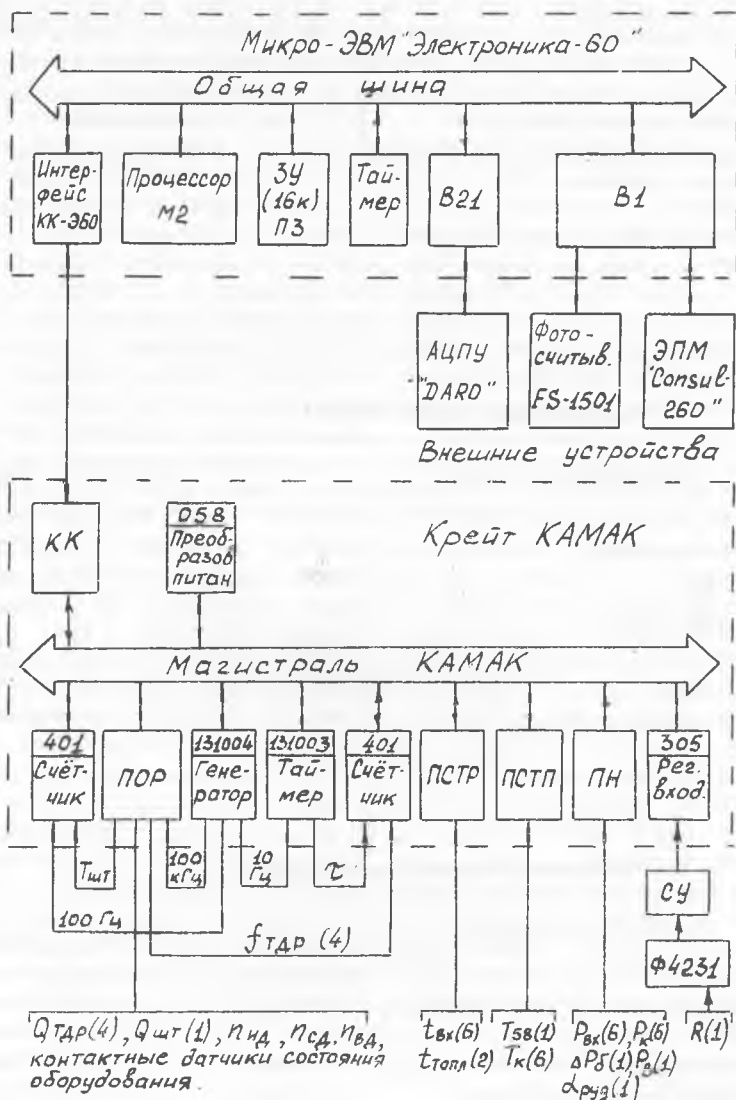


Рис. 3.1. Структурная схема ИВК-1-М

Таблица 3.2

## Внешние устройства ИВК-1-М

Наименование устройства	Тип	Кол-во	Примечание
Электрифицированная пишущая машина (ЭПМ)	<i>Consul-260</i>	1	Используется как средство диалога
Алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ)	<i>DARO-1156</i>	1	Используется для печати протокола
Устройство ввода с перфоленты	<i>FS-1501</i>	1	

Таблица 3.3

## Промышленные модули КАМАК

Наименование модуля	Тип	Кол-во	Ширина
Крейт-контроллер	КК	1	2М
Счетчики	401	2	1М
Входной регистр	305	1	1М
Таймер	131003	1	1М
Генератор	131004	1	1М
Преобразователь питания 24/12	058	1	2М

Таблица 3.4

## Специализированные модули КАМАК

Наименование модуля	Тип	Кол-во	Ширина
Преобразователь сигналов терморезисторов	ПСТР	1	2М
Преобразователь сигналов термопар	ПСТП	1	2М
Преобразователь напряжений	ПН	1	1М
Преобразователь оборотов и расхода	ПОР	1	2М

Специализированные модули КАМАК (табл. 3.4) предназначены для группового преобразования сигналов с терморезисторов (ТР), термопар (ТП) и измерительных комплексов давления (ИКД). Модули преобразуют дискретные сигналы состояния оборудования, сигналы в виде интервалов времени с штихпробера и частоты с датчиков оборотов (ДТ) и расхода (ТДР) (рис. 3.2). Преобразование сигналов датчиков тяги (ТВС) ведется с помощью прибора Ф4231 и согласующего устройства (СУ), расположенных вне крейта КАМАК. Выходной сигнал СУ поступает на модуль «Входной регистр» (305).

Программное обеспечение ИВК-1-М реализует алгоритмы сбора и преобразования, первичной и вторичной обработки измерительной информации, печати протокола, а также алгоритмы оперативного взаимодействия оператора с системой. В состав программного обеспечения входят также программы градуировки и аттестации модулей КАМАК, программы подготовки исходных данных. Алгоритмы преобразования измерительной информации включают преобразование объемного расхода и частот вращения роторов ГТД.

При измерении расхода с помощью штихпробера время выработки эталонного объема преобразуется в цифровой код с помощью модулей ПОР, «Генератор 131004», «Счетчик 401». На форсажных режимах, а также при аварийном останове или переливе штихпробера объемный расход измеряется с помощью датчиков ТДР. При этом используется метод преобразования в код «средних значений» частоты. В преобразовании участвуют модули ПОР, «Таймер 131003», «Счетчик 401».

Преобразование частот вращения роторов в код производится с помощью метода «мгновенных значений». В системе используются низкочастотные датчики ДТ, сигнал которых подается на модуль ПОР. В преобразовании участвует модуль «Генератор 131004». Предусмотрена возможность усреднения нескольких периодов, причем значения множителя числа периодов могут устанавливаться оператором в процессе подготовки системы к работе. Опрос модулей, осуществляющих преобразование сигналов датчиков температуры, давления и тяги, производится во время работы штихпробера, причем каждый датчик опрашивается многократно для последующей отбраковки результатов преобразования и усреднения их во времени. Кратность опроса также устанавливается оператором в процессе подготовки системы к работе.

Алгоритмы первичной обработки включают отбраковку грубых выбросов в результатах преобразования путем предварительного усреднения и оценки отклонения от сред-

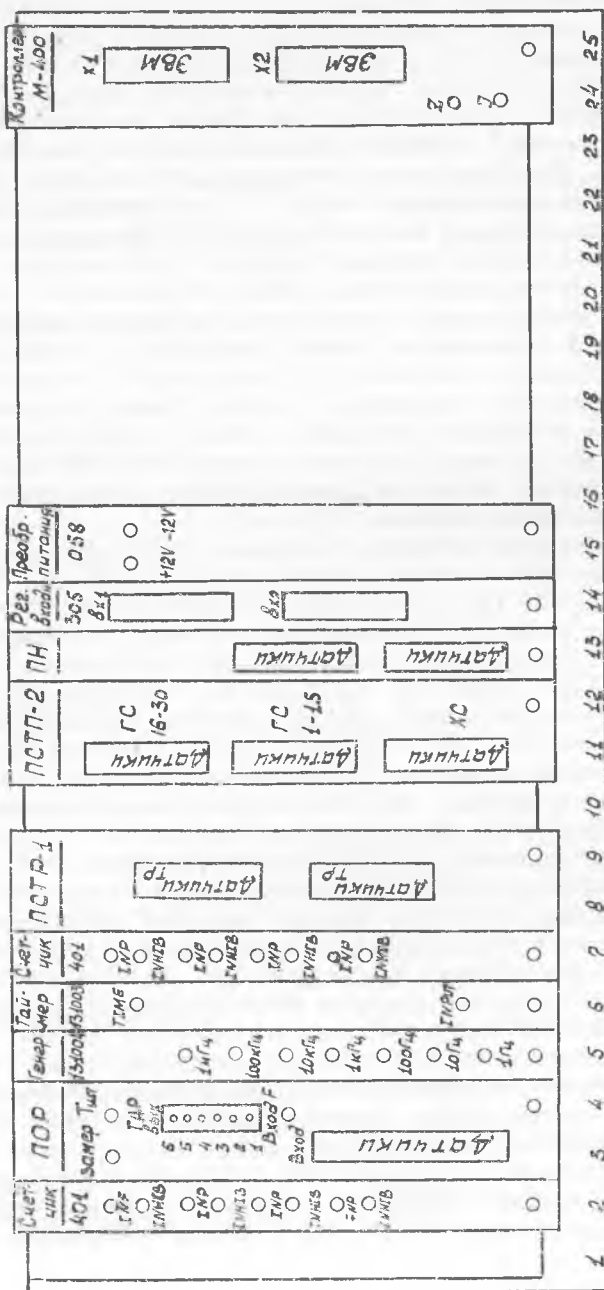


Рис. 3.2. Размещение модулей в крейте ИВК-1-М

него, а также усреднения во времени сохранившихся после отбраковки результатов преобразования.

Алгоритмы вторичной обработки включают: получение физических значений непосредственно измеренных параметров температуры и давления в различных сечениях ГТД (табл. 3.5), тяги, частот вращения роторов, объемного расхода топлива, угловых перемещений и текущего времени;

усреднение по сечениям входных температур и давлений, а также температур и давлений воздуха за компрессором высокого давления;

вычисление параметров ГТД: массового расхода топлива по объемному расходу и плотности топлива с учетом его температуры, удельного расхода по массовому расходу и тяге, статиче-

Таблица 3.5

Определяемые параметры

Наименование	Обозначение	Кол-во	Вид датчика
Температура воздуха: на входе	$t_{вх}$	6	терморезистор
за компрессором высокого давления	$T_k$	6	термопары
Температура газа в 4-м сопловом аппарате турбины	$T_{в8}$	1 (30)	термопары
Температура топлива	$t_{топл}$	2	терморезистор
Давление:			
воздуха на входе	$P_{вх}$	6	ИКД
в боксе	$\Delta P_б$	1	ИКД
за вентилятором	$P_в$	1	ИКД
за компрессором	$P_k$	6	ИКД
Объемный расход топлива	$Q_{шт}$	1	штихпробер
Частота вращения ротора компрессора:	$Q_{ТДР}$	4	ТДР
низкого давления	$n_{нд}$	1	ДТ
среднего давления	$n_{сд}$	1	ДТ
высокого давления	$n_{вд}$	1	ДТ
Угловые перемещения ручки управления двигателем	$\alpha_{руч}$	1	потенциометр
Тяга двигателя	$R$	1	ТВС
Текущее время			таймер 15ВМ16



ской степени повышения давления в вентиляторе по давлениям воздуха за вентилятором и в окружающей среде, температуры газа в критическом сечении 1-го соплового аппарата по температурам и давлениям воздуха за компрессором высокого давления и массовому расходу топлива;

приведение к стандартным атмосферным условиям частот вращения роторов, массового и удельного расходов топлива, температуры газов в 4-м сопловом аппарате турбины и в критическом сечении 1-го соплового аппарата;

нормализацию параметров на максимальном и форсированных режимах (частоты вращения роторов, тяги, массового расхода топлива, температуры газов в 4-м сопловом аппарате). Расчет температур, давлений, усилий и объемного расхода (при использовании ТДР) ведется с помощью градуировочных характеристик в виде полиномов, степень которых не выше третьей. Вычисление массового и удельного расхода, статической степени повышения давления в вентиляторе, температуры газа в критическом сечении 1-го соплового аппарата, приведение и нормализация параметров ведется в соответствии с расчетными соотношениями, приведенными в литературе [13].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н. Датчики контроля и регулирования. — М.: Машиностроение, 1965. — 928 с.
2. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5./Под ред. П. В. Новицкого. — Л.: Энергия, 1975. — 576 с.
3. Нуберт Г. П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин. — Л.: Энергия, 1970. — 360 с.
4. Браславский Д. А., Логунов С. С., Пельпор Д. С. Авиационные приборы и автоматы. — М.: Машиностроение, 1978. — 427 с.
5. Гордов А. Н. Основы пирометрии. — М.: Металлургия, 1971. — 471 с.
6. Геращенко О. А., Федоров В. Г. Тепловые и температурные измерения. Справочное руководство. — Киев: «Наукова думка», 1965. — 304 с.
7. Никитюк Н. М. Программно-управляемые блоки в стандарте КАМАК. — М.: Энергия, 1977. — 152 с.
8. КАМАК — системы автоматизации в экспериментальной биологии и медицине. Отв. ред. Ю. Е. Нестерихин. — Новосибирск: Наука, 1978. — 272 с.
9. ГОСТ 26.201-80. ЕССП. Система КАМАК. Крейт и сменные блоки. Требования к конструкции и интерфейсу.
10. Автоматизация испытаний и контроля авиационных ГТД/Под ред. Г. П. Шибанова. — М.: Машиностроение, 1977. — 280 с.
11. Витих В. А., Скобелев О. П. Модули КАМАК для группового преобразования сигналов датчиков. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по измерительным информационным системам ИИС-81. Ч. 3. — Львов.: Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии измерительных и управляющих систем, 1981, с. 51—53.
12. Скобелев О. П. Методы преобразования и устройства сбора измерительной информации: Учебное пособие. — Куйбышев: КуАИ, 1980. — 84 с.
13. Солохин Э. Л. Испытание авиационных воздушно-реактивных двигателей. — М.: Машиностроение, 1975. — 356 с.

# СОДЕРЖАНИЕ

---

Предисловие . . . . .	3
Глава 1. Датчики в АСНИ ГТД . . . . .	6
1.1. Датчики температуры . . . . .	6
1.2. Датчики давления . . . . .	10
1.3. Датчик силоизмерительный . . . . .	17
1.4. Датчики оборотов . . . . .	18
1.5. Турбинный датчик расхода . . . . .	21
Глава 2. Аппаратура КАМАК в АСНИ ГТД . . . . .	23
2.1. Принципы построения системы КАМАК . . . . .	23
2.2. Системы экспресс-анализа на базе КАМАК и микро-ЭВМ . . . . .	29
2.3. Специализированный модуль для преоб- разования дискретных сигналов, сигналов датчиков оборотов и расхода . . . . .	36
2.4. Специализированные модули КАМАК для преобразования аналоговых сигналов. . . . .	45
Глава 3. Измерительно-вычислительный комплекс для получения дроссельных характе- стик ГТД . . . . .	82
Литература . . . . .	88

Св. план 1983, поз. 1008

*Вячеслав Константинович Компанец,  
Олег Петрович Скобелев*

Технические средства АСНИ ГТД  
на базе КАМАК и микро-ЭВМ

Учебное пособие

Редактор Е. Д. Антонова  
Техн. редактор Н. М. Калениук  
Корректор Н. С. Купринова

Сдано в набор 19.05.83 г. Подписано в печать 14.07.1983 г. ЕО 00206.  
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная белая.  
Высокая печать. Литературная гарнитура.  
Усл. п. л. 5,35. Уч.-изд. л. 5,0. Т. 500 экз.  
Заказ 438. Цена 15 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С. П. Королева  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18