

• • •
“ ”

Лабораторный практикум по курсу

Составитель: проф. Колпаков Ф.Ф.

ХАРЬКОВ
2004 г.

(Теоретический базис лабораторных работ №1, №2)

Определим характеристики пьезорезонансных датчиков давления, построенных по принципу модуляции межэлектродного зазора.

В соответствии с (Альтшуллер Г. Б. Управление частотой кварцевых генераторов. — М.: Связь, 1975, с.28) частота кварцевого резонатора $f(x)$, возбуждаемого в межэлектродном зазоре, равна:

$$f(x) = f_0 \sqrt{1 + m / (1 + h_{\text{ПЭ}} / (\epsilon_{\text{ПЭ}} x))} = f_0 (1 + 0.5m / (1 + h_{\text{ПЭ}} / (\epsilon_{\text{ПЭ}} x))); \quad m = C_q / C_0, \quad (1)$$

$$x = x_0 - x_m, \quad (2)$$

где x , x_0 , x_m , — текущий и начальный зазор между мембраной и кварцевым пьезоэлементом, а также ход мембраны под действием измеряемого давления соответственно; f_0 - номинальная частота кварцевого пьезоэлемента при $x=0$; m , $h_{\text{ПЭ}}$, $\epsilon_{\text{ПЭ}}$ — емкостное отношение, толщина и диэлектрическая проницаемость кварцевого пьезоэлемента соответственно. Из (1) найдем относительную информативную девиацию частоты измерительного сигнала:

$$\delta_F(x) = (f(x) - f_0) / f_0 = 0.5m \cdot x / (x + a) \quad (3)$$

а также крутизну S_F характеристики $\delta_F(x)$ датчика, для чего продифференцируем выражение (3) по x :

$$S_F = 0.5ma / (x + a)^2 \quad (4)$$

Здесь

$$a = h_{\text{ПЭ}} / \epsilon_{\text{ПЭ}} = N / (f_0 \cdot \epsilon_{\text{ПЭ}}) \quad (5)$$

— параметр кварцевого пьезоэлемента, N - его частотный коэффициент.

Величины параметров m , N , $\epsilon_{\text{ПЭ}}$ определяются типом среза кварцевого пьезоэлемента (Ballato Arthur. Doubly rotated Thickness mode vibrators // Physical Acoustics. Principles and Methods. 1977.-Vol.13,p.139,168). Поэтому из (3), (4) следует, что δ_F , S_F зависят лишь от величины текущего зазора x , изменяющегося под действием измеряемого давления, и значения рабочей частоты f_0 . Для увеличения информативной девиации частоты в датчиках необходимо использовать резонаторы АТ-среза, у которых емкостное отношение m максимально (Ballato Arthur. Doubly rotated Thickness mode vibrators // Physical Acoustics. Principles and Methods. 1977.

-Vol.13.p.168), причем форма пьезоэлемента должна быть плоской, так как в линзовых пьезоэлементах величина m значительно ниже (Пьезоэлектрические резонаторы / Справочник / В.Г.Андросова, Е.Г. Бронникова. А.М.Васильев и др. -М. : Радио и связь. 1992, с. 178). Диапазон рабочих частот должен составлять 1...30 МГц, в пределах которого резонаторы АТ-среза работают на первой механической гармонике. На частотах же выше 30 МГц в качестве рабочих используются третья и более высокие механические гармоники кварцевого пьезоэлемента, для которых величина емкостного отношения уменьшается пропорционально квадрату номера гармоники (Пьезоэлектрические резонаторы/ Справочник/ В.Г. Андросова, Е.Г. Зронникова. А.М.Васильев и др. -М.: Радио и связь, 1993. с.178, 180).

Рассчитанные по формулам (3), (4), (5) значения δ_F и S_F при использовании в датчиках плоских пьезоэлементов АТ-среза с параметрами $m = 6.29 \cdot 10^{-3}$, $N = 1661 \text{кГц/мм}$, $\epsilon_{\text{ПЭ}} = 4,5$ (Ballato Arthur. Doubly rotated Thickness mode vibrators // Physical Acoustics. Principles and Methods. 1977. -Vol. 13, p. 115-181) для различных частот f_0 сведены в таблицу.

Таблица 1

	МГц	x, мкм								
		0	10	20	30	40	60	80	100	200
$S_F \cdot 10^{-8} / \text{мкм}$	1	8.5	8.06	7.65	7.27	6.92	6.29	5.75	5.27	3.58
	5	42.5	33	26.3	21.5	17.9	13	9.8	7.7	3.1
	10	85	52.7	35,8	25.9	19.6	12.4	8.5	6.2	2.07
	30	262	78	36.9	21.4	14	7.3	4.5	3	0.84
$\delta_F \cdot 10^{-3}$	1	0	0.08	0.16	0.24	0.31	0.44	0.56	0.67	1.1
	5	0	0.37	0.67	0.91	1.1	1.41	1.63	1.81	2.3
	10	0	0.67	1.1	1.4	1.63	1.94	2.15	2.3	2.65
	30	0	1.43	1.97	2.25	2.42	2.62	2.73	2.8	2.97

Из таблицы видно, что крутизна характеристики преобразования перемещения мембраны в частоту датчика S_F максимальна при $x=0$ и прямо пропорциональна рабочей частоте f_0 , а с увеличением зазора крутизна уменьшается. Для каждого значения рабочей частоты f_0 можно выделить область значений межэлектродного зазора x , в пределах которой

режим работы датчика будет наиболее эффективным. Критерием верхней границы этой области является достижение величины информативной девиации частоты датчика значения, равного

$$\delta_F = 0,5 \cdot \delta_{F_{\text{MAX}}},$$

где $\delta_{F_{\text{MAX}}} = 0.5\text{m}$ — предельная девиация частоты пьезорезонансного датчика с вариацией межэлектродного зазора при действии измеряемого давления, которая может быть достигнута при $x = \infty$ (см. (3)). Строго говоря, формулы (3), (4) не приемлемы при $x = \infty$ и справедливы до некоторой критической величины $x_{\text{кр}}$. Для резонаторов с пьезоэлементами АТ-среза эта величина в десятки-сотни раз превышает толщину пьезоэлемента $h_{\text{ПЭ}}$ и область применения x составляет $0 \leq x < x_{\text{кр}}$. Учитывая же необходимость на практике согласовать противоречивые требования получения максимальной девиации частоты при сохранении достаточной активности кварцевого резонатора и возможно меньшей нелинейности градуировочной характеристики датчика, целесообразно ограничить величину $x_{\text{max}} < x_{\text{кр}}$ так, чтобы в рабочей области крутизна этой характеристики изменялась бы не более, чем в четыре раза. Так, для датчиков, в которых используются пьезоэлементы с частотой f_0 вблизи 5 МГц, 10 МГц и 30 МГц рабочая область значений зазора составляет 0...74 мкм, 0...37 мкм и 0...12 мкм соответственно. В последнем случае использование датчиков, не содержащих органов механической подстройки, технологически затруднено в связи с необходимостью установки и контроля с высокой точностью незначительного по величине начального зазора ($x_0 \approx 12$ мкм), а также сложности формирования и преобразования частотного информационного сигнала микроэлектронными устройствами широкого применения.

Таким образом, в рассматриваемых датчиках с целью обеспечения высокой точности измерений за счет повышения крутизны характеристики преобразования и уменьшения хода мембраны (снижения погрешности гистерезиса) необходимо применять кварцевые плоские пьезоэлементы АТ-среза, работающие на частотах $5\text{МГц} < f_0 < 30\text{МГц}$. При этом эффективная область рабочих значений зазора соответствует $x = x_0 - x_m = 0...50$ мкм. Если известна величина максимального хода мембраны $x_{m_{\text{MAX}}}$ под действием измеряемого давления, то величину начального зазора x_0 необходимо выбирать из условия:

$$x_0 - x_{m_{\text{MAX}}} = \Delta, \quad (6)$$

где Δ — величина, которая в идеале должна быть равна нулю, а на практике составляет 1...2 мкм.

Рассмотрим конкретный практический пример. Пусть в датчике-прототипе используется кварцевый пьезоэлемент АТ-среза с рабочей частотой $f_0 = 10$ МГц и плоская

монокристаллическая мембрана. По критерию Бехмана (Пьезоэлектрические резонаторы/ Справочник/ В.Г.Андросова, Е.Г. Бронникова, А.М.Васильев и др. -М.: Радио и связь, 1992. с. 172) из условия большого ослабления побочных резонансов диаметр $d_{\text{ПЭ}}$ такого пьезоэлемента выбирается согласно выражению $d_{\text{ПЭ}}/d_{\text{э}} \geq 3$, а диаметр электрода $d_{\text{э}}$ из соотношения $d_{\text{э}}/h_{\text{ЭП}} \approx 18$. Значение толщины пьезоэлемента равно $h_{\text{ПЭ}} = N/f_0 = 1661 \text{ кГц}/10000 \text{ кГц} = 0,166 \text{ мм}$ и, соответственно, $d_{\text{ПЭ}} \geq 9 \text{ мм}$. Серийно выпускаемые кварцевые пьезоэлементы АТ-среза с частотой $f_0 = 10 \text{ МГц}$ имеют диаметр (8...14) мм. В рассмотренных типах датчиков для улучшения развязки колебаний активной области пьезоэлемента от его краев с учетом того, что он по периметру приклеивается к кварцедержателю, желательно использовать пьезоэлементы с диаметром $d_{\text{ПЭ}} = 12 \text{ мм}$. В соответствии с конструкцией устройства-прототипа диаметр кремниевой мембраны меньше $d_{\text{ПЭ}}$ на ширину выступов, т.е. равен 10 мм (если ширина выступа равна 1 мм). Толщину $h_{\text{м}}$ плоской мембраны, выполненной из монокристалла кремния, возьмем равной 120 мкм. Определим прогиб кремниевой мембраны $x_{\text{м}}$ под действием максимального артериального давления $P_{\text{max}} = 300 \text{ мм рт.ст.} = 0.04 \text{ МПа}$, а также эквивалентное напряжение в мембране, используя выражения (Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов.- М.: Машиностроение. 1980. с.123):

$$x_{\text{м}} = P_{\text{max}} \frac{3(1-\mu^2)}{16} \cdot \frac{R_{\text{м}}^2}{E \cdot h_{\text{м}}^3} = 19 \text{ мкм} , \quad (7)$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{3}{4} \cdot \frac{P_{\text{max}} R_{\text{м}}^2}{h_{\text{м}}^2} \sqrt{1-\mu-\mu^2} = 33 \text{ МПа} , \quad (8)$$

где μ, E — коэффициент Пуассона и модуль упругости мембраны из монокристаллического кремния n-типа проводимости, равные 0.28 и 130 Па соответственно (Современная кристаллография. Т.4, Физические свойства кристаллов / Л.А.Шувалов, А.А. Урусовская, И.С. Желудев и др. - М.: Наука. 1981, с. 60); $R_{\text{м}}, h_{\text{м}}$ — радиус и толщина мембраны; $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ — эквивалентное напряжение в мембране, которое должно быть в 1.5...3 раза меньше предела упругости материала, равного $\sigma = 70 \text{ МПа}$ (Иванов А.В. Прочность оптических материалов. - Л.: Машиностроение. 1989, с. 4-24). Полученные значения $x_{\text{м}}$ и $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ типичны для кремниевых мембран. Исходя из минимально допустимой величины начального зазора $x_0 = 100 \text{ мкм}$ для устройства-прототипа, определенного максимального хода мембраны $x_{\text{мmax}} = 19 \text{ мкм}$ и формулы (3), информативная абсолютная девиация в диапазоне измеряемого давления

$P=(0...300)$ мм рт.ст. составит $\Delta f = 1.5$ кГц, а средняя крутизна характеристики преобразования $S = \Delta f / P_{\max} = 5$ Гц/мм рт.ст.

Теперь определим величину температурного ухода частоты Δf_T датчика-прототипа в диапазоне температур $(+5...+45)^\circ\text{C}$. Известно (Пьезоэлектрические резонаторы/ Справочник/ В.Г. Андросова, Е.Г. Бронникова, А.М. Васильев и др. -М.: Радио и связь, 1992, с.176), что относительное изменение частоты кварцевых резонаторов АТ-среза, используемых для стабилизации частоты опорных генераторов, в интервале температур $(-10...+60)^\circ\text{C}$ составляет $(5...10)\cdot 10^{-6}$. Возьмем лучший вариант, не учитывающий влияния на пьезоэлемент в датчике клеевого соединения и термомеханических напряжений. Тогда чувствительность резонатора к температуре будет составлять $5\cdot 10^{-6} / 70^\circ\text{C}$, $7\cdot 10^{-8} / ^\circ\text{C}$, а температурный уход частоты датчика при $f_0 = 10\text{МГц}$ в диапазоне $(+5...+45)^\circ\text{C}$ — $\Delta f_T = 28$ Гц. Тогда относительная температурная погрешность измерения давления $P=(0...300)$ мм рт.ст. идеализированного датчика без начальной установки нуля составит $\delta_T = 1,87\%$. Реальная величина δ_T может быть в 3...5 раз выше, что делает нецелесообразным применение датчика с такой девиацией частоты.

В рассматриваемой конструкции датчика-прототипа информативную девиацию частоты можно увеличить за счет увеличения хода мембраны, для чего необходимо уменьшить толщину h_M . Так, если взять толщину мембраны равной 100 мкм, то в соответствии с формулами (7) и (8) получим $x_M = 33$ мкм, а $\sigma_{\text{ЭКВ}} = 48$ МПа. Однако в этом случае возрастает погрешность гистерезиса, которая составляет не более 1%, когда выполняется условие $x_{M_{\max}} < h_M < 0.1$ (Осипович Л.А. Датчики физических величин.- М.: Машиностроение, 1979. с.141). Кроме того, максимальные рабочие напряжения $\sigma_{\text{ЭКВ}} = 48$ МПа будут близки к пределу упругости кремния $\sigma_{\text{ПР}} = 70$ МПа. В данном плане выбранная нами при расчетах толщина мембраны $h_M = 120$ мкм является наиболее оптимальной с точки зрения обеспечения минимальной погрешности измерения давления устройством - прототипа.

Следует также отметить, что при формировании подвижного электрода в центре кремниевой мембраны в устройстве-прототипе методом диффузии, величина активного сопротивления системы "электрод - электрический вывод" имеет порядок единиц – десятков Ом, что существенно увеличивает эквивалентное динамическое сопротивление кварцевого резонатора и, соответственно, уменьшает его добротность по сравнению с использованием металлической мембраны. В конечном счете это приводит к ухудшению кратковременной нестабильности частоты первичного измерительного преобразователя, а, значит — к снижению точности измерений.

Кроме этого, устройство-прототип, выполненное из кремния, не обладает свойством электрического самоэкранирования, поэтому на результат измерения при отсутствии специального тщательного экранирования влияет приближение рук оператора и других физических тел, что снижает точность измерений.

Помимо перечисленных недостатков, высокая погрешность установки начального зазора в датчике-прототипе за счет крепления кварцевого пьезоэлемента на выступах корпуса с помощью клея приводит к снижению воспроизводимости градуировочных характеристик от датчика к датчику, что значительно увеличивает погрешность измерения давления при использовании усредненных градуировочных характеристик.

Таким образом, для серийного производства среднего уровня технологической культуры целесообразно использовать конструкции датчиков давления с устройствами механической настройки величины начального зазора.

Лабораторная работа №1

1.

1. Изучить принцип действия, конструкцию и схемотехнику измерительного преобразователя микроперемещений и приводимых к ним физических величин (давление, механическое усилие и т.п.), использующего пьезорезонансный (кварцевый) чувствительный элемент, возбуждаемый в переменном по величине межэлектродном зазоре на нескольких резонансных частотах.

2. Приобрести навыки в оценке свойств частотных градуировочных характеристик, определении возможности реализации инвариантного к температуре двумерного измерительного преобразователя с частотным сигнальным базисом.

2.

Конструктивно лабораторный макет выполнен в виде двух модулей: измерительной ячейки и электронного блока.

Конструкция измерительной ячейки (первичного преобразователя) (рис.1) содержит полированный кристаллический элемент 3 диаметром 18 мм и толщиной 0,169 мм, на одной стороне которого нанесен пленочный электрод (неподвижный) 12. Роль подвижного электрода выполняет торец перемещающегося с помощью микрометрической пары штока 2, микрометрической головки 1. Последняя механически и электрически соединена с корпусом 8, внутрь которого вставлен кварцедержатель 7. Кристаллический элемент 3 жестко фиксируется во всех направлениях путем его зажатия между опорным кольцом кварцедержателя 7 и прижимной втулкой 4, гайкой 5. Проводник вывода 13 неподвижного электрода 12 с помощью пайки во избежание обрыва зафиксирован в пустотелой заклепке, установленной в диэлектрической крышке 6 и через отверстие в защитном стекле 10 выпущен наружу. Крышка 6 присоединена с помощью винтов 9 через кварцедержатель 7 к корпусу 8. Корпусной вывод датчика 11 электрически соединен с подвижным электродом. Конструкция обеспечивает самоэкранирование, но требует

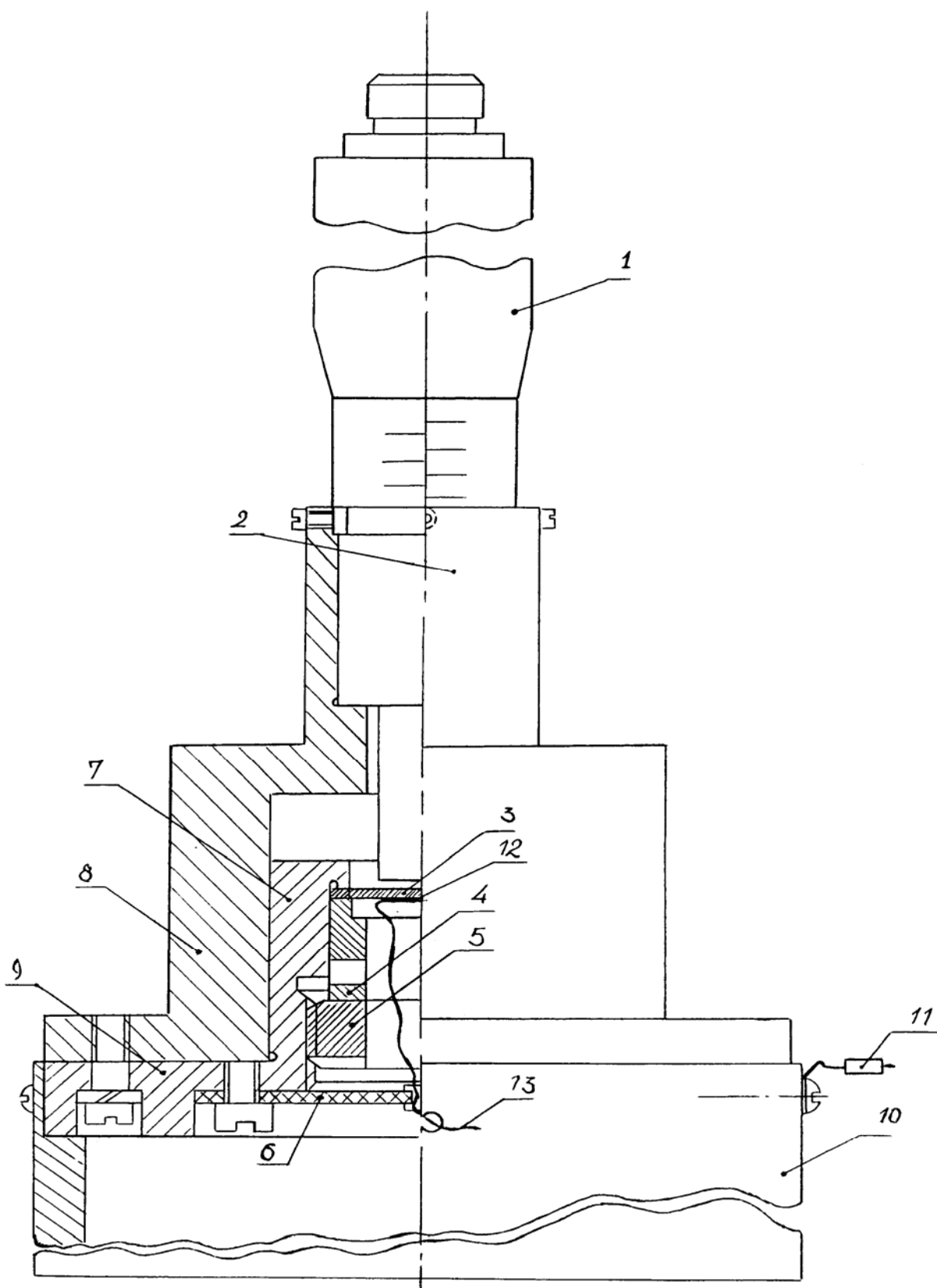
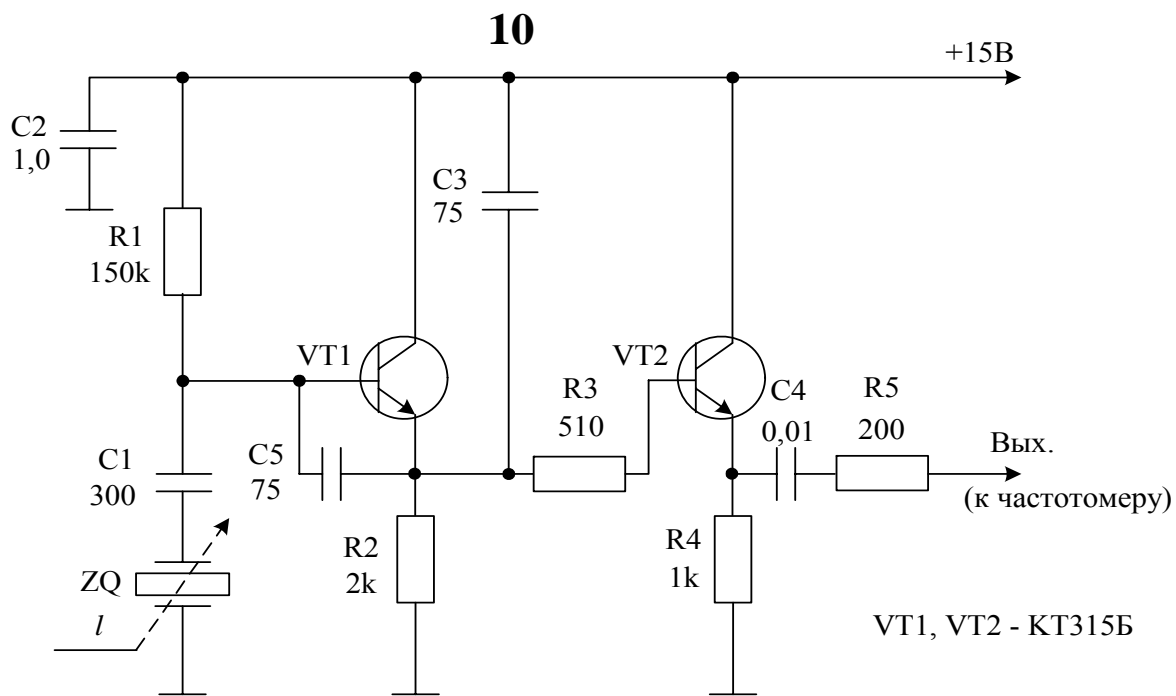
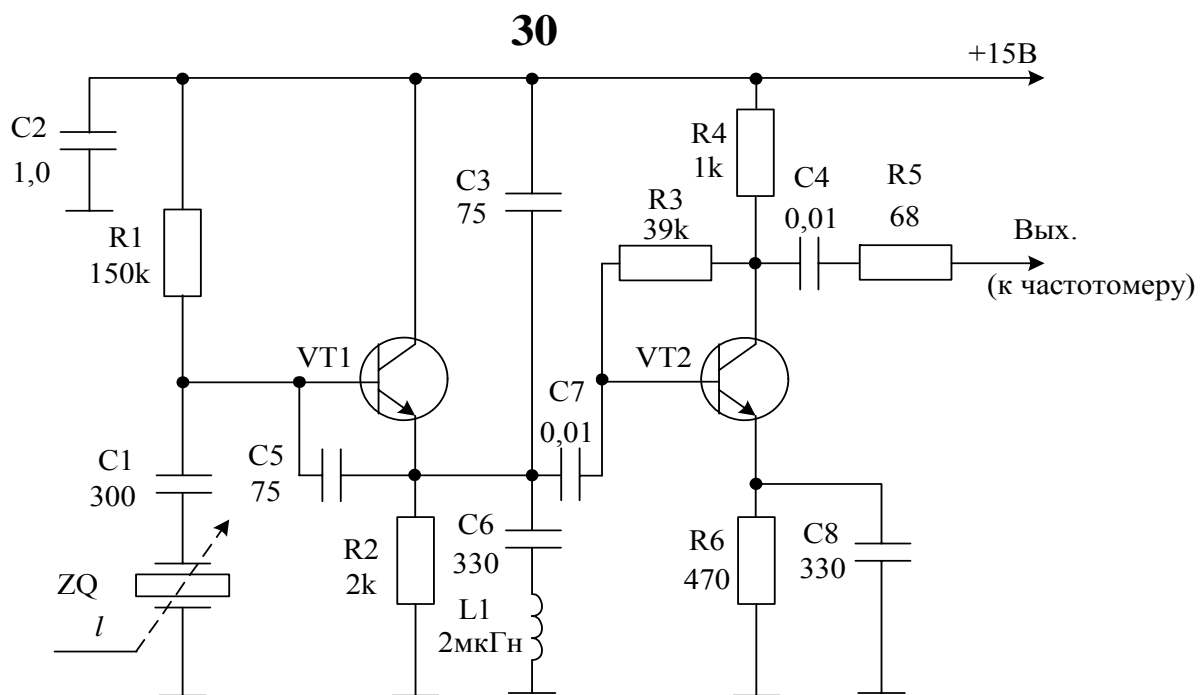


Рис. 1 Конструкция измерительной ячейки



a)



б)

Рис.2

применения такой схемы автогенератора, в которой один электрод кварцевого резонатора ZQ также непосредственно связан с корпусом.

В установке используются две независимые электронные схемы, одна из которых обеспечивает возбуждение КР на основной частоте кварца (10 МГц), а вторая — на третьей механической гармонике (~30 МГц), причем в силу дисперсии упругих волн в кварце частота третьей электрической гармоники автогенератора, т.е. $10 \times 3 = 30$ (МГц) не совпадает с частотой третьей механической гармоники. Съём градуировочных характеристик на первой и третьей механических гармониках осуществляется поочередным подключением выходных проводников 11 и 13 измерительной ячейки к каждой из пар клемм "□□" каждой из двух автогенераторных схем при фиксированной величине зазора между подвижным электродом и поверхностью кварцевого кристаллического элемента. Обе схемы имеют общее подключение к источнику питания +15В.

Автогенераторные кварцевые преобразователи микроперемещений (рис.2а, б) содержат каждая собственно автогенератор на транзисторе VT1 и эмиттерный повторитель на VT2 в схеме возбуждения основной частоты резонатора 10МГц (рис.2а) или резистивный усилитель на VT2 в схеме возбуждения третьей механической гармоники $f_3 \approx 30$ МГц (рис.2б). Необходимость последнего объясняется в достижении нужной амплитуды сигнала, подаваемого на частотомер. Автогенератор 30МГц в силу высокой частоты ее не обеспечивает.

Оба автогенератора выполнены по схеме Колпитца, емкостной трехточки (емкости C3, C5 и индуктивная реакция кварца ZQ) с обеспечением мягкого режима самовозбуждения заданием смещения на базы VT1 резисторами R1. Конденсаторы C2 — блокировочные. Выходной сигнал автогенераторов снимается с резисторов R2. Для обеспечения возбуждения третьей механической гармоники в автогенераторе 30МГц (рис.2б) и исключения возможности генерации на более активной первой между коллектором и эмиттером VT1 включен последовательный контур L1C6, настроенный на частоту 10МГц, в силу чего коэффициент положительной обратной связи на этой частоте равен нулю.

3.

1. Ознакомится с конструкцией измерительной ячейки, схемами электронного блока.
2. После собеседования, получив разрешение преподавателя на включение лабораторной установки
 - установить по вольтметру блока питания напряжение +15В (проводники питания электронного блока еще не подключать!);
 - подключить выводы измерительной ячейки к автогенератору "10МГц" через клеммы "□", соблюдая соединение корпусного к корпусу и потенциального к потенциальной клемме;
 - выход автогенератора "10МГц" подключить ко входу частотомера, переключатель режима работы поставить в положение 1S;
 - подать питание +15В на электронный блок;
 - осторожно вращая ручку микрометрического винта по часовой стрелке добиться начала генерации, фиксируя его по началу получения отсчетов частоты; наблюдать уменьшение значений частоты. Первый же отсчет, показавший увеличение частоты свидетельствует о механическом контакте подвижного электрода с пьезоэлементом, его прижатии, поэтому необходимо сразу высвободить его, слегка стронув ручку микрометрического винта против часовой стрелки;
 - записать значение частоты, положение лимба микрометра, соответствующее нулевому зазору;
 - переключить выводы измерительной ячейки на клеммы "□" генератора "30МГц", записать значение частоты;
 - отключить питание электронного блока.
3. Включая питание электронного блока, снять характеристики выбега частоты на основной частоте и на третьей механической гармонике.
4. Оценить кратковременную нестабильность частоты измерительного преобразователя. Для этого переключатели режимов частотомеров поставить в положение "10s". Снять 20 последовательных значений по частоте 10МГц. Переключив клеммы электронного блока в положение "30МГц", снять 20 последовательных значений по частоте 30МГц.

Для каждой из гармоник вычислить:

- среднее значение частоты

$$f_{cp} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} f_i ;$$

- относительную вариацию частоты

$$b_i = \frac{|f_{i+1} - f_i|}{f_{cp}} ;$$

- среднюю относительную вариацию частоты (для оценки разрешающей способности ИП)

$$\delta_{cp} = \frac{1}{19} \sum_{i=1}^{19} b_i .$$

5. Снять градуировочные характеристики "перемещение-частота" на первой и третьей механической гармониках. Для этого, фиксируя 4.. 5 положений подвижного электрода (по лимбу микрометра) при его перемещении вращением ручки против часовой стрелки в каждом из них путем поочередного подключения выводов измерительной ячейки к генератору "10МГц" и "30МГц". Величину перемещения подвижного электрода отсчитывать относительно положения лимба, соответствующего нулевому зазору. Зафиксировать моменты срыва генерации на первой и третьей механической гармониках.

4.

Используя программу NUMERI:

1. Построить нормированные характеристики выбега обеих частот и оценить время готовности измерителя микроперемещений к работе.
2. Построить нормированные градуировочные характеристики на обеих частотах, проанализировать их.
3. Оценить коэффициенты чувствительности к перемещениям на обеих частотах и разрешающую способность ИП.
4. Оценить условия целесообразности применения двухчастотного возбуждения для достижения инвариантности к температуре преобразователя микроперемещений.

Лабораторная работа № 2

" I - 01"

1.

1. Изучение принципа действия, элементов проектирования частотного ПИП давления на основе кварцевого резонатора с модулированной шириной межэлектродного зазора, исследование его основных технических характеристик, приобретение навыков обработки и регистрации результатов экспериментов на ПЭВМ.

2. Изучение схемотехники формирования и измерительного преобразования частотного сигнала в современном медицинском диагностическом микропроцессорном приборе.

3. Знакомство с конструктивными особенностями практической реализации прибора, описаниями семейства современных японских сфигмоманометров НЕМ-403С, НЕМ-601, НЕМ-703С, НЕМ-704С, НЕМ-705СР фирмы OMRON.

2.

В состав установки входит пьезорезонансный первичный измерительный преобразователь, установленный на кронштейне корпуса технологического генератора. Последний электрически соединен с ПИП, а с помощью резиновой трубки с задатчиком воздушного давления КПУ-3. Задаваемое давление воздействует на ПИП и одновременно контролируется образцовым манометром с пределом измерения 0,6 кгс/см².

Технологически генератор двумя проводами подключен к стабилизированному источнику питания +5В. Его выход с помощью кабеля подключен к частотомеру электронносчетному Ф5041. Сам технологический генератор содержит автогенератор, собранный по схеме емкостной

трехточки с общим коллектором на транзисторе КТ315Б, и эмиттерный повторитель на таком же транзисторе.

Напряжение питания технологического генератора контролируется вольтметром универсальным В7-26.

3.

« i - 01 »

Данный прибор (часто называемый тонометром) предназначен для измерения систолического и диастолического артериальных давлений осциллометрическим методом. Этот метод принципиально отличается от акустического метода тонов Короткова, обеспечивает объективность, большую точность и, что весьма важно, позволяет пациенту самостоятельно проводить измерения.

Осциллометрический метод основан на анализе временных диаграмм артериальных пульсаций, позволяет получать не только различные характеристики давлений, но и одновременно измерять частоту сердечных сокращений. При этом прибор должен обеспечивать высокую разрешающую способность (порядка десятых долей мм рт.ст.), малую статическую погрешность — (1...2)%, малые частотные искажения в диапазоне (0...20)Гц и цифровую индикацию. Комплекс этих требований удовлетворяется применением качественных ПИП и микропроцессорной обработкой сигналов (см. рис.1).

Пульсации артериального давления передаются от манжеты на вход кварцевого частотного ПИП, который содержит кварцевый пьезорезонатор, имеющий один электрод, нанесенный непосредственно на поверхность плоского пьезоэлемента АТ-среза с номинальной частотой 10МГц, и другой, подвижный электрод, роль которого выполняет гофрированная мембрана. При изменении давления от 0 до 300 мм рт.ст. плоский центр мембраны перемещается по направлению к свободной поверхности пьезоэлемента на 65 мкм. При начальном зазоре 90 мкм это изменение его величины приводит к информативной перестройке резонатора на (5...6)кГц, а, следовательно, к такому же изменению (девиации) частоты сигнала, генерируемому ПИП. В принципе в данном ПИП можно получить девиацию примерно вдвое большую, но при этом форма градуировочной характеристики "давление-частота" будет существенно нелинейной, что усложнит дальнейшую обработку информационного сигнала. ПИП выполнен по схеме емкостной трехточки с общим

коллектором.

В силу малости относительной информативной девиации и требования высокого быстродействия (время одного измерения-отсчета не превышает 30 мс) выходной сигнал ПИП подвергается гетеродинированию. Гетеродин и смеситель выполнены на одной микросхеме К174ПС1.

Сигнал разностной частоты преобразуется формирователем импульсов на К561ЛА7 и поступает на однокристалльную ЭВМ (1830ВЕ48) и на формирователь заполняемого импульса (из 100 информативных периодов). Счетчик импульсов (КР1008ИЕ1) считает количество импульсов заполнения тактовой частоты 6МГц для ОЭВМ (генератор кварцевый выполнен на микросхеме 561ЛН2), преобразуя измеряемый период в код.

ЭВМ осуществляет цифровую фильтрацию сигнала, выделение информативных признаков систолического и диастолического давлений, вычисление частоты сердечных сокращений и другие операции.

Этапы преобразований измерительного сигнала иллюстрируют рис.2, рис.3, рис.4. На рис.2 приведена диаграмма изменения давления в манжете. Рис.3 и рис.4 представляют результаты цифровой фильтрации этой диаграммы фильтром нижних и верхних частот соответственно. Последний сигнал дважды дифференцируется и по характеристическим признакам вычисляются систолическое и диастолическое давления.

Цифровая индикация результатов измерения осуществляется жидкокристаллическим индикатором (ЖКИ), управляемым контроллером КР1008ВЖ8. Прибор питается как от сетевого преобразователя, так и автономно, поэтому в нем предусмотрена стабилизация напряжения питания (КР1055ПС1).

Конструктивные особенности практической реализации, компоновку электронных и электронно-механических узлов прибора необходимо изучить по прилагаемому к работе опытному образцу, созданному АО "РОДОН", г. Ивано-Франковск.

Далее необходимо ознакомиться с рекламными проспектами семейства современных осциллометрических цифровых мониторов пульсации давления японской фирмы OMRON, обратив внимание на преемственность и расширение потребительских возможностей в каждой последующей модели (HEM-403C, HEM-601, HEM-703C, HEM-704C, HEM-705CP).

4.

1. Включить на прогрев частотомер, вольтметр, источник питания.
2. Изучить структурную схему сфигмоманометра, его конструкцию.
3. После собеседования, получив разрешение преподавателя на включение лабораторной установки
 - установить по вольтметру на выходе источника питания +5В (проводники питания технологического генератора еще не включать!);
 - подключить выходной кабель технологического генератора ко входу частотомера, установить на ней время отсчета 1с;
 - подключить провода питания, соблюдая полярность к выходу источника питания.
4. Зафиксировать по частотомеру значение частоты, соответствующее $P=0$, после чего
 - медленно открыть штурвалом подающий кран и по манометру установить давление, равное 70 делениям (309мм рт.ст.);
 - отвернуть винт сброса давления, резко сбросить его до нуля, контролируя при этом установившееся значение частоты по частотомеру;
 - проделать процедуру 3-4 раза, фиксируя гистерезис установки нуля.
5. Снять градуировочную характеристику ПИП, для чего
 - перевести запуск частотомера в ручной режим;
 - задавая нарастающее давление через каждые 5 делений манометра (0, 5, 10...70), зафиксировать 15 значений соответствующих им частот. От полученных значений частот отнять 10.000.000 Гц.

5.

1. С помощью программы NUMERI построить градуировочную характеристику, записать ее и распечатать. Оценить чувствительность и разрешающую способность ИП.
2. Обратить полученную характеристику "давление-частота*", имитируя работу вторичного измерительного преобразователя, записать ее и распечатать.
3. Полученную характеристику аппроксимировать полиномом 3-й степени.

6.

1. Структурная схема лабораторной установки.
2. Выводы по оценке гистерезиса нуля ПИП.
3. Таблицы к нормированной градуировочной характеристике "давление-частота" и "давление-период", оценка разрешающей способности ПИП.
4. Коэффициенты аппроксимирующего полинома.
5. Выводы по работе.

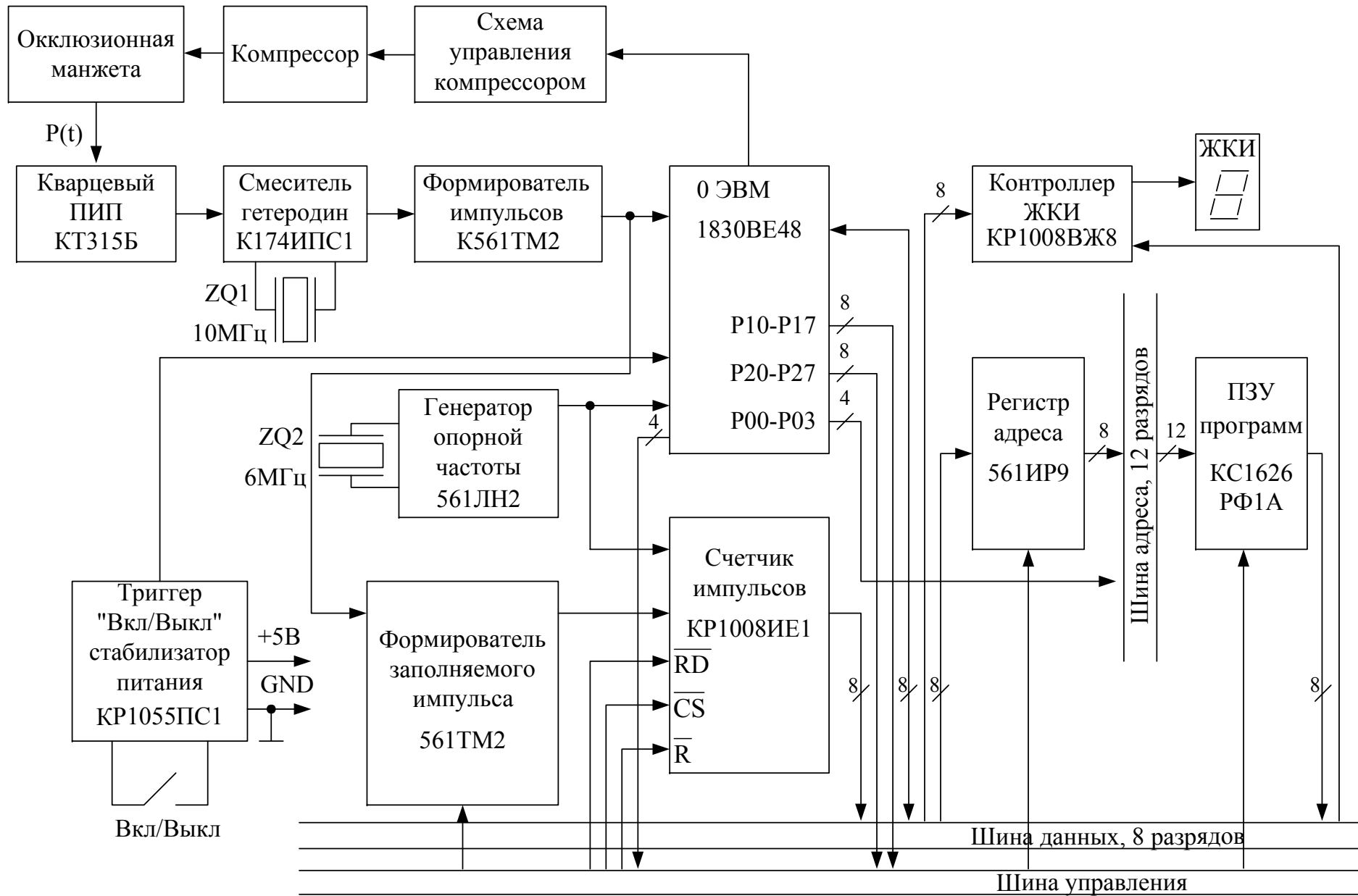
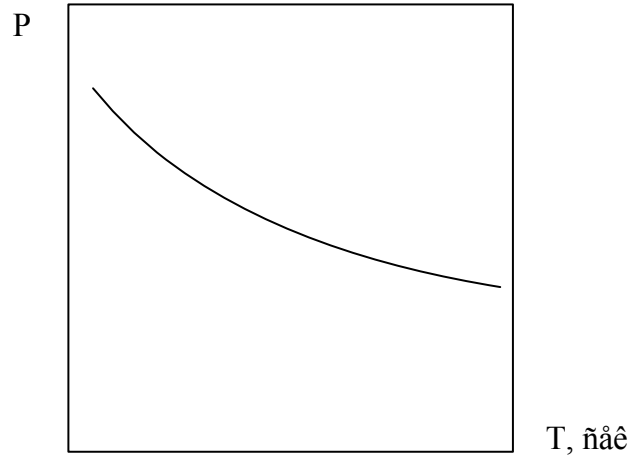
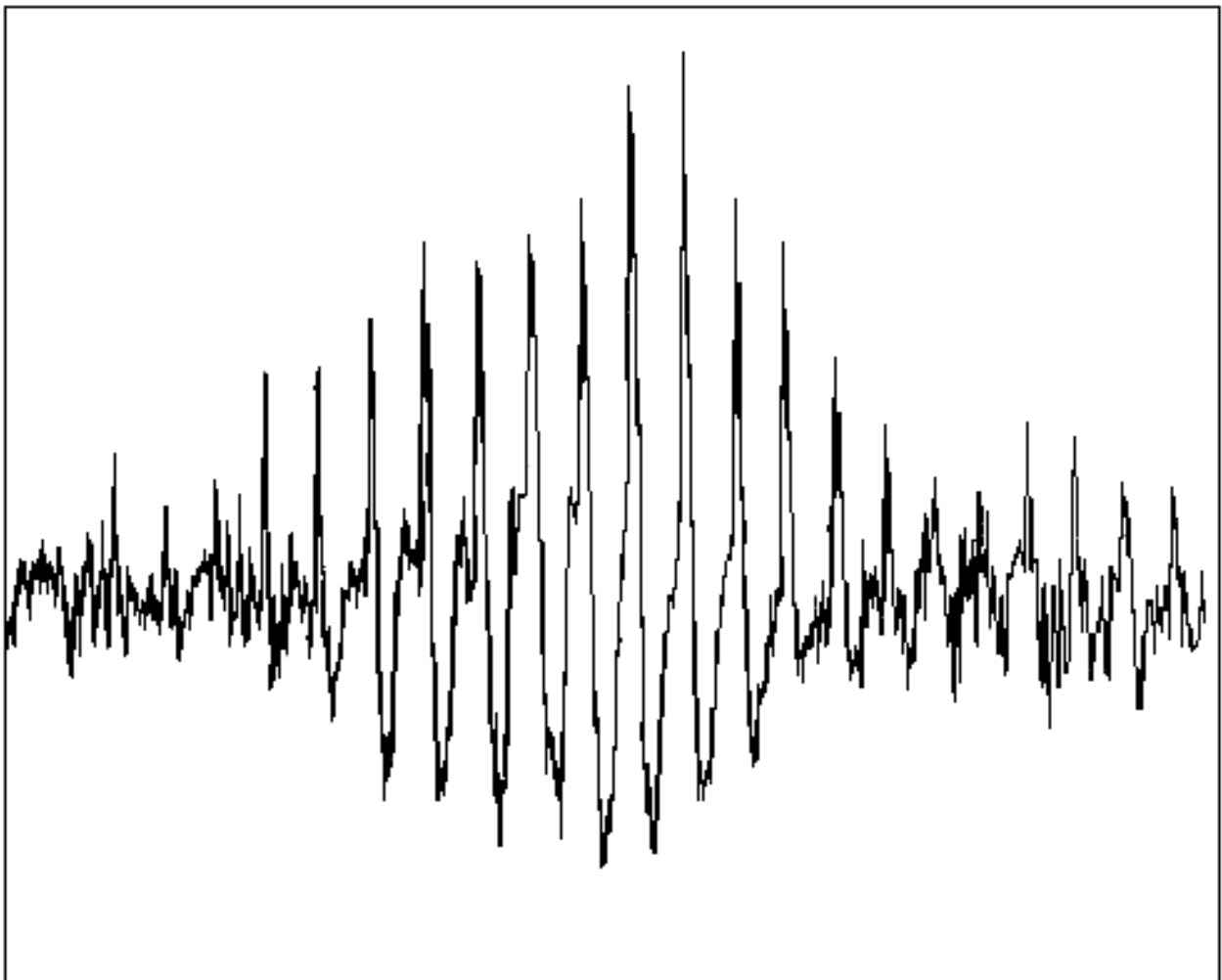


Рис.1 Структурная схема цифрового сфигмоманометра "Станіслав-ТОН-01"



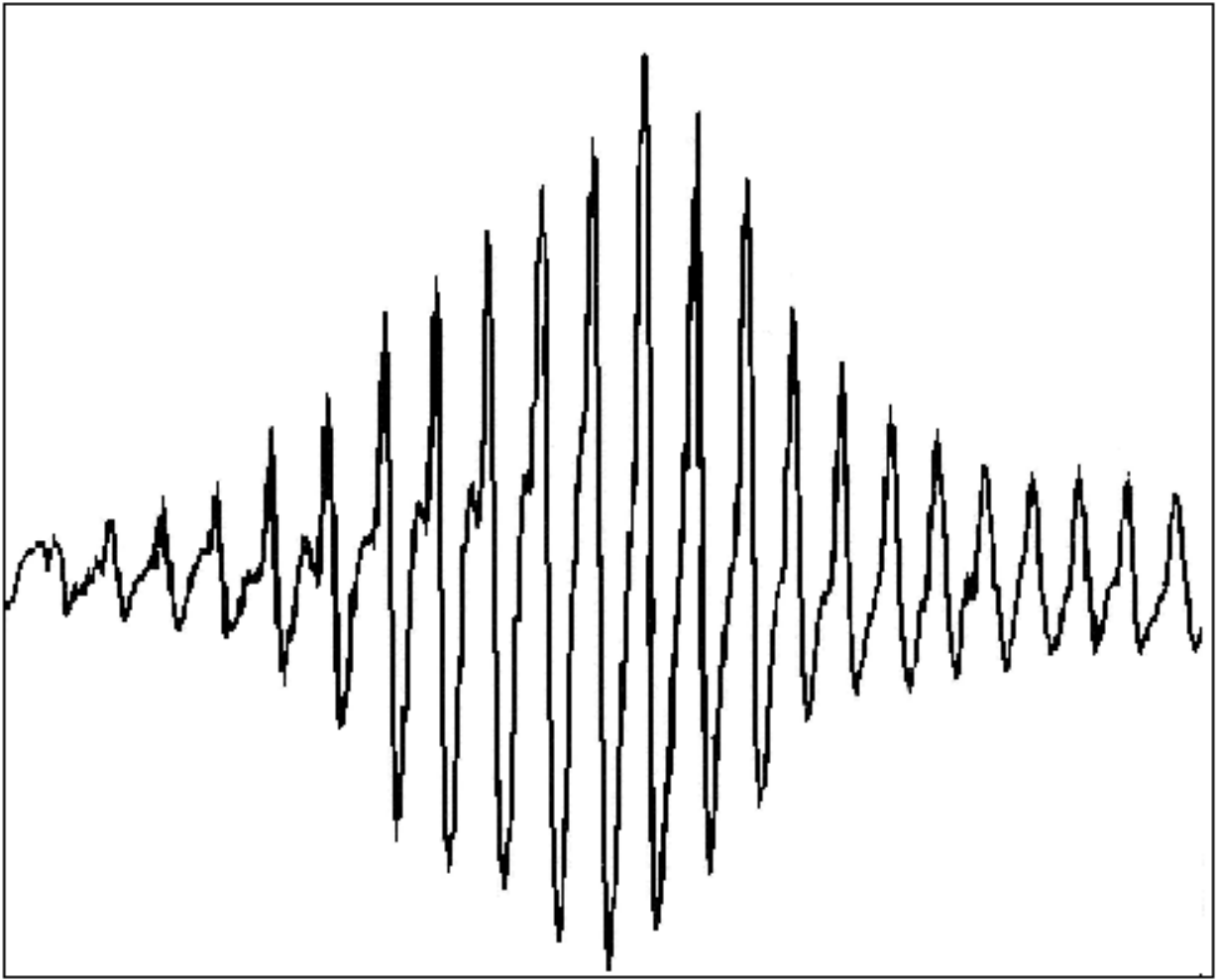
$\tilde{O}1$	Y1		$\tilde{O}2$	Y2
1	2068	6	2547	460

Рис.2 Скролл давления



$\tilde{O}1$	Y1		$\tilde{O}2$	Y2
1	-21	6	2547	-6

Рис.3 Пульсограмма давления до фильтрации



\tilde{O}_1	Y_1		\tilde{O}_2	Y_2
1	0	6	2547	-16

Рис.4 Пульсограмма давления после ФНЧ

К лабораторной работе №2

()

Задатчик воздушного давления (ЗВД) предназначен для задания и измерения воздушного давления на исследуемом устройстве в диапазоне от 0 до 0.42 кг/см^2 , с определяемой образцовым манометром точностью. Установка имеет систему автоматического поддержания давления в воздушной системе от 0.48 кг/см^2 до 0.6 кг/см^2 и препятствующую опасному превышению давления в системе.

-
1. Присоединить к выходному патрубку 8 установки исследуемое устройство.
 2. Закрывать краны наполнения и выпуска (повернуть по часовой стрелке маховики кранов до упора).

!!! Маховики кранов вращать плавно, не прилагая больших усилий и не прилагая усилий, направленных вдоль оси кранов.

3. Включить установку в сеть сетевой вилкой.
4. Включить питание (тумблер сеть 4 перевести в положение "Вкл."). При давлении в системе менее 0.46 кг/см^2 включится двигатель компрессора, работа которого сопровождается характерным звуком. Через 30-40 сек (при достижении давления в системе 0.6 кг/см^2) компрессор автоматически выключится.

6. Плавно открывая кран наполнения 6, поворачивая маховик против часовой стрелки и наблюдая за показаниями манометра, установить требуемое давление в ИУ в пределах от 0 до 0.42 кг/см^2 .

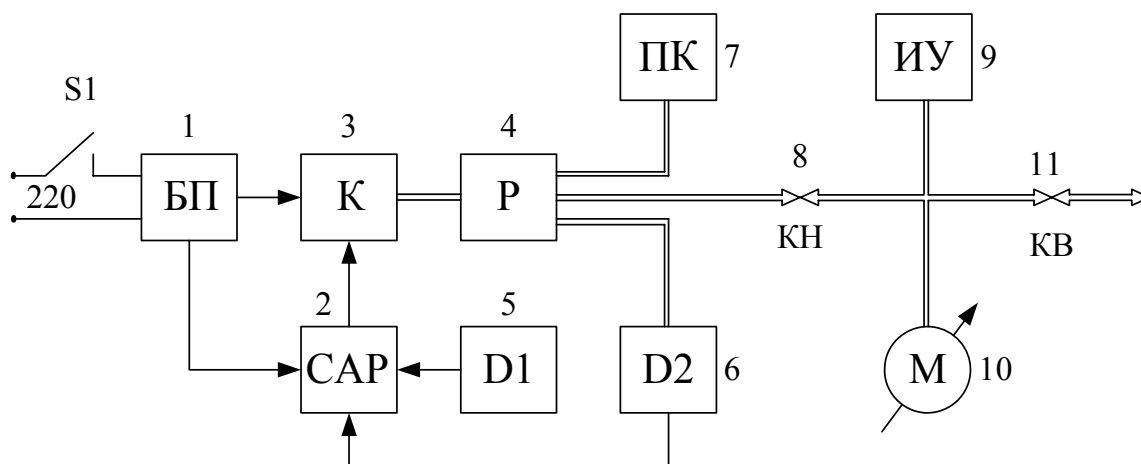
6. Закрыв кран наполнения 6, плавно открывая кран выпуска 7 (вращением маховика против часовой стрелки), снизить давление на ИУ до необходимого значения.

!!!

1. Во время работы возможно автоматическое кратковременное включение компрессора, не влияющее на выполнение работы.
2. Одновременно может быть открыто не более одного крана 6 или 7 во избежание выхода воздуха из системы и срабатывания автоматики поддержания давления в системе.
3. При превышении давления $0,82 \text{ кг/см}^2$ срабатывает защита. При этом компрессор

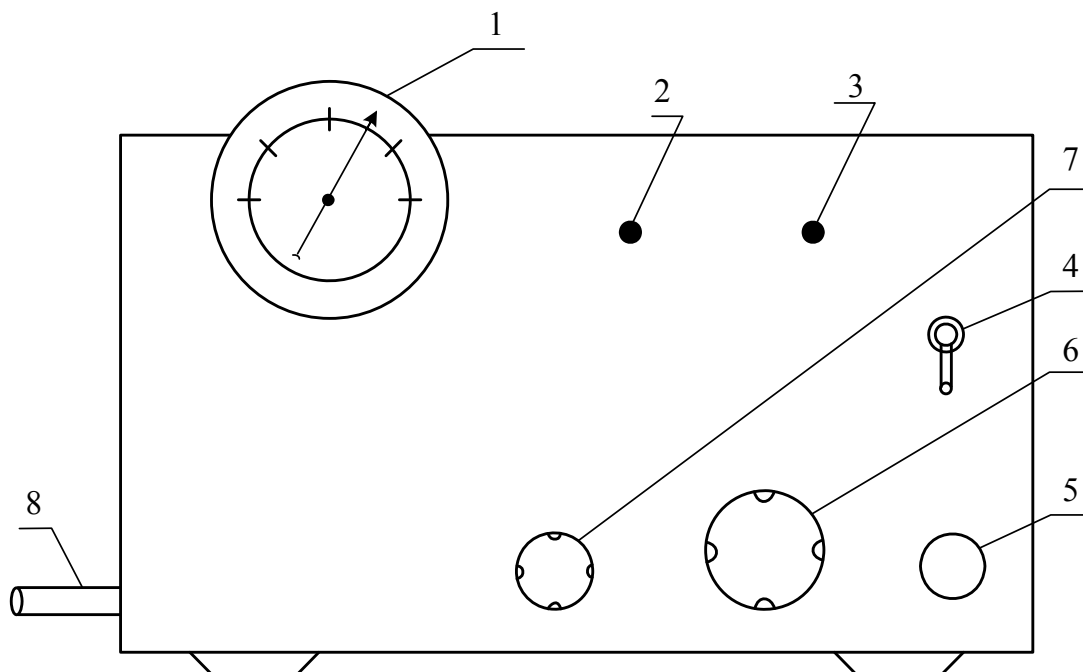
аварийно отключается. В этом случае для восстановления работы автоматики давление в воздушной системе необходимо снизить до $0,12\text{кг/см}^2$.

4. При длительной работе компрессора (более одной минуты), появлении посторонних шумов (свистов, шума истекающего воздуха) установку необходимо выключить и установить причину утечки. Убедитесь, что присоединение ИУ и само оно герметичны, не открыты одновременно краны наполнения и выпуска. О любых неисправностях ЗВД сообщить преподавателю.



- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Блок питания; | 6. Датчик защиты; |
| 2. Система автоматического регулирования и защиты; | 7. Предохранительный клапан; |
| 3. Компрессор; | 8. Кран заполнения; |
| 4. Ресивер; | 9. Исследуемое устройство; |
| 5. Датчик поддержания давления; | 10. Манометр образцовый; |
| | 11. Кран выпускной. |

Рис.1 Функциональная схема задатчика воздушного давления (ЗВД)



1. Манометр образцовый, показывающий воздушное давление на исследуемом устройстве;
2. Индикатор превышения давления выше допустимого;
3. Индикатор включения сети;
4. Сетевой выключатель;
5. Сетевой предохранитель;
6. Маховик крана наполнения;
7. Маховик крана выпуска
8. Выходной патрубок.

Рис.2 Внешний вид задатчика воздушного давления (ЗВД)

Лабораторная работа №3

-10

1.

1. Изучить структурную схему двухпараметровой информационно-измерительной системы на базе многочастотного пьезорезонансного ПИП.

2. Изучить принцип действия, конструкцию и схемотехнику неселективного измерительного преобразователя с кварцевым резонансным чувствительным элементом, возбуждаемым одновременно на трех частотах и использующего механическую силовую и температурную чувствительности (тензо- и термочувствительность).

3. Приобрести навыки в снятии статических градуировочных характеристик по давлению одновременно на трех частотах, оценке свойств этих характеристик с точки зрения многомерных измерений.

2.

Изучаемая МИИС предназначена для одновременного измерения давления и температуры газа. В ее состав (рис.1) входят ПИП, ВИП и ЭВМ. Чувствительный элемент ПИП выполнен в виде датчика ДПКД-10 с рабочим диапазоном давлений $0 \dots 10 \text{ кгс/см}^2$ и диапазоном температур $(-60 \dots +130)^\circ\text{C}$, а многомерный измерительный сигнал формируется трехчастотным автогенераторным электронным блоком. Вторичный измерительный преобразователь содержит три блока гетеродинов БГ1...БГ3 для переноса информационных сигналов в низкочастотную область $F_i = f_i - f_0$, где f_0 — значение опорной частоты опорного генератора — гетеродина ОГ. Низкочастотные информационные сигналы преобразуются в коды преобразователями "частота-код" ПЧК1...ПЧК3 и через блок согласования БС поступает на ЭВМ для решения системы уравнений относительно значений давления P и температуры T . Опорные временные интервалы ("ворота"), необходимые для работы ПЧК1.. ПЧК3, формируются делителем частоты ДЧ из сигнала опорного генератора.

Основным узлом датчика является его чувствительный элемент (ЧЭ) — высокочастотный кварцевый резонатор 4, жестко запрессованный в силовую передающую элемент — цапфу 5 и возбуждаемый одновременно на трех частотах: пятой и седьмой механических гармониках f_5 и f_7 , а также на ангармонике седьмой механической гармоники f_{7A} . Соединение "металл-кварц" цапфы 5 и резонатора 4 не имеет люфтов и гистерезиса, являющихся главными источниками погрешностей в устройствах такого типа.

Воспринимаемое ЧЭ механическое усилие является результатом преобразования T . Мембрана (и весь датчик) выполнена из антикоррозийного упругого сплава 36НХТЮ, ее конструкция обеспечивает формирование усилия, совпадающего с продольной осью датчика. Поперечные составляющие этого усилия отсутствуют, благодаря чему достигается плоское нагружение ЧЭ.

Мембрана 3 и цапфа 5 с помощью электронно-лучевой сварки соединены с основанием. Внутренняя полость мембраны вакуумирована, поэтому ПЖД-10 является датчиком абсолютного давления.

С мембраной 3 также с помощью сварки соединен приемный узел 1, имеющий туцерную часть, с помощью которой датчик присоединяется к источнику измеряемого давления P и температуры T . Благодаря высокой теплопроводности мембраны 3 и цапфы 5 обеспечивается эффективная передача тепла к ЧЭ 4 и температура кварцевого резонатора мало отличается от измеряемой температуры газа T .

Электрические выводы 7 через металлогермовывод соединены с электродами кварцевого резонатора 4 и с резисторами согласующего П-четырёхполюсника, смонтированными на плате 6. Выводы этих резисторов через электрический разъем 9, установленный на защитном кожухе 8, соединены с помощью двух высокочастотных кабелей с электронным блоком.

ЭБ имеет секционированную структуру, обеспечивающую благодаря экранированию трех каналов подавление межканальных связей на уровне 80дБ. На одной из его боковых стенок установлены два байонетных ВЧ разъема, обозначенных знаком "H□H", с помощью которых ЭБ соединяется с датчиком. На этой же стенке смонтирован разъем питания « U_n », обеспечивающий

подключение ЭБ к источнику питания +12В.

На противоположной стенке ЧЭ установлены три ВЧ разъема, предназначенные при выполнении лабораторной работы для подачи сигналов каждой из частот f_5 , f_7 и f_{7A} к частотомерам. При работе изучаемого ПИП в составе реальной МИИС эти сигналы поступают на входы ВИП (рис.1)

(.3)

Одновременное возбуждение ЧЭ на трех частотах достигается благодаря использованию последнего в качестве многорезонансного (три резонанса) частотного дискриминатора, осуществляющего частотную автоподстройку трех автономных друг от друга петель.

ПИП содержит: 1) блок суммирующих усилителей БСУ, содержащий три согласующих усилителя сумматора $\sum 1, \sum 2, \sum 3$, сумматор (на VT8) с согласующей цепочкой, входящей в состав П-четырёхполюсника, в который с помощью двух кабелей включен усилитель выходного трехчастотного сигнала ДПКД-10 (на VT9, VT10); 2) три генератора, управляемых напряжением ГУН1, ГУН2, ГУН3, с выходов которых через соответствующие буферные каскады снимаются сигналы с частотами f_5 , f_7 , f_{7A} на выходные разъемы и через разветвители и компенсаторы фазового сдвига 1 на первые входы каждого своего фазового детектора ФД1, ФД2, ФД3. Вторые входы этих детекторов соединены с единственным выходом усилителя выходного сигнала ДПКД-10. Фазовые детекторы формируют каждое управляющее напряжение E_{y1} , E_{y2} , E_{y3} , каждое из которых является функцией двух параметров (давления P и температуры T). Каждое управляющее напряжение управляет своим управляемым генератором кварцевым УГ₁, УГ₂, УГ₃, вследствие чего их частоты генерации f_5 , f_7 , f_{7A} будут каждая являться функциями P и T и образуют систему трех линейно независимых уравнений двух неизвестных.

(.4)

Все ГУН содержат кварцевый управляемый генератор, выполненный на транзисторе VT2 (здесь и далее рассматривается канал информационной частоты f_5) по схеме емкостной трехточки на кварцевом резонаторе ZQ. Управление частотой осуществляется с помощью варикапа VD1. Индуктивность L1 предназначена для расширения межрезонансного промежутка с целью увеличения диапазона перестройки частоты. Через конденсатор связи C5, выполняющий одновременно функцию разделительного, сигнал подается на буферный каскад — эмиттерный

повторитель на VT3 и далее на усилитель - разветвитель (VT4), один выход которого обеспечивает большую амплитуду сигнала, снимаемого с нагрузки R15+R16, а другой — малую, благодаря съему с части коллекторной нагрузки (только с R15). Сигнал частоты f_5 с большой амплитудой через эмиттерный повторитель на VT5 подается на выходной ВЧ-разъем, а с меньшей — через фазирующую цепь C1R1 и через согласующий усилительный каскад на VT1 подается на первый вход фазового детектора, выполненного на микросхеме K174ПС1 (вывод 13). На второй вход ФД (вывод 7) поступает сигнал с выхода двухкаскадного усилителя сигнала, снимаемого с П-четырёхполюсника (R39, R34, ZQ, R36, R35). Поскольку амплитуда этого сигнала весьма мала, применен двухкаскадный усилитель на VT9, VT10 с идентичной схемой.

Выходной сигнал с выхода согласующего каскада на VT1 подается не только на первый вход ФД, но и через компенсатор фазового сдвига R9C10 на вход согласующего усилителя сумматора на VT6 (эмиттерный повторитель), VT7 (усилитель по схеме ОБ). Такая схема минимизирует обратное прохождение сигналов всех трех частот на выходные клеммы, благодаря чему совместно с тщательным экранированием каналов обеспечена очень высокая их развязка (около 80дБ). С коллекторной нагрузки R29 сигнал подается на вход усилителя на VT8, нагруженного через разделительный конденсатор C24 на вход П-четырёхполюсника.

3.

1. Ознакомиться с конструкцией датчика, схемами электронного блока, правилами работы с задатчиком давления ГУПМ-300.

2. После собеседования, получив разрешение преподавателя на включение лабораторной установки

- установить тумблеры рода запуска частотомеров в положение "внешний пуск", "время измерения" - 10s;

- подключить выходы электронного блока ко входам трех частотомеров;

- проверить надежность подключения датчика к задатчику давления ГУПМ-300. Задаваемое давление должно быть равно нулю;

- подать напряжение питания +12В и, считывая отсчеты с частотомеров нажимая на кнопку "Внешний пуск" каждые 25...30 с, снять характеристики выбега частот.

3. Задавая давление от 0 до 10кгс/см² через 1 кгс/см², снять градуировочные характеристики "давление-частота" по всей трем частотам. При этом: ручку "наполн.-слив" поставить в положение

"наполн.", штурвал "всасыв.-давление" вращением против часовой стрелки поставить в крайнее левое положение, ручку "наполн.-давление" в положение "наполн.". Несколькими движениями насоса произвести заполнение системы, ручку "наполн.-давление" перевести в положение "давл." и вращением штурвала установить первое значение $P=1\text{кгс/см}^2$, отснять все градуировочные точки до $P=10\text{кгс/см}^2$, после чего, снижая давление, снять характеристику обратного хода. Определить максимальную девиацию частоты для каждой из частот во всем интервале изменения давления и разрешающую способность ПИП при разрешении по частоте 0.1Гц. Оценить линейность характеристики преобразования.

4. Оценить воспроизводимость преобразований "давление-частота". Для этого осуществить съем показаний всех частот для $P=5,0\text{кгс/см}^2$ 10 раз. Определить СКО результата преобразования "давление-частота".

5. Оценить динамические характеристики системы. Для этого, установив максимальную величину давления $P=10\text{кгс/см}^2$, осуществить резкий сброс его до нуля. При этой ручку ГУМП-300 "наполн. - давл." из положения "давл." перевести в положение "наполн.", а ручку "наполн.-слив" перевести из положения "наполн." в положение "слив". Отсчеты показаний частотомеров осуществлять через каждые 25...30 секунд с момента получения $P=0$ по образцовому манометру.

4.

1. С помощью программы NUMERI построить нормированные градуировочные характеристики для каждой из частот.
2. Определить крутизну преобразования и разрешающую способность для каждой из частот.
3. Аппроксимировать градуировочные характеристики полиномом первой степени.

5.

1. Структурная схема измерительного преобразователя.
2. Таблица измерений по п. п. 3, 4, 5.
3. Графики результатов измерений по п.п. 3, 4, 5.
4. Выводы по работе.

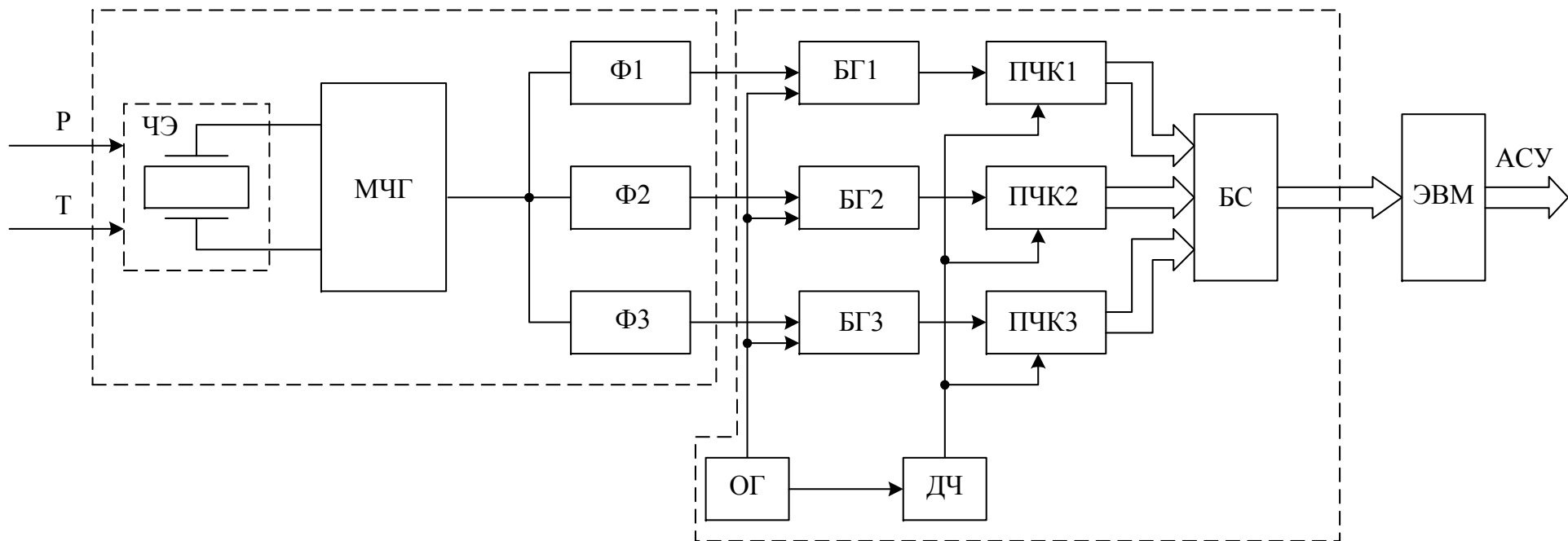


Рис.1 Структурная схема информационно-измерительной системы

P, T - давление и температура газа;

ДД - датчик давления;

ЧЭ - чувствительный элемент-пьезорезонатор;

Ф1,2,3 - полосовой фильтр;

ВИП - вторичный измерительный преобразователь;

БГ1,2,3 - блок гетеродинирования;

ОГ - опорный генератор;

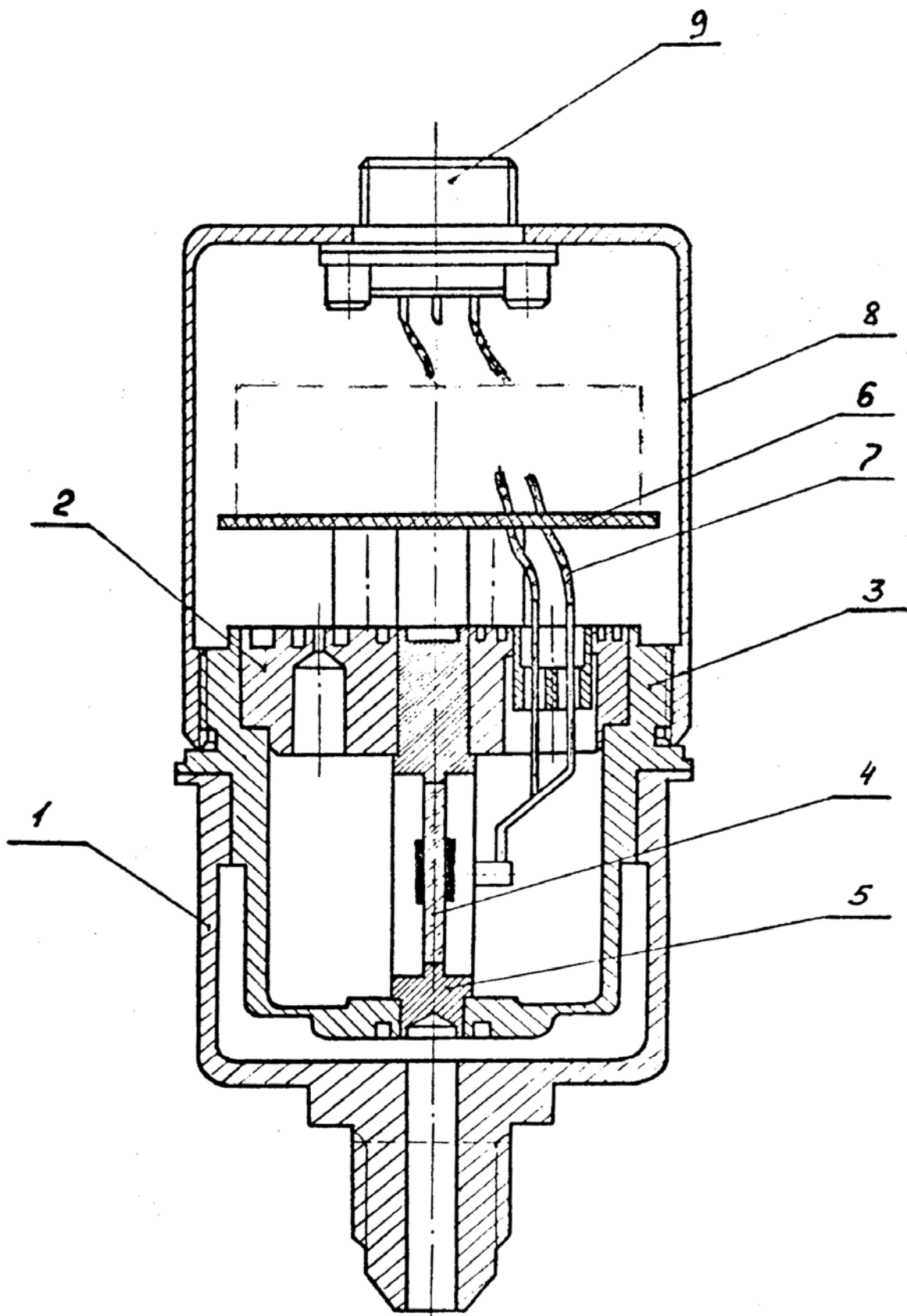


Рис. 2 Конструкция ДПКД - 10

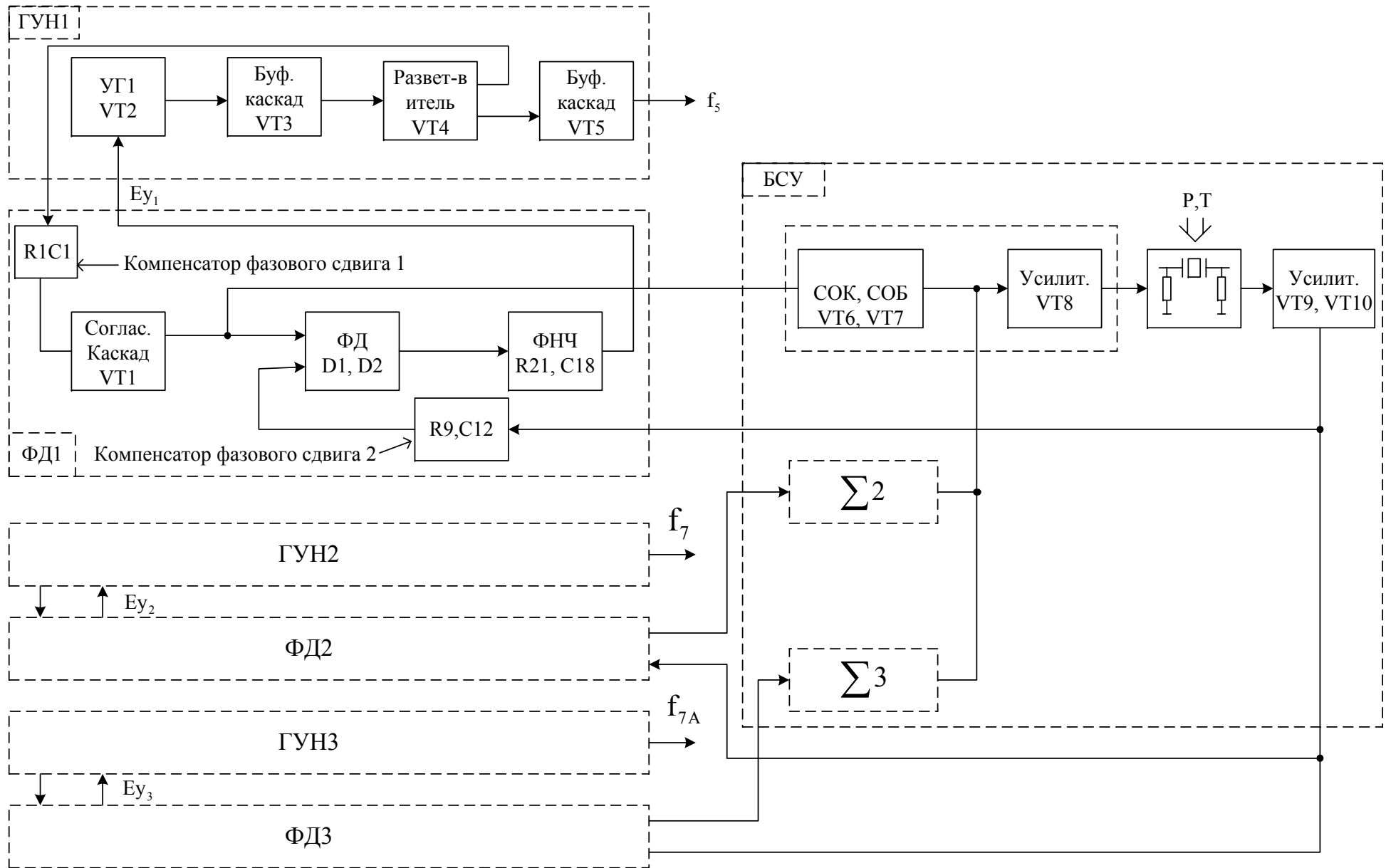


Рис.3 Структурная схема трехчастотного ПИП

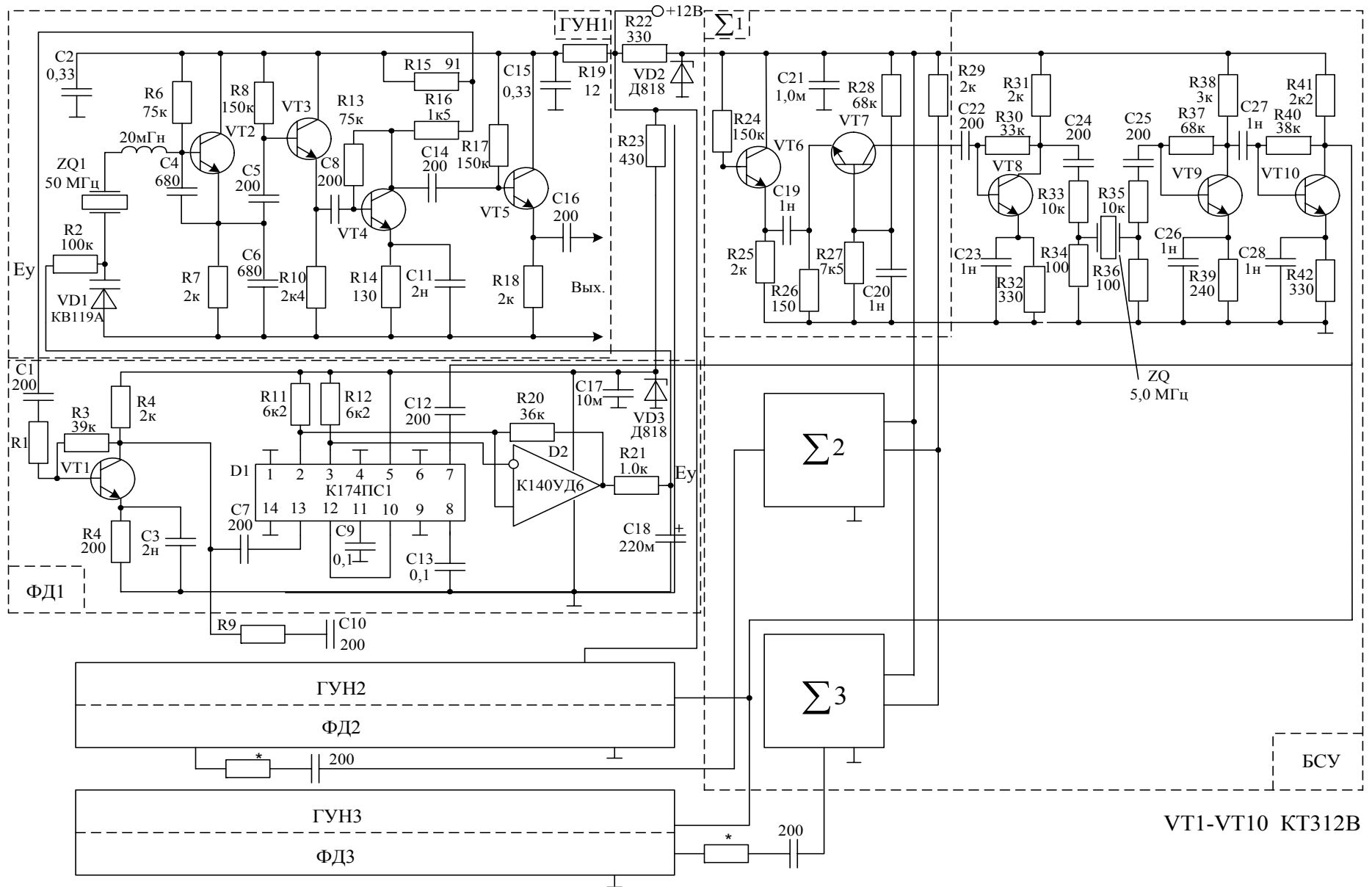


Рис.4 Схема электронного блока

Лабораторная работа №4

_____ :

Ознакомление с ТУ на промышленно выпускаемые терморезисторы и практическое исследование температурных характеристик терморезисторов разных типов (см. Приложение к лабораторной работе №4).

1. Ознакомление со схемой лабораторной установки (рис.1).
2. Ознакомление с ТУ на терморезисторы и соотношениями, описывающими температурные характеристики терморезисторов.
3. Подготовка бланка отчета со схемой (рис.1) и таблицами по форме (Таблица 1).

1. Установить температуру термостата ТНР-У 20°C и включить термостат тумблерами "Сеть" и "Подогрев" блока питания.

2. Установить температуру 40°C и, выждав примерно 10 минут (должна хотя бы два раза потухнуть лампочка "точно"), измерять термометром температуру в камере термостата и омметром сопротивление резисторов R1..R6 разных типов.

_____ !!!

- барабан вращайте в одну сторону по следованию цифр 1...6 по стрелке;
- не разбейте стеклянный ртутный термометр;
- омметр установите на такой предел, чтобы измерялись три значащие цифры.

3. Устанавливая температуры 60, 80, 100, 120°C, повторяя п.2, заполнить таблицу температурными характеристиками терморезисторов R1...R6 разных типов.

4. Установить температуру 20°C, выключить ТНР-У, отключить термокамеру от ТНР-У,

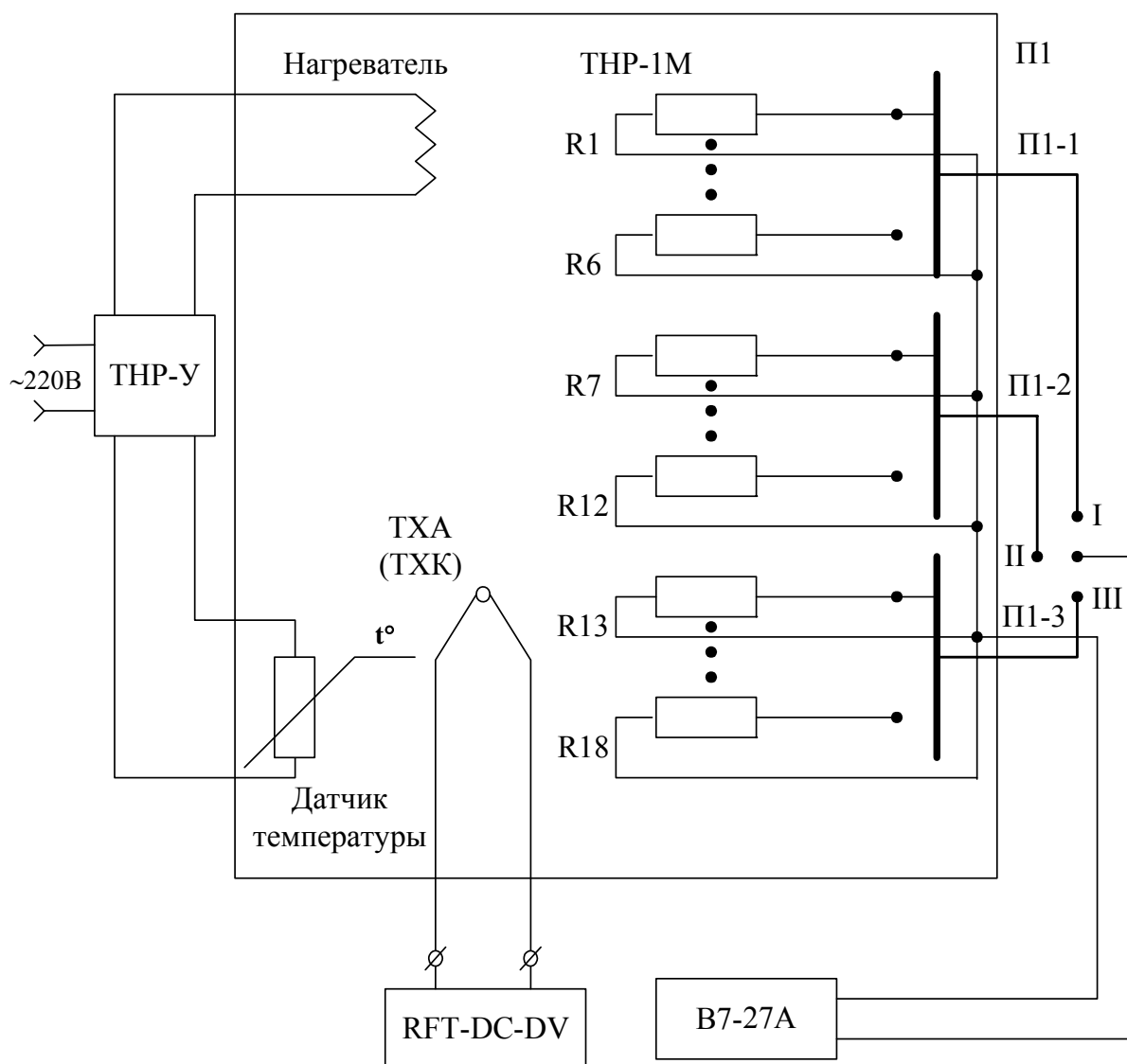


Рис.1 Схема исследования характеристик температурных измерительных преобразователей

поменять барабан с резисторами разных типов на барабан с резисторами одного типа ММТ-1, подождать 15 минут, чтобы остыла термокамера, включить ТНР-У и повторить п.п. 2, 3.

!!!

- не забудьте закрутить соединительный шнур между ТНР-У и ТНР-1м по часовой стрелке на 6...7 оборотов;
- не разбейте стеклянный ртутный термометр;

- не обожгитесь верхней частью камеры термостата.

5. Во время остывания термокамеры, на ПЭВМ войти в программу NUMERI ("создание формул"/"интерпретатор формул"). Набрать формулу изменения сопротивления R4 (КМТ-17, R₀₄=360 Ом)

$$R_T = R_0 \exp\left(B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right) \quad (1)$$

где T, T₀ — температура в Кельвинах.

Формула набора:

$$T_0 = 293\text{К}; B \geq 3600;$$

$$y(x) = 360 * \left(\exp\left(3600 * \left((273 + x)^{-1} - 1 \right) - 0.003412969 \right) \right)$$

Создать файл <lb4_R4T>, соответствующий теоретической градуировочной характеристике терморезистора R4. Тоже самое создать для терморезистора R3 (R₀₃=15000 Ом, B_{min}=2060; B_{max}=4300) и записать файл <LB4_R3T>.

6. Набрать на клавиатуре массивы экспериментальных данных для R3 и R4. Запомнить файлы <LB4_R3T> и <lb4_R4T>. В режиме "сравнение файлов" получить "относительную разность для каждой из пар" и оценить в процентах расхождение расчетных характеристик с экспериментальными.

7. Определить постоянную B для R4 и R3 по формуле:

$$B = 2.303 \times (\lg R_{T_1} - \lg R_{T_2}) / (T_1^{-1} - T_2^{-1}). \quad (2)$$

8. Определить по экспериментальным данным величину ТКС для R3 и R4.

$$\text{TKC} = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{dR_T}{dT} \cdot 100\% = -\frac{B}{T^2} (\%/^{\circ}\text{C}). \quad (3)$$

1. Построить графики температурных характеристик терморезисторов R1...R6 разных типов и P7...R12 одного типа.

2. Рассчитать по формуле (1) температурные характеристики терморезисторов КМТ-17 и ММТ-1 для B_{min} и B_{max} и наложить на соответствующие графики практических зависимостей.

!!!

- при расчете подставляйте в соотношение температуру в Кельвинах.

3. Сравнить результаты расчета и эксперимента.

4а. Прodelать то же в положении переключателя "III" "II", соответствующее исследованию разнотипных терморезисторов.

4б. Снять показания милливольтметра, соответствующе термоЭДС термопары для установленной температуры.

5. Устанавливая температуру в камере термостата 40, 60, 80 и 100°C, выполнить действия по п. 4.

6. Для ориентировочной оценки постоянных времени терморезисторов на воздухе, вынуть ртутный термометр из камеры и положить его в защитный футляр.

Установить на ТНР-У температуру 20°C и выключить термостат.

Поставить переключатель П2 в положение "II". Открыть камеру термостата и сразу же начать съем показаний омметра для терморезисторов R7, R8, R9, подключаемых переключателем III, а также величин термоЭДС термопары. Через 10с вновь померьте величины сопротивлений этих терморезисторов и величину термоЭДС. Последующие измерения проведите с интервалами 20с, 30с, 1мин, 3 мин.

1. Войдите в русифицированную инженерную программу NUMERI, ознакомьтесь с ее возможностями.

2. Запустите программу NUMERI и с ее помощью осуществите построение всех статических характеристик. Все характеристики записывать, нумеруя файлы <LB4A_RU> и т.д.

3. С помощью программы NUMERI выполните линейную аппроксимацию градуировочной характеристики платинового терморезистора ТСП.

4. для терморезистора КМТ-17 по известным значениям R_{T_1} и R_{T_2} для температур $T_1=293\text{K}$, $T_2=313\text{K}$ определить константу В по формуле:

$$B = 2.303 \times (\lg R_{T_1} - \lg R_{T_2}) / (T_1^{-1} - T_2^{-1})$$

и величину ТКС для $T=293\text{K}$:

$$\text{TKC} = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{dR_T}{dT} \cdot 100\% = -\frac{B}{T^2} \cdot 100\% \text{ (%/K)}$$

Сравнить полученные параметры с паспортными.

5. Аппроксимировать градуировочную характеристику терморезистора КМТ-17, используя вычисленное значение В и возможности программы NUMERI. Для этого войдите в NUMERI ("1. Создание данных" и "2. Данные из интерпретатора формул"). Наберите для формулы:

$$R_T = R_0 \exp\left[B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right],$$

где $R_0=360$ Ом, $B=3600$ (например), выражение

$$y(x) = 360 * (\exp(3600 * (((273 + x)^{-1}) - 0.003412969))).$$

Значение x задать от 20 до 100, шаг 20. Записать файл <LB4A_R7T> соответствующий экспериментально-теоретической градуировочной характеристики терморезистора R7.

Перейти нажатием [ESC] в подменю "4. Сравнение файлов". Загрузить и сравнить файлы <LB4A_R7> и <LB4A_R7T>, получить "Относительную разность" и оценить ее в процентах.

Оценить постоянные времени R7, R8, R9 на уровне 0,5.

5.

1. Структурная схема лабораторной установки.
2. Таблицы измерений по п.п. 4, 5, 6.
3. Графики результатов измерений.
4. Выводы по работе.

Лабораторная работа №4а

1.

1. Изучить физические принципы функционирования тепловых измерительных преобразователей (ТИП) параметрического типа (терморезисторов) и генераторного типа (термопар), их конструктивные особенности и характеристики.

2. Изучить метрологические характеристики и конструктивные особенности серийных ТИП, включение их в измерительно-преобразовательные цепи.

3. Приобрести навыки в снятии статических градуировочных характеристик с использованием РЭВМ для обработки результатов экспериментов.

2.

Установка (термостат) содержит задатчик температуры, состоящий из блока управления ТНР-У и камеры ТНР-1м. Температура в ней задается нагревательным элементом и контролируется резистивным датчиком системы управления, а также ртутным термометром, устанавливаемым в специальное отверстие в верхней части камеры. В верхней же части камеры смонтирован вентилятор, обеспечивающий в используемом режиме работы отсутствие температурного градиента по всему объему.

Исследуемые термопары и терморезисторы через коммутационный узел подключаются к омметру В7-27А и милливольтметру RFT-DC-DV соответственно.

!!! В ходе работы

- особо бережно обращаться со ртутным термометром;
- избегайте касаний корпуса двигателя вентилятора на верхней части камеры термостата для исключения опасности ожогов.

3.

1. Включить на прогрев омметр и милливольтметр.

2. Получив разрешение преподавателя, открыть камеру термостата и, пользуясь справочными материалами, приведенными в "Приложении", по внешнему виду определить типы исследуемых

терморезисторов $R_1 \dots R_n$. Определить вид соединительной линии термопары.

3. Закрывать камеру термостата, установить ртутный термометр. Установить температуру термостата ТНР-У 20°C и включить тумблеры "Сеть" и "Подогрев". В случае, если температура в лаборатории близка к 20°C (см. показания ртутного термометра), установить температуру 25°C .

4. Поставить переключатель III в положение "I", соответствующее исследованию характеристик однотипных терморезисторов ММТ-1. По истечении 10 мин с момента включения термостата, оперируя переключателем П2, снять по шкале омметра показания величин $R_1 \dots R_6$ при установленной температуре. Предел омметра следует выбирать таким, чтобы фиксировались три значащие цифры.

Таблица 1. Зависимость сопротивлений терморезисторов от температуры

$T, ^\circ\text{C}$						
$R, \text{кОм}$	$R_{1(7)}$					
	$R_{2(8)}$					
	$R_{3(9)}$					
	$R_{4(10)}$					
	$R_{5(11)}$					
	$R_{6(12)}$					