

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

В. А. Прилепский

**Автоматизированные учебные практикумы и лаборатория
цифроаналогового моделирования**

Электронное учебное пособие

С А М А Р А
2011

УДК 681.2: 629.13(075.8)
ББК 68.53
П 76

Автор: **Прилепский Василий Андреевич**

Рецензенты: Заместитель Генерального конструктора УФКБ им. Туполева д-р. техн. наук, Г. И. Коротнев; заведующий кафедрой электротехники д-р техн. наук, профессор В. М. Гречишников

Компьютерная верстка В. А. Прилепский
Доверстка В. А. Прилепский

Прилепский, В. А. Автоматизированные учебные практикумы и лаборатория цифроаналогового моделирования [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / В. А. Прилепский; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (9,44 Мбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Кратко изложены лабораторно-практические приложения на основе графической среды Lab VIEW, для моделирования принципов измерений, построений и состава конкретных авиационных приборов и информационно-измерительных систем воздушных судов гражданской авиации. Особое внимание уделено методам измерения пилотажно-навигационных параметров и принципам работы приборов и систем.

Учебное пособие предназначено для бакалавров по направлению подготовки 162500.62 "Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов" и изучающих дисциплину "Информационно-измерительные системы" в 7 и 8 семестрах.

Подготовлено на кафедре эксплуатации авиационной техники факультета ИВТ СГАУ.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2011

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 МОСТОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ-----	6
1.1 Схема моста с гальванометрическим указателем -----	6
1.2 Схема моста с логометрическим указателем-----	8
1.3 Электрический термометр сопротивления ТУЭ-48-----	10
1.4 Описание работы функциональных схем в среде графического программирования LABVIEW-----	12
1.5 Электрический термометр сопротивления ТУЭ-4 -----	20
2 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ТОПЛИВА СУИТЗ-2-----	23
2.1 Состав системы -----	23
2.2 Описание -----	25
2.3 Работа измерительной части -----	28
2.4 Имитация работы канала измерения топлива в программной среде LABVIEW	8.5
	31
2.4.1 Лицевая панель разработанного виртуального прибора -----	32
2.4.2 Блок-диаграмма разработанного виртуального прибора-----	36
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ТОПЛИВО ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТИС-140-----	40
3.1 Общие сведения-----	40
3.2 Описание -----	41
3.3 Принцип работы -----	47
3.4 Имитация ТИС-140 в программной среде LabVIEW 8.5 -----	66
4 АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИИ ИВ-42 -----	77
4.1 Описание и работа системы -----	77
4.2 Описание -----	79
4.3 Основные технические данные -----	81
4.4 Принцип работы -----	83
4.5 Отыскание неисправностей-----	85
4.6 Описание работы схемы в программной среде LABVIEW-----	87
5 СИСТЕМА ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ СВС1-72-1 -----	93
Перечень сокращений-----	94
5.1 Общая часть-----	95
5.2 Разработка алгоритма проверки системы СВС-----	110
5.3 Разработка алгоритма проверки функционирования УСИМ -----	111
5.4 Программ функционального контроля в режиме имитации и на технических средствах в программе МАСКА -----	112
5.5 Оценка точностных характеристик реального прибора и моделируемого-----	117
5.6 Анализ принципиальной схемы и составление программы тестирования-----	119
5.7 Разработка варианта функциональной схемы в аппаратно-программной среде МАСКА	

6 РАЗРАБОТКА РАБОЧЕЙ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ МАСКА -----	125
6.1 Средства и технологии -----	125
6.2 Разработка виртуальной панели системы «МАСК-ПЭ» в ПС «LabVIEW»-----	126
6.3 Описание блок-диаграммы виртуального прибора «МАСК-СВС-72» -----	131
6.4 Работа программы контроля в режиме «Имитация» -----	140
7 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОВЕРКИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ «МАСКА».....	142
7.1 Технология работы с системой -----	142
7.2 Технология проверки системы СВС-72 -----	143
Список используемых источников -----	144

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях жесткие требования к эксплуатации воздушных судов (ВС) выдвинули на первый план проблему создания высокоэффективных унифицированных средств контроля, диагностирования, моделирования и прогнозирования технического состояния при изготовлении и техническом обслуживании ВС, обеспечивающие минимальные сроки и затраты на техническое обслуживание (ТО). Современные ВС характеризуются насыщенностью блоков и устройств электронного и электротехнического оборудования, объединенных сотнями тысяч связей, общая протяженность которых составляет до 800-1000 км. Также встроенный обегаящий контроль всех электронных блоков авионики ВС констатирует исправность этих блоков, но не обеспечивает техническое состояние параметров системы или конкретного блока, а тем более прогнозирование сроков службы и наработки на отказ при включении систем и техническом обслуживании. Поиск дефектов, проявленных во время эксплуатации ВС, занимает значительное время, а прогнозированием срока службы и наработки на отказ авионики в настоящее время не уделяется должного внимания. Поиск не проявленных дефектов вообще не проводится, так как техническое обслуживание производится в основном по техническому состоянию. Это обусловлено тем, что в настоящее время, не применяются аппаратно-программные средства, способные выполнить эту задачу. Существует проблема гарантированного безотказного полета в течение гарантированных часов налета, хотя статистика, основанная на теории вероятности, может доказывать обратное. Суть проблемы заключается в следующем: при изготовлении, техническом обслуживании, ремонте и проведении регламентных работ проверяется функциональная работоспособность систем, блоков, элементов и др. компонент авионики. При этом существующие регламентирующие материалы, технологические процессы, производственные инструкции не предусматривают комплексную проверку работоспособности и диагностику технического состояния каждого элемента, блока, системы или пилотажно-навигационного комплекса в целом с целью определения гарантированного срока службы и наработки на отказ. Таким образом, каждый элемент или группа элементов, выполняющих определенную функцию, контролируемые современными техническими средствами по существующим технологиям, могут гарантировать свои технические характеристики после контроля только с определенной вероятностью. Анализ авиакатастроф в мире показывает, как дорого обходятся вероятностные методы технического состояния ВС. Отсюда следует простой вывод: нужно не только анализировать техническую неполадку, отказ или авиакатастрофу, а её прогнозировать и предотвращать на основе цифроаналогового моделирования контролируемых объектов и их поведения в процессе эксплуатации и эволюции их функциональных параметров.

1 МОСТОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

1.1 Схема моста с гальванометрическим указателем

Схема моста с гальванометром в качестве указателя приведена на рисунке 1.1, где R_1, R_2, R_3 и R_4 - сопротивление плеч моста; R_G - сопротивление гальванометра; u - напряжение питания моста.

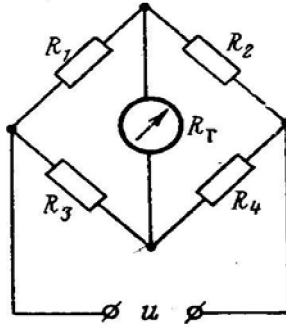


Рисунок 1.1 – Схема моста с гальванометром

Ток в диагонали моста:

$$i_G = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_G (R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)} u. \quad (1.1)$$

Если удовлетворяет условие

$$R_1 R_4 - R_2 R_3 = 0, \quad (1.2)$$

то сила тока i_G в гальванометре обращается в нуль и мост находится в равновесии.

Если одно из сопротивлений плеч моста, например R_4 является переменным, то сила тока i_G при этом изменяется. Следовательно, между силой тока i_G в гальванометре и величиной сопротивления R_4 при постоянных значениях других сопротивлений и при постоянном значении напряжения u питания существует однозначная зависимость вида

$$i_G = f(R_4), \quad (1.3)$$

позволяющая преобразовать изменение сопротивления в изменение силы тока.

Следует отметить, что основным недостатком мостовых схем с гальванометром является зависимость силы тока i_G от величины напряжения u . Действительно, если напряжение изменится на Δu , то сила тока i_G изменится на Δi_G . Поскольку связь между величинами i_G и u линейна, как это видно из формулы (1), то

$$\frac{\Delta i_G}{\Delta u} = \frac{i_G}{u}. \quad (1.4)$$

Следовательно, для питания мостовых схем необходим источник со строго постоянным напряжением.

Преобразуем выражение (1), для чего прибавим и вычтем из числителя $R_1 R_3$ и разделим числитель и знаменатель на $(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)$. Выполнив это, получим

$$i_G = u \frac{\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4}}{R_G + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}. \quad (1.5)$$

Учитывая, что $u \frac{R_1}{R_1 + R_2} = u_1$ - падение напряжения на плече R_1 , а $u \frac{R_3}{R_3 + R_4} = u_3$ - падение напряжения на плече R_3 , можно вместо выражения (1.5) написать

$$i_G = \frac{u_1 - u_3}{R_G + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}. \quad (1.6)$$

Отсюда следует, что сила тока i_G обращается в нуль при равенстве падений напряжений на сопротивлениях R_1 и R_3 , т.е.

$$u_1 = u_3. \quad (1.7)$$

Перейдем к выбору оптимальных параметров мостовых схем, при этом в качестве критерия оптимальности будем принимать наибольшую чувствительность схемы. Чувствительность S мостовой схемы вместе с указателем можно характеризовать отношением приращения $\Delta\alpha$ в показании прибора к относительному приращению сопротивления измерительного плеча $\varepsilon = \frac{\Delta R_4}{R_4}$, т.е.

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\varepsilon}. \quad (1.8)$$

Если в качестве указателя применяется магнитоэлектрический гальванометр, то угол отклонения его подвижной системы пропорционален корню квадратному из величины мощности $P_G = R_G i_G^2$, рассеиваемой в рамке, т.е.

$$\alpha = c i_G \sqrt{R_G}, \quad (1.9)$$

где c - коэффициент пропорциональности.

Очевидно, чем больше мощность, рассеиваемая в рамке прибора, тем при прочих равных условиях больше угол α отклонения его подвижной системы. Известно, что наибольшая мощность на сопротивлении выделяется тогда, когда это сопротивление равно внутреннему сопротивлению генератора, т.е.

$$R_G = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}. \quad (1.10)$$

Следовательно, сопротивление гальванометра следует выбирать из соотношения (1.10), причем наибольшая чувствительность будет определяться соотношениями между сопротивлениями моста.

Выразим рассеиваемую в рамке прибора мощность $P_G = R_G i_G^2$ через параметры моста, для чего воспользуемся выражениями (5) и (10). Получим

$$\sqrt{P_G} = \frac{u}{2} \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}{\sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}}. \quad (1.11)$$

Полагая, что сопротивление R_4 измерительного плеча изменилось на величину ΔR_4 , т.е.

$$R_4 = R_{40} + \Delta R_4,$$

где R_{40} - значение сопротивления, соответствующее равновесию моста, получим

$$\sqrt{P_r} = \frac{u}{2} \frac{\varepsilon}{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(1 + \frac{R_3}{R_{40}}\right) \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}}}. \quad (1.12)$$

где

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_4}{R_{40}}.$$

При этом мы воспользовались условием, что $R_1 R_{40} - R_2 R_3 = 0$, и пренебрегли членами, содержащими ε в степени выше первой.

При заданных напряжении u питания и сопротивлении измерительного плеча можно найти максимум выражения (1.12) по параметрам R_1, R_2 и R_3 . В практике большое распространение находят симметричные мосты, в которых число независимых параметров уменьшается.

В случае, когда $R_1 = R_3$ и $R_2 = R_{40}$, выражение (12) принимает вид

$$P_r = \frac{\varepsilon^2 u^2}{8} \frac{R_1 R_{40}}{(R_1 + R_{40})^3}. \quad (1.13)$$

В авиационных приборах, содержащих мостовые схемы, возникают температурные погрешности вследствие влияния температуры окружающей среды на сопротивление рамки, магнитную индукцию и другие параметры гальванометра. Для компенсации этих погрешностей применяют различные компенсационные устройства, чаще всего добавочные сопротивления с нулевым или отрицательным температурным коэффициентом, включаемые последовательно с рамкой гальванометра. При этом удается понизить температурный коэффициент прибора до допустимых значений путем снижения его чувствительности.

Из приведенных соображений ясно, что от условий наибольшей чувствительности нередко приходится отказываться, чтобы удовлетворить другим требованиям, предъявляемым к прибору. Положение, однако, облегчается тем, что кривая чувствительности по параметрам схемы не имеет острого экстремума, поэтому отступление от условий экстремума не приводит к большому снижению чувствительности.

1.2 Схема моста с логотметрическим указателем

Схема, приведенная на рисунке 1.2, имеет преимущества перед схемой на рисунке 1, в отношении чувствительности, так как в них оба тока изменяются в противоположных направлениях.

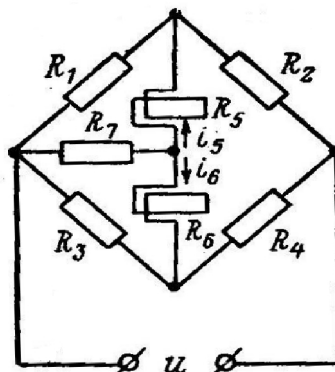


Рисунок 1.2 – схема моста с логометром

На рисунке 2 приняты следующие обозначения R_1, R_2, R_3 и R_4 - сопротивления плеч моста, причем последнее плечо – измерительное; R_5 и R_6 - сопротивления рамок логометра; R_7 - сопротивление полудиagonали.

Выше было показано, что отклонение подвижной системы логометра является функцией отношения сил токов в рамках, т.е.

$$\alpha = f\left(\frac{i_5}{i_6}\right). \quad (2.1)$$

Но отношение сил токов зависит от сопротивлений схемы. Отношение токов в рамках будет (полагаем $R_5 = R_6$)

$$\frac{i_5}{i_6} = \frac{R_3[R_1(R_5 + R_2) + R_2(R_5 + R_7)] - R_1R_4R_7}{R_1R_3(R_5 + R_4) + R_1R_4(R_5 + R_7) - R_2R_3R_7}. \quad (2.2)$$

Полагая сопротивления R_1 и R_3 равными, т.е. $R_1 = R_3 = R$, получим

$$\frac{i_5}{i_6} = \frac{RR_5 + R_4R_7 + R_2(R_5 + R_7 + R)}{RR_5 + R_2R_7 + R_4(R_5 + R_7 + R)}. \quad (2.3)$$

По формуле (2.3) при заданных значениях сопротивлений моста можно найти отношения сил токов в рамках логометра, а следовательно, и угол α отклонения подвижной системы.

В приборах с логометрическими указателями сопротивление полудиagonали R_7 обычно выбирают из условия компенсации температурных погрешностей, вызванных влиянием температуры ϑ окружающей среды на рамки логометра.

Уравновешенный мост характеризуется режимом компенсации – методом измерения, при котором $i_{II} = 0$. Это достигается изменением сопротивления R_{np1} моста. Принцип действия заключается в том, что для получения равновесия моста перемещается щетка потенциометра R_{np2} (рисунок 3), включенного между двумя плечами моста. Щетка может перемещаться от ручки (ручной ввод) или автоматически электродвигателем, управляемым от сигнала измерительной диагонали через реле или усилитель. Погрешность уравновешивания (компенсации) зависит от характеристики R_{np2} .

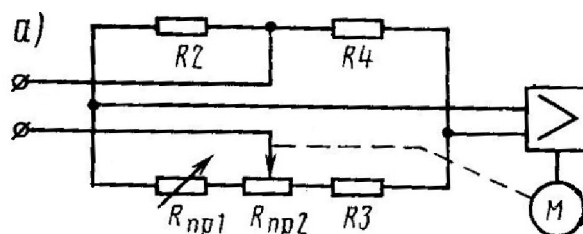


Рисунок 1.3 – схема уравновешенного моста с линейной характеристикой

Для получения линейной шкалы прибора, т.е. зависимости

$$\Delta R_{np2} = f(\Delta R_{np1}) \quad (3.1)$$

где ΔR_{np2} - приращение сопротивления потенциометра уравновешивания; ΔR_{np1} - приращение сопротивления измерительного плеча (преобразователя Пр или приемника П).

Для схемы на рисунке 3 уравнение равновесия (для положения щетки в крайнем левом положении) имеет вид:

$$R_{np1}R_4 = R_2(R_{np2} + R_3) \quad (3.2)$$

Положим, что с изменением измеряемой величины уменьшилось сопротивление R_{np1} на ΔR_{np1} . Мост разбалансируется и двигатель будет перемещать щётку до наступления нового равновесия, соответствующего уравнению:

$$(R_{np1} - \Delta R_{np1} + \Delta R_{np2})R_4 = R_2(R_3 + R_{np2} - \Delta R_{np2}). \quad (3.3)$$

Учитывая уравнение (3.2), получим

$$-R_4R_{np1} + \Delta R_{np2}R_4 = R_2\Delta R_{np2}, \text{ откуда}$$

$$\Delta R_{np2} = \Delta R_{np1} \frac{R_4}{R_4 + R_2}. \quad (3.4)$$

Как видно, перемещение щётки уравновешивания линейно зависит от изменения сопротивления измерительного плеча моста.

1.3 Электрический термометр сопротивления ТУЭ-48

В электрических термометрах сопротивления используется свойство проводников или полупроводников изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры.

Известно, что металлы при повышении температуры увеличивают свое электрическое сопротивление. Так, например, при нагреве от 0 до 100° С большинство металлов увеличивает сопротивление в среднем на 40%. Полупроводники (окислы и сернистые соединения металлов, растворы и другие полупроводники) понижают свое сопротивление с повышением температуры, причем в этом случае температурный коэффициент сопротивления в несколько раз больше, чем для металлов. Пользуясь однозначной зависимостью между сопротивлением и температурой, можно измерение температуры свести к измерению сопротивления.

Выбор материала для сопротивления как теплочувствительного элемента обуславливается удобством его изготовления, надежностью в эксплуатации, достаточной чувствительностью, однозначной зависимостью сопротивления от температуры и отсутствием воздействия среды на чувствительный элемент. Этим требованиям удовлетворяют некоторые

металлы и значительное количество полупроводников (хлориды и карбиды; окиси урана, никеля, марганца и др.; бор, кремний, германий, теллур и др.).

Для металлов обычно принимают, что сопротивление является линейной функцией температуры, т. е.

$$R = R_0 [1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0)] \quad (4.1)$$

где R и R_0 - сопротивления, соответствующие температурам ϑ и ϑ_0 ;

α - температурный коэффициент сопротивления.

Основными металлами для изготовления термометров сопротивления являются медь, железо, никель и платина.

В термометрах сопротивления изменение температуры преобразуется в изменение сопротивления, а сопротивление измерится посредством мостовых схем.

В авиационных бортовых термометрах применяются мостовые схемы с логометрами в качестве указателей. В таких схемах реализуется метод отклонения.

На рисунке 1.4 приведена электрическая схема термометра сопротивления ТУЭ-48.

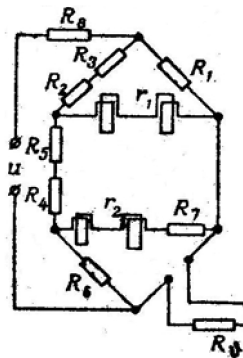


Рисунок 1.4 – электрическая схема термометра сопротивления ТУЭ-48

Отношение токов в рамках логометра для схемы на рисунке 4 будет

$$\frac{i_{k1}}{i_{k2}} = \frac{R_1(R_5R_6 + r_2R_6 + r_1r_2) - R_9(R_2r_1 - R_1R_5)}{R_1R_6r_2 - R_9(R_1R_5 + R_2R_5 + R_2r_1 + R_5r_2)} \quad (4.2)$$

Унифицированный электрический термометр сопротивления ТУЭ-48 предназначен для измерения температуры масла, воды, воздуха в карбюраторе, наружного воздуха и др.

Сопротивление теплочувствительного элемента выполнено из никелевой проволоки $d=0,05$ мм. Зависимость сопротивления теплочувствительного элемента от температуры показана на рисунке 1.5.

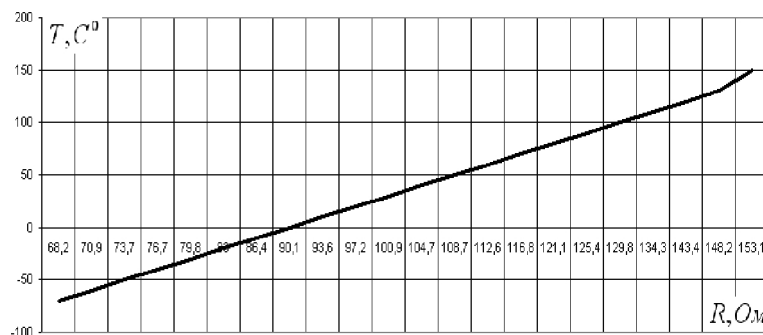


Рисунок 1.5 – зависимость сопротивления теплочувствительного элемента от температуры

Датчик термометра ТУЭ-48 состоит из теплочувствительного элемента, корпуса и штепсельного соединения.

1.4 Описание работы функциональных схем в среде графического программирования Labview

1.4.1 Мост с гальванометрическим указателем

Открываем файл с названием “гальванометр и логометр”, появляется лицевая панель программы, и щелкнем курсором на запуск программы (стрелка в левом верхнем углу на рисунке 1.6).

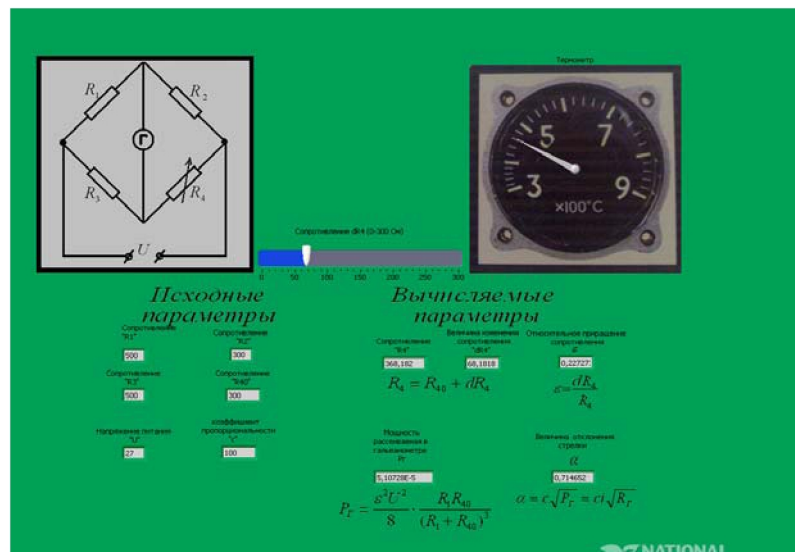


Рисунок 1.6 – Лицевая панель управления прибором

В программе приведена функциональная схема, и указатель термометра, а между ними расположен задающий элемент величины изменения сопротивления R_4 . Этим задающим элементом мы создаем приращение сопротивлению R_4 на величину ΔR_4 в пределах от 0 до 300 Ом (рисунок 1.7).

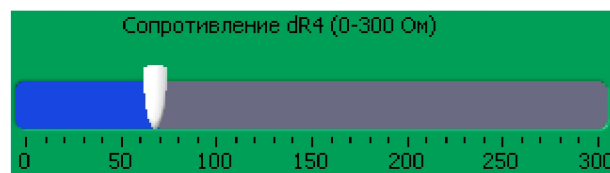


Рисунок 1.7 – Задатчик сопротивления

При $\Delta R_4 = 0$ (двигок в крайнем левом положении) мост находится в равновесии, и ток через гальванометр не течет, следовательно стрелка указателя расположена на минимальном значении. При увеличении ΔR_4 , мост выходит из равновесия, и стрелка термометра отклоняется пропорционально изменению ΔR_4 .

Также в программе имеются индикаторы изображенные на рисунке 1.8, которые делятся на две группы: исходные параметры и вычисляемые параметры.



Рисунок 1.8 – Индикатор исходных параметров

К исходным параметрам относятся сопротивления всех плеч моста, R_{40} - сопротивление переменного сопротивления при $\Delta R_4 = 0$, напряжение питания моста и коэффициент пропорциональности.

К вычисляемым параметрам (рисунок 1.9) относятся: сопротивление R_4 с учетом ΔR_4 , относительное приращение сопротивления, мощность рассеиваемая в гальванометре, и величина отклонения стрелки пропорционально рассеиваемой мощности. Так же под индикаторами полученных величин, приведены формулы их вычисления, благодаря которым можно вручную пересчитать все значения и сравнить со значениями высчитанные программой.



Рисунок 1.9 – Индикатор вычисляемых параметров

1.4.2 Мост с логометрическим указателем

Открываем файл с названием “гальванометр и логометр”, появляется лицевая панель программы, и щелчком курсором на запуск программы (рисунок 1.10).

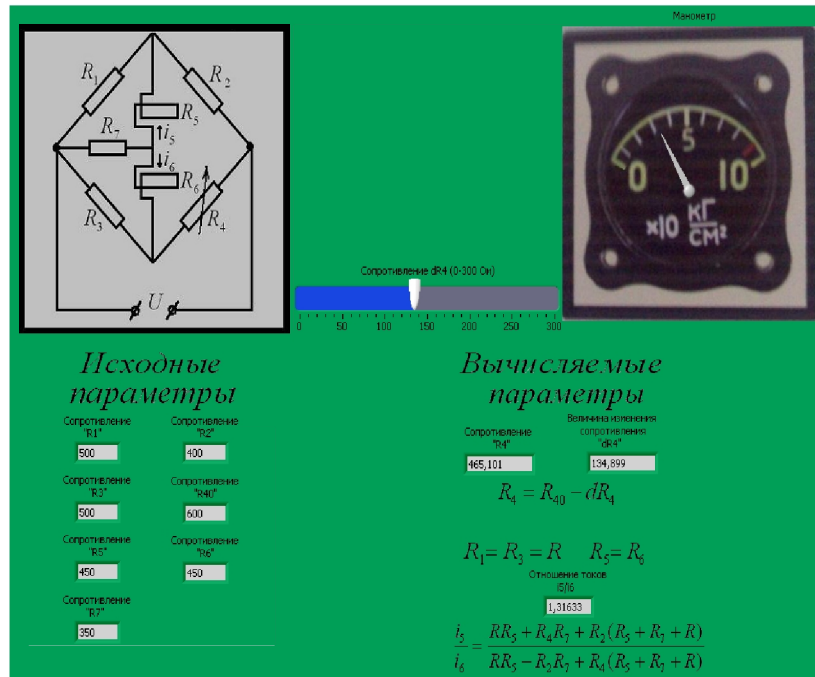


Рисунок 1.10 – Лицевая панель управления прибором

В программе приведена функциональная схема, и указатель манометра, а между ними расположен задающий элемент величины изменения сопротивления R_4 . Этим задающим элементом мы создаем приращение сопротивлению R_4 на величину $-\Delta R_4$ в пределах от 0 до 300 Ом (рисунок 1.11).

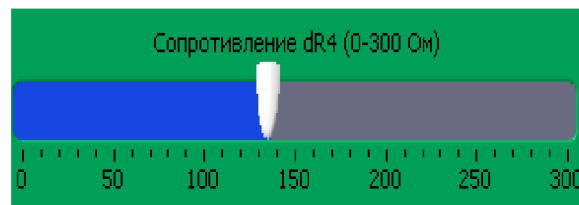


Рисунок 1.11 – Задатчик сопротивления

При $\Delta R_4 = 0$ (движок в крайнем левом положении) мост находится в равновесии, и через логометр протекает минимальный ток, следовательно стрелка указателя расположена на минимальном значении. При увеличении $-\Delta R_4$, мост выходит из равновесия, и стрелка манометра отклоняется пропорционально изменению $-\Delta R_4$.

Также в программе имеются индикаторы, которые делятся на две группы: исходные параметры и вычисляемые параметры (рисунок 1.12).

К исходным параметрам относятся сопротивления всех плеч моста. R_{40} - это сопротивление переменного сопротивления при $\Delta R_4 = 0$.



Рисунок 1.12 – Индикатор исходных параметров

К вычисляемым параметрам относятся: сопротивление R_4 с учетом ΔR_4 и величина отношения токов в рамках $\frac{i_5}{i_6}$. Так же под индикаторами полученных величин, приведены формулы их вычисления, благодаря которым можно вручную пересчитать все значения и сравнить со значениями высчитанные программой (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Индикатор вычисляемых параметров

1.4.2.1 Блок диаграмм для гальванометра и логометра (рисунок 1.14)

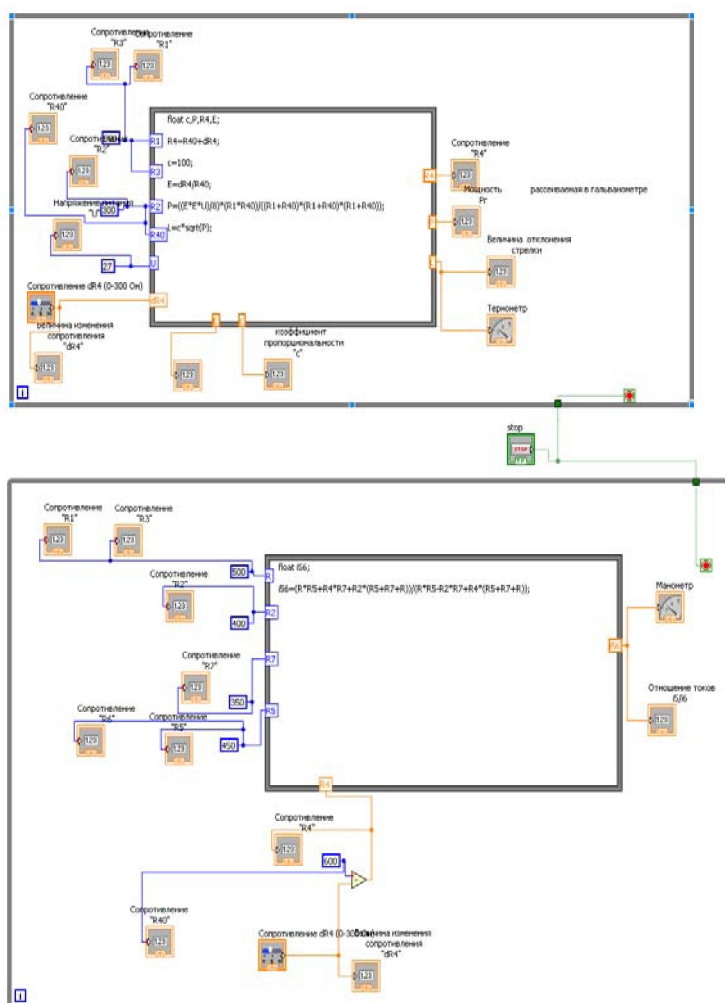


Рисунок 1.14 – Блок диаграмма прибора

Блок диаграмм состоит из двух бесконечных циклов, первый принадлежит гальванометру, второй логометру.

Цикл гальванометра. В цикле один формульный узел, на который подаются все начальные сопротивления плеч моста R_1, R_2, R_3, R_{40} , напряжения питания U и коэффициент пропорциональности s . Так же в этот формульный узел подается изменяемая величина ΔR_4 , которую мы задаем вручную на лицевой панели. В формульном узле происходят все расчеты, которые были приведены в теоретической части в пункте №1. С выхода формульного узла подаем на индикаторы следующие значения: сопротивление R_4 , относительное приращение сопротивления R_4 , мощность рассеиваемую в гальванометре, величину отклонения стрелки.

Цикл логометра: В цикле один формульный узел, на который подаются все начальные сопротивления плеч моста $R_1, R_2, R_3, R_{40}, R_5, R_6, R_7$. Так же на вход подается сопротивление R_4 , которое мы вручную на лицевой панели уменьшаем на величину ΔR_4 . В формульном узле происходят вычисления, которые были приведены в пункте №2, для

определения отношения токов. На выходе с формульного узла выводим на индикатор значение отношения токов $\frac{i_5}{i_6}$.

1.4.3 Компенсационная схема

Открываем файл с названием “компенсационная схема”, появляется лицевая панель программы, и щелчком курсором на запуск программы (рисунок 1.15).

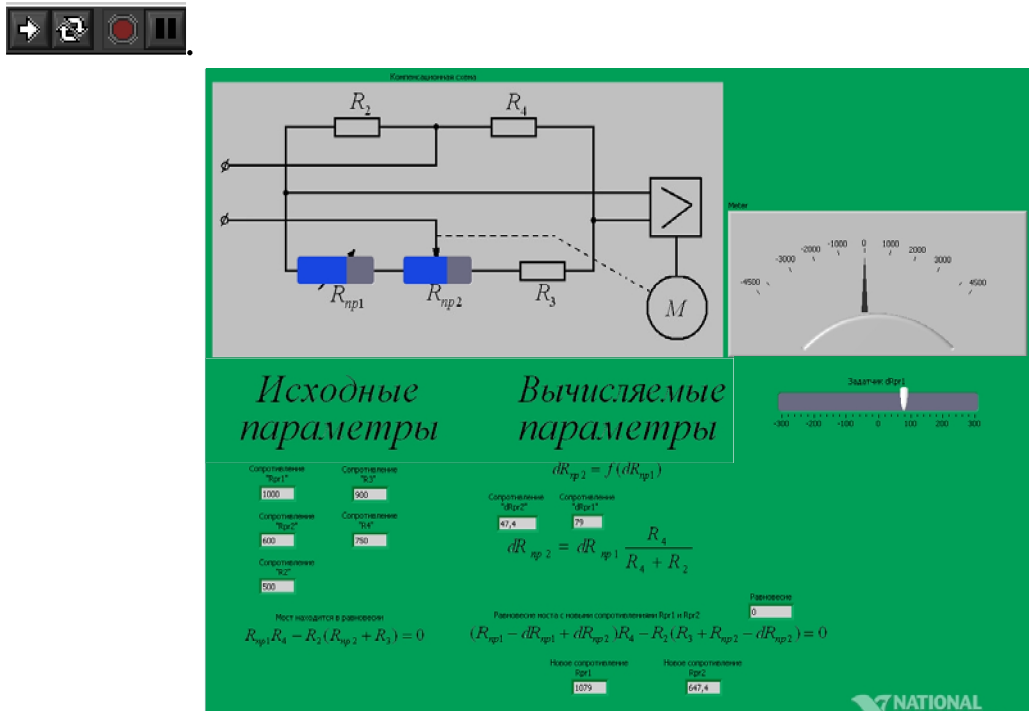


Рисунок 1.15 - Лицевая панель управления прибором

В программе приведена функциональная схема, и указатель показывающий разбаланс моста, ниже расположен задающий элемент величины изменения сопротивления R_{np1} (рисунок 1.16). Этим задающим элементом мы создаем приращение сопротивлению R_{np1} на величину ΔR_{np1} в пределах от -300 до 300 Ом.

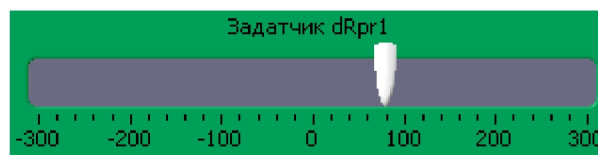


Рисунок 1.16 – Задатчик значений R_{np1}

В исходном положении мост находится в равновесии. Подводим курсор мышки к задающему элементу ΔR_{np1} в область от -300 до 300 и делаем один щелчок. Сопротивлению R_{np1} сообщится приращение ΔR_{np1} и мост выйдет из равновесия. Двигатель переместит щетку

потенциометра R_{np2} на величину ΔR_{np2} , и тем самым приведет мост вновь в уравновешенное состояние. Вычисление ΔR_{np2} приведено в теоретической части. При каждом изменении R_{np1} будет получаться новое сопротивление R_{np2} . Для наглядности в схему вставлены индикаторы, показывающие визуальное изменение сопротивления и численное значение этих сопротивлений (рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 – Индикатор значений сопротивлений R_{np1} , R_{np2}

Также в программе имеются индикаторы, которые делятся на две группы: исходные параметры (рисунок 1.18) и вычисляемые параметры (рисунок 1.19).



Рисунок 1.17 – Исходные параметры

К исходным параметрам относятся сопротивления всех плеч моста. В том числе и начальные значения переменных сопротивлений R_{np1} и R_{np2} . При данных начальных сопротивлениях мост находится в равновесии ($\Delta R_{np1} = \Delta R_{np2} = 0$).

К вычисляемым параметрам относятся ΔR_{np2} -значение на которое необходимо изменить R_{np2} , чтобы мост вернулся в равновесие, при изменении R_{np1} . Так же под индикаторами полученных величин, приведены формулы их вычисления, благодаря которым можно вручную пересчитать все значения и сравнить со значениями высчитанные программой.

Вычисляемые параметры

$$dR_{np2} = f(dR_{np1})$$

Сопротивление "dRpr2"	Сопротивление "dRpr1"
<input type="text" value="47,4"/>	<input type="text" value="79"/>

$$dR_{np2} = dR_{np1} \frac{R_4}{R_4 + R_2}$$

Равновесие	<input type="text" value="0"/>
------------	--------------------------------

Равновесие моста с новыми сопротивлениями Rpr1 и Rpr2

$$(R_{np1} - dR_{np1} + dR_{np2})R_4 - R_2(R_3 + R_{np2} - dR_{np2}) = 0$$

Новое сопротивление Rpr1	Новое сопротивление Rpr2
<input type="text" value="1079"/>	<input type="text" value="647,4"/>

Рисунок 1.19 – Вычисляемые параметры

1.4.3.1 Описание работы блока диаграмм

На блоке диаграмм (рисунок 1.20) представлен один основной бесконечный цикл, в котором происходят все вычисления. С задатчика сопротивления ΔR_{np1} поступает величина изменения сопротивления R_{np1} , которую мы задаем вручную. Эта же величина для сравнения подается на сдвиговый регистр, необходимый в дальнейшем для имитации работы двигателя. Далее по формуле $\Delta R_{np2} = \Delta R_{np1} \frac{R_4}{R_4 + R_2}$ высчитывается величина ΔR_{np2} , на которую нужно изменить сопротивление R_{np2} , чтобы мост вернулся в равновесие. Далее высчитываем сигнал разбаланса по формуле $R_{np1}R_4 - R_2(R_{np2} + R_3)$ и подаем на кейс структуру, где в зависимости от величины изменения R_{np1} , имитируется вращение двигателя, который изменяя сопротивление R_{np2} приводит мост в равновесие с новыми сопротивлениями R_{np1} и R_{np2} .

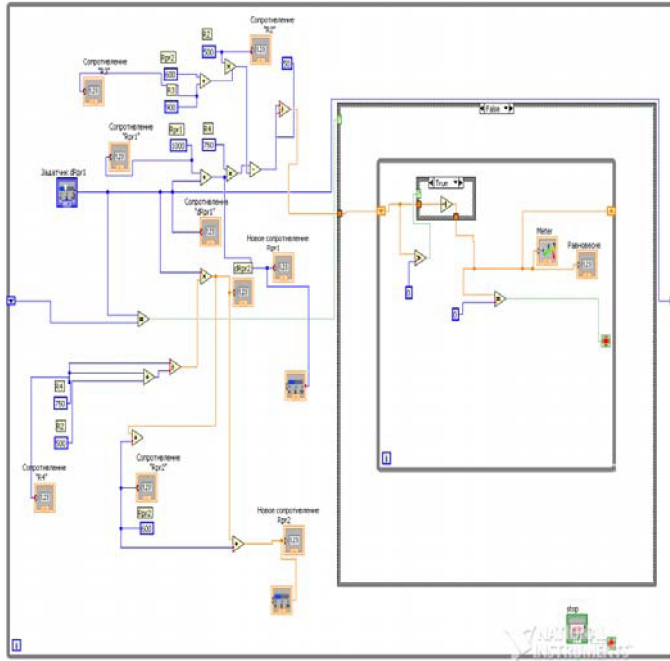

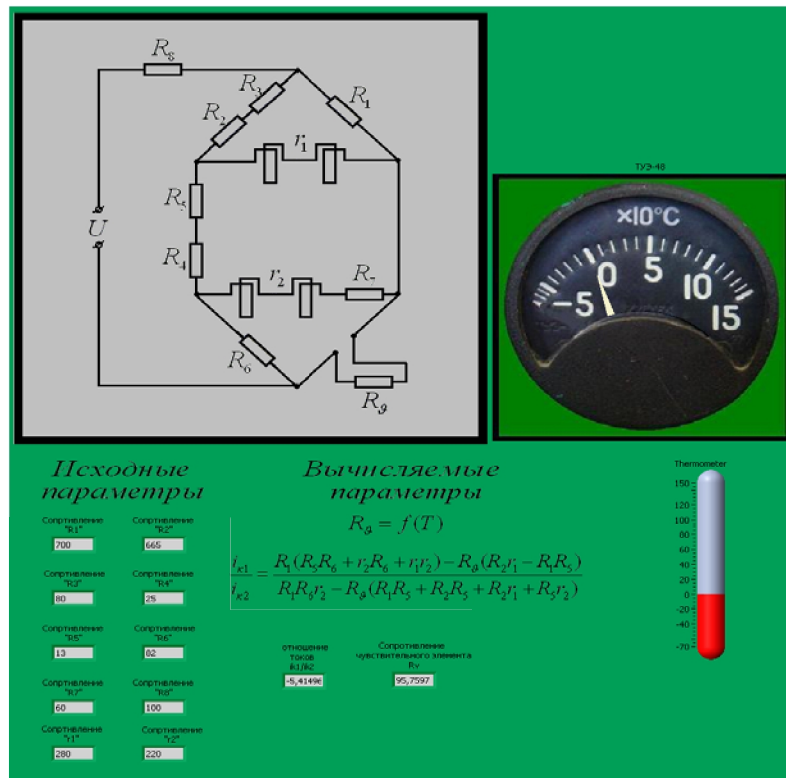


Рисунок 1.20 - Блок диаграмм для компенсационной схемы

1.5 Электрический термометр сопротивления ТУЭ-4

Открываем файл с названием “ТУЭ-48”, появляется лицевая панель прибора (рисунок 1.21) и нажимаем на запуск программы .



Исходные параметры

Сопротивление "R ₀ "	Сопротивление "R ₁₀₀ "
700	665
Сопротивление "R ₂₀₀ "	Сопротивление "R ₃₀₀ "
60	25
Сопротивление "R ₄₀₀ "	Сопротивление "R ₅₀₀ "
13	62
Сопротивление "R ₆₀₀ "	Сопротивление "R ₇₀₀ "
60	100
Сопротивление "R ₈₀₀ "	Сопротивление "R ₉₀₀ "
280	220

Вычисляемые параметры

$$R_{\theta} = f(T)$$

$$i_{e1} = \frac{R_1(R_2R_6 + r_2R_6 + r_1r_2) - R_0(R_2r_1 - R_1R_3)}{R_1R_2r_2 - R_0(R_1R_3 + R_2R_5 + R_2r_1 + R_1r_2)}$$

отделение
тока
и U/R₀


Сопротивление
чувствительного элемента
R_θ

-5,41496 95,7597

Термометр

150
120
90
60
30
0
-30
-60
-90

Рисунок 1.21 – лицевая панель для исследования ТУЭ-48

На панели приведена функциональная схема, и указатель термометра ТУЭ-48 и задающий элемент температуры. Изменяя температуру задающим элементом  мы меняем сопротивление термочувствительного элемента, который изменяет свое сопротивление пропорционально изменению температуры. Пропорционально изменяющееся сопротивление, приводит к пропорциональному изменению отношений токов в рамках $\frac{i_{\kappa 1}}{i_{\kappa 2}}$. По полученному отношению токов, судим о температуре.

Также в программе имеются индикаторы, которые делятся на две группы: исходные параметры (рисунок 1.22) и вычисляемые (рисунок 1.23) параметры.

Исходные параметры	
Сопротивление "R1"	Сопротивление "R2"
700	665
Сопротивление "R3"	Сопротивление "R4"
80	25
Сопротивление "R5"	Сопротивление "R6"
13	82
Сопротивление "R7"	Сопротивление "R8"
60	100
Сопротивление "r1"	Сопротивление "r2"
280	220

Рисунок 1.22 – Исходные параметры

К исходным параметрам относятся сопротивления всех плеч моста и рамок логометра.

Вычисляемые параметры

$$R_g = f(T)$$

$$\frac{i_{\kappa 1}}{i_{\kappa 2}} = \frac{R_1(R_3R_6 + r_2R_6 + r_1r_2) - R_g(R_2r_1 - R_1R_5)}{R_1R_6r_2 - R_g(R_1R_5 + R_2R_5 + R_2r_1 + R_5r_2)}$$

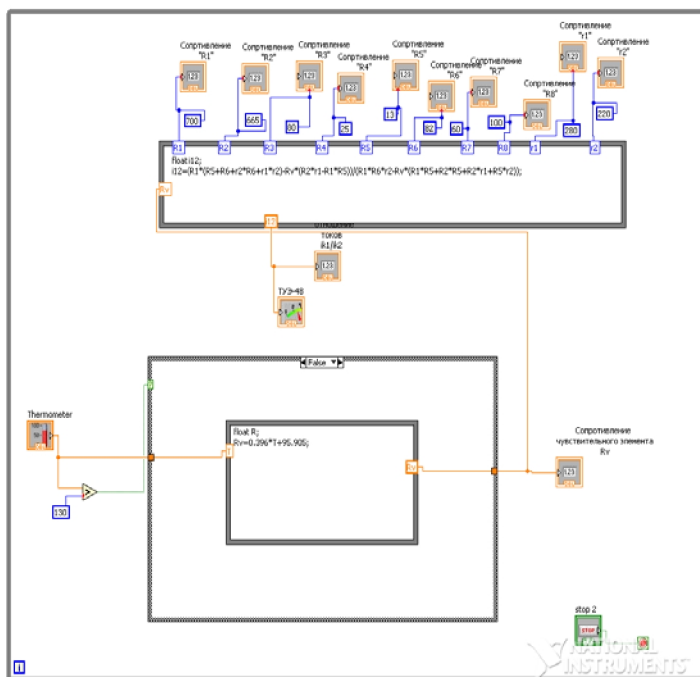
отношение токов $i_{\kappa 1}/i_{\kappa 2}$	Сопротивление чувствительного элемента R_v
-5,4149€	95,7597

Рисунок 1.23 – Вычисляемые параметры

К вычисляемым параметрам относятся: Сопротивление чувствительного элемента R_g которое зависит от температуры по линейному закону , и отношение токов в логометре. К индикаторам полученных величин, приведены формулы их вычисления, благодаря которым

можно вручную пересчитать все значения и сравнить со значениями высчитанные программой.

Блок диаграмм состоит из одного бесконечного цикла, в котором происходят все вычисления. Внутри цикла расположен формульный узел, на вход которого подаются все неизменяемые величины $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, r_1, r_2$, и одна изменяемая величина – сопротивление, которое зависит от температуры. В формульном узле происходит реализация формулы $\frac{i_{к1}}{i_{к2}} = \frac{R_1(R_5R_6 + r_2R_6 + r_1r_2) - R_9(R_2r_1 - R_1R_5)}{R_1R_6r_2 - R_9(R_1R_5 + R_2R_5 + R_2r_1 + R_5r_2)}$. На выходе получаем величину $\frac{i_{к1}}{i_{к2}}$, которую подаем на индикатор.



Блок диаграмм для ТУЭ-48

Сопротивление R_g , изменяющиеся от температуры получаем следующим образом. В теоретической части приведен график зависимости сопротивления R_g от температуры. Этот график мы увеличения точности разделили на два участка: $-70^\circ < T < 130^\circ$ и $130^\circ < T < 150^\circ$, и составили уравнения прямой для каждого из участков. На вход кейс структуры подается температура (которую мы задаем вручную на лицевой панели), она сравнивается с величиной 130° , и если температура больше этой величины, то сопротивление $R_g = 0.26 * T + 114.4$. Если меньше, то $R_g = 0.396 * T + 95.905$. Далее R_g подается на вход формульного узла.

2 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ТОПЛИВА СУИТЗ-2

2.1 Состав системы

В состав системы входят:

– рама монтажная групповая коммутационная РМГК1...1 шт.;

на ней установлены:

- блок релейный полупроводниковый БРП6А-6.....2 шт.;
- со вставками контрольными ВК3-6.....2 шт.;
- блок релейный полупроводниковый БРП6А-9.....2 шт.;
- со вставками контрольными ВК2-9.....2 шт.;
- блок управления порядком расхода БУПР9-1.....1 шт.

– датчики топливомера:

- ДТ35А-40.....2 шт.;
- ДТ35А-41.....2 шт.;
- ДТ35А-42.....2 шт.;
- ДТ35А-43.....2 шт.;
- ДТ35А-44.....2 шт.;
- ДТ35А-45.....2 шт.;
- ДТ35А-46.....2 шт.;
- ДТ35А-47.....2 шт.;

– датчики топливомера с конденсатором:

- ДТК7А-6.....2 шт.;
- ДТК7А-7.....2 шт.;
- ДТК7А-8.....2 шт.;

– датчики топливомера с сигнализатором:

- ДТС17А-18.....2 шт.;
- ДТС17А-19.....2 шт.;
- ДТС17А-20.....2 шт.;
- ДТС17А-21.....2 шт.;
- ДТС17А-22.....2 шт.;
- ДТС17А-23.....2 шт.;
- ДТС17А-24.....2 шт.;
- ДТС17А-25.....2 шт.;
- ДТС17А-26.....2 шт.;
- ДТС17А-27.....2 шт.;
- ДТС17А-28.....2 шт.;

– датчики топливомера с сигнализатором и компенсатором:

- ДТСК11А-4.....2 шт.;
- ДТСК11А-5.....2 шт.;

ДТСК11А-6.....	2 шт.;
ДТСК11А-7.....	2 шт.;
– датчик-сигнализатор индуктивный ДСИ5А-1.....	2 шт.;
– индикатор топливомера ТП11-1.....	4 шт.;
– индикатор топливомера заправочный ИТ39-2.....	1 шт.;
– индикатор топливомера заправочный:	
И1310-2.....	1 шт.;
ИТ310-3.....	1 шт.;
ИТ310-4.....	1 шт.;
ИТ310-5.....	1 шт.;
ИТ310-6.....	1 шт.;
ИТ310-7.....	1 шт.;
– переключатель галетный ПГК3-1Б.....	1 шт.;
– рама монтажная групповая РМГ7-1.....	1 шт.;
на ней установлены:	
– блок измерения с обработкой БИ06.....	1 шт.;
– со вставками тарифовочными ВТ4-24.....	2 шт.;
– блок преобразования суммы БПС5.....	1 шт.;
– со вставкой масштабной ВМ1-2.....	1 шт.;
– рама монтажная групповая РМГ8-1.....	1 шт.;
на ней установлены:	
– блоки измерения с обработкой БИ06.....	3 шт.;
– со вставками тарифовочными:	
ВТ4-25.....	2 шт.;
ВТ4-26.....	2 шт.;
ВТ4-26.....	2 шт.;
– рама монтажная групповая РМГ8-2.....	1 шт.;
на ней установлены:	
– блоки измерения с обработкой БИ06.....	3 шт.;
– со вставками тарифовочными:	
ВТ4-28.....	2 шт.;
ВТ4-29.....	2 шт.;
ВТ4-30.....	2 шт.;
Функционально система состоит из трех частей:	
• измерительной части:	
• автоматической части расхода;	
• автоматической части заправки.;	

2.2 Описание

2.2.1 Условия работы системы и погрешности измерительной части

Система работает в условиях:

- питания от сети переменного тока напряжением от 104 до 125 В частотой от 360 до 440 Гц и постоянного тока напряжением от 18 до 31 В. Система сохраняет работоспособность после воздействия переходных режимов в пределах 2,3 по ГОСТ 19705-74. Автоматическая часть системы при переходе на аварийный режим питания отключается;
- изменения температуры окружающего воздуха и топлива от минус 60 до 60°C при атмосферном давлении от 104 до 12 кПа (от 780 до 90 мм. рт. ст., высота от 0 до 13000);
- воздействия инея и росы;
- повышенной концентрации пыли;
- относительной влажности до 100 % при температуре до 40 °С;
- воздействия морского тумана;
- воздействия плесневых грибов;
- воздействия проникающей радиации;
- воздействия электромагнитного импульса;
- использования марок топлива ТІ, ТС-І ГОСТ 10227-62, РТ ГОСТ 16564-71 с добавкой жидкости "И" до 0,3 % и присадки СИГБОЛ до 0,0005 %. Основная марка ТС-І;
- воздействия акустических шумов в диапазоне частот от 50 до 10000 Гц с уровнем звукового давления до 130 дБ;
- система в нерабочем состоянии устойчива к циклическому изменению температуры окружающего воздуха от минус 60 до 85°C.

Система СУИТЗ-2 работоспособна при воздействии вибрационных нагрузок:

- для датчиков, расположенных в концевой зоне, с ускорением до 49,05 м/с² (5g) в диапазоне частот до 2000 Гц;
- для индикаторов, рам РМГК1, РМГ7 и РМГ8 с блоками, датчиков, расположенных в центральной зоне, ПГКЗ-1Б с ускорением до 9,81 м/с² (1g) в диапазоне частот до 500 Гц.

Система СУИТЗ-2 работоспособна при воздействии ударной нагрузки с длительностью импульса от 20 до 50 мс и ускорением, м/с², не более:

- для рамы РМГК1, блоков Ш06, БПС5, индикаторов ИТ11-1, ИТ39, ИТ310, переключателя галетного ПГКЗ-1Б, датчиков, расположенных в центральной зоне.....58,8 (6g);
- для датчиков, расположенных в концевой зоне.....118,0 (12g);
- линейных ускорений, м/с², не более:
для изделий системы.....49,0 (5g);
для узлов крепления.....98,0(10g);

Потребляемая мощность:

- по постоянному току, Вт, не более.....50;
- по переменному току, ВА, не более.....500.

Масса системы (120 + 6) кг.

Погрешность измерительной части системы относительно заданных градуировочных графиков для положения горизонтального полета, %, от максимально измеряемого количества топлива, не более:

- при нормальных условиях.....±2;
- при условиях, отличных от нормальных.....±4 ;
- при повышенной влажности.....±5.

Нормальные условия:

- температура окружающего воздуха, °С.....от 15 до 35 ;
- относительная влажность воздуха, %.....от 45 до 80;
- атмосферное давление, кПа...от 84 до 107 (от 630 до 800 мм рт. ст.).

Дополнительная погрешность измерительного канала суммы и выдачи информации при всех условиях не превышает 1% от максимального измеряемого количества топлива на объекте.

Погрешность сигнализации уровня топлива, мм, не более:

- при нормальных условиях.....10;
- при условиях, отличных от нормальных.....15.

2.2.2 Измерительная часть

Измерительная часть состоит из датчиков ДТ35А, ДТС17А, ДТК7А, ДТСК11А, блоков БИ06, БПС5, установленных на рамах РМГ8, РМГ7, индикаторов ИТ11-1, ИТ39-2, ИТ310, переключателя ПГКЗ-1Б и обеспечивает:

- непрерывное измерение количества топлива в каждой очереди;
- поочередную (с помощью переключателя ПГКЗ-1Б) индикацию количества топлива в каждой очереди и суммарного количества-топлива, приходящегося на каждый двигатель;
- измерение и индикацию количества топлива в каждой очереди на земле;
- выдачу информации о суммарном количестве топлива на объекте в БЦВМ, СО-72М и аварийный регистратор (с блока БПС5);

Примечание. Под очередью понимается топливный бак с помещёнными в него датчиками.

Измерительная часть системы состоит из 14 идентичных каналов измерения количества топлива и канала суммирования. В каждый канал измерения количества топлива в очереди входят датчики и один канал блока БИ06.

Количество топлива, измеряемое в каждой очереди объекта в полете, индицируется на индикаторе ИТ11-1.

В зависимости от положения переключателя ПГКЗ -1Б индикатор ИТ11-1 индицирует количество топлива в определенной очереди или суммарного количества топлива, приходящегося на каждый двигатель.

Датчики ДТ35А предназначены для преобразования неэлектрической величины - уровня топлива в очередях объекта - в электрическую емкость датчика, пропорциональную количеству топлива.

Емкость датчика изменяется вследствие того, что меняется диэлектрик, находящиеся в пространстве между трубами датчика, при изменении уровня топлива: в заполненной части бака между трубами находится топливо, в незаполненной - воздух.

Внутренняя труба датчиков ДТ35А профилируется таким образом, чтобы получить зависимость емкости датчика от его длины, повторяющую зависимость объема топлива в баке от высоты уровня топлива.

Датчик ДТСК11А предназначен для преобразования уровня топлива в электрическую емкость датчика-конденсатора, пропорциональную количеству топлива, и для устранения методической погрешности, возникающей при изменении температуры топлива. Устранение указанной погрешности обеспечивается температурным компенсатором П-85, встроенным в датчик ДТСК11А и включенным в цепь питания датчиков.

Блоки БИО6 предназначены для преобразования сигналов датчиков измерительной части системы с обработкой этих сигналов на потенциометрах R1-1, R-2, R1-3, R11-4 для обеспечения выдачи информации о количестве топлива в очередях в индикаторы ИТ11-1, ИТ39, ИТ310, блок БПС5.

На передних панелях блоков БИО6 расположены шкалы потенциометров обработки каждого канала измерения и кнопка проверки функционирования канала температурной компенсации КОМП.

На блоках БИО6 устанавливаются тарировочные вставки ВТ4, которые содержат элементы измерительного емкостного моста и предназначены для согласования начальной емкости датчиков с блоками БИО6 и с тарировочной характеристикой топливных баков.

Одна вставка ВТ4 содержит элементы одного канала измерения.

На передней панели вставки ВТ4 под крышкой размещены регулировки:

- положение начальной отметки шкал потенциометра обработки блока БИО6 ;
- положения отметки шкал потенциометров при полностью заправленной топливом очереди ;
- обратной связи каждого канала измерения.

Индикатор ИТ11-1 предназначен для индикации количества топлива в очередях и суммарного количества топлива, приходящегося на двигатель.

Работа индикатора ИТ11-1 основана на усилении, суммировании сигналов (в случае индикации количества топлива, приходящегося на двигатель), поступающих с движков потенциометров обработки блока БИО6 и в последующем их преобразовании в перемещение стрелки индикатора ИТ11-1 и в перемещение шкалы счётчика точного отсчета, пропорциональное количеству измеряемого топлива.

На задней панели индикатора ИТ11-1 под крышкой расположены регулировки положения стрелки индикатора при полностью заправленных топливом очередях и обратной связи. Индикатор ИТ11-1 имеет встроенный белый подсвет.

Переключатель ПГКЗ-1Б обеспечивает поочередную коммутацию измерительных каналов при измерении количества топлива в каждой очереди и суммарного количества топлива, приходящегося на двигатель.

Блок БПС5 предназначен для суммирования сигналов со всех измерительных каналов (с потенциометров блоков БИО6), усиления и выдачи информации в бортовые комплексы. На передней панели блока БПС5 расположены: разъем стыковки со вставкой ВМ1-2, четыре светодиода с маркировкой номеров разрядов, кнопка КОНТРОЛЬ для подключения потенциометра контроля, ручка для обеспечения вращения оси потенциометра контроля блока БПС5. На блоке БПС5 устанавливается масштабная вставка ВМ1-2. Вставка предназначена для согласования сигналов, поступающих с датчиков-потенциометров блоков БИО6.

2.3 Работа измерительной части

В основу работы измерительной части системы положен электроемкостной метод измерения количества топлива. Сущность метода сводится к измерению электрической емкости датчика, изменяющейся в зависимости от количества топлива в очереди, вследствие различной диэлектрической проницаемости топлива и воздуха. Емкость датчика изменяется по зависимости:

$$C_x = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{d}} \left[\epsilon_\epsilon (H - h) + \epsilon_T h \right]$$

Где $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$, $\epsilon_\epsilon \approx 1$, $\epsilon_T \approx 1$, D, d - диаметры трубок датчика, h – уровень топлива, H - высота бака(датчика).

Работу измерительной части системы рассмотрим на примере работы канала измерения топлива 1 очереди 1 двигателя. Питание элементов осуществляется от источников питания ИП.

Ёмкости «сухих» ($h=0$) датчиков для очередей 1-го двигателя:

0 очередь – $293,7 \pm 5,9$ пФ;

1 очередь – $427,9 \pm 8,8$ пФ;

2 очередь – $221,2 \pm 4,5$ пФ;

3 очередь – $295,5 \pm 5,9$ пФ.

Измерение емкости датчиков производится самоуравновешивающимся мостом переменного тока. Электроемкостной датчик C_d и конденсаторы вставки ВТ4-28($C1$ (емкость сравнения), $C7$ (емкость модуляции), $C5$ (емкость отработки), а также $C4$ (емкость контроля)) – образуют электроемкостные плечи моста.

На плечо датчиков (C_d) и плечо сравнения моста ($C1$) подается питание от вторичных обмоток трансформатора $Tr1$, включенных в противофазе через делитель, образованный резисторами $R3$ (в обмотке БИО6) и $R1$ (Н).

Емкость конденсатора $C1$ подбирается так, чтобы ток в плече датчиков при отсутствии топлива уравновешивался током в плече сравнения.

Питание плеча отработки ($C5$) обеспечивается делителем напряжения, образованным потенциометром отработки $R1-1$ и ограничительным резистором $R4$, подключенным к обмотке трансформатора $Tr2$.

Ток плеча обмотки обеспечивает уравновешивание приращения тока в плече датчиков, пропорционального изменению электрической емкости C_d , вызванному изменением уровня топлива в баке.

При изменении температуры топлива изменяется его диэлектрическая проницаемость и плотность. Это приводит к появлению методической погрешности измерения. Для исключения этой погрешности используется термокомпенсатор, включенный в цепь питания плеча отработки измерительного моста. В качестве термокомпенсатора используется термоприемник П-85 (R_t), встроенный в датчик ДТСК11А-7.

Сигнал рассогласования частотой 8 кГц с измерительного моста подается на вход усилителя демодулятора УД. Частоту 8кГц обеспечивает генератор Г.

Одновременно на вход УД подается напряжение с выхода модулятора МОД через емкость С7.

Модулятор представляет собой узел, собранный на полупроводниковых микросхемах, выполняющих роль ключей.

С выхода модулятора снимается напряжение повышенной частоты, промодулированное по фазе напряжением 400 Гц.

Усилитель-демодулятор содержит два каскада усиления на микросхемах, амплитудный декодер, собранный по схеме двухполупериодного выпрямителя на диодах, устройства автоматического регулирования усиления и стабилизированный источник питания постоянного тока.

В усилителе-демодуляторе производится модулирование сигнала измерительного моста по амплитуде, его усиление и демодуляция.

При изменении количества топлива в очереди на вход УД подается сумма токов с датчиков 1 очереди 1 двигателя (I), с нулевого делителя R3, R1(H) через конденсатор С1, от модулятора через конденсатор С7 и от движка потенциометра отработки R1-1 через конденсатор С5. Сумма токов представляет собой сигнал частотой 8 кГц промодулированный по фазе частотой 400 Гц.

С выхода усилителя демодулятора сигнал поступает на усилитель низкой частоты УНЧ.

С выхода усилителя УНЧ напряжение рассогласования поступает на обмотку управления ОУ двигателя-генератора М1 и приводит в движение ротор двигателя и механически связанный с ним движок потенциометра R11-1.

Двигатель М1 перемещает движок потенциометра R1-1 до тех пор, пока сумма токов на входе УД не станет равной нулю.

Когда мост придет в состояние равновесия, шкала потенциометра R1-1 блока БИО6 и стрелка индикатора ИТ11-1 через редуктор устанавливается на угол, пропорциональный количеству топлива в очереди.

С сигнальной обмотки ОС двигателя М1 снимается сигнал обратной связи, охватывающий усилитель УНЧ.

Резистором R2 (ОС), находящимся во вставке ВТ4-28 и включенным параллельно сигнальной обмотке ОС, обеспечивается регулировка чувствительности канала измерения и устранение автоколебаний индикатора.

Цепь термокомпенсации работает следующим образом: через делитель напряжения R1(в блоке БИО6), R3 (М), резистор R5 и термокомпенсатор R_t поступает напряжение на трансформатор Тр2, питающий цепь отработки.

При изменении температуры топлива изменяется сопротивление приемника температуры П-85 (R_t), в результате этого изменяется напряжение питания трансформатора Тр2 и, соответственно, ток в цепи отработки, чем и достигается неизменность показаний индикатора.

На переднюю панель блока БИО6 выведена кнопка Кн1 КОМП для проверки канала термокомпенсации. При нажатии на кнопку КОМП движок R3 соединяется с корпусом.

Сопротивление R_t изменяется по зависимости:

$$R_t = R_0(1 + \alpha \Delta t);$$

где R_0 - сопротивление при 0°С; α - температурный коэффициент сопротивления; Δt - приращение Т.

В результате этого изменяется напряжение питания трансформатора Тр2 и, соответственно, ток в цепи отработки, что приводит к изменению показаний индикатора соответствующей очереди. Схема рассчитана таким образом, что при контроле функционирования термокомпенсации отклонение стрелки индикатора происходит в сторону начальной отметки шкалы.

Реле Р1 и Р2 блок БИО6 и конденсатор С4 вставки ВТ4-28 предназначены для контроля функционирования канала измерения при нажатии на кнопки МИН и МАКС, расположенные на приборной доске и щитке заправки.

При нажатии на кнопку МИН срабатывает реле Р1 и своими контактами подключает конденсатор С4 вставки ВТ4-28 параллельно конденсатору С1 плеча сравнения, нарушая тем самым равновесие моста. При этом стрелка индикатора перемещается к начальной отметке шкалы.

При нажатии на кнопку МАКС (размах) срабатывает реле Р2 блока БИО6, которое своими контактами в плечо датчика подключает конденсатор С4. При этом стрелка индикатора перемещается к конечной отметке шкалы.

Резисторами R1 (Н) и R3 (М), расположенными во вставке ВТ4-28, производят настройку канала измерения на заданную начальную и конечную отметки шкалы потенциометра отработки.

Остальные каналы измерения топлива в других очередях построены аналогичным образом.

Каждый блок БИО6 содержит в себе два канала измерения с отработкой.

Структурная схема позволяет наглядно проследить взаимосвязь между различными блоками.

2.4 Имитация работы канала измерения топлива в программной среде LABVIEW 8.5

Для имитации канала измерения топлива 1 двигателя в программной среде LaBVIEW 8.5 необходимо произвести структурное представление электрической схемы. Структурная схема представлена на рисунке 2.1.

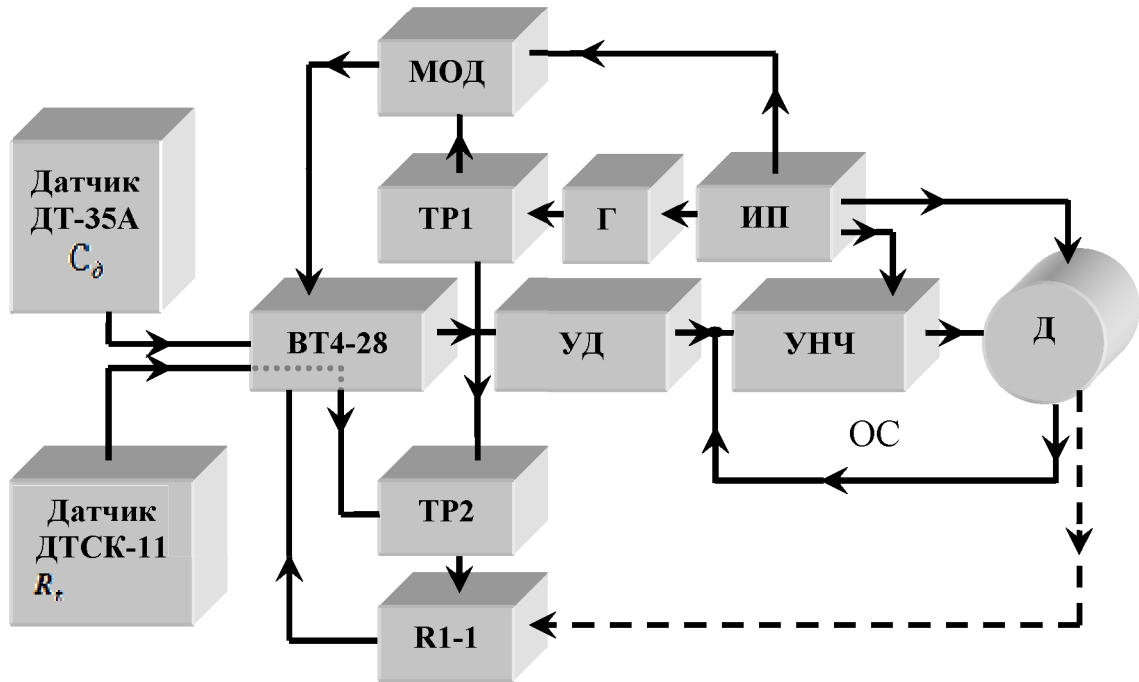


Рисунок 2.1 – Структурная схема канала измерения топлива

Структурная схема позволяет наглядно проследить взаимосвязь между различными блоками.

2.4.1 Лицевая панель разработанного виртуального прибора

Условно лицевая панель разделена на несколько блоков. Общий вид панели в рабочем состоянии приведен на рисунке 2.2.

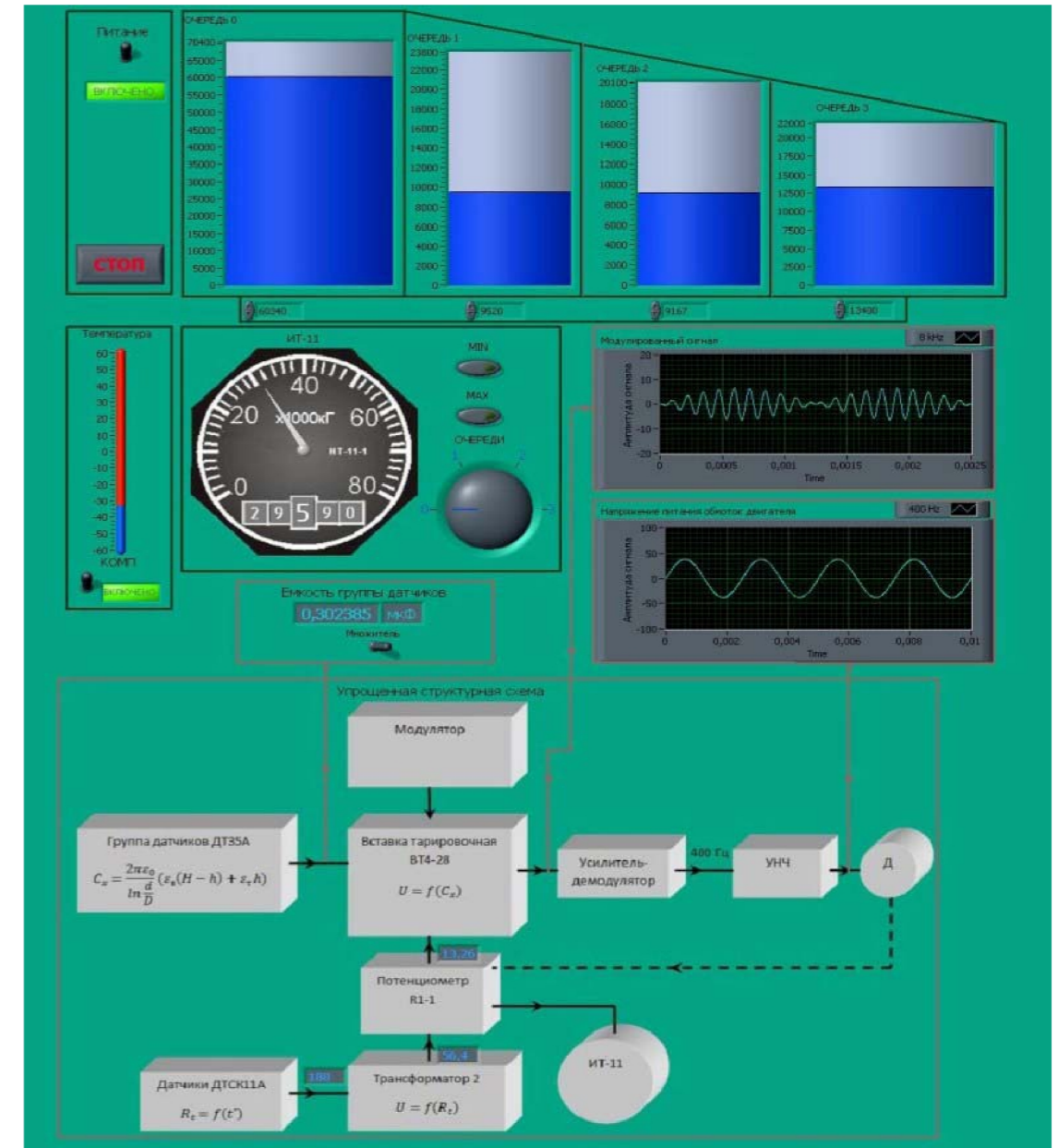


Рисунок 2.2 – Общий вид лицевой панели разработанного виртуального прибора

Первый блок, изображенный на рисунке 2.3, отвечает за имитацию и индикацию включения питающего напряжения системы. Управление осуществляется с помощью тумблера. Во включенном состоянии индикатор горит ярко зеленым цветом и отображает надпись «ВКЛЮЧЕНО».



Рисунок 2.3 – Панель имитации включения питающего напряжения

В выключенном состоянии индикатор темно-зелёный и имеет надпись «ОТКЛЮЧЕНО». Кнопка «СТОП» управляет остановкой выполнения программы.

На рисунке 2.4 изображена панель имитации уровня топлива в очередях(баках). Она содержит имитированное изображение ёмкости и позволяет задавать объем топлива в баках 0-й, 1-й, 2-й и 3-й очереди. Изменением высоты синего столбца достигается имитация изменения объема топлива в баках. Слева от имитации ёмкости находится шкала по которой грубо можно определить объём топлива в имитированном баке. Под изображением каждого бака находится числовой индикатор, по которому емкость определяется с точностью до одного литра. С помощью стрелочек, расположенных слева от числовых индикаторов можно задавать объем топлива с шагом один литр.

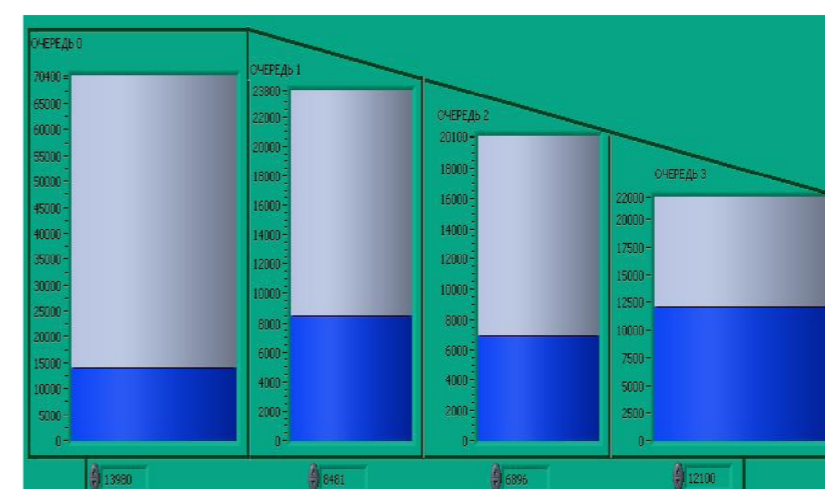


Рисунок 2.4 - Панель имитации уровня топлива в очередях(баках).

На панели термокомпенсации (рисунок 2.5) имеется датчик температуры. С его помощью имитируется изменение температуры топлива в баках в пределах от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$. Цена деления шкалы - 2°C . Ниже датчика температуры расположен тумблер «КОМП». При включенном положении горит зеленое табло с надписью «ВКЛЮЧЕНО», компенсация методической погрешности включена, и показания ИТ11-1 остаются неизменными при

изменении температуры. В зависимости от температуры топлива меняется напряжение на обмотках трансформатора Тр2 и подключенного к нему потенциометра R1-1.

При выключенном тумблере «КОМП» табло имеет темно-зеленый цвет с надписью «ОТКЛЮЧЕНО». В этом случае температурная компенсация отключена, и погрешность не устраняется. Изменение температуры приводит к изменению показаний ИТ11-1.

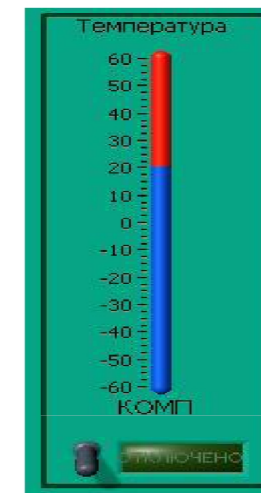


Рисунок 2.5 – Панель термокомпенсации

На панели индикации массы топлива (рисунок 2.6) находится имитация указателя количества топлива ИТ11-1. Его внешний вид идентичен оригинальному указателю, установленному в кабине экипажа на рабочем месте бортинженера. Указатель топлива имеет стрелочный и индексный указатель. Шкала стрелочного указателя имеет цену деления 2000 кг, предел шкалы - 80000 кг. В имитации работы индексного указателя реализован реалистичный перебор индексов при изменении массы топлива.

Кнопки «MIN» и «MAX» служат для встроенного контроля проверки работоспособности системы. При нажатии одной из них осуществляется подключение электрических ёмкостей, соответствующих нулевому и максимальному количеству топлива и прибор должен отработать на нулевую отметку, либо на 80000 кг соответственно. При нажатии кнопки «MIN» или «MAX» загорается зелёный индикатор, расположенный на кнопке. Переключатель «ОЧЕРЕДИ» осуществляет переключение между баками 0-й, 1-ой, 2-ой, 3-й очереди и обеспечивает поочередную индикацию запаса топлива в этих баках.



Рисунок 2.6 – Панель индикации массы топлива

Остальные панели предназначены для контроля электрических параметров на различных участках системы. Для удобства приведена упрощённая структурная схема системы (рисунок 2.7).

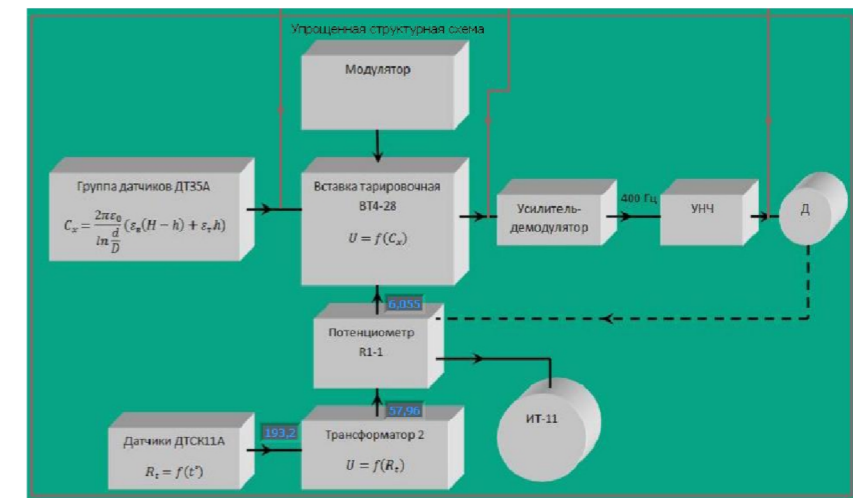


Рисунок 2.7 – Панель упрощенной структурной схемы

Часть параметров отображается непосредственно на структурной схеме, часть вынесена на отдельные панели. Непосредственно на структурной схеме отображаются:

- сопротивление датчика термокомпенсации ДТСК-11 в Ом;
- амплитуда переменного напряжения на обмотках ТР2 (трансформатор 2) в В;
- напряжение, снимаемое с движка потенциометра R1-1 в В.

Остальные параметры выводятся на отдельные панели.

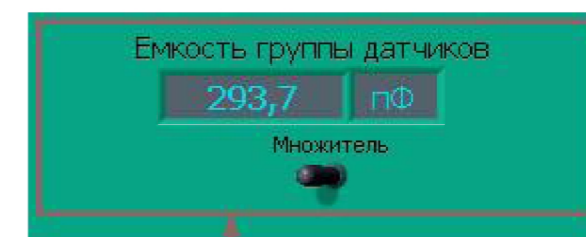


Рисунок 2.8 – Панель измерения электрической ёмкости датчика ДТ35А

На рисунке 2.8 изображена панель измерения электрической ёмкости датчика ДТ35А. Переключатель «МНОЖИТЕЛЬ» осуществляет переключение размерности.

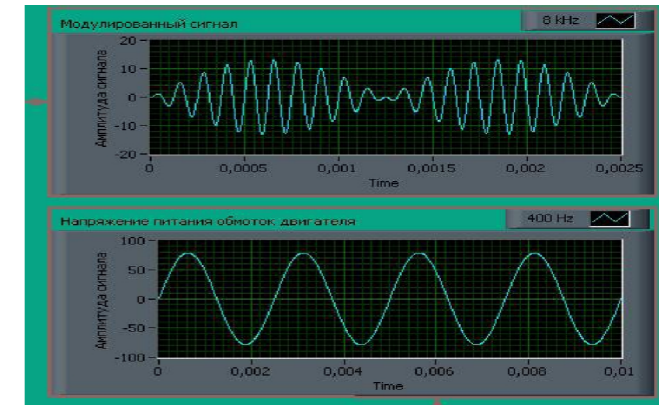


Рисунок 2.9 – Панель временных диаграмм

На панели временных диаграмм отображается временное изменение сигналов. На рисунке 2.9 представлен вид панели в момент отработки системы. Верхний график отображает вид модулированного сигнала на входе в усилитель-демодулятор. На нижнем – вид питающего напряжения двигателя.

2.4.2 Блок-диаграмма разработанного виртуального прибора

Блок-схема разработанного виртуального прибора условно представляет собой две части. Первая часть реализует имитацию работы части блока БИОб совместно с датчиками. Представляет собой большую «case-структуру», управляемую переключателем «ПИТАНИЕ». В положении «true» (рисунок 2.10) выполняется вычисление параметров выходных сигналов, в положении «false» - на выходе структуры нулевые сигналы, происходит имитация выключения питания.

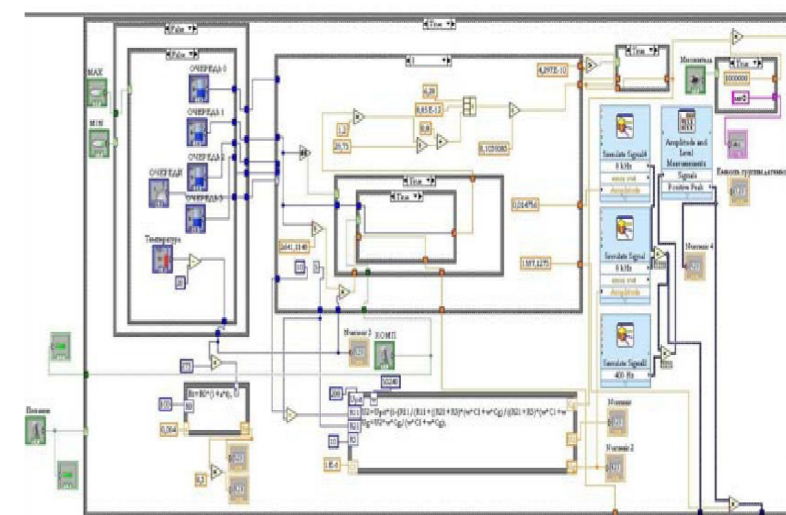


Рисунок 2.10 – Имитация части блока БИОб при включенном питании

Вторая часть реализует обработку потенциометра и индикацию параметров системы. Представляет собой цикл «for»(рисунок 2.11).

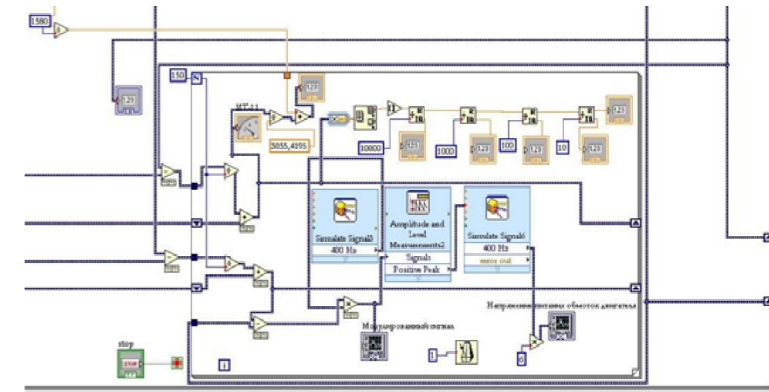


Рисунок 2.11 – Блок имитации обработки и индикации параметров системы

Рассмотрим блок-диаграммы более подробно.

В первой части блок-диаграммы «case-структуры», изображенные на рисунке 2.12, реализуют имитацию обработки системы на минимальное и максимальное значение. Выключатели находятся на панели виртуального прибора. Когда ни один из выключателей не нажат, имитируются топливные емкости с топливом и имитатор изменения температуры. При нажатии одного из выключателей на выход подаются величины, соответствующие максимальным и минимальным значениям индикатора.

Сигнал, соответствующий высоте столба топлива подается на вход следующей «case-структуры» (рисунок 2.13). В ней осуществляется выбор бака, количество топлива в котором будет индицировано. Каждая вкладка структуры реализует вычисление емкости датчика соответствующего бака.

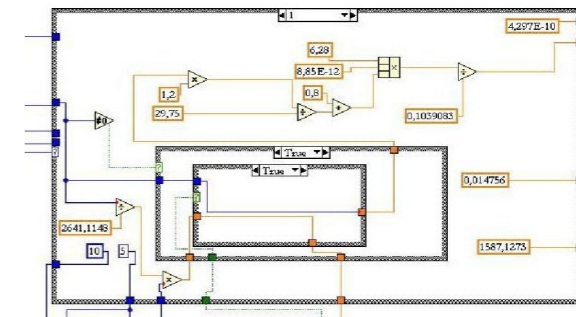


Рисунок 2.12 – Имитация уровня топлива и изменения температуры

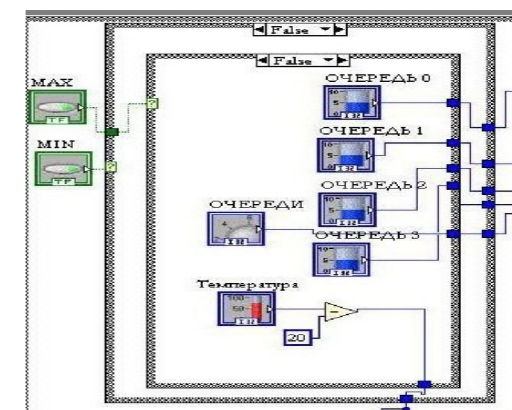


Рисунок 2.13 – «Case-структура» вычисления емкости датчика первой очереди

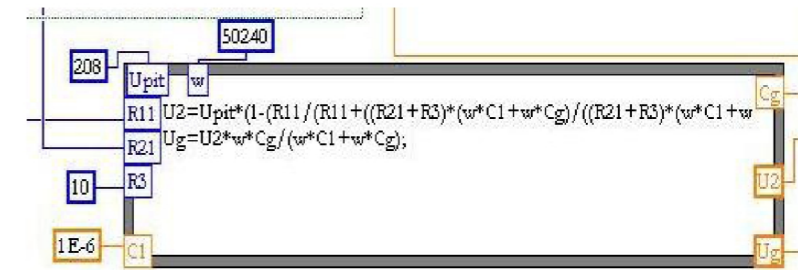


Рисунок 2.14 – Формульный узел

Величина емкости, вычисленная в этой структуре, подается на вход формульного узла (рисунок 2.14). Формульный узел вычисляет величину выходного напряжения делителя, образованного резистором R1 (H).

Вычисленное значение напряжения определяет амплитуду переменного напряжения генерируемого и модулируемого следующей частью системы (рисунок 2.15).

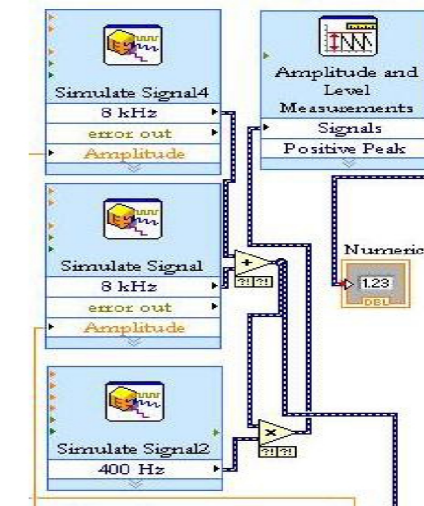


Рисунок 15 – Блок генерации и модуляции сигнала

Вторая часть блок-диаграммы включена в цикл «for» с несколькими сдвиговыми регистрами. Этот цикл обеспечивает плавную обработку системы, идентичную реальной. Каждую итерацию цикла происходит небольшое увеличение значения параметра.

В части, изображенной на рисунке 2.16, обеспечивается индикация массы топлива на стрелочном и индексном указателе, а так же вычисление и индикация текущего сопротивления потенциометра обработки R1-1.

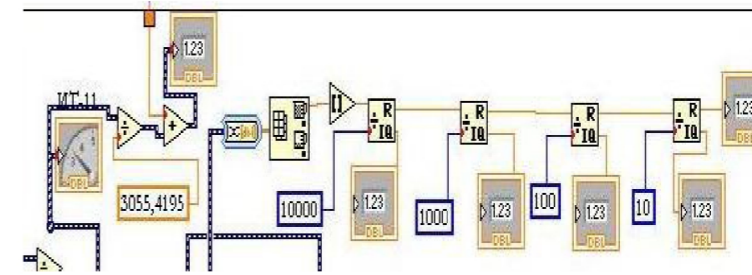


Рисунок 2.16 – Блок-схема индикации количества топлива и сопротивления потенциометра R1-1

На рисунке 2.17 изображена часть, реализующая индикацию осциллограмм сигналов.

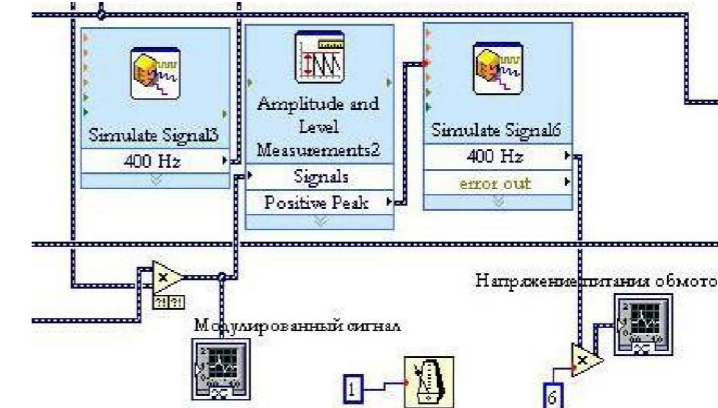


Рисунок 2.17 – Осциллограммы сигналов

Вся блок-диаграмма заключена в цикл «while», обеспечивающий непрерывное выполнение программы. Выполнение цикла останавливается только при нажатии кнопки «СТОП». Так же этот цикл используется для сдвиговых регистров.

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ТОПЛИВО ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТИС-140

3.1 Общие сведения

- 3.1.1 Топливоизмерительная система предназначена для:
- постоянного измерения массы топлива в каждом баке;
 - постоянного вычисления суммарной массы топлива на самолете;
 - индикации массы топлива в каждом баке при заправке и в полете;
 - выдачи в аварийный регистратор информации о суммарном остатке топлива на самолете;
 - выдачи в самолетный ответчик информации о суммарном остатке топлива на самолете;
 - постоянного измерения температуры топлива в каждом баке;
 - индикации минимальной температуры топлива на самолете;
 - формирования сигнала о заданной минимальной температуре топлива;
 - выдачи на табло системы аварийной сигнализации сигнала о достижении заданной минимальной температуры топлива;
 - выдачи на табло системы аварийной сигнализации сигнала о несимметричном количестве топлива между левым и правым полукрыльями;
 - формирования сигнала о резервном остатке топлива по сигнализаторам уровня топлива;
 - выдачи на табло системы аварийной сигнализации и в аварийный регистратор сигнала о резервном остатке топлива;
 - формирования сигнала наличия свободной воды в топливе в каждом баке;
 - индикации наличия свободной воды в топливе;
 - формирования и выдачи сигналов на закрытие кранов заправки;
 - индикации положения кранов заправки;
 - формирования и выдачи управляющих сигналов на насосы и краны кольцевания;
 - индикации состояния крана кольцевания;
 - формирования и выдачи сигналов на закрытие перекрывной заслонки;
 - индикации сигналов максимального давления в магистралях заправки и в баках;
 - выдачи в систему аварийной регистрации и на табло системы аварийной сигнализации сигнала об отказе системы:
 - индикации исправности работы системы и отказов насосов.

3.1.2 В состав системы входят:

- блок топливоизмерения - БТИ-140М 1 шт.;
- блок релейный - БР-140М 1 шт.;
- пульт контроля и управления - ПКУ-140 1 шт.;
- пульт контроля температуры - ПКТ-140 1 шт.;
- пульт контроля и управления заправкой - ПКУЗ-140 1 шт.;
- комплект датчиков:
- датчик топливомера с компенсатором - ДТ К-140-1 2 шт.;
- датчики топливомера:
- ДТ-140-2 2 шт.;

- ДТ-140-42шт.;
- ДТ-140-52шт.;
- ДТ-140-72шт.;
- ДТ-140-82шт.;
- ДТ-140-92шт.;
- ДТ-140-102шт.;
- ДТ-140-112шт.;
- датчик топливомера с сигнализатором - ДТС-140-32шт.;
- датчик топливомера с сигнализ. и компенсатором - ДТСК-140-6Л1шт.;
- датчик топливомера с сигнализ. и компенсатором - ДТСК-140-6П1шт.;
- датчик свободной воды – ДСВ4шт.

1.3 Изделия, входящие в систему, на объекте устанавливают:

- ДТК-140-1, ДТ-140-2, ДТС-140-3, ДТ-140-4, ДТ-140-5, ДТСК-140-6Л, ДТСК-140-6П, ДТ-140-7, ДТ-140-8, ДТ-140-9, ДТ-140-10, ДТ-140-11. ДСВ – в топливные баки;
- БТИ-140М и БР-140М – в технический отсек;
- ПКТ-140 и ПКУ-140 – в кабину экипажа;
- ПКУЗ-140 – в правый обтекатель шасси.

3.2 Описание

3.2.1 Основные технические данные

3.2.1.1 Значения выходных параметров датчиков должны соответствовать указанным в таблице 1.

Таблица 1

Обозначение	Наименование компонентов	Параметры		
		Емкость датчика в воздухе, пФ	Уровень срабатывания, мм	Сопротивление, Ом
ДТК-140-1	Датчик топливомера Датчик температуры резистивный (ДТР)	27,9±0,6		53-57
ДТ-140-2	Датчик топливомера	33,1±0,6		
ДТС-140-3	Датчик топливомера Световодный сигнализатор уровня (ССУ): ССУ-1 ССУ-2	23,2±0,5	329±2 344±2	
ДТ-140-4	Датчик топливомера	25,1±0,5		
ДТ-140-5	Датчик топливомера	26,4±0,5		

ДТСК-140-6Л(П)	Датчик топливомера Датчик-компенсатор ССУ, ДТР	13,4±0,3 18,7±0,4	294±2	53–57
ДТ-140-7	Датчик топливомера	25,1±0,5		
ДТ-140-8	Датчик топливомера	20,8±0,5		
ДТ-140-9	Датчик топливомера	18,8±0,4		
ДТ-140-10	Датчик топливомера	15,0±0,35		
ДТ-140-11	Датчик топливомера	14,1±0,3		
ДСВ	Датчик свободной воды		8±3	

3.2.1.2. Емкость датчиков Ст в топливе ТС-1 (без примесей) должна соответствовать:

$Ст=(1,9 - 2,1)Св$, где Св - емкость датчика в воздухе.

3.2.1.3. Выходные параметры системы представлены в таблице 2.

3.2.1.4 Система должна индицировать массу топлива в левом и правом баках.

3.2.1.5 Система должна индицировать минимальную температуру топлива на самолете.

3.2.1.6 Система при заправке должна формировать сигналы на закрытие кранов заправки и на закрытие перекрывной заслонки по состоянию сигнализаторов уровня топлива (Иполн., i макс.), сигнализаторов давления (СДГ) и индицировать положение кранов заправки, а также включать звуковую сигнализацию.

3.2.1.7 Система должна формировать сигнал о резервном остатке топлива по состоянию сигнализаторов уровня топлива (РО) и выдавать его с задержкой (20±2) секунды в систему аварийной сигнализации (САС-4).

3.2.1.8 Система должна формировать сигнал о несимметричности топлива и выдавать его в САС-4 при разнице между количеством топлива:

- в левом и правом полукрыльях более 200 кг;
- в левом и правом передрасходных отсеках 150 кг;
- в левом и правом расходных отсеках 100 кг.

3.2.1.9 Система должна осуществлять индикацию о расходе топлива по отсекам баков левого и правого крыльев.

3.2.1.10 Система должна обеспечивать выдачу информации о суммарном остатке топлива на объекте в самолетный ответчик в виде 4-разрядного кода.

3.2.1.11 Система должна индицировать наличие свободной воды в баках.

3.2.1.12 Система должна формировать сигнал ручного управления краном кольцевания и обеспечивать индикацию состояния крана кольцевания.

3.2.1.13 Система должна формировать сигнал ручного управления насосами №1 и №2 левого и правого двигателей, а также обеспечивать индикацию состояния насосов.

3.2.1.14 Значения напряжения питания системы и тока потребления должны соответствовать указанным в таблице 2.

3.2.1.15 Время готовности системы – не более 1 мин.

3.2.1.16 Индикаторы ПКУ-140, ПКТ-140 должны обеспечивать надежное и безошибочное восприятие информации ночью и днем.

3.2.1.17 Время непрерывной работы системы - не более 12ч.

3.2.1.18 Масса системы не должна превышать 38 кг.

Таблица 2

Напряжение питания, В		Частота, Гц	Ток потребления, А, не более					
Номинальное значение	Допустимое отклонение		От ПКУЗ	+27V - L	+27V - R	+27V (PO)	6V - L	6V - R
+27	+4 -9		5,0	3,05	2,95	1		
6	±0,03	400					0,35	0,35

3.2.2 Назначение изделий системы

3.2.2.1 ДТ-140-2, ДТ-140-4, ДТ-140-5, ДТ-140-7, ДТ-140-8, ДТ-140-9, ДТ-140-10, ДТ-140-11 предназначены для измерения уровня топлива в баках.

3.2.2.2 ДТК-140-1 предназначен для измерения уровня и температуры топлива в баках.

3.2.2.3 ДТС-140-3 предназначен для измерения уровня топлива в баках и выдачи сигналов (i полн, i макс) при превышении заданных уровней.

3.2.2.4 ДТСК-140-6Л, ДТСК-140-6П предназначены для измерения температуры и уровня топлива в баках и выдачи сигнала РО при понижении уровня топлива в баке ниже заданного. РО – резервный остаток.

3.2.2.5 ДСВ предназначен для выдачи дискретного сигнала о наличии свободной воды при превышении ее заданного уровня в баке.

3.2.2.6 БТИ-140М предназначен для целей:

- преобразования аналоговых сигналов, поступающих от ДТК-140-1, ДТ-140-2, ДТС-140-3, ДТ-140-4, ДТ-140-5, ДТ-140-7, ДТСК-140-6Л, ДТСК-140-6П, ДТ-140-8, ДТ-140-9, ДТ-140-10, ДТ-140-11, в цифровой 12-разрядный код;

- вычисления массы топлива в каждом баке, суммарной массы топлива на объекте, суммарного остатка топлива, объема топлива в каждом отсеке, несимметричного количества топлива между левым и правым полукрыльями и минимальной температуры топлива на объекте;

- передачи информации о массе топлива, минимальной температуре топлива, объеме топлива в каждом отсеке по RZ-каналам в ПКУ-140, ПКТ-140, ПКУЗ-140 и на КПА с контрольного соединителя. В ПКУ-140, ПКТ-140, ПКУЗ-140 информация передается по двум независимым каналам;

- передачи в бортовое устройство регистрации (БУР-92) информации о суммарной массе топлива на объекте, достижении уровня РО и об отказе ТИС по RZ-каналу;

- преобразования вычисленного суммарного остатка топлива на объекте в бинарный 4-разрядный код - формирования бинарных сигналов "Отказ ТИС", "Несимметр. Gt.", "РО лев", "РО прав" и передачи их в САС-4;

- преобразования сигналов, поступающих от сигнализаторов уровня топлива, расположенных на ДТС-140-3, в разовые команды и их передачи в ПКУЗ-140;

- проведения контроля системы при поступлении с объекта сигналов. "Мин", "Макс", "Резерв остат. топл".

БТИ-140М имеет возможность обмена информацией с ПЭВМ по шине RS-232.

БТИ-140М устанавливается на объект на амортизационной раме БР-140М.

3.2.2.7 ПКТ-140 предназначен для:

- приема информации от БТИ-140М о мин. температуре топлива в баках;
- индикации минимальной температуры топлива на объекте.
- выдачи сигнала "t топлива мала" в САС-4 при достижении топливом критичной минимальной температуры для данного вида топлива, которая устанавливается при помощи датчика температуры t СИГНАЛИЗАЦИИ.

3.2.2.8 ПКУ-140, внешний вид которого представлен на рисунке 3.1, предназначен для целей:

- приема информации от БТИ-140М о массе топлива в левом и правом баках объекта и об объеме топлива в каждом отсеке;

- индикации массы топлива в левом и правом баках при помощи цифровой части жидкокристаллических (ЖК) - индикаторов ТОПЛИВО 1 ДВИГ, ТОПЛИВО 2 ДВИГ, расположенных на лицевой панели пульта;

- индикации объема топлива по отсекам баков соответственно левого и правого полукрыльев при помощи сегментов аналоговой части ЖК-индикаторов ТОПЛИВО 1 ДВИГ, ТОПЛИВО 2 ДВИГ;

- управления топливными насосами левого и правого двигателей, а также сигнализации о состоянии насосов при помощи кнопок ТОПЛИВО 1 ДВИГ НАСОС №1, ТОПЛИВО 1 ДВИГ НАСОС №2, ТОПЛИВО 2 ДВИГ НАСОС №1, ТОПЛИВО 2 ДВИГ НАСОС №2, расположенных на передней панели пульта и имеющих два световых табло - зеленое и ОТКЗ;- управления краном кольцевания, а также сигнализации о состоянии крана кольцевания при помощи кнопки КОЛЬЦ, расположенной на передней панели пульта и имеющей два световых табло - зеленое и НЕ ЗАКР; - передачи в БР-140М напряжения питания 27В РО, поступающего от аварийной шины питания (А/Ш) объекта;- ПКУ-140 устанавливаются на приборной доске объекта и крепятся за лицевую панель при помощи четырех винтов.



Рисунок 3.1 - Пульт ПКУ-1

3.2.2.9 ПКУЗ-140, внешний вид которого представлен на рисунке 3.2, предназначен для управления заправкой объекта и выполняет следующие функции:- коммутирует питание бортсети в ТИС-140 при помощи тумблера ПКУЗ, расположенного на лицевой панели пульта;

- проводит контроль системы перед заправкой при помощи кнопок КОНТРОЛЬ ТИС, КОНТРОЛЬ

ЗАПРАВКА, КОНТРОЛЬ ИНД, расположенных на лицевой панели пульта, отображает результаты контроля;

- управляет кранами заправки левого и правого баков при помощи тумблеров ЛЕВ

КРАНЫ ЗАПРАВКИ, ПРАВ КРАНЫ ЗАПРАВКИ, расположенных на лицевой панели пульта, и индицирует состояние кранов заправки при помощи сигнализаторов, расположенных на лицевой панели пульта;

- принимает от ДСВ информацию о наличии свободной воды, индицирует наличие свободной воды в предрасходном и насосном отсеках левого и правого баков при помощи светодиодов, расположенных на лицевой панели пульта;

- принимает информацию от БТИ-140М о массе топлива в левом и правом баках объекта;

- индицирует массу топлива в левом и правом баках.

- принимает информацию от БТИ-140М об уровне топлива в баках. При заполнении каждого бака автоматически закрывает соответствующий кран заправки, при превышении максимально допустимого уровня топлива в одном из баков автоматически закрывает краны заправки, отключает заслонку и включает световое табло ПРЕКРАТИ ЗАПРАВКУ, расположенное на передней панели пульта, а также включает сирену;

- принимает информацию от сигнализаторов давления СДГ о давлении в баках. При повышенном давлении в любом баке или магистрали включает световое табло СНИЗЬ ДАВЛЕНИЕ. При превышении допустимого уровня давления в любом баке автоматически закрывает краны заправки и заслонку, включает световое табло ПРЕКРАТИ ЗАПРАВКУ и сирену.



Рисунок 3.2 - Внешний вид ПКУЗ-140

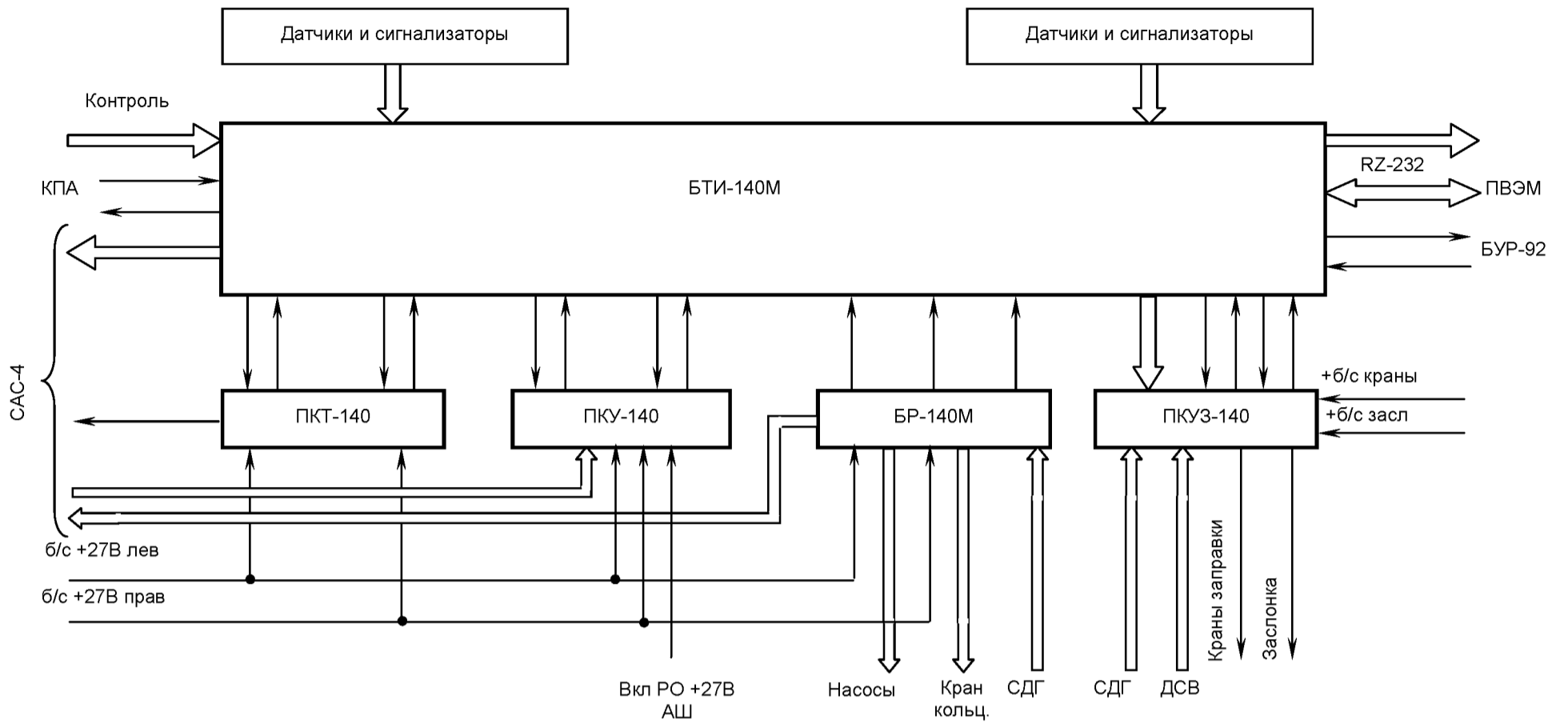


Рисунок 3.3 - Структурная схема

3.3 Принцип работы

3.3.1 Система, структурная схема которой представлена на рисунке 3, состоит из узлов:

- датчиков топливомера и температуры, ССУ, ДСВ;
- БТИ-140М;
- БР-140М;
- ПКУ-140;
- ПКТ-140;
- ПКУЗ-140.

Уровни топлива и температура топлива, измеренные датчиками, поступают на вход БТИ-140М в виде аналоговых сигналов.

ССУ выдают на вход БТИ-140М сигналы о превышении уровня топлива в баках или достижении уровня резервного остатка (РО) в виде аналоговых сигналов.

БТИ-140М преобразовывает поступившие аналоговые сигналы от датчиков топливомера, датчиков температуры и ССУ в цифровой код, и вычисляет по заданному алгоритму температуру топлива в баках, массу топлива в баках, объем топлива в каждом отсеке, суммарную массу топлива на самолете, несимметричность топлива в левом и правом полукрыльях, процентный остаток топлива на самолете.

БТИ-140М выдает в САС-4 сигналы: "РО лев", "РО прав" – при достижении в баках уровня РО, "Несимметр. Gt" – при несимметричности массы топлива в левом и правом полукрыльях, а также сигнал "Отказ ТИС" – при отказах системы, приводящих к выдаче недостоверной информации.

БТИ-140М выдает в БУР-92 информацию о суммарной массе топлива на объекте, достижении уровня РО и об отказе ТИС.

БТИ-140М выдает информацию о процентном остатке топлива в виде 4-разрядного бинарного кода.

Из БТИ-140М информация о массе и температуре топлива поступает по RZ-каналам в ПКУ-140, ПКТ-140, ПКУЗ-140. Для наземного контроля предусмотрено подключение ПЭВМ и КПА.

ПКУ-140 принимает по двум RZ-каналам информацию о массе топлива в левом и правом баках и отображает ее на цифровых ЖК-индикаторах, а также в соответствии с заполнением отсеков левого и правого баков включает сегменты аналоговой части ЖК-индикаторов. Кроме того, с помощью ПКУ-140 через БР-140М производится ручное управление краном кольцевания и насосами и коммутация питания "+27В РО" с аварийной шины (АШ) на БТИ-140М.

БР-140М по сигналам от датчиков СДГ, поступающим на вход, формирует сигналы о состоянии насосов и крана кольцевания, которые передает через САС-4 на соответствующие световые табло ПКУ-140.

ПКТ-140 принимает по двум RZ-каналам информацию о температуре топлива в левом и правом баках и отображает на цифровом индикаторе минимальную температуру, а также при понижении температуры топлива до критической для данного вида топлива выдает в САС-4 сигнал "t топлива мала".

ПКУЗ-140 работает только во время заправки. На вход пульта с БТИ-140М поступает информация о массе топлива в левом и правом баках по каждому из двух RZ-каналов и

информация о состоянии ССУ в виде бинарных сигналов. Кроме того, на вход пульта поступает информация о давлении в баках и магистрали от СДГ и информация о наличии свободной воды от ДСВ. Информация о массе топлива в левом и правом баках отображается на цифровых индикаторах пульта.

ПКУЗ-140 допускает управление кранами заправки и заслонкой как вручную – при помощи тумблеров, расположенных на передней панели пульта, так и автоматически – при превышении допустимого уровня топлива или давления. При повышенном давлении топлива в баках или магистрали на пульте загорается предупреждающее табло СНИЗЬ ДАВЛЕНИЕ. В аварийной ситуации загорается табло ПРЕКРАТИ ЗАПРАВКУ, светодиоды ЛЕВ КРАНЫ ЗАПРАВКИ ЗАКР, ПРАВ КРАНЫ ЗАПРАВКИ ЗАКР переходят в прерывистый режим горения, при этом автоматически закрываются краны заправки и заслонка, а также включается сирена. Аварийная сигнализация снимается установкой тумблеров ЛЕВ КРАНЫ ЗАПРАВКИ, ПРАВ КРАНЫ ЗАПРАВКИ в положение ЗАКР.

Для работы системы в режиме трех независимых каналов, а именно левого канала топливомера, правого канала топливомера и канала РО, в системе предусмотрено питание каждого из каналов от своего источника питания: "б/с +27В лев.", "б/с +27В прав. ", "Вкл. РО +27В".

3.3.2 Работа датчиков и сигнализаторов

3.3.2.1 ДТ-140-2, ДТ-140-4, ДТ-140-5, Т-140-7, ДТ-140-8, ДТ-140-9, ДТ-140-10, ДТ-140-11, схема электрическая которых представлена на рисунке 3.4, конструктивно выполнены в виде цилиндрического конденсатора и включают:

- внутреннюю трубу;
- наружную трубу;
- защитную трубу;
- соединитель.

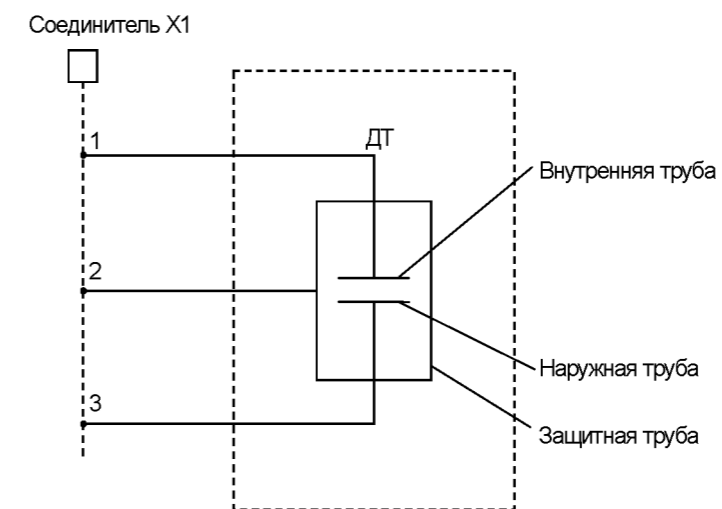


Рисунок 3.4 - Датчик топливомера, схема электрическая

Работа датчиков заключается в изменении их электрической емкости от номинальной (в сухом состоянии) до максимальной (при полном погружении в топливо) по линейной зависимости пропорционально изменению уровня топлива в баке.

3.2.2 ДТК-140-1, схема электрическая которого представлена на рисунке 3.5, конструктивно выполнен в виде двух цилиндрических конденсаторов и включает:

- датчик топливомера (ДТ);
- датчик температуры (ДТР);
- соединители.

ДТР изменяет электрическое сопротивление пропорционально изменению температуры окружающей среды.

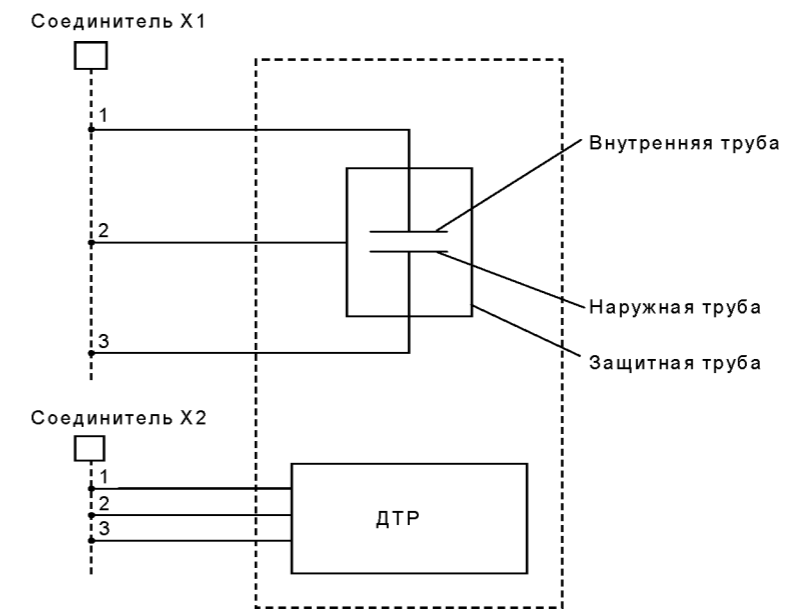


Рисунок 3.5 - ДТК-140-1, схема электрическая

3.3.2.3 ДТС-140-3, схема электрическая которого представлена на рисунке 3.6, конструктивно выполнен в виде цилиндрического конденсатора и включает:

- датчик топливомера (ДТ);
- два световодных сигнализатора уровня (ССУ);
- соединители.

Работа датчиков ДТ описана в п.3.3.2.1.

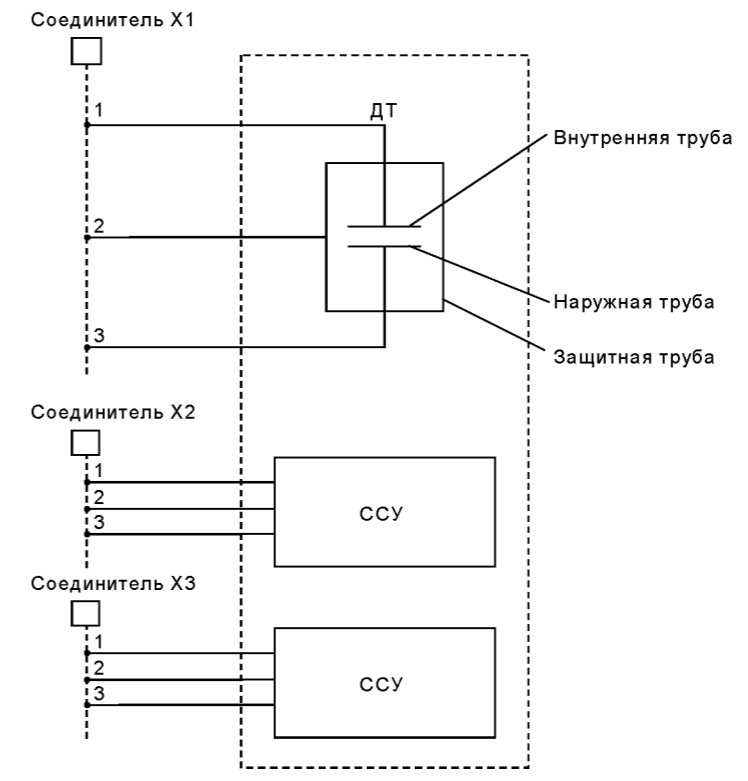


Рисунок 3.6 - ДТС-140-3, схема электрическая

ССУ, функциональная схема которой приведена на рисунке 3.7, включает:

- два оптоэлектронных канала;
- микроэлектронную плату, в которую входят два усилителя тока и формирователь.

Работа ССУ основана на принципе изменения угла преломления светового потока призмой в зависимости от окружающей среды (топливо-воздух).

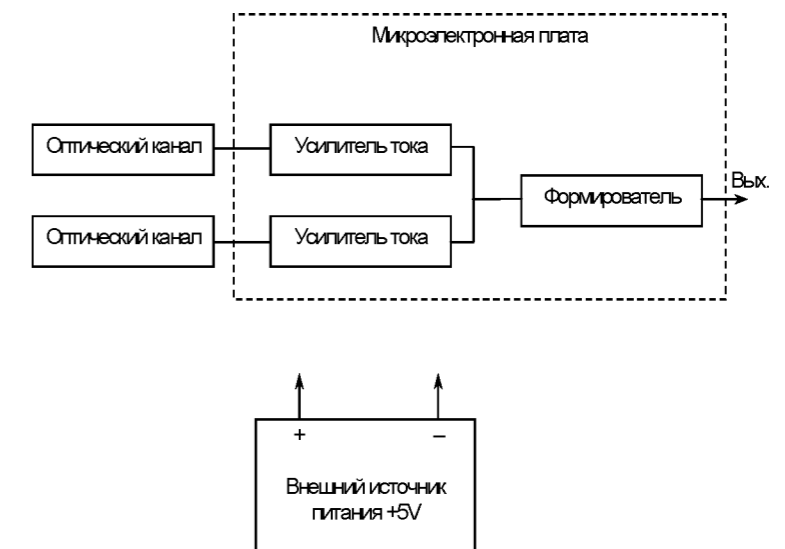


Рисунок 3.7 - Функциональная схема ССУ

Сухой сигнализатор выдает нулевые импульсы частотой 1000 Гц. При погружении сигнализатора в жидкость в момент срабатывания появляется высокий потенциал (логическая единица).

С целью повышения функциональной надежности сигнализатор выполнен в виде двух независимых каналов. При выходе из строя одного из каналов сигнализатор сохраняет свою работоспособность, при этом на выходе сухого сигнализатора выдаются нулевые импульсы частотой 500 Гц. Наличие на выходе сухого сигнализатора последовательности импульсов частотой 1000 Гц говорит о исправности двух каналов, что является встроенной системой самоконтроля.

3.3.2.4 ДТСК-140-6Л, ДТСК-140-6П схема электрическая которых представлена на рисунке 3.8, конструктивно выполнены в виде двух цилиндрических конденсаторов и включает:

- датчик топливомера (ДТ);
- датчик-компенсатор (ДК);
- датчик температуры (ДТР);
- световодный сигнализатор уровня (ССУ);

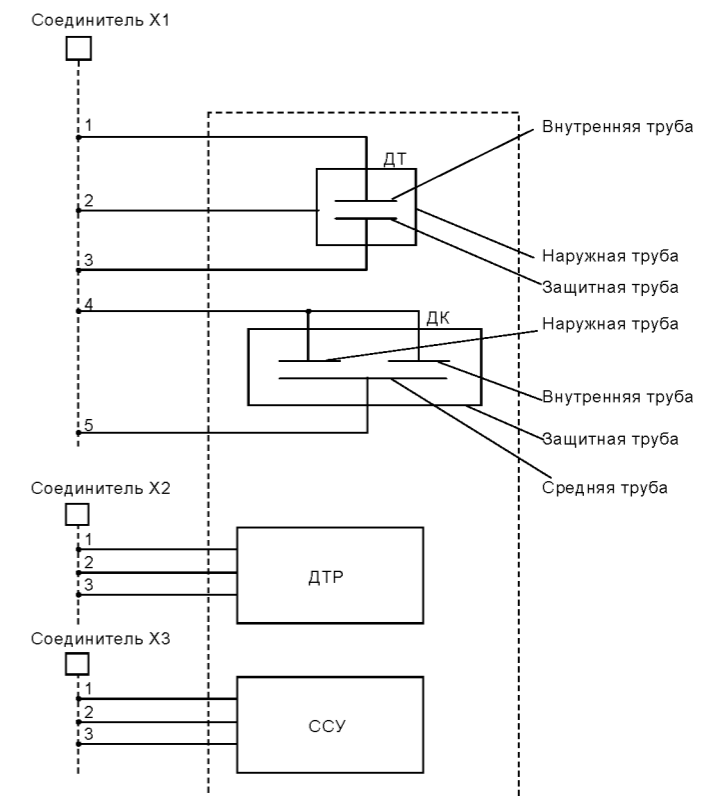


Рисунок 3.8 - ДТСК-140-6Л (ДТСК-140-6П), схема электрическая

Работа ССУ основана на принципе изменения угла преломления светового потока призмой в зависимости от окружающей среды (топливо-воздух).

Работа ДТ, ДТР и ССУ описана выше.

Работа ДК аналогична работе ДТ.

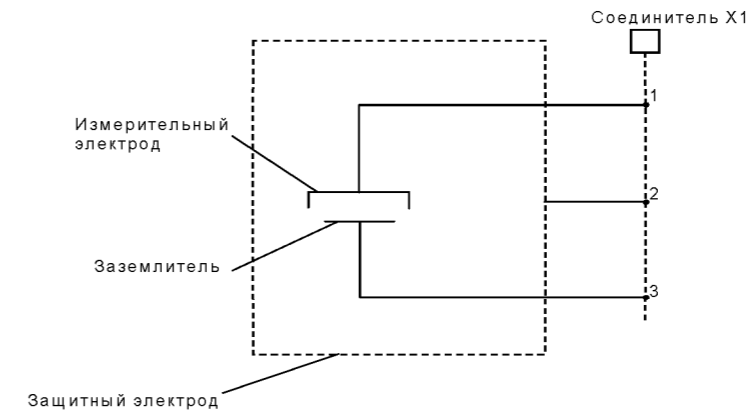


Рисунок 3.9 - ДСВ, схема электрическая

X1:1 – вывод измерительного электрода;

X1:2 – вывод защитного электрода;

X1:3 – вывод заземлителя.

3.2.5 ДСВ, схема электрическая которого представлена на рисунке 3.9, представляет собой два разомкнутых электрода и включает:

- измерительный электрод;
- защитный электрод;
- заземлитель.

Работа датчика основана на изменении водой электрической проводимости среды между двумя разомкнутыми электродами датчика (измерительного электрода и заземлителя).

3.3.3 БТИ-140М, структурная схема которого представлена на рисунке 10, включает:

- канал РО;
- устройство согласования;
- два независимых канала измерения (левый и правый), в каждый из которых входят:
- преобразователь;
- АЦП (аналого-цифровой преобразователь);
- устройство вычислительное;
- RZ- приемник-передатчик;
- узел питания.

Левый и правый каналы БТИ-140М работают независимо, причем на левый канал поступает информация от датчиков левого крыла, а на правый канал – от датчиков правого крыла. Для предотвращения потери информации в результате отказа любого узла БТИ-140М предусмотрен обмен информацией между левым и правым каналами блока, который осуществляется по шинам между преобразователями левого канала и АЦП правого канала, преобразователями правого канала и АЦП левого канала. Кроме того, обмен информацией между БТИ-140М и каждым пультом системы (ПКТ-140. ПКУЗ-140. ПКУ-140) осуществляется по двум независимым RZ-каналам.

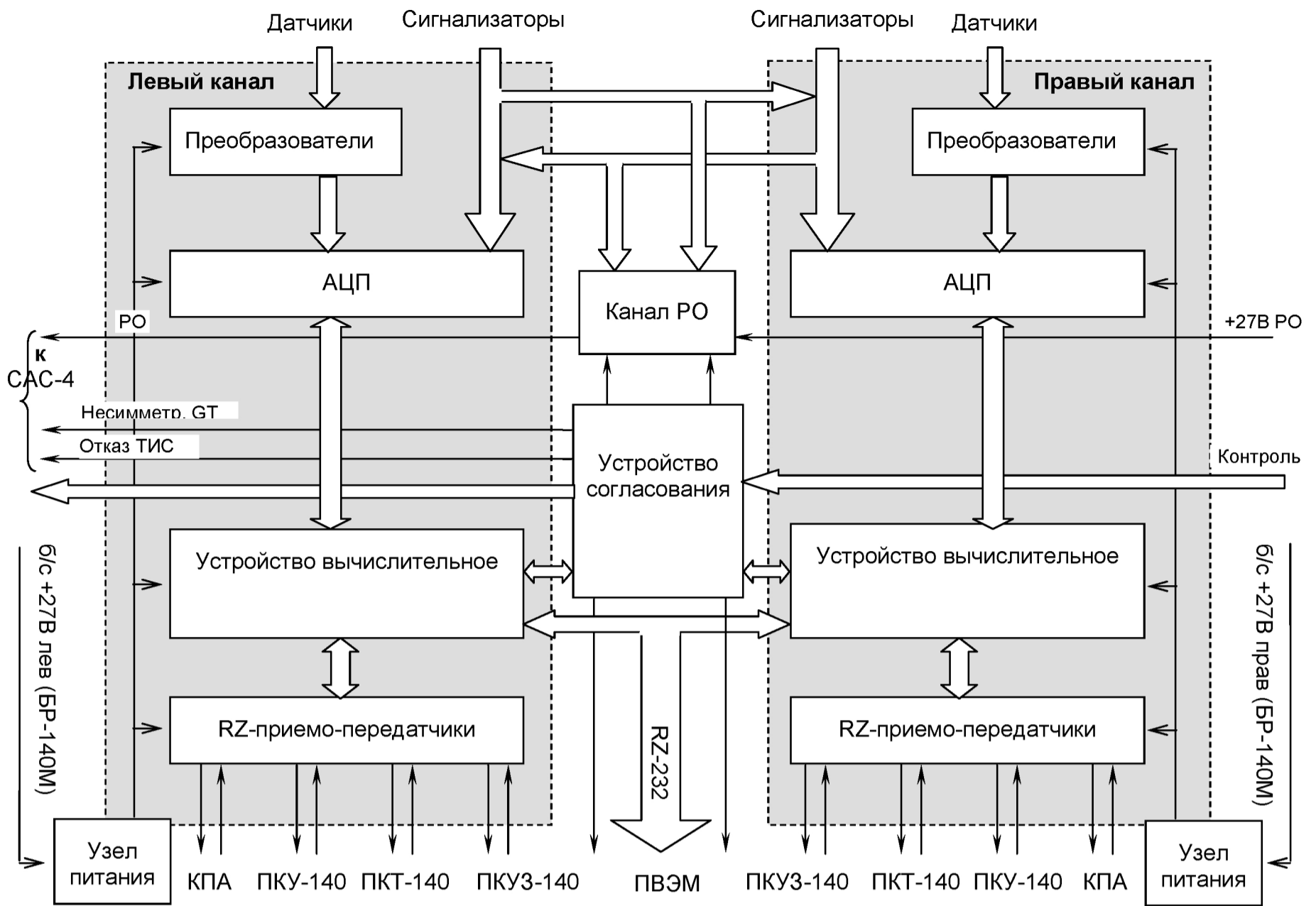


Рисунок 3.10 - Структурная схема БТИ-140М

Информация от датчиков об измеренных температуре топлива в виде сопротивления уровне топлива в виде емкости, поступает на входы преобразователей левого и правого каналов, где преобразовывается в эквивалентные напряжения постоянного тока.

Информация с преобразователей поступает на вход АЦП, где преобразовывается в 12 - разрядный цифровой код, который поступает на устройство вычислительное.

Устройство вычислительное в соответствии с заданным алгоритмом и индивидуальными тарифовочными характеристиками каждого датчика вычисляет температуру и массу топлива в каждом баке, несимметричность топлива между левым и правым полукрыльями, объем топлива в каждом отсеке, суммарную массу топлива на самолете и суммарный остаток топлива, а также проводит контроль системы.

Устройство вычислительное передает информацию о вычисленных минимальной температуре топлива и массе топлива в каждом баке, суммарной массе топлива на самолете, объеме топлива в каждом отсеке, достижении уровня РО, отказе ТИС на RZ-передатчики, которые преобразовывают информацию в биполярный последовательный код и передают ее по четырем независимым RZ-каналам на ПКУ-140, ПКТ-140, ПКУЗ-140 и в БУР-92. RZ-приемники по RZ-каналам принимают ответную информацию от пультов системы ТИС-140, преобразовывают ее в 16-разрядный цифровой код и передают в устройство вычислительное для дальнейшего анализа состояния пультов.

Информация от ССУ, поступающая на входы АЦП, преобразуется в бинарный код типа "Логический 0", "Логическая 1" в зависимости от состояния ССУ. Информация о достижении топливом уровня ПОЛН. и МАКС. поступает на ПКУЗ-140 и используется при заправке. Информация о достижении топливом уровня РО передается в устройство вычислительное, которое формирует сигнал "РО лев" ("РО прав") через устройство согласования в канал РО.

Для изменения тарифовочных характеристик и для более полной диагностики работы БТИ-140М и системы в целом предусмотрена возможность подключения ПЭВМ к каналам RZ и RS-232.

Каждый канал БТИ-140М имеет свой узел питания, на который поступает напряжение питания бортсети "б/с +27В лев." ("б/с +27В прав.") через БР-140М. Узлы питания преобразовывают напряжение бортсети в напряжения, используемые для питания электрорадиоэлементов, применяемых в блоке.

Устройство согласования предназначено для согласования напряжений внешних устройств с внутренними напряжениями БТИ-140М. Устройство согласования передает сигналы "РО лев", "РО прав" в канал РО, "Несимметр Gt", "Отказ ТИС" в САС-4 и вычисленный суммарный остаток топлива в виде 4-разрядного бинарного слова.

Канал РО формирует сигналы "РО лев", "РО прав" в соответствии с сигналами, поступающими от ССУ и устройства согласования и передает и в САС-4. Канал РО питается от АШ. Напряжение питания "+27В РО" подается через ПКУ-140 при включении любого насоса.

3.3.4 БР-140М, структурная схема которого представлена на рисунке 3.11, включает:

- устройство управления насосами;
- устройство контроля состояния насосов;
- устройство управления краном кольцевания;
- устройство контроля состояния крана кольцевания;
- коллектор питания БТИ-140М.

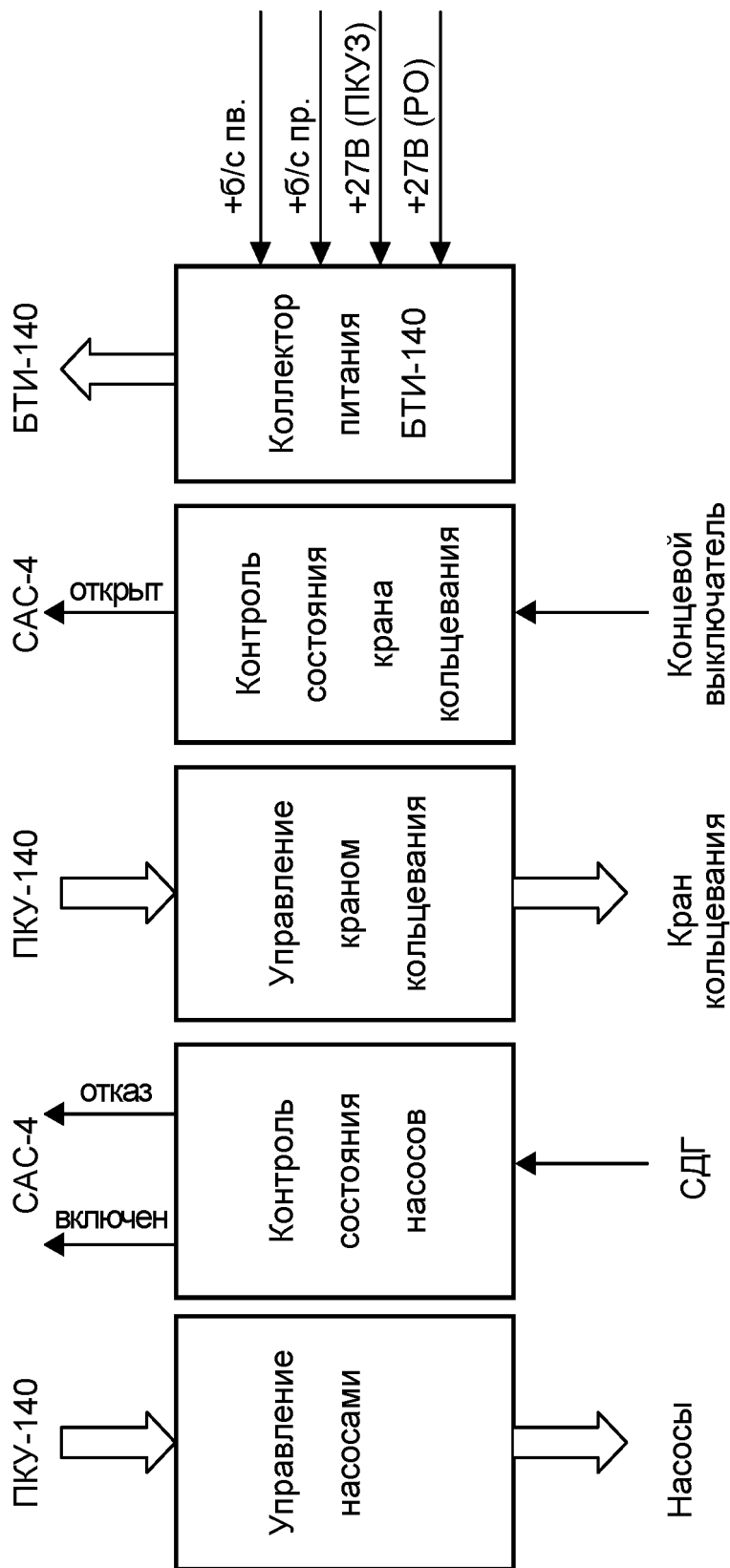


Рисунок 3.11. Структурная схема БР-140М

Коллектор питания БР-140М передает напряжения питания в БТИ-140М от бортсети ("б/с +27В лев.", "б/с +27В прав"), от ПКУЗ-140 (+27В ПКУЗ) и через ПКУ-140 напряжение аварийного питания ("+27В РО").

Устройство управления насосами по сигналу, поступающему от ПКУ-140, коммутирует напряжение питания насосов.

Устройство контроля состояния насосов выдает в САС-4 сигнал "Включен" или "Отказ" в зависимости от сигнала, поступающего от сигнализатора давления СДГ: при нормальном давлении на выходе БР-140М появляется сигнал "Включен", при отсутствии давления – "Отказ".

Устройство управления краном кольцевания по сигналу, поступающему от ПКУ-140, коммутирует напряжение питания крана кольцевания.

Устройство контроля состояния крана кольцевания выдает в САС-4 сигналы "Открыт", "Не закр." в зависимости от сигнала, поступающего с концевого выключателя. При включенном концевого выключателе на выходе БР-140М появляется сигнал "Открыт", при закрытом – сигнал "Не закр. ".

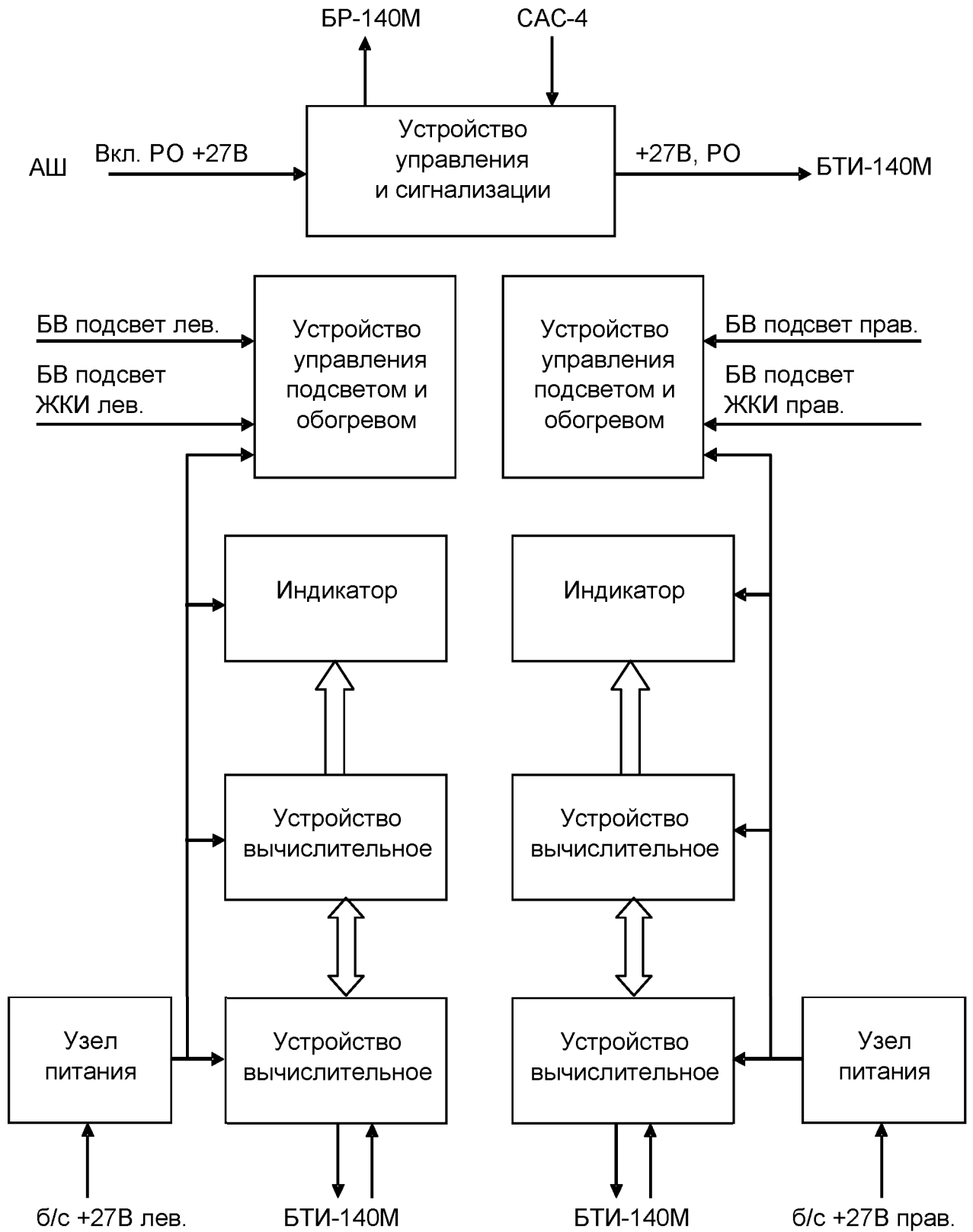
3.3.5 ПКУ-140, структурная схема которого представлена на рисунке 3.12, включает устройство управления и сигнализации и два канала индикации массы топлива – левый и правый, в каждый из которых входят:

- ЖК - индикатор;
- устройство вычислительное;
- RZ - приемник – передатчик;
- устройство управления подсветом и обогревом;
- узел питания.

Левый и правый каналы ПКУ-140 работают независимо, причем для предотвращения потери информации в результате отказа одного из каналов пульта предусмотрен обмен информацией между БТИ-140М и ПКУ-140 по двум RZ-каналам. Каналы запрашиваются от независимых источников питания.

RZ-приемники ПКУ-140 выбирают информацию о массе топлива в каждом баке из общего потока информации, поступающей по двум независимым RZ-каналам, и преобразуют ее из RZ-кода в 16-разрядное слово, которое передается на устройство вычислительное.

Рисунок 3.12. Схема структурная ПКУ-140



Устройство вычислительное предназначено для обработки поступающей информации о массе топлива в левом и правом баках, поддержания работы ЖК-индикаторов, а также проведения контроля и диагностики работы пульта и передачи ее результатов на RZ-передатчики.

Устройство вычислительное в соответствии с заданным алгоритмом определяет массу топлива в каждом баке, объем топлива в каждом отсеке, которые передает на ЖК-индикатор в соответствующем коде.

ЖК - индикаторы левого и правого каналов ПКУ-140 принимают информацию от устройств вычислительных, индицируют массу топлива соответственно в левом и правом баках с помощью цифровой части индикаторов и заполнение отсеков баков с помощью сегментов аналоговой части индикаторов.

Узлы питания преобразовывают напряжение постоянного тока "б/с +27В лев." ("б/с +27В прав.") во вторичные напряжения, питающие электрорадиоэлементы устройств левого (правого) каналов пульта.

Устройство управления и сигнализации предназначено:

- для передачи напряжения питания "27В РО" от АШ на БТИ-140;
- для управления краном кольцевания и насосами при помощи кнопок, расположенных на передней панели пульта;
- для индикации состояния крана кольцевания и насосов при помощи световых табло, расположенных на кнопках.

При нажатии кнопок КОЛЬЦ, 1 ДВИГ НАСОС №1, 1 ДВИГ НАСОС №2, 2 ДВИГ НАСОС №1, 2 ДВИГ НАСОС №2 сигнал "Включить/выключить" передается на БР-140М. Сигналы о состоянии крана кольцевания и насосов поступают на вход устройства управления и сигнализации от САС-4. В соответствии с поступившими сигналами при исправной работе насосов должны загореться зеленые табло на кнопках, в случае отказа должно загореться табло ОТКАЗ на соответствующей кнопке. При закрытом кране кольцевания на кнопке КОЛЬЦ должно загореться зеленое табло, при незакрытом – табло НЕ ЗАКР.

3.3.6 ПКТ-140, структурная схема которого представлена на рисунке 3.20, включает два независимых канала измерения температуры топлива (левый и правый) и устройство подсвета.

В левый канал входят:

- цифровой индикатор;
- устройство вычислительное;
- RZ-приемник-передатчик;
- узел питания.

В правый канал входят:

- устройство вычислительное;
- RZ-приемник-передатчик;
- датчик температуры;
- узел питания.

Для предотвращения потери информации в результате отказа одного из каналов предусмотрен обмен информацией между БТИ-140М и ПКТ-140 по двум RZ-каналам, кроме того, каналы запитываются от независимых источников питания.

RZ-приемники ПКТ-140 выбирают информацию о температуре топлива в каждом баке из общего потока информации, поступающей по двум независимым RZ-каналам, и преобразуют ее

из RZ-кода в 16-разрядное слово, которое передается на устройства вычислительные левого и правого каналов.

Устройство вычислительное левого канала в соответствии с алгоритмом преобразовывает полученную по RZ- каналу минимальную температуру топлива и передает ее на цифровой индикатор в соответствующем коде.

Индикатор принимает информацию от устройства вычислительного и индицирует минимальную температуру топлива.

Устройство вычислительное правого канала в соответствии с алгоритмом преобразовывает полученную по RZ- каналу минимальную температуру топлива и сравнивает ее с минимальной допустимой температурой для данного вида топлива.

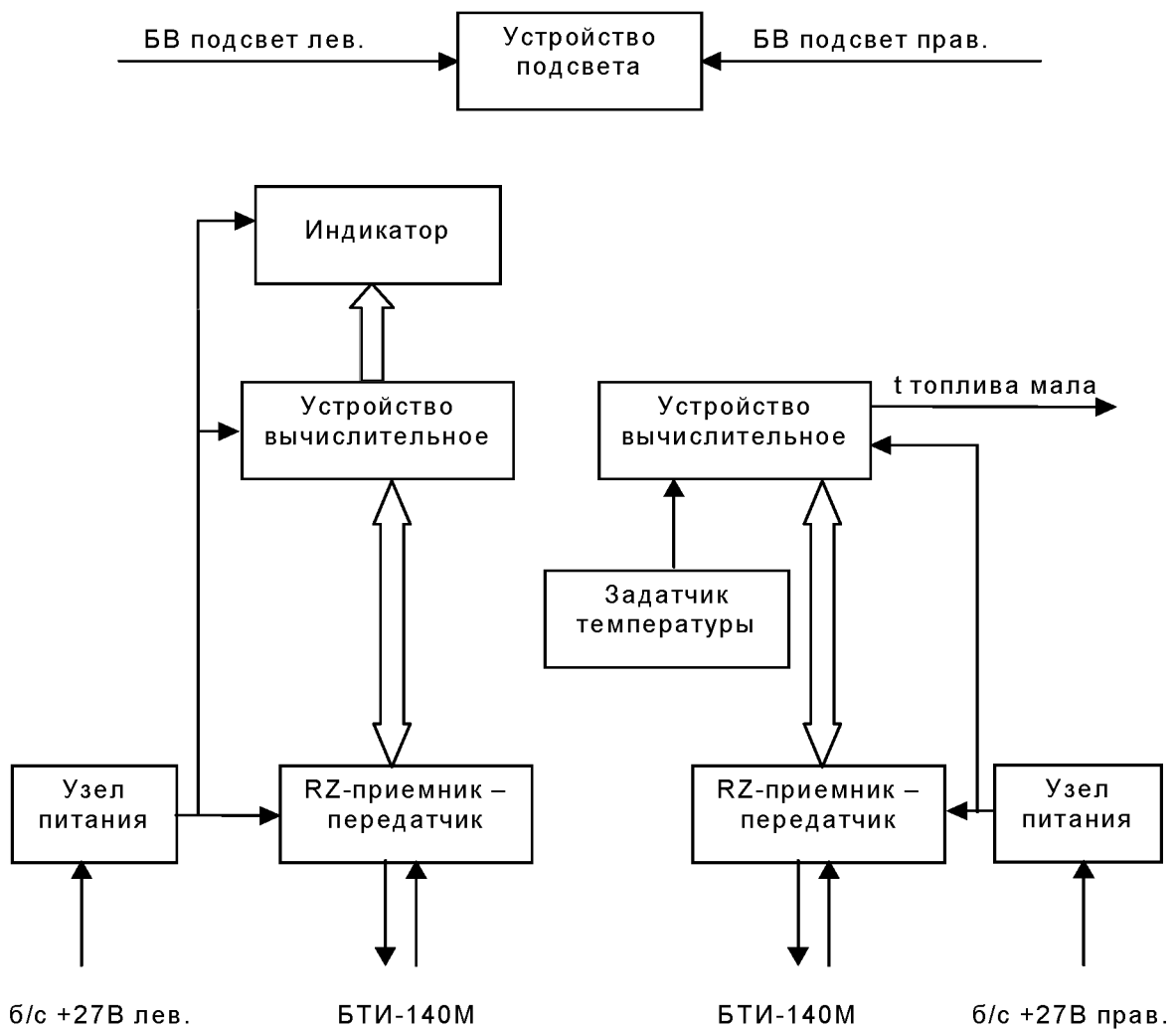


Рисунок 3.20. Структурная схема ПКТ-140

При температуре топлива меньше допустимой устройство вычислительное формирует сигнал "t топлива мала".

Минимально допустимая температура топлива задается с помощью задатчика температур, расположенного на передней панели пульта.

RZ-передатчики преобразовывают информацию, полученную от устройства вычислительного, в RZ-код и передают ее в БТИ-140М для оценки состояния ПКТ-140.

Устройство подсвета предназначено для подсветки гравировок на передней панели ПКТ-140 в ночное время. Устройство подсвета работает при подаче напряжения питания "6В подсвет лев" и "6В подсвет прав" от тумблера, расположенного в кабине пилота.

Узлы питания преобразовывают напряжение постоянного тока "б/с +27В лев." ("б/с +27В прав.") во вторичные напряжения, питающие электрорадиоэлементы устройств левого (правого) канала пульта.

3.3.7 ПКУЗ-140 предназначен для управления централизованной заправкой объекта.

При помощи тумблера ПКУЗ, расположенного на лицевой панели ПКУЗ-140, формируется сигнал "Заправка включена", по которому во внешних цепях коммутируются напряжения "+27В б/с кр." и "+27В б/с засл." в ПКУЗ-140 и БТИ-140М.

Преобразователь обеспечивает преобразование напряжения "+27В б/с засл." в напряжение 20 В 20 кГц, питающее узлы ПКУЗ-140.

Устройство ввода-вывода предназначено для согласования работы устройства вычислительного с остальными устройствами ПКУЗ-140 и внешними сигналами.

Обмен информацией между БТИ-140М и устройством вычислительным осуществляется через RZ-приемники-передатчики, входящие в состав устройства вычислительного.

Для предотвращения потери информации в результате отказа одного из RZ -каналов предусмотрен обмен информацией между БТИ-140М и ПКУЗ-140 по двум RZ-каналам (основному и резервному).

RZ-приемники выбирают из общего потока информацию о массе топлива в каждом баке, поступающего по двум независимым RZ-каналам (основному и резервному), и преобразовывают ее в форму, удобную для ввода в устройство вычислительное.

RZ-передатчики, входящие в устройство вычислительное, преобразовывают информацию, полученную от устройства вычислительного, в RZ-код и передают ее в БТИ-140М.

Устройство вычислительное предназначено для обработки поступающей информации о массе топлива, уровне топлива, давлении в баках и магистрали, поддержания работы цифровых индикаторов, управления светодиодами, световыми табло, кранами заправки, заслонкой и сиреной, а также проведения самоконтроля системы, диагностики работы пульта и передачи их результатов на RZ-передатчики.

Кроме того устройство вычислительное анализирует сигналы от сигнализаторов уровня (i полн, i макс), поступающие от БТИ-140М. состояние датчиков давления СДГ, тумблеров управления заправкой, кранов заправки и при повышении давления топлива в баках или магистрали включает световое табло СНИЗЬ ДАВЛЕНИЕ, а при превышении допустимого давления в баках или допустимого уровня топлива включает световое табло ПРЕКРАТИ ЗАПРАВКУ, сирену и через устройство управления кранами заправки формирует сигналы на закрытие кранов заправки и перекрывной заслонки.

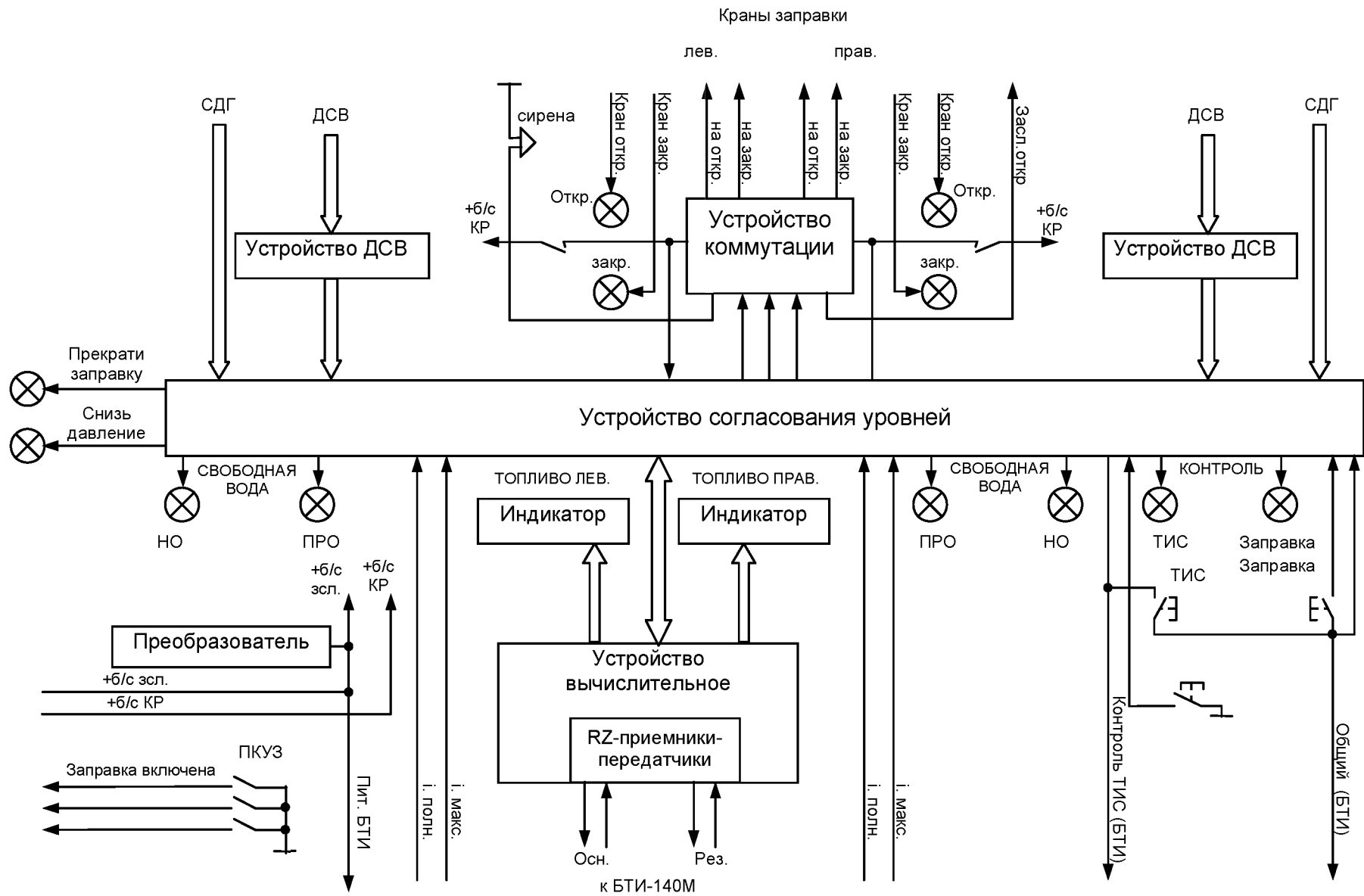


Рисунок 3.12 - Структурная схема ПКУЗ-140

Ручное управление кранами заправки осуществляется тумблерами КРАНЫ ЗАПРАВКИ через устройство коммутации. При включении тумблеров ЛЕВ КРАНЫ ЗАПРАВКИ, ПРАВ КРАНЫ ЗАПРАВКИ, расположенных на передней панели ПКУЗ-140, устройства коммутации формируют сигналы "На откр", которые подаются на краны заправки и через устройство ввода-вывода на устройство вычислительное. Заправка прекращается выдачей устройством коммутации сигналов "На закр", которые формируются, либо выключением тумблеров, либо автоматически – сигналом от устройства вычислительного при заполнении бака, превышении в нем допустимого уровня или давления топлива. Состояние кранов заправки контролируется светодиодами КРАНЫ ЗАПРАВКИ ОТКР, КРАНЫ ЗАПРАВКИ ЗАКР в соответствии с сигналами "Кран откр.", "Кран закр.", поступающими от концевиков кранов заправки. Прерывистый режим горения светодиода КРАНЫ ЗАПРАВКИ ЗАКР соответствует автоматическому закрытию крана заправки при установленном в положении ОТКР соответствующем тумблере КРАНЫ ЗАПРАВКИ. После установки этого тумблера в положение ЗАКР соответствующий светодиод должен гореть непрерывно.

Устройство ДСВ управляет через устройство ввода-вывода работой светодиодов ЛЕВ СВОБОДНАЯ ВОДА НО, ЛЕВ СВОБОДНАЯ ВОДА ПРО, ПРАВ СВОБОДНАЯ ВОДА НО, ПРАВ СВОБОДНАЯ ВОДА ПРО в соответствии с сигналами, поступающими от сигнализаторов ДСВ.

Устройство ввода-вывода в соответствии с состоянием кнопок КОНТРОЛЬ ТИС, КОНТРОЛЬ ЗАПРАВКА, КОНТРОЛЬ ИНД формирует сигналы самоконтроля ПКУЗ-140 и системы, которые поступают на устройство вычислительное ПКУЗ-140 и в БТИ-140М. При исправности системы и пульта должны гореть светодиоды КОНТРОЛЬ ТИС, КОНТРОЛЬ ЗАПРАВКА.

3.4 Имитация ТИС-140 в программной среде LabVIEW 8.5

3.4.1 Описание.

Для имитации работы топливно-измерительной системы ТИС-140 был создан виртуальный прибор, лицевая панель которого представлена на рисунке 3.22.

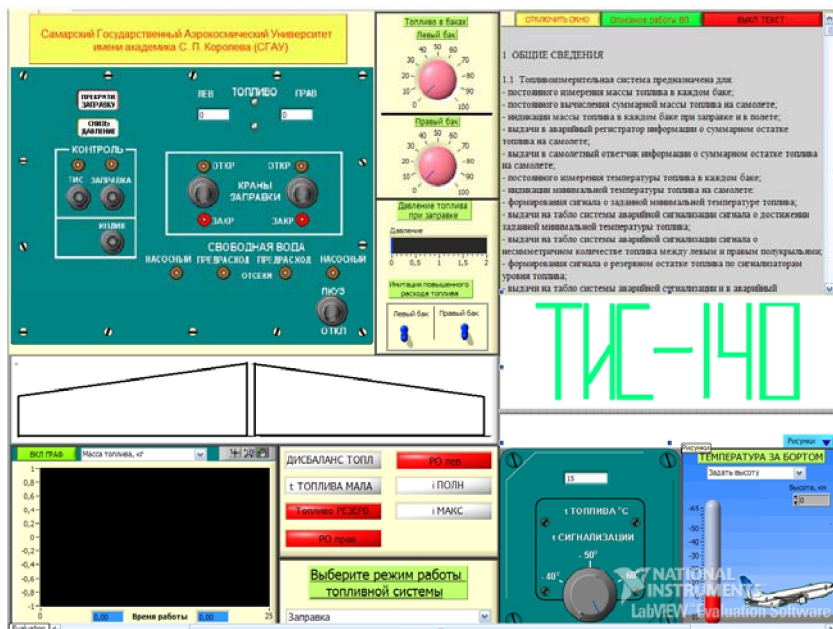


Рисунок 3.22– Лицевая панель ВП

В состав лицевой панели виртуального прибора входит:

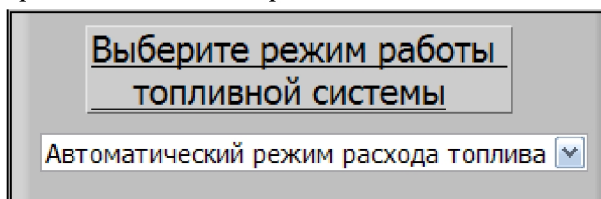
- пульт контроля и управления - ПКУ-140;
- пульт контроля и управления заправкой - ПКУЗ-140;
- пульт контроля температуры - ПКТ-140 ;
- панель выбора режимов;
- панель индикации неисправностей;
- панель индикаторов, имитирующие топливные баки;
- панель индикации значений емкостей получаемых от датчиков топливомера
- вспомогательная панель управления виртуальным прибором.



Рисунок 3.23 – ПКУ-140

3.4.1.1 Пульт контроля и управления – ПКУ-140 (рис. 23) визуально максимально приближен к реальному ПКУ-140, который устанавливается на приборную доску самолета.

Виртуальный ПКУ-140 работает только в режиме «автоматического расхода топлива»:



Единственное отличие от реального ПКУ-140 состоит в том, что вместо жидкокристаллических (ЖК) – индикаторов используется стрелочный индикатор, но с цифровым отображением значения топлива в баках. В остальном виртуальный ПКУ-140 полностью повторяет реальный пульт.

3.4.1.2 Пульт контроля и управления заправкой - ПКУЗ-140 (рис. 3.24) также максимально приближен к реальному пульту заправки.

ПКУЗ-140 работает только в режиме «заправка топлива». Поскольку при выполнении курсового проекта в конструкции бака не были учтены отсеки, светосигнализаторы свободной воды. В остальном виртуальный пульт заправки повторяет реальный пульт ПКУЗ-140.



Рисунок 3.24 - ПКУЗ-140

3.4.1.3 Пульт контроля температуры - ПКТ-140 (рисунок 3.25) так же как и реальный имеет ручку для установления минимальной температуры топлива, Если температура топлива опустится ниже заданной, то срабатывает сигнализатор.



Рисунок 3.25 - ПКТ-140

4.1.4 Панель индикации неисправностей (рисунке 3.26) представлена из семи светосигнализаторов.

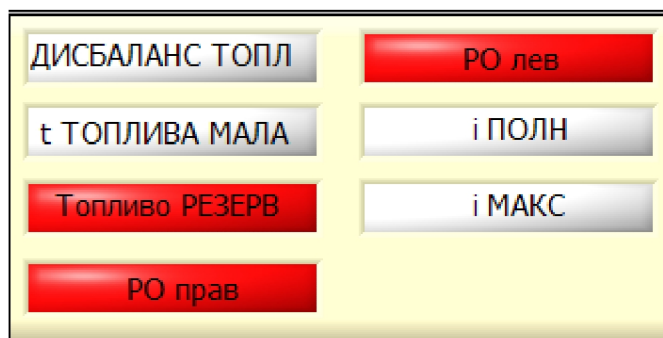


Рисунок 3.26 - Панель индикации неисправностей.

Каждый сигнализатор загорается красным цветом при отклонении от нормы или превышения нормы соответствующей величиной.

3.4.1.5 Панель индикаторов, имитирующие топливные баки предназначены для удобства пользователя и позволяют наглядно продемонстрировать изменения уровня топлива в баках.

На рисунке 3.27 представлены индикаторы показывающие отсутствие топлива в баках левого и правого полукрыльях.

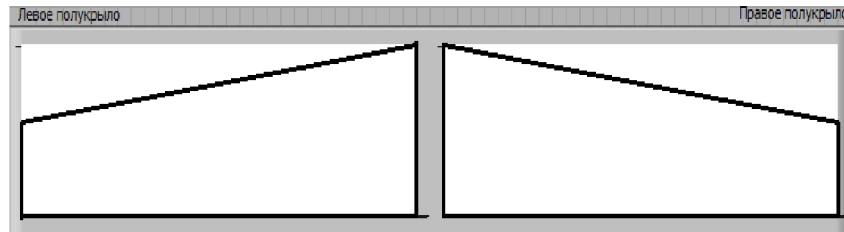


Рисунок 3.27 – Пустые топливные баки

На рисунке 3.28 представлены индикаторы, показывающие топливные баки, заполненные на 75%.

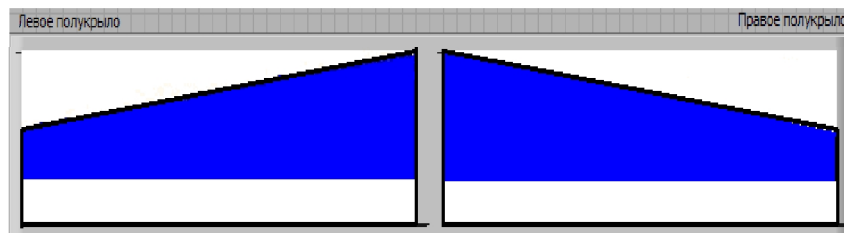


Рисунок 3.28 - Топливные баки, заполненные на 75%.

3.4.1.6 Панель индикации значений емкостей получаемых от датчиков топливомера представлена на рисунке 3.29. Значения емкостей в виртуальном ТИС-140 абсолютно точно совпадают со значениями, представленными в описании данной системы.

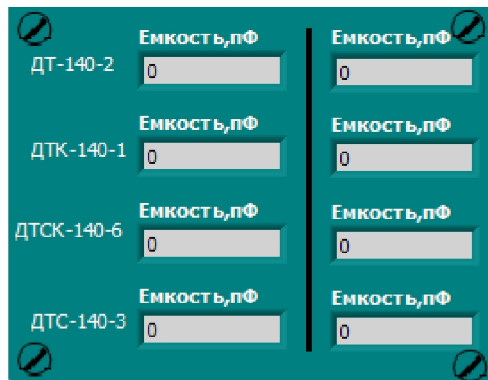


Рисунок 3.29 - Панель индикации значений емкостей.

На самолете устанавливается четыре типа емкостных датчиков, поэтому при создании виртуального прибора было реализовано по четыре датчика на каждое полукрыло.

3.4.1.7 Вспомогательная панель управления виртуальным прибором (рис. 30) предназначена для:

- управления количеством топлива в ручном режиме расхода топлива. Каждый бак управляется в отдельности, при этом все сигнализаторы находятся в работоспособном состоянии.

- для имитации повышенного расхода топлива в любом баке, в режиме автоматического расхода топлива. Повышенный расход предназначен для демонстрации работы виртуального прибора при разности значений топлива в баках.

- регулировки давления подачи топлива при заправке.

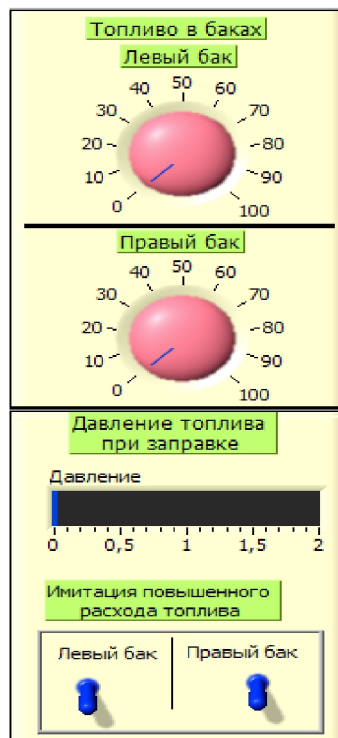




Рисунок 3.30 - Вспомогательная панель

3.4.1.8 Панель выбора режима работы виртуального прибора имеет три режима: «ручной режим расхода топлива», «автоматический режим расхода топлива», «заправка». Все три режима работают независимо друг от друга, но значения всех величин индицируются на одних и тех же индикаторах.

3.4.2 Работа виртуального прибора.

Запускаем ВП нажатием на кнопку "Run continuously" , нажимаем кнопку "Включить текст" . Появляется пустое окно и еще две кнопки: "Описание работы ВП" (данный документ), "Описание системы ТИС-140", по нажатию на которую появляется текст с описанием системы (рисунок 3.31) Если нажать на кнопку "Отключить текст", появятся обратно панели отображения емкостей (рисунок 3.32).

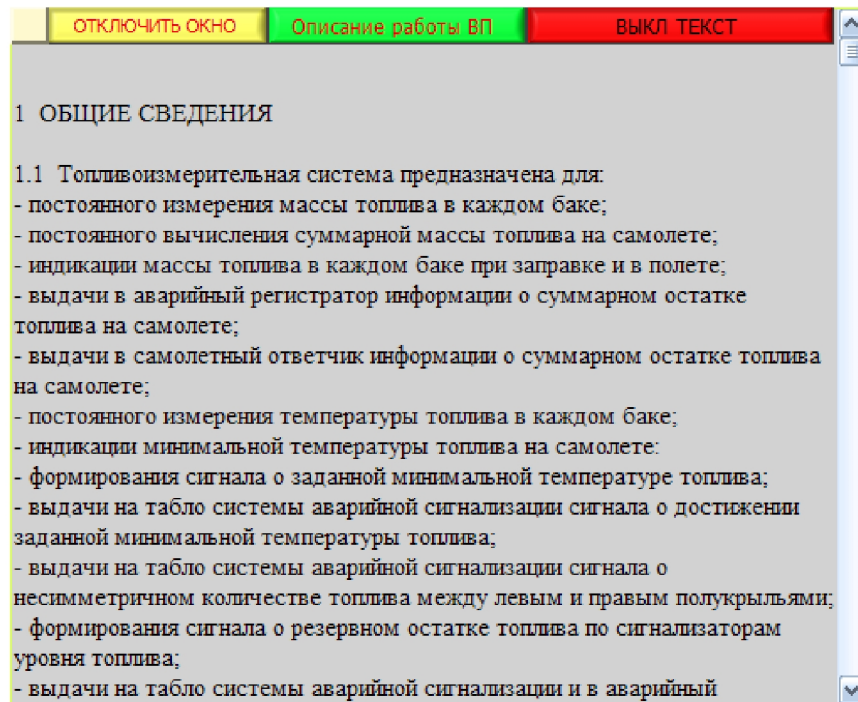


Рисунок 3.31 - текст описания системы.

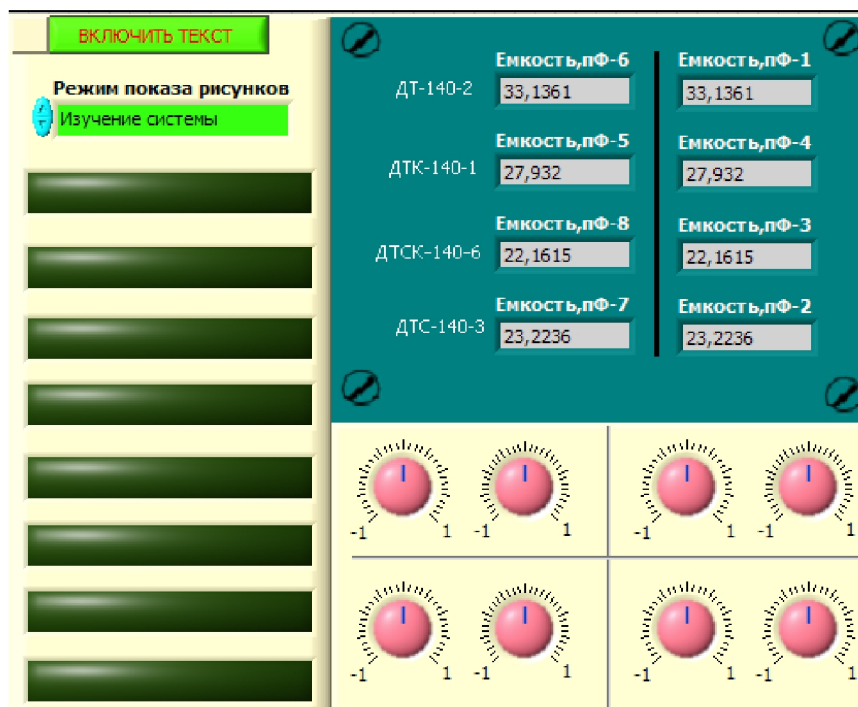
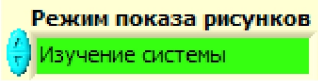



Рисунок 3.32 - панели отображения емкостей

Для более наглядного изучения топливной системы имеется окно в котором отображаются рисунки. Чтобы отображение происходило в процессе изучения материала

необходимо до включения текста в меню режима показа рисунков выбрать режим "изучение системы"  Изучение системы

Для отображения состояния системы на графике, в процессе работы программы надо нажать кнопку "ВКЛ ГРАФ"  и выбрать любой из параметров контроля системы (по умолчанию установлена масса топлива, рисунок 3.33).

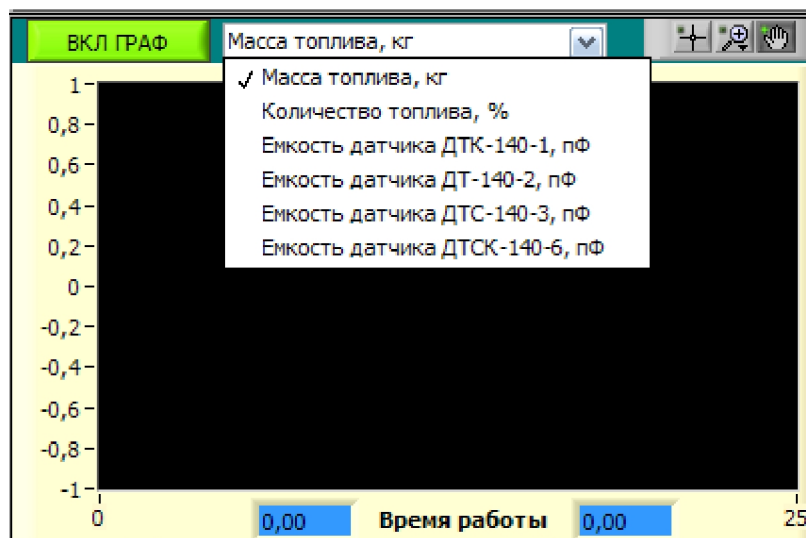


Рисунок 3.33 – Индикатор параметров

Режим заправки при запуске ВП стоит по умолчанию, для запуска процесса



необходимо включить пульт выключателем "ПКУЗ-ОТКЛ", далее открыть краны заправки и создать давление топлива. Давление в данном случае представлено в условных единицах и при достижении величины давления свыше 1 ед. на пульте ПКУЗ загорается сигнализатор желтого цвета с надписью "СНИЗЬ ДАВЛЕНИЕ" (рисунок 3.34), при превышении величины давления 1.5 ед. загорается сигнализатор красного цвета с надписью "ПРЕКРАТИ ЗАПРАВКУ" (рисунок 3.34), после чего включается звуковой сигнал, имитирующий сирену на самолете, и заправка прекращается.

При достижении массы топлива 5500 кг. с датчиков снимается сигнал "i ПОЛН", а при 5636 кг. - "i МАКС".



Рисунок 34 – Переключатели на панели в режиме “ЗАПРАВКА ТОПЛИВА”

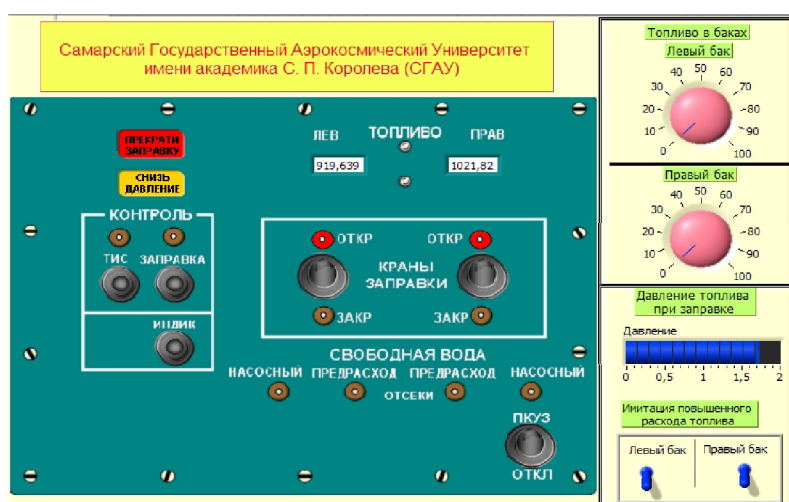


Рисунок 3.35 – Индикация "СНИЗЬ ДАВЛЕНИЕ" и "ПРЕКРАТИ ЗАПРАВКУ"

Если в одном баке уровень топлива достиг своего максимума, а во втором нет, то загорятся оба сигнализатора: "СНИЗЬ ДАВЛЕНИЕ" и "ПРЕКРАТИ ЗАПРАВКУ", включается сирена и заправка останавливается.

Если в процессе работы системы разница топлива в баках составляет более 200кг, то загорается красный светосигнализатор с надписью "ДИСБАЛАНС ТОПЛ"

ДИСБАЛАНС ТОПЛ

Режим автоматического расхода топлива запускается включением насосов, которые включаются нажатием на кнопку-табло. Одновременно с этим загораются мнемолинии, которая горит даже при работе одного насоса на каждый двигатель. При отказе насоса или не включении его подсвечивается надпись "ОТКАЗ" желтым цветом (рисунок 3.36). При отказе насосов или необходимости выработки топлива с одного бака имеется кран кольцевания, он включается с помощью кнопки "КОЛЬЦ" (рисунок 3.37).

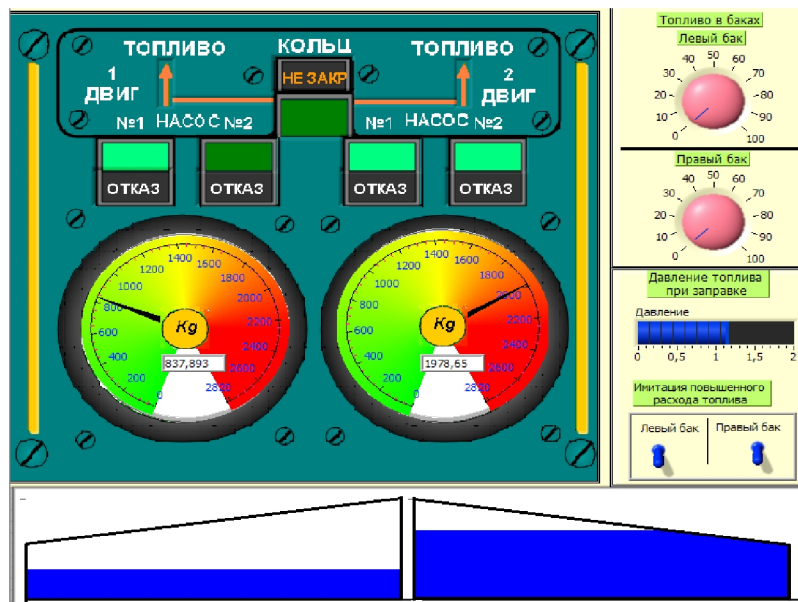


Рисунок 3.36 – Индикация отказов насосов

Для более быстрого расхода топлива из баков имеется переключатели, нажав на которые можно сократить время выработки в несколько раз.

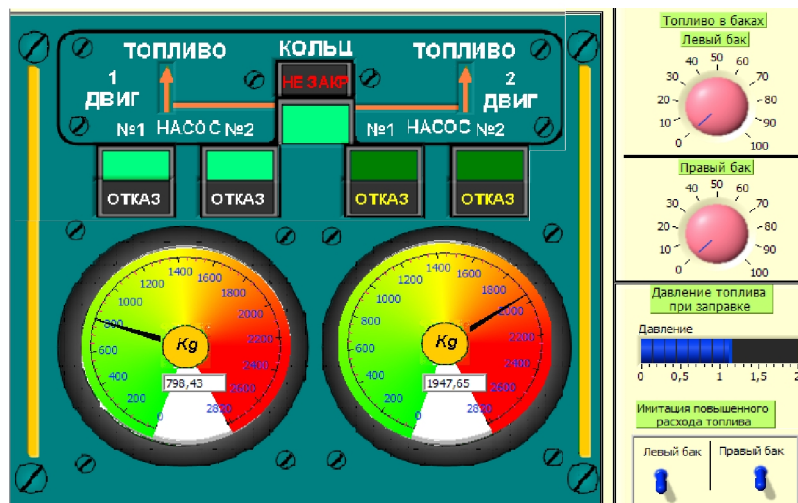


Рисунок 3.37 – Индикация включения кранов колцевания

Как только суммарная масса топлива в обоих баках станет равной 374 кг., срабатывает светосигнализатор с надписью "Топливо РЕЗЕРВ".

Топливо РЕЗЕРВ

При достижении массы топлива в каждом из баков 187 кг., срабатывает светосигнализатор с надписью "РО лев" и "РО прав" в, соответственно, левом и правом баках.

РО лев

РО прав

В *ручном режиме* насосы не работают, уровень топлива задается только с помощью регулировочных ручек.

Масса топлива отображается исходя из замеров емкости датчиков, установленных в баках. Все показания датчиков-топливомеров отображается на панели в правом-верхнем углу (рисунок 3.38). Под этой панелью есть регулировочные ручки, которые вносят погрешность в измерение емкости, величину вносимой погрешности пользователь определяет сам. При превышении величины погрешности более допустимой, загорается красный светосигнализатор с надписью соответствующего датчика и ниже появляется рисунок неисправного датчика (рисунок 3.39). Это позволяет быстро и безошибочно определять неисправные датчики.

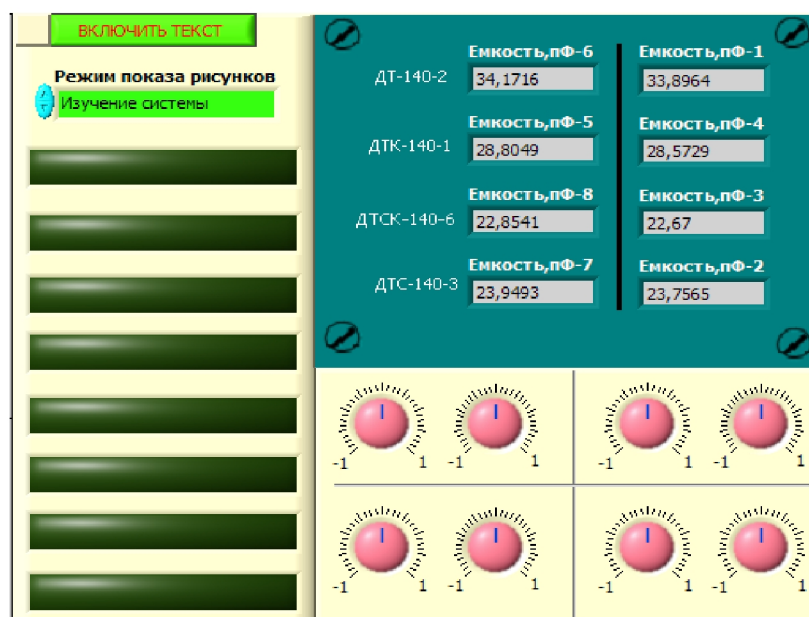


Рисунок 3.38 – Панель индикации емкостей датчиков-топливомеров

Для проверки работоспособности системы оповещения о низкой температуре, на пульте ПКТ-140 выставляем минимальную температуру. Справа от пульта изображен градусник, по которому можно задать любую температуру, и самолет, перемещая его выше-ниже изменяется высота полета и, соответственно, температура топлива тоже меняется (рисунок 3.40). Как только температура стала ниже заданной, срабатывает красный светосигнализатор с надписью "t ТОПЛ МАЛА".

t ТОПЛ МАЛА

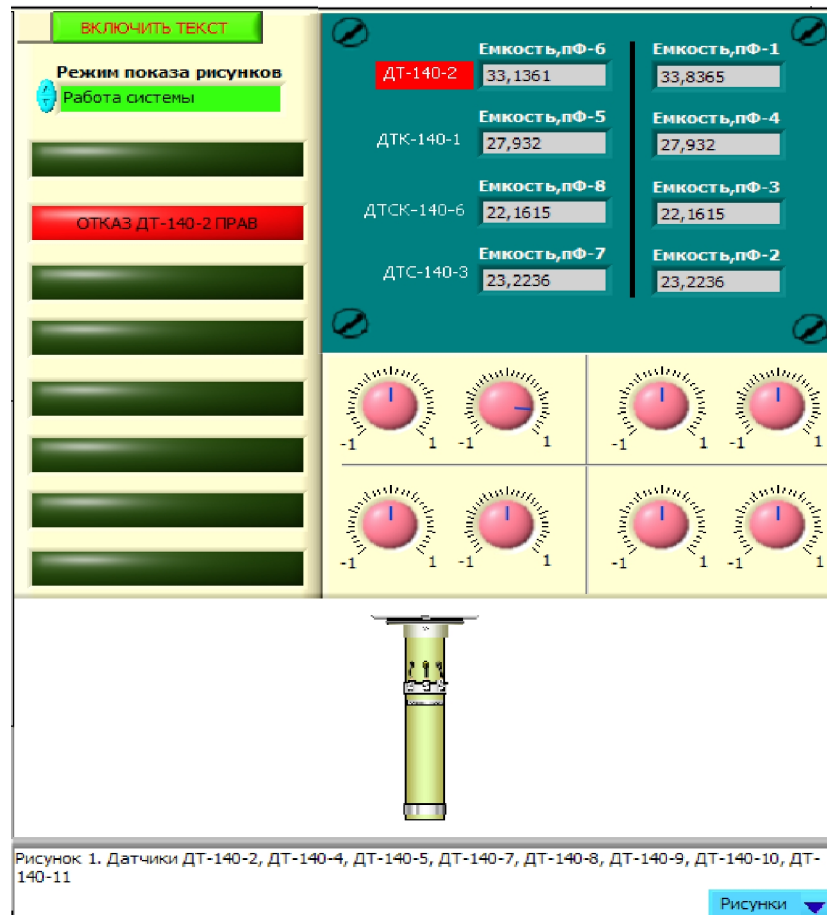


Рисунок 3.39 – Вид неисправного датчика

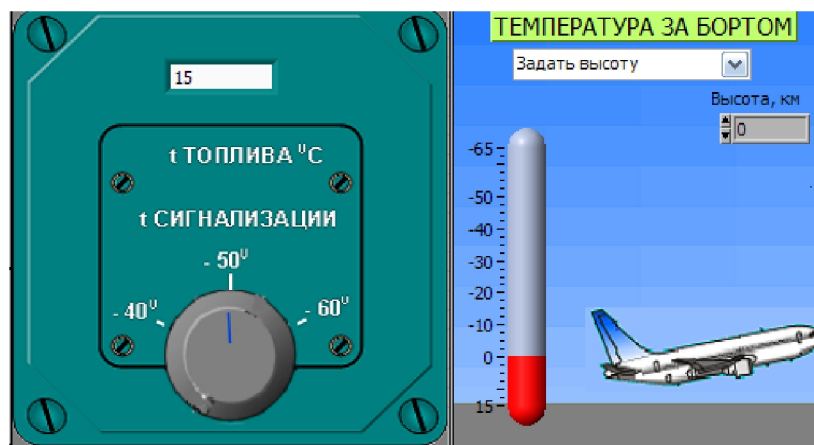


Рисунок 3.40 – Индикатор температуры топлива

4 АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИИ ИВ-42

4.1 Описание и работа системы

4.1.1 Общая часть

В руководстве по технической эксплуатации аппаратуры контроля вибрации ИВ-42 П-А-2, именуемой в дальнейшем аппаратура, приняты следующие сокращения:

- БУР - бортовое устройство регистрации;
- ВСК - встроенная система контроля;
- УК-68ВВ - указатель вибрации, индикатор;
- БЭ-34-3 - электронный блок;
- Ра-20-2 - рама;
- МВ-04-1 - датчик вибрации.

Аппаратура (рисунок 4.1) предназначена для отдельного контроля виброскорости и вибросмещения, измеряемых на корпусе трехвального газотурбинного авиадвигателя.

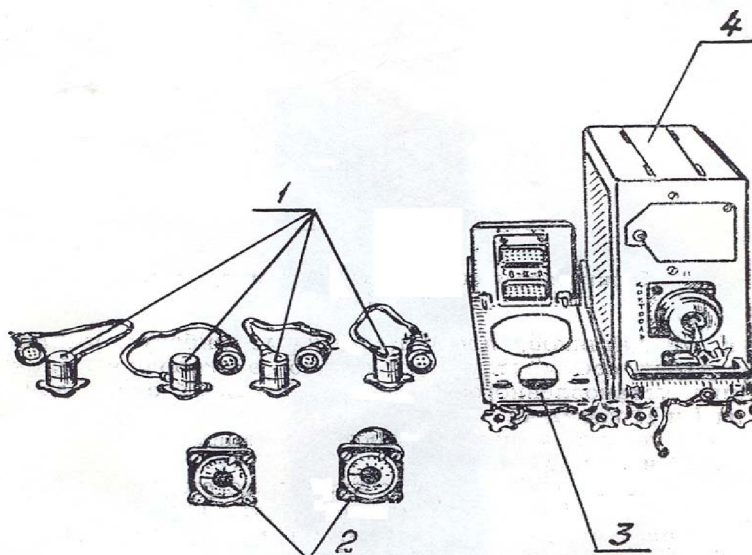


Рисунок 4.1 – Внешний вид изделий аппаратуры

Где 1 – датчик; 2 – индикатор; 3 – рама; 4 – электронный блок.

Аппаратура информирует в любой момент времени об уровнях вибрации на двигателях путем выдачи на индикаторы электрических сигналов, пропорциональных текущему значению вибросмещения и виброскорости в местах установки датчиков вибрации. Одновременно эти сигналы поступают в схему сигнализации и БУР.

В случае возникновения вибраций, превышающих допустимые значения вибросмещения или виброскорости для данного двигателя, срабатывает сигнализация, при этом включается табло световой индикации и поступает сигнал в систему защиты изделия.

В бортовое устройство регистрации выдается напряжение постоянного тока, пропорциональное вибросмещению и виброскорости.

В состав аппаратуры входят, шт:

блок электронный - 2

датчик - 4

индикатор – 2

рама – 1

Структурная схема аппаратуры представлена на рисунке 4.2.

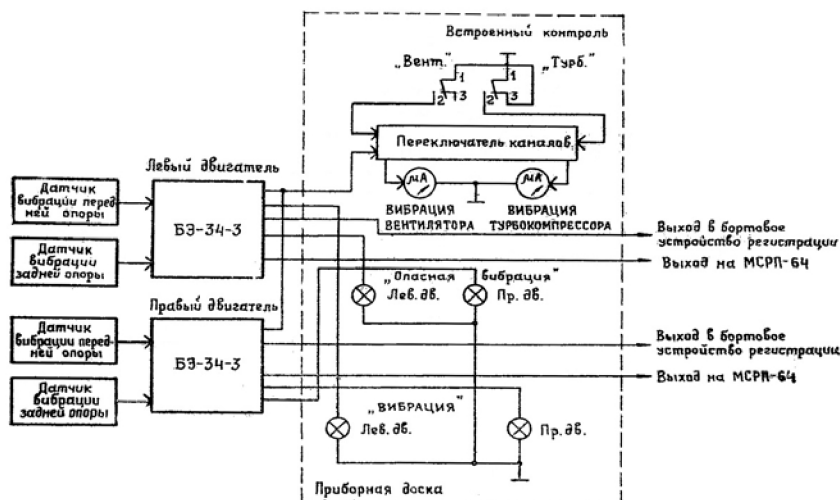


Рисунок 4.2 – Электрическая структурная схема аппаратуры.

Сигналы от датчиков, пропорциональные виброускорению, поступают на входы соответствующих каналов электронного блока:

от датчика, установленного в плоскости передней опоры двигателя - на входы I и II каналов;

от датчика, установленного в плоскости задней опоры двигателя - на входы III и IV каналов.

В электронном блоке входной сигнал интегрируется, фильтруется, усиливается до необходимого значения, детектируется и после усреднения поступает на вход системы сигнализации, на индикатор вибрации и в БУР.

I и III каналы электронного блока выдают сигналы, пропорциональные вибросмещению, II и IV каналы - виброскорости. Индикаторы вибрации (один - для индикации вибросмещения вентилятора, другой - для индикации виброскорости турбокомпрессора) подключаются к выходам каналов электронного блока с помощью ручного переключателя S1 (рисунок 3).

Переключатель имеет четыре положения для снятия сигналов от каждого датчика. Для обеспечения регистрации индикаторами максимального значения из всех значений вибросмещения и виброскорости измеряемых на всех двигателях одновременно, переключатель S1 имеет положение АВТОМАТ.

Проверка работоспособности аппаратуры производится с помощью встроенной системы контроля. Аппаратура имеет два переключателя встроенной системы контроля: S2-ВЕНТИЛЯТОР и S3-ТУРБОКОМПРЕССОР. Проверка каждого канала измерения встроенной системой контроля производится последовательно. Проверка I и III каналов аппаратуры производится при включении переключателя S2, проверка II и IV каналов-S3.

4.2 Описание

4.2.1 Датчик вибрации МВ-04-1

Принцип действия датчика основан на пьезоэлектрическом эффекте. При воздействии вибрации на датчик сила инерции груза действует на блок пьезоэлементов. В результате на контактах блока пьезоэлементов генерируется электрический заряд, пропорциональный ускорению вибрации изделия, на котором закреплен датчик.

Чувствительный элемент вибропреобразования состоит из блока пьезоэлементов, электрически изолированного от корпуса вибропреобразователя и прижатого к нему груза. Жгут датчика выполнен из двухпроводного антивибрационного кабеля и заканчивается розеткой соединителя типа 2РМДТ. Для уменьшения влияния разности потенциалов корпуса изделия экран жгута электрически изолирован от корпусов датчика и соединителя и подведен к гнезду соединителя.

Принципиальная электрическая схема датчика приведена на рисунке 4.4.

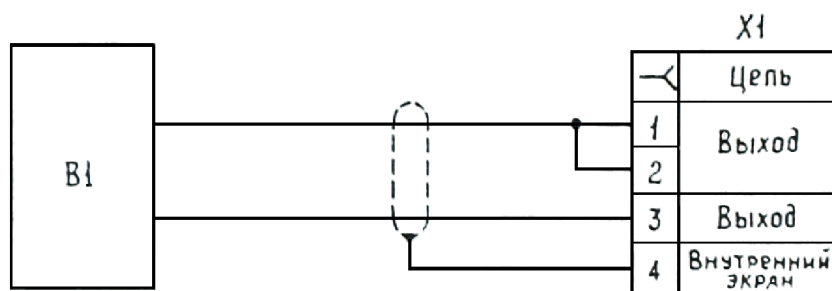


Рисунок 4.4 – Электрическая принципиальная схема датчика

В1 – вибропреобразователь; Х1 – розетка 2РМДТ

Для крепления датчика на двигателе в основании датчика предусмотрены три отверстия Ø 4,5 под винт М4.

4.2.2 Электронный блок БЭ-34-3

Предназначен для преобразования электрических зарядов датчиков в электрическое напряжение с последующим его интегрированием, фильтрацией в заданном диапазоне частот и усилением до значения, достаточного для работы индикаторов вибрации, системы сигнализации и бортового устройства регистрации. Частотная характеристика электронного блока определяется входными устройствами и полосовыми фильтрами.

Каждый функциональный узел электронного блока конструктивно выполнен на отдельной печатной плате. Платы установлены на колонках и закреплены винтами. Передняя и задняя панели электронного блока крепятся к шасси при помощи винтов. К панелям крепятся боковые крышки.

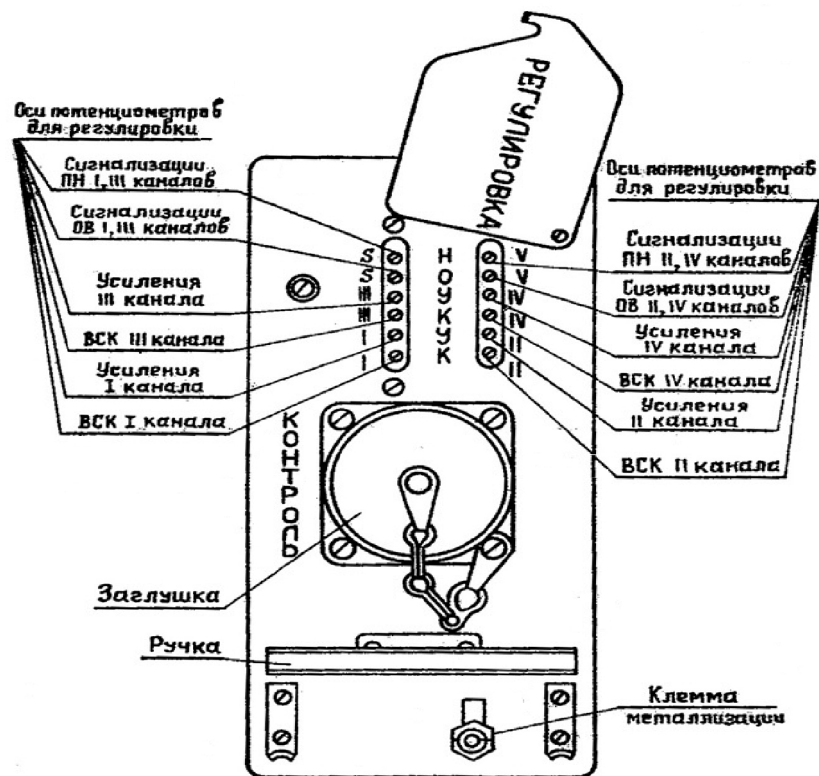


Рисунок 4.5 – Передняя панель электронного блока

На передней панели электронного блока (рисунок 4.5) в верхней части имеются окна с обозначениями каналов измерения и регулировочных элементов, через которые осуществляется доступ к осям переменных резисторов, предназначенных для настройки и регулировки. В рабочем положении окна должны быть закрыты планками и опломбированы.

На передней панели расположены также соединитель КОНТРОЛЬ, клемма металлизации, ручка для установки и съема электронного блока, два упора для закрепления электронного блока на раме

Посредством соединителя КОНТРОЛЬ обеспечивается проверка работоспособности аппаратуры с помощью устройства наземного контроля УПИВ-П-1.

ВНИМАНИЕ! ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АППАРАТУРЫ СОЕДИНИТЕЛЬ КОНТРОЛЬ ОБЯЗАТЕЛЬНО ДОЛЖЕН БЫТЬ ЗАКРЫТ ЗАГЛУШКОЙ (см. рисунок 5), ТАК КАК ПРИ СНЯТОЙ ЗАГЛУШКЕ ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ЦЕПИ КАНАЛОВ ОКАЗЫВАЮТСЯ РАЗОМКНУТЫМИ.

На задней панели электронного блока расположен сдвоенный врубной соединитель, к ответной части которого, расположенной на раме, подпаяна самолётная проводка согласно электрической схеме соединения аппаратуры. На задней панели электронного блока имеются два отверстия под конические фиксаторы, которые расположены на раме.

4.2.3 Рама

Предназначена для установки электронных блоков на объекте. Рама состоит из двух индивидуальных рам, соединенных одной рейкой. На каждой индивидуальной раме имеются два винтовых зажима и два конических фиксатора для установки и закрепления электронного блока.

Разъем рамы служит для электрической связи электронного блока самолетной проводкой. Для соединения электронных блоков с корпусом самолета рама имеет перемычку металлизации.

4.2.4 Указатель вибрации УК-68ВВ

Однострелочный дистанционный индикатор предназначен для непрерывного контроля виброскорости и вибросмещения корпуса авиадвигателя. Индикатор представляет собой микроамперметр магнитоэлектрической системы с подвижной рамкой и током полного отклонения 200 мкА. Индикатор имеет встроенный белый подсвет шкалы. Шкала индикатора имеет числовые отметки: 0, 20, 40, 60, 80, 100%.

Пределы измерения: для I и III каналов - 0.2 мм, для II и IV - 100 мм/с.

Индикатор устанавливается на приборной амортизационной доске и крепится четырьмя винтами и самоконтрящимися гайками, смонтированными в приливы корпуса.

Нормальное положение индикатора – ось горизонтальна, циферблат вертикален.

4.3 Основные технические данные

1. 3. 1 Диапазон частот контролируемой вибрации:

I и III каналы - от 30 до 100 Гц;

II и IV каналы - от 135 до 270 Гц.

1. 3. 2 Диапазон измерения вибрации (амплитудных значений):

по вибросмещению от 0,01 до 0,2 мм;

по виброскорости от 5 до 100 мм/с.

1. 3. 3 Затухание частотной характеристики:

для частот среза 30 и 270 Гц - не менее 20 дБ/окт;

для частот среза 100 и 135 Гц - не менее 40 дБ/окт.

1. 3. 4. Основная погрешность измерения:

не превышает $\pm 10\%$ от верхнего предела поддиапазона измерения от 0,01 до 0,1 мм по вибросмещению и от 5 до 50 мм/с по виброскорости, а также $\pm 10\%$ от измеряемой величины в поддиапазоне измерения от 0,1 до 0,2 мм по вибросмещению и от 50 до 100 мм/с по виброскорости.

1. 3. 5 Включение сигнализации:

а) номинальное значение I уровня срабатывания сигнализации (табло ВИБРАЦИЯ):

для вентилятора по амплитуде вибросмещения - 0,1 мм (50% шкалы УК-68ВВ);

для турбокомпрессора по амплитуде виброскорости - 35 мм/с (35% шкалы УК-68ВВ);

б) номинальное значение II уровня срабатывания сигнализации (табло ОПАСНАЯ ВИБРАЦИЯ):

для вентилятора - 0,14 мм (70% шкалы УК-08ВВ);

для турбокомпрессора - 50 мм/с (50% шкалы УК-68ВВ).

Включение сигнализации по I и II уровням регулируется в диапазоне 20-100% шкалы индикатора. Погрешность включения сигнализации при достижении заданного значения вибрации не превышает погрешности измерения.

1. 3. 6 В аппаратуре предусмотрен встроенный контроль, при включении которого стрелка индикатора отклоняется на 75 - 95% шкалы и включается сигнализация.

1. 3. 7 В аппаратуре предусмотрена возможность использования сигнала по II уровню сигнализации в систему защиты изделия.

1. 3. 8 Значение постоянного выходного сигнала:

для выдачи в бортовое устройство регистрации изменяется в пределах от 0 до $(6 \pm 0,3)$ В при нагрузке не менее 50 кОм.

1. 3. 9 Питание электронного блока:

осуществляется от сети переменного тока напряжением 108-119 В, частотой 380- 420 Гц и постоянного тока напряжением 24,0-29,4 В, ламп подсвета шкалы индикатора - напряжением 5,5 В, 400 Гц.

1. 3. 10 Потребляемая мощность электронного блока:

по сети переменного тока частотой 400 Гц напряжением 115 В не превышает 15 В·А, по сети постоянного тока напряжением 27 В - 3 Вт.

1. 3. 11 Продолжительность непрерывной работы аппаратуры:

10 ч. Время готовности аппаратуры не более 1 мин с момента включения электропитания.

1. 3. 12 Условия эксплуатации:

а) воздействие вибрации в диапазоне частот от 5 до 2000 Гц при ускорении 294 м/с^2 (30 g) и амплитуде перемещения 5 мм - для датчика, при ускорении $29,4 \text{ м/с}^2$ (3 g) и амплитуде перемещения 2,5 мм - для электронного блока, при ускорении $9,81 \text{ м/с}^2$ (1 g) и амплитуде перемещения 1,25 мм - для индикатора;

б) воздействие акустических шумов в диапазоне частот от 100 до 10 000 Гц при уровне звукового давления (относительно $2 \cdot 10^{-5}$ Па) до 150 дБ - для датчика и до 130 дБ для электронного блока и индикатора;

в) воздействие механических ударов с ускорением до $78,5 \text{ м/с}^2$ (8 g) длительностью до 20 мс для датчиков, с ускорением до 59 м/с^2 (6 g) длительностью до 20 мс - для электронного блока и индикатора;

г) воздействие линейных нагрузок по всем направлениям с ускорением до $49,1 \text{ м/с}^2$ (5 g) для электронного блока и ускорением до $98,1 \text{ м/с}^2$ (10 g) - для датчика и индикатора;

д) атмосферное давление в диапазоне от 160 кПа (1200 мм рт. ст.) до 12,0 кПа (90 мм рт. ст.) для электронного блока и индикатора и до 0,67 кПа (5 мм рт. ст.) для датчика;

е) повышенная температура среды до 250°C для датчика и до 60°C для электронного блока и индикатора;

ж) пониженная температура среды до минус 60°C ;

з) относительная влажность среды до 98% при температуре 35°C

1. 3. 13 Дополнительная погрешность в условиях эксплуатации:

а) дополнительная погрешность коэффициента преобразования и срабатывания сигнализации электронного блока в условиях эксплуатации, оговоренных в пп. 1. 3. 12 е, ж, з не более 10%;

б) дополнительная погрешность коэффициента преобразования датчика в условиях эксплуатации при повышенной температуре среды в диапазоне от 20 до 180°C не более 10%, в

диапазоне от 180 до 250 не более $\pm 10\%$, при пониженной температуре среды до минус 60°C – не более $\pm 20\%$;

в) дополнительная погрешность индикатора при температуре среды до 60°C не более 2% , до минус 60°C – не более 4% .

4.4 Принцип работы

Электрические заряды, пропорциональные виброускорению, от датчика поступают ко входному устройству электронного блока (схема изображении на рисунке 6). Входное устройство состоит из преобразователя заряда и двух интеграторов.

Преобразователь заряда предназначен для согласования внутреннего сопротивления датчика вибрации с входным сопротивлением последующих узлов электронного блока и выполнен по схеме усилителя с большим коэффициентом усиления, охваченного глубокой емкостной отрицательной обратной связью.

Напряжение с выхода преобразователя заряда, пропорциональное виброускорению, поступает на интегратор «V», где преобразуется в напряжение, пропорциональное виброскорости, а затем - на фильтр соответствующего канала измерения. На входе каждого фильтра включены переменные резисторы, позволяющие производить регулирование коэффициента преобразования канала измерения при замене датчиков. Оси резисторов выведены на переднюю панель электронного блока и обозначены «У».

Фильтры электронного блока – полосовые, состоящие из последовательного соединения фильтров высших и нижних частот, которые определяют верхнюю и нижнюю граничные частоты полосы прозрачности фильтра в целом.

Фильтры высших частот ФВЧ и фильтры нижних частот ФНЧ реализованы в виде активных RC-фильтров четвертого порядка и состоят из двух звеньев второго порядка, собранных на интегральных схемах.

Модификации фильтров для каждого канала измерения различаются номиналами элементов и соответственно частотами среза фильтров. Выходное напряжения фильтра в I и III каналах поступает на вход интегратора «S», преобразующего напряжение, пропорциональное виброскорости в напряжение, пропорциональное вибросмещению

С интегратора «S» в I и III каналах и после фильтра на II и IV каналах сигнал поступает в блок измерения.

Блок измерения каждого канала состоит из масштабного усилителя, детектора средневыпрямленных значений, устройства выбора максимального сигнала.

Масштабный усилитель выполнен на интегральной схеме по типу неинвертирующего усилителя.

Выходное напряжение масштабного усилителя преобразуется детектором в постоянное напряжение, пропорциональное средневыпрямленному значению переменного напряжения.

Детектор выполнен по схеме линейного выпрямителя с разделенными цепями отрицательной обратной связи для положительной и отрицательной полуволн сигнала и интегрирующего сумматора. Постоянное напряжение с выхода детектора поступает в схему сигнализации, в бортовое устройство регистрации и через схему выбора максимального сигнала на индикатор.

Схема сигнализации состоит из двух компараторов (по вибросмещению «S» и по виброскорости «V») и электронного реле для каждого уровня срабатывания.

В качестве компаратора применен операционный усилитель, работающий в режиме ограничителя. Его принцип действия - сравнение выходного напряжения детектора, поступающего на инвертирующий вход усилителя, с опорным напряжением высокой стабильности, поступающим на неинвертирующий вход с переменных резисторов. Оси резисторов выведены на переднюю панель электронного блока с обозначениями «Н» - для регулирования I уровня и «О» - для регулирования II уровня сигнализации. При значении входного напряжения, превышающего значение опорного напряжения, на выходе компаратора появляется положительное напряжение, которое открывает транзистор схемы электронного реле. Электронное реле срабатывает. При этом напряжение +27 В поступает на соответствующее сигнальное световое табло и на аварийный самописец. При срабатывании электронного реле II уровня одновременно происходит коммутация напряжения минус 27 В и подача сигнала в систему защиты изделия.

В бортовую систему регистрации постоянное напряжение каждого канала электронного блока поступает с делителя напряжения на выходе детектора и составляет 6 ± 0.3 В при вибросмещении 0.2 мм и виброскорости 100 мм/с.

На индикатор постоянное напряжение поступает через схему выбора максимального сигнала, выполненную на микросхеме в режиме усилителя мощности и диоде, через добавочный резистор.

Система встроенного контроля предназначена для проверки работоспособности аппаратуры (электронного блока и индикатора) и состоит из блока контроля и системы контактных реле. Блок контроля содержит генератор сигналов, частота которого изменяется при проверке II и IV каналов измерения путем подключения добавочной емкости Сб через контакты реле К1 ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЧАСТОТЫ (ПЧ).

Контактные реле размещены попарно на платах фильтров в каждом канале измерения: реле К1 ВКЛЮЧЕНИЯ КАНАЛА (ВК) и реле К2 ЗАМЫКАНИЯ КАНАЛА (ЗК).

При проверке каналов встроенной системой контроля при помощи переключателя ВЕНТИЛЯТОР и ТУРБОКОМПРЕССОР, установленного на приборной доске, отдельно замыкаются цепи питания обмоток реле соответствующего канала. При этом с выхода генератора блока контроля через переменные резисторы подается напряжение на вход интегратора. Оси переменных резисторов каждого канала, предназначенных для регулирования сигнала встроенного контроля по выходу на индикатор, выведены на переднюю панель электронного блока и обозначены «К».

Одновременно с отклонением стрелки индикатора при включении встроенного контроля срабатывает сигнализация и включается световое табло.

Стабилизатор предназначен для преобразования напряжения бортовой сети ~ 400 Гц 115В в напряжения, необходимые для питания микросхем и транзисторной матрицы, а также опорные напряжения для компараторов электронных блоков аппаратуры. На выходе стабилизатора реализуются напряжения =12.6; +18; +9 В.

4.5 Отыскание неисправностей

4.5.1 Установление неисправностей изделия

Проведите отыскание и устранение неисправностей в соответствии со схемами, приведёнными в технической документации.

Соединительная линия неисправна, если имеют место:

обрыв какого-либо из проводов линии;

замыкание какого-либо из проводов линии на корпус (кроме проводов, электрически связанных с корпусом);

замыкание между отдельными проводами линии, в том числе между экранами датчиков; пониженное сопротивление изоляции.

Обрыв или замыкание проводов соединительной линии устанавливаются омметром.

ВНИМАНИЕ! ПЕРЕД ПРОВЕРКОЙ РАССТЫКУЙТЕ ВСЕ СОЕДИНИТЕЛИ ИЗДЕЛИЙ АППАРАТУРЫ И СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ.

Пониженное сопротивление изоляции соединительной линии от датчиков до электронных блоков устанавливается проверкой мегомметром.

Неисправности аппаратуры устанавливаются их заменой на исправные или их проверкой на УПИВ-П-1.

4.5.2 Устранение неисправностей

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. НЕ ПРОВОДИТЕ ДЕМОНТАЖ, МОНТАЖ ИЗДЕЛИЙ И ПЕРЕПАЙКУ ПРОВОДОВ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ПРИ ВКЛЮЧЁННОМ ПИТАНИИ СИСТЕМЫ.

Устранение неисправностей соединительной линии – обрыва и замыкания проводов – производится перепайкой проводов.

4.5.3 Работы, выполняемые при отклонении характеристик от технических требований

Закрепите изделия, если они ненадежно закреплены;

очистите изделия протиркой бязью, если на изделиях обнаружены грязь и пыль;

закрепите провода и жгуты, присоедините провода металлизации;

затяните и законтрите накидные гайки, если они плохо затянуты и законтрены;

замените раму с неисправными амортизаторами;

протрите контакты соединителей салфеткой, смоченной бензином;

продуйте их сжатым воздухом, если обнаружены мыль и грязь;

замените изделия, если контакты имеют погнутости

Замените изделие, если при проверке его с помощью УПИВ-П-1 обнаружена неисправность.

Замените датчик, если при проверке его на УПИВ-П-1 зафиксировано включение светового индикатора УПИВ-П-1 НЕИСПРАВЕН при исправной соединительной линии от датчика до электронного блока.

4.5.4 Аппаратура контроля вибрации – правила хранения

Аппаратура в упакованном виде должна храниться на стеллажах в неотапливаемых помещениях при температуре от минус 55 до 40°С в течение не более 6 лет. При хранении изделия свыше указанного срока и в других необходимых случаях изделие должно быть подвергнуто переконсервации.

4.5.5 Аппаратура контроля вибрации – транспортирование

Аппаратуру в транспортной таре разрешается транспортировать любым видом транспорта на любые расстояния при условии крепления тары с упакованными изделиями кузову транспортного средства с целью предохранения её от смещений, соударений, а также исключения непосредственного воздействия осадков.

Погрузка и выгрузка ящиков с изделиями должна производиться со всеми предосторожностями, исключающими удары и повреждения ящиков.

4.6 Описание работы схемы в программной среде LABVIEW

4.6.1 Описание лицевой панели виртуального аналога прибора

Лицевая панель виртуального прибора (рисунок 4.6) визуально разделена на две части.

На левой панели расположены задатчики, позволяющие контролировать параметры симулируемой вибрации, и индикаторы, дающие визуальное представление о характере процесса. Задатчики вибрации позволяют регулировать частоту и амплитуду вибрации, измеряемой датчиками вибрации МВ-04-1 на передней и задней опорах двигателя в пределах, соответствующих диапазону параметров вибрации, контролируемой прибором. Индикаторы, выполненные в форме панели осциллографа, служат для визуальной оценки контролируемого процесса в масштабе, соответствующем реальному, однако не имеют аналога в реальной схеме описываемого прибора и служат исключительно для контроля правильности работы виртуального прибора.

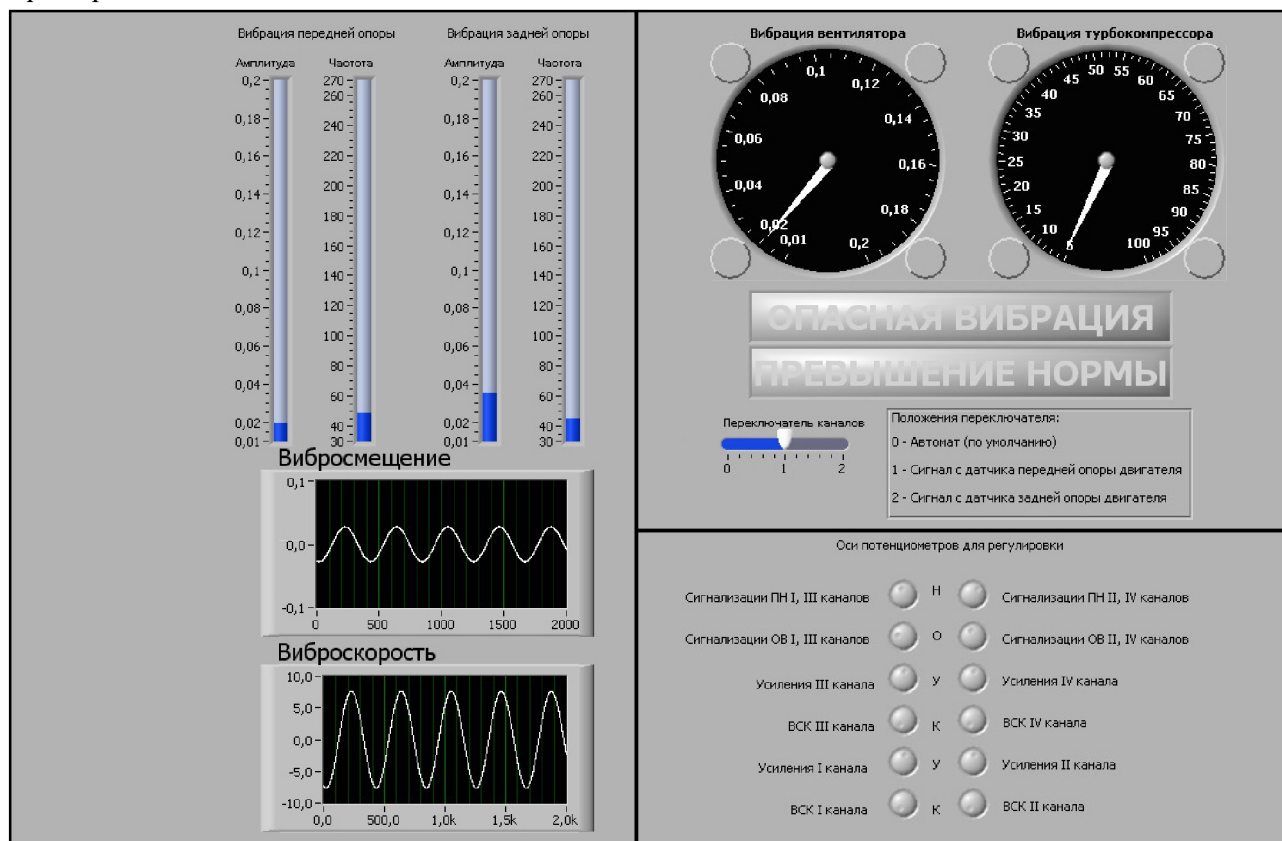


Рисунок 4.6 - Лицевая панель виртуального прибора

На правой панели расположены приборы, демонстрирующие работу указателей вибрации УК-68ВБ и сигнальных табло при заданных параметрах, а также переключатель каналов, при изменении своего положения позволяющий снимать сигналы от датчиков каждой опоры двигателя в отдельности или (при положении Автомат) выдавать сигналы максимального вибросмещения виброраскорости и вибросмещения от всех датчиков

одновременно. Помимо элементов, расположенных на приборной панели, на лицевой панели также расположен аналог лицевой панели электронного блока с ручками потенциометров, позволяющих производить регулировку значений усиления и сигнализации каждого канала в установленных пределах, а также позволяющих осуществлять встроенный контроль системы. Регулировка позволяет менять величину усиления и значение порогового срабатывания для каждого канала, в то время как при повороте ручки ВСК происходит эмуляция отработки прибора при значении вибрации, составляющем 75-95% от диапазона измерения и срабатывания обеих сигнальных ламп. Для возврата прибора в исходное состояние необходимо ручки регулировки установить в соответствующее начальное положение 0, а ручки встроенного контроля установить в крайнее левое положение.

4.6.2 Состав и работа блок-диаграммы виртуального аналога прибора

Блок-диаграмма виртуального прибора, выполненного в комплексе **LabView**, представляет собой совокупность функциональных узлов, линий передачи сигналов и внутренних программных средств, позволяющих реализовать многочисленные зависимости различного характера. Структурная схема прибора, выполненная на блок-диаграмме, соответствует функциональной схеме электронного блока, изображённой на рисунке 6. Ввиду того, что схема представляет собой четыре отдельных канала измерения, причем каналы I и III, II и IV идентичны между собой, а каналы II и IV отличаются от каналов I и III только отсутствием интегратора "S", рассмотрим состав и работу структурной схемы блок-диаграммы на примере первого канала.

Вибрация характеризуется двумя параметрами: амплитудой S и частотой ω . Поскольку вибросмещение описывается синусоидальным выражением $S(t) = S \cdot \sin(\omega \cdot t)$, то виброскорость описывается первой производной от вибросмещения -

$$V(t) = \frac{dS}{dt} = S \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t),$$

а виброускорение – второй производной от вибросмещения или

первой производной от скорости $A = \frac{dV}{dt} = -S \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$. Сигнал от датчиков вибрации

МВ-04-1 представляет собой электрические сигналы, пропорциональные виброускорению.

В виртуальном приборе значения амплитуды и частоты поступают с датчиков на приборной панели и являются исходными значениями. Ввиду особенностей комплекса **LabView** при каждом новом запуске программы сигнал с датчиков по умолчанию принимается нулевым, и если не заданы все четыре исходных значения, то подача на вход хотя бы одного из каналов нулевой величины может привести к неверной работе системы. Во избежание этого к каждому из входных сигналов перед подачей в электронный блок прибавляется величина 0,0001, лежащая за пределами точности измерения прибора, и следовательно являющаяся пренебрежимо малой, однако ввиду своего отличия от нуля обеспечивающая корректное функционирование виртуального прибора. Параллельно с сигналом от датчиков вибрации в систему поступает сигнал от блока встроенного контроля. В виртуальном приборе он реализован с помощью встроенной Case-структуры, которая при крайнем левом положении ручки ВСК подаёт в систему входной сигнал без изменений, а при положении, отличном от нуля, выдаёт сигнал встроенного контроля, составляющий 75-95% от

диапазона измерения в зависимости от величины поворота ручки соответствующего канала. Реализация входного сигнала и блока встроенного контроля показана на рисунке 4.7.

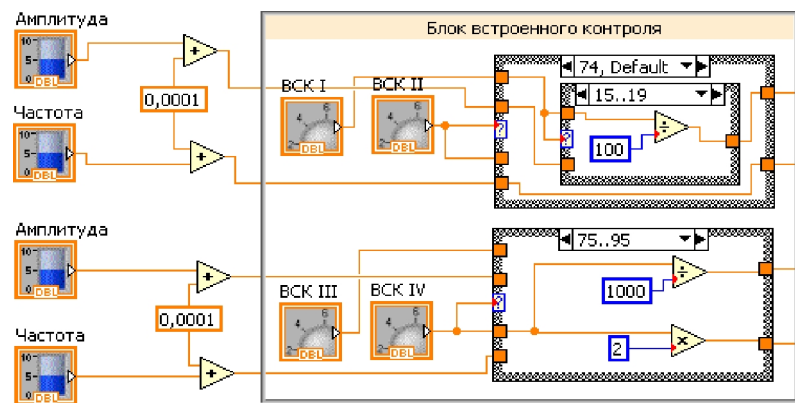


Рисунок 4.7– Блок-диаграмма виртуального прибора: входной сигнал и блок встроенного контроля.

Входные значения амплитуды и частоты соответствующего датчика, поступают на его вход, где служат параметрами генерируемого синусоидального сигнала, при этом частота генерируемого сигнала поступает на блок входа без изменений, а амплитуда при помощи формульного узла преобразуется в значение, соответствующее амплитуде виброускорения: $A = -S \cdot \omega^2$. После генерации синусоидального сигнала к нему прибавляется сигнал помехи той же частоты, что служит для повышения достоверности работы виртуального прибора реальной схеме. Реализация одного из датчиков показана на рисунке 4.8.

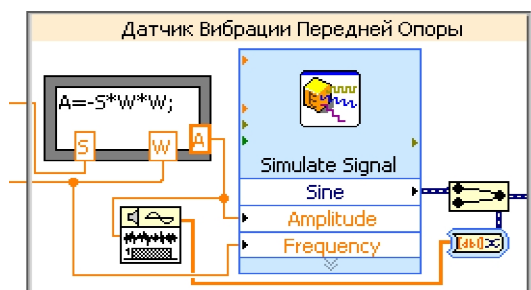


Рисунок 4.8 - Блок-диаграмма виртуального прибора: датчик вибрации передней опоры.

Сигнал с датчика поступает на входное устройство, состоящее из усилителя заряда, коммутатора и интегратора "V". Коммутатор, служащий для охватывания усилителя глубокой отрицательной обратной связью, в комплексе **LabVIEW** отображается в виде соединительных линий и узлов и, следовательно, представлен на схеме в неявном виде.

Усилитель выполняет усиление электрического сигнала от датчика до значения, необходимого для его распознавания последующими блоками, и выполнен в виде множителя, выполняющего умножение переменного по времени сигнала на величину коэффициента усиления. Интегратор реализует формулу $V(t) = \int A dt = S \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$ и структурно представляет собой два блока, первый из которых выделяет из сигнала величины частоты и амплитуды, а второй генерирует новый синусоидальный сигнал с частотой, меньшей в $-\omega$ раз,

и фазовым сдвигом 90° , соответствующим косинусоидальной функции. Реализация входного устройства показана на рисунке 4.9.

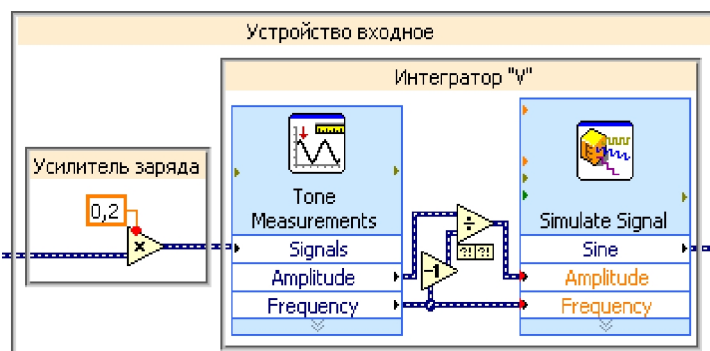


Рисунок 4.9 - Блок-диаграмма виртуального прибора: устройство входное.

С входного устройства сигнал поступает на фильтр соответствующего канала. Фильтр служит для очистки сигнала от помехи и выполнен в виде последовательного соединения фильтров высших и низших частот, реализованных с помощью структурных элементов, имеющихся в **LabView** и их дальнейшего объединения в один несущий сигнал. Фильтры II и IV каналов отличаются от фильтров I и III каналов третьим по счёту фильтром: в каналах I и III это фильтр низших частот, в каналах II и IV – высших. Реализация фильтра одного из каналов показана на рисунке 4.10.

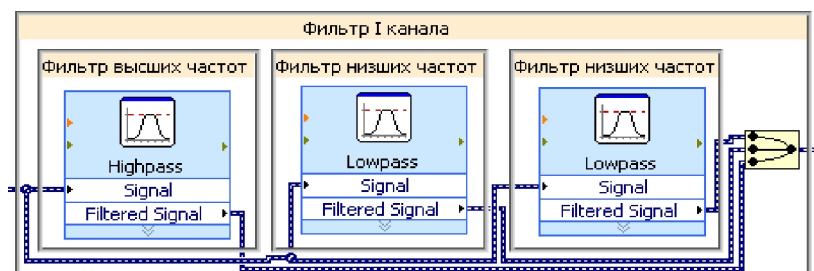


Рисунок 4.10 - Блок-диаграмма виртуального прибора: фильтр I канала.

Интегратор "S" имеется только в I и III каналах измерения и, будучи выполненным аналогично интегратору "V", реализует формулу $S(t) = \int V dt = S \cdot \sin(\omega \cdot t)$ путём генерации синусоидального сигнала с амплитудой в ω раз меньше исходного. Реализация интегратора показана на рисунке 4.11.

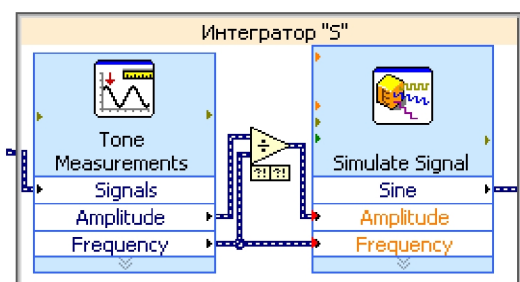


Рисунок 4.11 - Блок-диаграмма виртуального прибора: интегратор "S".

После фильтра во II и IV каналах либо интегратора "S" в I и III каналах сигнал поступает в блок измерения соответствующего канала. Блок измерения состоит из масштабного усилителя, детектора и устройства выбора максимума. Масштабный усилитель выполнен аналогично усилителю заряда входного устройства с тем отличием, что коэффициент усиления может быть варьирован с помощью ручки Ку I на панели потенциометров электронного блока, поскольку значение коэффициента усиления определяется как сумма сигнала от ручки Ку I и некоторой постоянной величины. В положении по умолчанию ручка регулировки установлена на ноль, и коэффициент усиления в этом режиме равен постоянной величине, а поворот ручки по или против часовой стрелки прибавляет к номинальному значению коэффициента усиления положительную либо отрицательную добавку, что позволяет варьировать его в допустимых пределах.

В функциональной схеме прибора детектор выполняет роль выпрямителя сигнала и выполнен по двухполупериодной диодной мостовой схеме. В структурной схеме этот блок заменяется операцией нахождения модуля, которая позволяет получить аналогичные временные диаграммы сигнала, и, следовательно, добиться аналогичной работы. После выпрямления синусоидальный сигнал принимает вид переменного по времени сигнала с пульсациями и поступает на вход устройства выбора максимума, реализованного в виде структурного элемента **LabView**. В данном блоке происходит выделение среднего значения переменного сигнала, и на выходе блока получается постоянный сигнал, пропорциональный величине измеряемого в данном канале параметра. Блок ВСМ 1 служит для запоминания и дальнейшего отображения на лицевой панели виртуального прибора переменного по времени синусоидального значения невыпрямленного сигнала, и в принципиальную схему прибора не входит. Реализация блока измерения показана на рисунке 4.12.

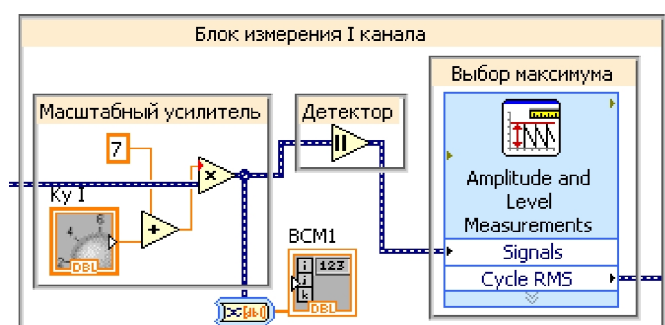


Рисунок 4.12 - Блок-диаграмма виртуального прибора: блок измерения I канала.

Сигнал с выхода каждого канала поступает в бортовое устройство регистрации и через схему выбора максимального сигнала на индикаторы и в схему сигнализации. Схема выбора максимального сигнала выполнена в виде Case-структуры, которая в зависимости от положения переключателя каналов подаёт на компараторы и индикаторы лицевой панели сигнал от датчиков передней или задней опоры, либо максимальный сигнал от всех датчиков одновременно. Сигналы, соответствующие положению переключателя, поступают на указатели вибрации УК-68ВБ и компараторы. Компараторы представляют собой элемент сравнения сигнала постоянной величины с пороговым значением срабатывания по первому и

второму уровню соответственно. Пороговое значение допускается регулировать с помощью ручек потенциометров на панели электронного блока. Регулировка значений производится аналогично регулировке коэффициента усиления масштабного усилителя. Сигналы с компараторов по "S" и "V" поступают на электронные реле уровня 1 и 2 соответственно. Электронные реле включают лампы "Превышение нормы" и "Опасная вибрация", если значение сигнала хотя бы одного из датчиков превышает установленное пороговое значение срабатывания по соответствующему уровню. Реализация выходного устройства показана на рисунке 4.13.

Помимо блоков, реализующих различные элементы функциональной схемы прибора, на блок-диаграмме также отображаются структурные элементы, необходимые для контроля правильности работы самого виртуального прибора. К этим элементам относятся блоки, служащие для отображения на лицевой панели осциллограммы сигнала каждого из каналов после его фильтрации, но до выпрямления с последующим преобразованием в постоянное напряжение. Синусоидальные сигналы, переменные по времени, записываются в массивы, после чего подаются на экран виртуального осциллографа в соответствии с положением переключателя каналов.

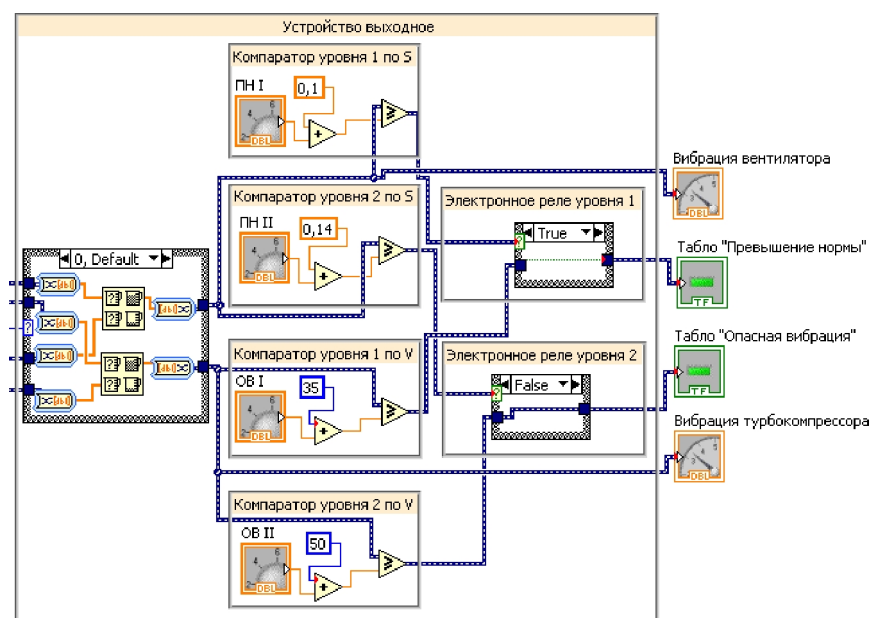


Рисунок 4.13 - Блок-диаграмма виртуального прибора: выходное устройство и индикаторы.

5 СИСТЕМА ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ СВС1-72-1

ВВЕДЕНИЕ

С увеличением скорости и высоты полета возникла необходимость в учете новых факторов, влияющих на точность измерения этих параметров в полете. При больших скоростях полета, например, необходимо учитывать температуру торможения (заторможенного) воздушного потока и изменение плотности воздуха вследствие его сжимаемости. Эти факторы могут быть учтены с помощью вычислительных устройств. Такие устройства из-за сложности можно применять только в измерительных системах, а не в отдельных приборах.

Система воздушных сигналов (СВС) современных военных и гражданских самолётов представляет собой программно-аппаратную систему, предназначенную для измерения, вычисления и выдачи на индикацию экипажу самолёта и в бортовые автоматические системы информации о высотно-скоростных параметрах, таких как высота, вертикальная, истинная воздушная и приборная скорости, число Маха, относительной высоты полета $H_{отн}$, абсолютной барометрической высоты полета а также о других параметрах, таких как температура воздуха, углы атаки и скольжения. Современные цифровые СВС представляют собой набор датчиков и устройств, управляемых микропроцессором, работающим по заданной программе.

Кроме того, система воздушных сигналов имеет визуальные приборы (указатели), с помощью которых производится отсчет указанных параметров полета. СВС имеет связь с доплеровским измерителем скорости и сноса (ДИСС). Это позволяет визуально отсчитывать путевую скорость.

Система СВС1-72-1 также выдает сигналы измеряемых параметров:

- в навигационное вычислительное устройство НВУ-БЗ - истинную воздушную скорость для счисления пути;
- в самолетные ответчики СОМ-65 и СО-70 - абсолютную и относительную высоту для контроля эшелонирования полетов службами управления воздушным движением (УВД);
- в автоматическую бортовую систему управления АБСУ-154 - сигналы отклонения от заданных значений приборной скорости, высоты и числа М для стабилизации режима полета по этим параметрам.

В настоящее время известен ряд разработок систем воздушных сигналов. Среди них можно отметить следующие: СВС-ЦСВ (СВС типа централи скорости и высоты); СВС-ПН (СВС типа преобразователя напряжения); СВС типа СВС; СВС с вычислительными устройствами, совмещёнными с указателями; СВС с цифровым вычислителем и ряд других.

Перечень сокращений

- $БВП$ - блок воздушных параметров типа БВП-9;
- $УВ$ - указатель высоты типа УВ-75-15;
- $УМС$ - указатель числа M и истинной воздушной скорости типа $УМС$ - 1;
- $УТ$ - указатель температуры типа УТ - 1М - 1;
- $P_{ст}$ - статическое давление;
- $P_{д}$ - динамическое давление;
- $P_{п}$ - полное давление;
- $P_{о}$ - барометрическое давление на уровне земли;
- $T_{т}$ - температура торможения (заторможенного потока воздуха);
- $T_{н}$ - температура наружного воздуха;
- $H_{о}$ - абсолютная барометрическая высота на уровне земли;
- $H_{абс}$ - абсолютная барометрическая высота;
- $H_{отн}$ - относительная барометрическая высота;
- $V_{ист}$ - истинная воздушная скорость;
- $V_{пр}$ - приборная скорость;
- M - число M ;
- ΔM - отклонение числа M от заданного значения;
- M - предельное значение числа M ;
- $H_{зад}$, $V_{зад}$, $M_{зад}$ - заданные значения $H_{отн}$, $V_{ист}$, числа M ;
- Н, К, Щ - начало, конец, щетка выходного потенциометра.

5.1 Общая часть

5.1.1 Назначение системы СВС I – 72 – I

Система (см, рисунок 5.1) предназначена:

А) Для выработки информации о высотно-скоростных параметрах полета:

- абсолютной барометрической высоте;
- относительной барометрической высоте;
- приборной скорости;
- истинной воздушной скорости;
- числе М;
- отклонении числа М от заданного значения;
- температуре наружного воздуха;
- статическом давлении;
- заданном значении относительной барометрической высоты;
- заданном значении истинной воздушной скорости или числа М

Б) Для формирования разовых сигналов +27В:

- при установке $P_o = 760 \pm 1$ мм рт.ст. (1013,25±1,5 гПа);
- при достижении предельного значения числа М.

Параметры выдаются:

- в виде относительного сопротивления ($P_{СТ}$, $H_{абс}$, $H_{отн}$, $V_{пр}$, $V_{ист}$, число M , T_H , ΔM);
- в виде напряжения с синусно-косинусного трансформатора СКТ ($H_{отн}$, число M , $V_{ист}$);
- визуально ($H_{отн}$, $V_{ист}$, число M , T_H , $H_{зад}$, $V_{зад}$ или $M_{зад}$).

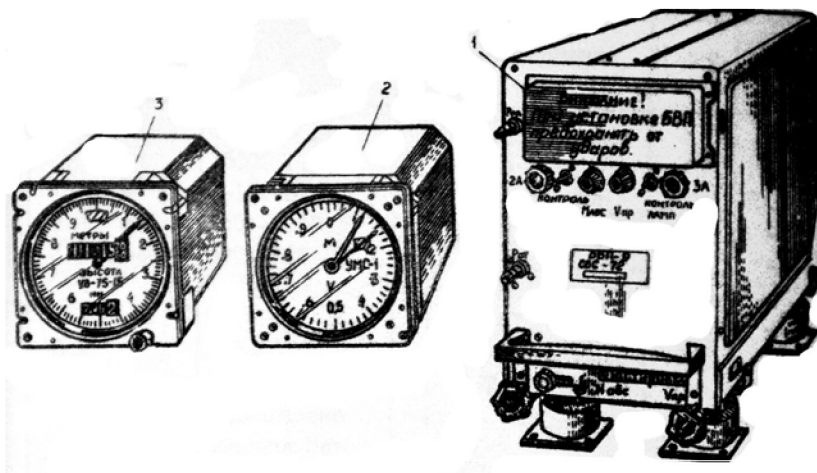


Рисунок 5.1 - Система СВС I – 72 – I

1. Блок воздушных параметров ВВП.
2. Указатель УМС.
3. Указатель УВ.

Характеристики выходных параметров системы приведены в табл. 1.

Характеристики выходных параметров системы

Таблица 1

Обозначение и единица измерения параметра	Диапазон	Выход				
		Визуальный	Потенциометрический СКТ			
			Обозначение	Количество	Обозначение	Количество
H_{abc} , м	От -500 до 15000	-	Ha2, Ha3, Ha4, Ha5	4	-	-
$H_{отн}$, м	0-15000	I	H3, H4, H5	3	ГО, ТО	2
V_{np} , км/ч	150 - 800	-	V_{np1} , V_{np2}	2	-	-
$V_{ист}$, км/ч	200-1100	I	V_1 , V_2 , V_3 , V_4	4	-	1
M , ед.ч. M	0,2-1	I	M_1 , M_2	2	-	1
ΔM	$\pm 0,06$	-	ΔM	1	-	-
T_H , °C	От -75 до +50	I	T_{H1} , T_{H2}	2	-	-
$H_{зад}$, м	В диапазоне решения $H_{отн}$, $V_{ист}$, числа M при наличии ручного индекса команд на указателях	I	-	-	-	-
$V_{зад}$, км/ч		I	-	-	-	-
$M_{зад}$, ед.ч. M		I	-	-	-	-
Сигнал +27В:						
P_o .мм. рт.ст (гПа)	760 \pm 1 (1013,25 \pm 1,5)	-	-	-	-	-
$M_{пред}$	согласовывается с заказчиком	-	-	-	-	-

Примечания:

1. Выходом сокращенно именуется относительное сопротивление выходного потенциометра (потенциометрический) или напряжение с синусно-косинусного трансформатора (СКТ), пропорциональные выдаваемым параметрам. Выходы $H_{отн}$ СКТ обеспечивают как грубый (ГО), так и точный (ТО) отсчеты.

2. Параметры $M_{пред}$, $H_{зад}$, $V_{зад}$ или $M_{зад}$ и выход $H_{отн}$ СКТ (ТО) выдаются по требованию заказчика, T_H выдётся при совместной работе системы с указателем УТ.

3 Система рассчитана на электрическое питание:

- Переменным током частотой (400 ± 20) Гц напряжением

$$(115_{-7}^{+4})B$$

$$(36_{-3,6}^{+1,8})B$$

$$(5,5 \pm 0,55)B$$

- Постоянным током напряжением $27B - 70$ Вт

4 Мощность, потребляемая системой, не превышает:

- По переменному току

$$115B - 250B \cdot A$$

$$36B - 30B \cdot A$$

$$5,5B - 10B \cdot A$$

- По постоянному току $27B - 70$ Вт.

5 Время готовности системы к работе после включения электропитания не превышает 2 мин.

6 Система работает при температуре окружающей среды от минус $60^{\circ}C$ до $+60^{\circ}C$.

7 Масса системы (ВВП. УВ, УМО без монтажных деталей и рамы не более 13 кг, масса рамы с амортизаторами не более 0,8 кг и без амортизаторов - 0,4 кг.

8 Система выдает сигнал $+273$ исправности по электропитание переменным током напряжением $115B$ и постоянным током напряжением $27B$.

9 Система обеспечивает проверку встроенным контролем на одной точке каждого выдаваемого параметра: $V_{ист} = 800$ км/ч, $H_{abc} = 5000$ м, $V_{np} = 636$ км/ч, $M = 0,693$, $T_H = -17,0^{\circ}C$ с погрешностью, не превышающей полуторакратного значения допустимой погрешности измерения при температуре $(25+10)^{\circ}C$.

10 Система представляет собой аналоговое счетно-решающее устройство.

Структурная схема системы приведена на рисунке 5.2.

Источниками первичной информации системы являются:

- приёмник статического и полного давлений ПВД;

- приёмник температуры торможения;

- барометрическое давление на уровне земли.

Характеристики входных сигналов системы приведены в табл. 2

Наименование и единица измерения сигнала	Диапазон
Статическое давление, мм рт.ст.	806,1 - 90,34
Динамическое давление, мм рт.ст.	0 - 425
Температура торможения, °С	от - 70 до + 300
Барометрическое давление на уровне земли, мм рт.ст. (гПа)	806,1 - 5,26 (1074,8 - 701)

Решающее устройство системы состоит из:

- блока воздушных параметров БВП;
- указателя высоты УВ;
- указателя числа М и истинной воздушной скорости УМС.

ПРИМЕЧАНИЕ. Для решения и выдачи потребителям параметра ТН к системе подключается указатель температуры наружного воздуха УТ.

По сигналам $P_{ст}$, $P_{п}$ из ПВД в блоке БВП формируются параметры $H_{абс}$, $P_{ст}$, $V_{пр}$, $P_{д}$ в виде относительных сопротивлений и выдаются потребителям.

Сигнал $H_{абс}$ вместе с сигналом P_0 , вводимым вручную, поступают в указатель УВ, где решаются $H_{отн}$ и $H_{абс}$. Например $H_{отн}$ выдается визуально, в виде относительного сопротивления с потенциометров и напряжения с СКТ.

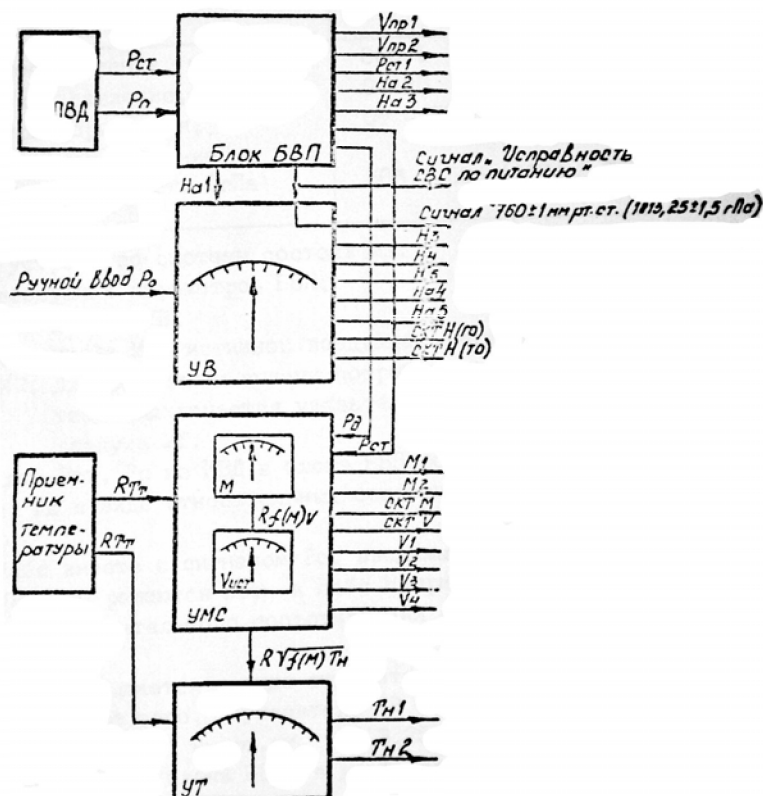


Рисунок 5.2 - Структурная схема системы

Параметр $H_{абс}$ выдается в виде относительного сопротивления с потенциометров. Кроме того, в указателе УВ формируется сигнал +27 В при установке $P_O = 760 \pm 1$ мм рт.ст. (1013,25+1,5 гПа). По сигналам $P_{СТ}$, $P_{Д}$, поступающим из блока ВВП, в указателе УМС решается число M , которое ведется визуально, в виде относительного сопротивления с потенциометров и напряжения с СКТ.

Истинная воздушная скорость $V_{ист}$ решается в указателе УМС по сигналу $R = f(M)_V$, формируемому в мосте решения числа M указателя УМС и сигналу R_{Tr} , поступающему в указатель УМС от приемника температуры. Параметр $V_{ист}$ выдается визуально, в виде относительного сопротивления с потенциометров и напряжения с СКТ.

Температура наружного воздуха T_H решается в указателе УТ по сигналу $R = \sqrt{f(M)_{T_H}}$, поступающему из указателя и R_{Tr} , поступающему из приемника температуры.

T_H выдается визуально и в виде относительного сопротивления с потенциометров.

Указатели системы взаимозаменяемы с подрегулировкой в случае необходимости.

Внешний вид указателя УТ представлен на рисунок 5.3.

Электрическое соединение блока БВП и указателей системы между собой с источниками электрического питания производится в соответствии электрической схемой, приведенной в приложении.

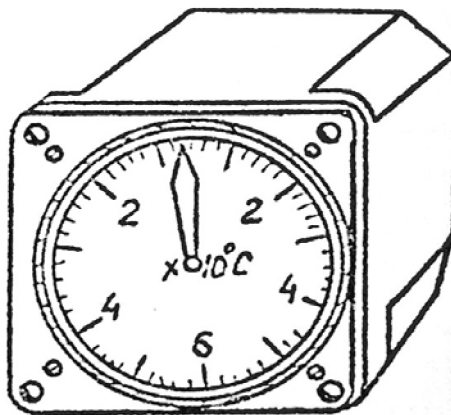


Рисунок 5.3 – Указатель температуры типа УТ-1М

5.1.2 Описание системы

Блок воздушных параметров БВП (см. рисунок 5.1) предназначен для формирования и выдачи потребителям и в указатели системы параметров $H_{абс}$, $V_{пр}$, $P_{СТ}$ и $P_{Д}$. Блок собран в унифицированном корпусе и установлен на раме. На передней панели блока смонтированы: штуцера "Рст" и "Рполн"; две лампы сигнализации исправности;

две кнопки включения режимов встроенного контроля "КОНТРОЛЬ ЛАМП" и "КОНТРОЛЬ";

предохранители;

зажим металлизации;

котировочные резисторы V_{np} , H_{abs} .

Связь блока с источниками электрического питания, потребителями и указателями системы осуществляется через прямоугольные разъемы типа РГКМ, которые крепятся к задней панели с помощью втулок, обеспечивающих подвижное сочленение с ответной частью разъёма.

Блок воздушных параметров имеет модификации, которые отличаются наличием устройства вычисления аэродинамических поправок в канале высоты.

Блок БВП без устройства вычисления аэродинамических поправок имеет шифр БВП - 9.

Блоки воздушных параметров с устройством вычисления аэродинамических поправок имеют шифр БВП с добавлением индекса объекта, закон поправок которого реализует система.

Блок БВП состоит из следующих узлов:

датчик статического давления $P_{СТ}$;

датчик динамического давления $P_{Д}$;

элементов электропитания (трансформаторы, стабилизатор напряжения, выпрямители);

элементы встроенного контроля;

усилитель БС-1, У1, Щ - для датчика $P_{СТ}$; БС-2, У2, П2 - для датчика $P_{Д}$.

Датчики $P_{СТ}$ и $P_{Д}$ аналогичны по конструкции, каждый датчик состоит из следующих элементов:

- чувствительный элемент (анероидный АЧЭ - в датчике $P_{СТ}$ и манометрический МЧЭ - в датчике $P_{Д}$);

- индукционный узел ИУ;

- двигатель-генератор (М1 - в датчике $P_{СТ}$, М2 - в датчике $P_{Д}$);

- выходные потенциометры (П2 - П6 - в датчике $P_{СТ}$, П8 - П10 - в датчике $P_{Д}$).

Указатель УВ предназначен для решения и выдачи потребителям параметров $H_{отн}$ и H_{abs} . Указатель УВ состоит из:

а) Элементов канала решения $H_{отн}$;

- усилительного устройства;

- модулятора;

- двигателя-генератора М2-1;

- потенциометра обработки $H_{отн}$ П2—1;

- потенциометра ввода H_o П2-2;
- выходных потенциометров П2-5 - П2-7;
- синусно-косинусных трансформаторов В2-1; В2-2;
- отсчитывающего устройства (шкала, стрелка, счётчик),

б) Элементов канала решения H_{abc} :

- дифференциала Д;
- функционального преобразователя 40;
- выходных потенциометров П2-3, П2-4;

в) Механизма ввода P_o .

г) Сигнализатора отказа (бленкер-флажок У 2-1, появляющийся в прорези циферблата вместо цифры "0").

Указатель собран в унифицированном корпусе. Электрическое соединение с блоком БВП и потребителями осуществляется с помощью жгутов со штепсельными разъемами типа 2РМД. В указателе имеется встроенный подсвет циферблата. Вид подсвета обозначен в шифре указателя буквами "ПБ" (белый подсвет) , "ПВ" (красно-белый подсвет). Взаимозаменяемость указателей УВ обеспечивается подрегулировкой с помощью двух резисторов, расположенных под планкой и обозначенных на задней крышке указателя буквами "Н" и "К".

Указатель УМС предназначен для решения и выдачи потребна числа M , ΔM и $V_{уст}$.
Указатель УМС состоит из:

а) Элементов канала решения числа M :

- усилительного устройства;
- модулятора
- двигателя-генератора МП-2;
- потенциометра отработки числа M П1-7;
- выходных функциональных потенциометров канала M П1-8, П1-9;
- выходных линейных потенциометров числа M П1-10, П1-11;
- синусно-косинусного трансформатора В1-2;
- отсчитывающего устройства (шкала, стрелка),

б) Элементов канала решения $V_{уст}$:

- усилительного устройства;
- двигателя-генератора МП-1;
- потенциометра отработки $V_{уст}$ П1-1;
- выходных потенциометров П1-2, П1-5;
- синусно-косинусного трансформатора В1-1;
- отсчитывающего устройства (шкала, стрелка).

в) Механизм решения ΔM У1-1.

г) Элементов встроенного контроля К1-1, R54.

д) Сигнализатора отказа (бленкер-флажок У1-2, появившийся в прорези

циферблата указателя).

Указатель собран в унифицированном корпусе. Электрическое соединение с блоком БВП и потребителям осуществляется с помощью жгутов со штепсельными разъемами типа 2РМД. В указателе имеется встроенный подсвет циферблата. Вид подсвета обозначен в шифре указателя буквами "ПБ" (белый подсвет) и "ПВ" (красно-белый подсвет). Взаимозаменяемость указателей УМС обеспечивается подрегулировкой с помощью двух резисторов, расположенных под планкой, резисторы обозначены на задней крышке указателя буквами "Н" и "К".

Указатель УТ предназначен для решения и выдачи потребителя» параметра T_H .
Указатель состоит из:

- а) Элементов канала решения T_H :
 - двигателя МЗ-І;
 - потенциометра отработки T_H ПЗ-2;
 - выходных потенциометров ПЗ-1, ПЗ-3;
 - отсчитывающего устройства (циферблат. стрелка);
- б) Элементов встроенного контроля КЗ-І.РЗ-8.

Усилительное устройство, модулятор канала решения T_H расположены в блоке БВП. Указатель собран в унифицированном корпусе. Электрическое соединение указателя с системой и потребителями осуществляется с помощью жгутов со штепсельными разъемами типа 2РМД. В указателе имеется встроенный подсвет циферблата. Вид подсвета обозначен в шифре указателя буквами "ПБ" (белый подсвет) и "ПБ*" (бело-красный подсвет). Взаимозаменяемость указателей УТ обеспечивается подрегулировкой с помощью резистора, расположенного под планкой на задней крышке указателя.

5.1.3 Принцип работы

В основу вычислительного устройства системы положены автоматические мостовые схемы с функциональными элементами. Решение выходных параметров производится на трех типовых мостовых схемах:

- потенциометрическая мостовая схема деления;
- потенциометрическая мостовая схема вычитания;
- реостатная мостовая схема.

Во всех мостовых схемах применены потенциометры прецизионные многооборотные линейные или функциональные.

Принципиальная электрическая схема блока БВП представлена в приложении 1.

Полное и статическое давления от ПВД самолета непрерывно поступают в блок БВП и воспринимаются чувствительными элементами датчиков АЧЭ и МЧЭ, предназначенными для преобразования давления в пропорциональное ему линейное перемещение. Чувствительные элементы связаны с индукционными узлами (ИУ) таким образом, что поступательное перемещение жесткого центра чувствительного элемента приводит к повороту якоря индукционного узла и изменению зазора между якорем и сердечником магнитопровода.

Вторичные обмотки ИУ включены встречно. Поэтому при равенстве зазоров δ_1 и δ_2 напряжение на выходе индукционного узла равно нулю.

Изменение давления приводит к нарушению равенства зазоров ИУ и к появлению на его выходе напряжения рассогласования. С выхода индукционного узла сигнал рассогласования поступает на вход усилительного устройства.

Усиленный сигнал подается на управляющую обмотку двигателя М, который через редуктор перемещает сердечник индукционного узла до восстановления равенства зазоров δ_1 и δ_2 . Таким образом сигнал рассогласования отрабатывается к нулю. Одновременно перемещаются щетки выходных потенциометров. Отсекаемые на потенциометрах сопротивления пропорциональны поступающему давлению. Датчик P_{CT} выдает относительные сопротивления, пропорциональные статическому давлению с потенциометров П2, П6 и абсолютной высоте с функциональных потенциометров П3, П4, П5, решающих зависимость $H_{abs} = f(P_{CT})$.

Датчик P_D измеряет динамическое давление как разность между полным и статическим давлениями $(P_D = P_{II} - P_{CT})$ и выдает относительные сопротивления, пропорциональные динамическому давлению P_D с потенциометра П8 и приборной скорости $V_{np} = f(P_D)$ с функциональных потенциометров П9, П10.

Резисторы R7 - R14, R28, R29, R2I - R27 в цепях выходных потенциометров обеспечивают масштабы выдаваемых параметров P_{CT} , H_{abs} , P_D , V_{np} . Элементы питания (трансформаторы Т1-Т3, стабилизатор напряжения, выпрямители) вырабатывают напряжения постоянного и переменного тока, питающие узлы блока БВП и указателей УВ, УМС, УТ. В блоке БВП размещены усилительное устройство и модулятор следящей системы моста решения T_H .

В следящих системах датчиков и указателей использованы усилительные устройства, состоящие из усилителя УСС-2 и согласующих элементов.

Усилитель УСС-2 состоит из предварительного усилителя напряжения, собранного на интегральной схеме, и двухтактного трехкаскадного усилителя мощности.

Применение на входе УСС-2 интегральной микросхемы дает возможность производить суммирование сигналов на входе. Усилитель мощности состоит из фазоинверсного каскада, предназначенного для получения двух противофазных напряжений, двухтактного выходного каскада, предназначенного для получения требуемой мощности в нагрузке.

В усилителе УСС-2 применяется отрицательная обратная связь по напряжению, предназначенная для стабилизации рабочей точки выхода.

Конденсатор С1 вместе с последовательно соединенным резистором R3 образуют делитель обратной связи и служат для увеличения коэффициента усиления по переменному току и обеспечения стабильности рабочей точки.

Для развязки нагрузки по постоянному току последовательно с нагрузкой включены конденсаторы С2, С3. Согласование усилителя с нагрузкой в рабочем диапазоне осуществляется конденсатором С4 и резистором R4.

Фазосдвигающая емкость С5, включенная последовательно с обмоткой возбуждения двигателя, служит для получения фазового сдвига $(90 \pm 15)^\circ$. Питание усилителя осуществляется напряжением постоянного тока 27 В.

Для устранения влияния наводок и паразитных емкостей в жгутах связи блока БВП и указателей УВ, УМС, УТ питание мостов решения $H_{отн}$, M и T_T осуществляется напряжением постоянного тока, поступающим из блока БВП. Поэтому следящие системы этих мостов включают в себя модуляторы.

Модулятор собран на интегральных прерывателях А1, А2. Постоянное напряжение с конденсаторов С1, С2 модулируется интегральными ключами, работа которых управляется опорным напряжением 6 В, поступающим из блока БВП.

Принципиальная схема указателя УВ.

Относительная барометрическая высота $H_{отн}$ решается как разность между $H_{абс}$ и H_o потенциометрической мостовой схемой вычитания. Давление P_o , вводимое в указатель УВ вручную, преобразуется в относительное сопротивление, пропорциональное H_o на функциональном потенциометре П2-2, которым воспроизводит зависимость $H_o = f(P_o)$.

Сигнал H_o подается на вход следящей системы, куда поступает и сигнал $H_{абс}$ с потенциометра П3 датчика $P_{ст}$.

Изменение одного из этих параметров приводит к появлению на входе следящей системы сигнала рассогласования, который через модулятор поступает на усилительное устройство.

Усиленный сигнал подается на двигатель М2-1, который через редуктор отрабатывает этот сигнал к нулю, перемещая щетку потенциометра П2-1 отработки $H_{отн}$ до восстановления равновесия мостовой схемы решения $H_{отн}$. Одновременно перемещаются щетки выходных потенциометров, роторы СКТ, стрелка и счетчик $H_{отн}$ указателя УВ. Выходной параметр $H_{отн}$ формируется в виде относительного сопротивления на потенциометрах П2-5, П2-6, П2-7, напряжения на СКТ (82 - 1 - грубый отсчет, В2 - 2 - точный отсчет) и визуально. Устранение автоколебаний в место решения $H_{отн}$ достигается использованием напряжения отрицательной обратной связи, снимаемого с генераторной обмотки двигателя М2-1 (контакты 8, 10) через делитель напряжения R10, R11.

Для обеспечения минимальной разности показаний между визуальными выходом $H_{отн}$ и потенциометрическими выходами $H_{абс}$ в указателе УВ решается абсолютная барометрическая высота как сумма $H_{отн}$ и H_o , Зависимость $H_o = f(P_o)$ получается с помощью механического функционального преобразователя (некруглые колеса). Сложение

осуществляется механическим дифференциалом, на выходе которого в результате сложения входных величин ($H_{отн}$, H_o) формируется угол поворота, пропорциональный $H_{абс}$.

С выходной осью дифференциала связаны потенциометры П2-3, П2-4, выдающие потребителям $H_{абс}$ в виде относительного сопротивления. Счетчик-сигнализатор, расположенный на оси ввода P_o , формирует сигнал +27 В при $P_o = 760 \pm 1$ мм рт.ст. ($1013,25 \pm 1,5$ гПа). Резисторы R19-R28 в цепях выходных потенциометров обеспечивают масштаб выдачи $H_{абс}$ и $H_{отн}$.

Подрегулировка каналов $H_{абс}$ и $H_{отн}$ производится котиловочными резисторами R15, R16, установленными в цепи потенциометра П2-1 обработки $H_{отн}$. Питание узлов указателя УВ осуществляется напряжениями, поступающими из блока БВП.

Принципиальная схема указателя УМС представлена в приложении 1.

Число M является функцией параметров $P_{СТ}$ и P_D и решается потенциометрическим мостом деления в указателе УМС.

Входные величины поступают на вход следящей системы в виде напряжения, пропорциональных относительным сопротивлениям ($P_{СТ}$ - с потенциометра П2 датчика $P_{СТ}$, P_D - с потенциометра П8 датчика P_D).

Число M обрабатывается на функциональном потенциометре П1-7, реализующем

$$M = f\left(\frac{P_D}{P_{СТ}}\right)$$

зависимость

Сигнал рассогласования через модулятор поступает на вход усилителя.

Усиленный сигнал подается на обмотку управления двигателя М1-2, который через редуктор обрабатывает сигнал рассогласования к нулю, перемещая щетку потенциометре П1-7 обработки числа M до восстановления равновесия мостовой схемы. Одновременно перемещаются щетки выходных потенциометров, ротор СКТ и стрелка числа M . Для устранения автоколебаний в мосте решения числа M используется напряжение отрицательной обратной связи, снимаемое с генераторной обмотки двигателя М 1-2 (контакты 8-10) через делитель напряжения R65, R66.

Выход числа M формируется в виде относительного сопротивления на потенциометрах П1-10, П1-11, напряжения на СКТ В1-2 и визуально (широкая стрелка).

Резисторы R87 - R90 в цепях выходных потенциометров обеспечивают масштаб выдачи числа M .

При необходимости полета во стабилизированными значениями числа M (M_{stab}) на электромагнитную муфту У1-1 подается сигнал +27 В. При этом муфта подключает потенциометр П1-6 моста M к выходной оси обрабатывающего устройства.

Потенциометр П1-6 выполнен со средней точкой. При отклонении числа M от стабилизированного значения с потенциометра П1-6 снимается относительное

сопротивление, пропорциональное $\Delta M = f(M_{тек} - M_{стаб})$. При отключении муфты механическое устройство возвращает щетку потенциометра П1-6 в среднее положение.

На одной оси с выходными потенциометрами числа M находятся функциональные потенциометры П1-8, П1-9, реализующие зависимости $f(M)_V$ и $\sqrt{f(M)_{T_H}}$ для дальнейшего решения $V_{уст}$ и T_H соответственно.

Истинная воздушная скорость $V_{уст}$ является функцией числа M и температуры торможения T_T и решается реостатной мостовой схемой в указателе УМС.

Входная величина $R = f(M)_V$ поступает на вход следящей системы (усилитель) моста $V_{уст}$ с потенциометра П1-8, а $R\sqrt{T_T}$ формируется цепочкой, состоящей из обмотки теплочувствительного элемента приемника температуры и резисторов.

Усиленный сигнал рассогласования ведается на управляющую обмотку двигателя М1-1, который через редуктор отрабатывает сигнал согласования к нулю, перемещая щетку потенциометра П1-1 и восстанавливая равновесие моста.

Одновременно на выходных потенциометрах $V_{уст}$ П1-2, П1-3, П1-4, П1-5 отрабатывается выходной сигнал в виде относительного сопротивления, на СКТ В1-1 формируется выходной сигнал в виде напряжения и перемещается стрелка (узкая) визуального выхода.

Для сохранения постоянной чувствительности моста во всем рабочем диапазоне в цепь питания моста включена обмотка возбуждения генератора (контакты 7,9).

Устранение автоколебаний в мосте $V_{уст}$ достигается использованием напряжения отрицательной обратной связи, снимаемого с генераторной обмотки двигателя через делитель напряжения R57, R59. Резисторы R74 - R81 в цепях выходных потенциометров обеспечивают масштаб выдачи $V_{уст}$.

Реле К1-1 служит для включения тарировочного резистора R54 взамен приемника температуры: для включения встроенного контроля. Подрегулировка каналов M и $V_{уст}$ производится юстировочными резисторами R70, R73, установленными в цепи потенциометра П1-7 отработки числа M .

Питание узлов указателя УМС осуществляется напряжениями, поступающими из блока БВП.

Принципиальная схема указателя УТ.

Температура наружного воздуха T_H является функцией числа M и температуры торможения T_T : $T_H = \varphi[f(M)_{T_H}, T_T]$ - и решается реостатной мостовой схемой.

Для упрощения схемы решения и уменьшения методической погрешности в системе реализуется зависимость

$$\sqrt{T_H} = \varphi \left[f(M)_{T_H}, \sqrt{T_T} \right].$$

Входная величина $R\sqrt{f(M)_{T_H}}$ поступает с выходного потенциометра П1-9 указателя УМС, а $R\sqrt{T_T}$ формируется цепочкой, состоящей из обмотки теплочувствительного элемента приемника температуры и резисторов R3-9, R3-10. Обработка сигнала $\sqrt{T_H}$ осуществляется на линейном потенциометре, зашунтированном резистором R3-5.

Модулятор и усилительное устройство следящей системы моста T_H находятся в блоке БВП. Сигнал рассогласования через модулятор поступает на вход усилителя.

Усиленный сигнал подается на управляющую обмотку двигателя МЗ-1, который через редуктор обрабатывает сигнал рассогласования к нулю, перемещая щетку потенциометра обработки ПЗ-2. Одновременно перемещаются щетки выходных потенциометров ПЗ-1, ПЗ-3, формируя выходные сигналы в виде относительных сопротивлений, и стрелка визуального отсчета.

Резисторы R3-1, R3-2, R3-13, R3-14 в цепях выходных потенциометров обеспечивают масштаб выдаваемого параметра T_H .

Реле КЗ-1 служит для включения тарировочного резистора R3-8 взамен приемника температуры при включении встроенного контроля. Регулировка канала T_H осуществляется с помощью котировочного резистора R3-3.

Питание узлов указателя УТ осуществляется напряжениями, поступающими из блока БВП.

Встроенный контроль осуществляется на одном значении каждого параметра, решаемого системой. Принцип встроенного контроля основан на включении тестовых сигналов вместо стимулирующих сигналов P_{CT}, P_D, R_{T_T} и дальнейшем решении контрольной задачи. Тестовые сигналы P_{CT} и P_D создаются с помощью мостовой схемы сравнения, одним плечом которой служит выходной потенциометр датчика (П1 - датчика P_{CT} , П7 - датчика P_D , а вторым - тарировочные резисторы (R5, R6, R44 - датчика P_{CT} , R19, R20, R45 - датчика P_D). Переключение осуществляется контактами реле К1 и К2. Тестовые сигналы температуры торможения создаются подключением тарировочных резисторов R54 (канал $V_{уст}$) и R3-8 (канал T_H) взамен теплочувствительных элементов приемника температуры. Переключение осуществляется контактами реле К1-1 и К3-1 для каналов $V_{уст}$ и T_H соответственно.

Для включения встроенного контроля на передней панели блока БВП установлены две кнопки. Кнопка "КОНТРОЛЬ ЛАМП" служит для включения проверки ламп сигнализации "H_{абс}", "V_{np}", кнопка "КОНТРОЛЬ" - для включения режима встроенного контроля.

Встроенный контроль включается также сигналом +27 В, поступающим на клемму Ш21/8. При включении встроенного контроля кнопкой "КОНТРОЛЬ" блока БВП на передней панели блока загораются лампы " H_{abc} " и " V_{np} ", если допустимые погрешности решения параметров H_{abc} , V_{np} не превышают в 1,5 раза погрешность измерения этих параметров при температуре окружающей среды 25 ± 10^0 С, а указатели отрабатывают контрольные значения. При включении встроенного контроля сигналом +27 В (клемма Ш21/8) указатели системы отрабатывают контрольные значения, при этом лампы сигнализации на блоке БВП не загораются.

Не охваченные встроенным контролем чувствительные элементы и индукционные узлы проверяются косвенно при отработке системой начальных значений решаемых параметров при снятии сигнала "КОНТРОЛЬ".

Система в рабочем режиме при подаче напряжения ~ 115 и -27 В от внешней сети выдает сигнал +27 В "ИСПРАВНОСТЬ СВС ПО ПИТАНИЮ".

. Канал маха (M) и истинной воздушной скорости ($V_{ист}$)

Описание канала (M) и истинной воздушной скорости ($V_{ист}$).

Число M является функцией параметров $P_{ст}$ и $P_{д}$ и решается потенциометрическим мостом деления в указателе УМС. Датчик $P_{д}$ измеряет динамическое давление как разность между полным и статическим давлениями ($P_{д} = P_{п} - P_{ст}$) и выдает относительные сопротивления, пропорциональные динамическому давлению $P_{д}$ с потенциометра П8 и приборной скорости $V_{np} = f(P_{д})$ с функциональных потенциометров П9, П10. Число M отрабатывается на функциональном потенциометре П1-7, реализующем зависимость

$$M = f\left(\frac{P_{д}}{P_{ст}}\right)$$

Истинная воздушная скорость $V_{ист}$ является функцией числа M и температуры торможения T_T и решается реостатной мостовой схемой в указателе УМС.

Работа канала маха (M) и истинной воздушной скорости ($V_{ист}$).

Полное и статическое давления от ПВД самолета непрерывно поступают в блок БВП и воспринимаются чувствительными элементами датчиков АЧЭ и МЧЭ, предназначенными для преобразования давления в пропорциональное ему линейное перемещение по формуле:

$$w = 0.662^3 \sqrt{\frac{pR^4}{Eh}}, \quad (1)$$

где w – прогиб мембраны, p – разность давлений, R – радиус мембраны, E – модуль упругости, h – толщина материала мембраны.

Чувствительные элементы связаны с индукционными узлами (ИУ) таким образом, что поступательное перемещение жесткого центра чувствительного элемента приводит к повороту якоря индукционного узла:

$$L = \frac{w^2 \cdot 0,4 \cdot p}{d_0 + D} \cdot 10^{-8}, \quad (2)$$

Поворот якоря индукционного узла приводит к изменению зазора между якорем и сердечником магнитопровода согласно формуле:

$$I = f(L), \quad (3)$$

Вторичные обмотки ИУ включены встречно. Поэтому при равенстве зазоров $\delta 1$ и $\delta 2$ напряжение на выходе индукционного узла равно нулю.

Изменение давления приводит к нарушению равенства зазоров ИУ и к появлению на его выходе напряжения рассогласования. С выхода индукционного узла сигнал рассогласования поступает на вход усилительного устройства, который характеризуется коэффициентом усиления:

$$I_2 = k \cdot I_1 \Rightarrow k = \frac{I_2}{I_1}, \quad (4)$$

Усиленный сигнал подается на управляющую обмотку двигателя М, который через редуктор перемещает сердечник индукционного узла до восстановления равенства зазоров $\delta 1$ и $\delta 2$. Управляющая обмотка двигателя описывается следующей характеристикой:

$$w_\delta = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{I_\delta \cdot R}{C^2 \cdot \Phi^2}, \quad (5)$$

Редуктор имеет передаточное отношение, равное: $w_p = w_\delta \cdot t$. (6)

Таким образом сигнал рассогласования обрабатывается к нулю. Одновременно перемещаются щетки выходных потенциометров согласно формуле: $\alpha = w \cdot t$, (7)

В мостовой схеме наступает состояние равновесия, которое описывается характеристикой: $R = R_H \cdot \alpha$, (8)

Одновременно перемещаются:

щетки выходных потенциометров $\alpha = w \cdot t$, (9)

$$\text{ротор СКТ} \quad \begin{cases} U = U_m \cdot \sin \alpha \\ U = U_m \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (10)$$

стрелки указателя числа M .

5.2 Разработка алгоритма проверки системы СВС

Система СВС является сложным комплексом измерения воздушных параметров. Очень важно следить и поддерживать постоянно работоспособности системы, а также обеспечивать точность ее выходных параметров.

В силу несовершенства применяемых технических средств оценки параметров объекта контроля, человек принимает значительное участие в процессе проверки, что приводит к доминированию влияния человеческого фактора на результат измерения параметров ОК. Обойти это ограничение можно, создав систему, максимально автоматизирующую процесс проверки токораспределительной сети. Реализовать такую систему, стало возможно лишь сейчас, в связи с повышением уровня технологий.

Создание подобной системы контроля особенно актуально в рамках решения проблемы повышения эффективности использования ЛА на современном уровне развития авиации. Это, в свою очередь, достигается применением прогрессивной стратегии технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) по состоянию, что позволит существенно сократить простой ЛА на ТОиР, снизить трудоемкость и стоимость работ, а так же повысить уровень надежности изделий.

Система, решающая задачу контроля параметров СВС должна обеспечивать возможность применения метода ТО по состоянию с контролем параметров, и обеспечивать возможность прогнозирования ТС и надежности.

Объект контроля носит распределенную структуру, данная структура обладает рядом параметров, которые наиболее полно описывают ее ТС. Данными параметрами являются выходные величины приборной скорости, числа М, напряжения синусно-косинусного трансформатора. Контролируя все эти параметры, мы сможем получить полную информацию о ТС ОК в данный момент времени.

Таким образом, задача контроля системы СВС разбивается на три подзадачи, реализация которых требует отдельных инженерных решений. А именно:

1) Задача контроля приборной скорости. Включает в себя проверку погрешности выходных значений приборной скорости. Осуществляется это путем подачи на вход динамического давления ряда контрольных точек.

2) Задача контроля относительного сопротивления. Решается также вопрос проверки выходных значений относительных сопротивлений. Это осуществляется путем подачи на вход динамического давления ряда контрольных точек.

3) Задача контроля напряжения СКТ. Осуществляется путем подачи на вход тестовых значений давлений и сравнением выходной величины с эталонным значением.

Проектируемая система должна решать все, либо часть, поставленных задач контроля в зависимости от пожеланий заказчика.

Доступ к ОК, для выполнения задачи его контроля, можно получить только через ряд точек доступа, которыми являются всевозможные разъемы, соединители, клеммы.

При контроле требуется сравнить значения выходных параметров системы с эталонными, таким образом оценить точностные параметры системы СВС. Система способная выполнить такую задачу так же, как и объект контроля должна носить

распределенную структуру. Т.е. представлять собой несколько проверочных модулей объединенных информационно-управляющей сетью. Развитие современных технологий позволяет сделать каждый модуль интеллектуальным, работающим по гибкой программе. Тем не менее структура данной сети будет меняться при проверках различных участков ОК, следовательно в распределенной системе необходимо предусмотреть блок, отвечающий за организацию информационно-сетевого взаимодействия. Возложим эту задачу на ПК оператора (ноутбук), которая будет включаться в сеть и будет отвечать за ее организацию.

В силу неоднородной топологии, система проверяется не целиком сразу, а сегментами, причем максимально дифференцированными, с целью покрытия основных параметров системы.

Необходимо так же отметить, что создание универсального измерительного устройства, для контроля всех трех подзадач контроля требуется не всегда.

5.3 Разработка алгоритма проверки функционирования УСИМ

Практика эксплуатации системы СВС и указателя УСИМ Ан-124 показывает, что неисправности появляются именно в структуре указателя УСИМ, то есть характерен уход параметров качества сети от заданного значения. Уход значений приборной скорости и числа М не является актуальным для эксплуатанта Ан-124. Учитывая важность индикации точных значений скоростных параметров Ан-124, использование имеющихся в наличии авиакомпания средств обеспечивает меньшую точность, чем разрабатываемой системы, а так же вероятность ошибки по вине оператора.

Таким образом, разобьем проверку указателя УСИМ на три подзадачи, реализация которых требует отдельных инженерных решений. А именно:

Задача контроля приборной скорости. Включает в себя проверку погрешности выходных значений приборной скорости. Осуществляется это путем подачи на вход динамического давления ряда контрольных точек.

Задача контроля относительного сопротивления. Решается также вопрос проверки выходных значений относительных сопротивлений. Это осуществляется путем подачи на вход динамического давления ряда контрольных точек.

Задача контроля напряжения СКТ. Осуществляется путем подачи на вход тестовых значений давлений и сравнением выходной величины с эталонным значением.

Задача контроля приборной скорости решается следующим образом. На компьютере запускается программа контроля, компьютер посылает сигнал на генератор давления, который подает на штуцеры указателя УСИМ контрольные значения давления. УСИМ обрабатывает эти контрольные значения. Параллельно с этим компьютер по заданным формулам вычисляет эталонные значения приборной скорости и выводит на экран. Значения приборной скорости возможно оценить только визуально из-за невозможности подачи значения приборной скорости с УСИМ на компьютер, так как приборная скорость индицируется только в виде отклонения стрелки указателя.

Задача контроля относительного сопротивления решается подобным образом. На компьютере запускается программа контроля, компьютер посылает сигнал на генератор давления, который подает на штуцеры системы СВС контрольные значения давления. УСИМ

обрабатывает эти контрольные значения и выдает их в виде относительных сопротивлений, которые измеряются комплексом РХІ. Параллельно с этим компьютер по заданным формулам вычисляет эталонные значения относительного сопротивления и затем сравнивает их с реальными значениями, полученными от УСИМ, затем вычисляет погрешности показаний и строит по ним график, по которому можно оценить эти погрешности.

Задача контроля синусно-косинусного трансформатора решается следующим образом. На компьютере запускается программа контроля, компьютер посылает сигнал на генератор давления, который подает на штуцеры системы СВС контрольные значения давления. СВС обрабатывает эти контрольные значения и выдает их в виде напряжения СКТ. Параллельно с этим компьютер по заданным формулам вычисляет эталонное значение СКТ, затем сравнивает их с реальным значением, полученным от СВС, затем вычисляет погрешность показания.

5.4 Программ функционального контроля в режиме имитации и на технических средствах в программе МАСКА

Программа позволяет задавать значения статического и динамического давления и получать в результате значения числа М и напряжения СКТ, которые вычисляет система СВС, а так же значения приборной скорости и относительного сопротивления, пропорционального числу М, вычисляемые УСИМ.

Например, при входных значениях $P_{ст} = 726,5$ мм рт ст и $P_{дин} = 262,4$ мм рт ст получаем выходные значения:

Число М – 0,738;

$V_{пр} = 762,4$ км/ч;

$N_{скт} = 81$ В;

Относительное сопротивление $R_{отн} = 70,5$ %.

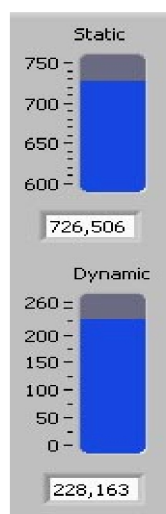


Рисунок 5.4 – Задатчики давлений



Рисунок 5.5 – Результаты измерения в виде числа М, приборной скорости и относительного сопротивления

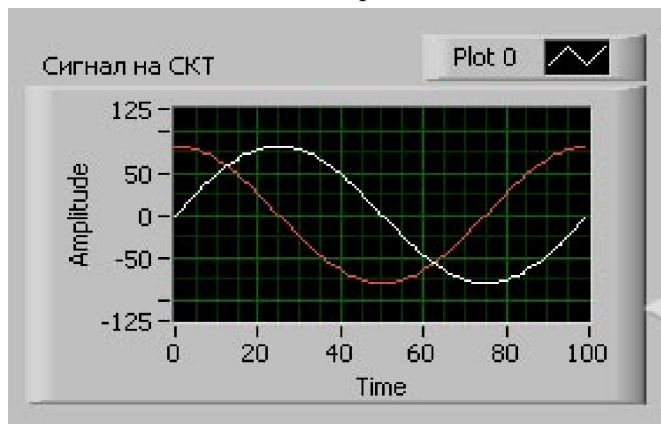


Рисунок 5.6 – Сигнал синусно-косинусного трансформатора

Программа позволяет видеть промежуточные значения преобразования давлений в воздушные параметры, например прогиб мембраны анероида или угол перемещения щетки потенциометра.

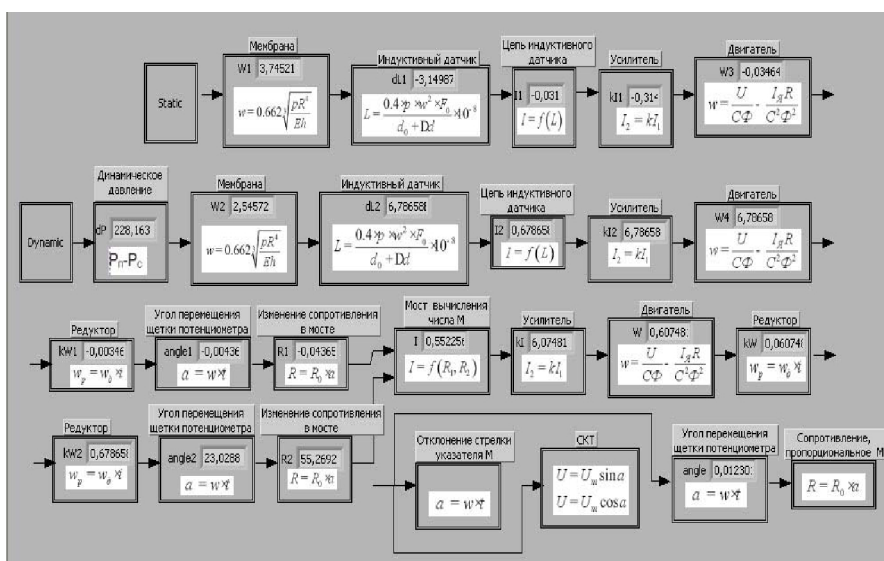


Рисунок 5.7 – Блок-схема обрабатываемых параметров

Программа позволяет осуществить автоматическую проверку объекта контроля по одному значению динамического давления.

При проведении данной проверки на вход динамического давления подается давление 122 мм рт ст, при котором приборная скорость равна 570 км/ч. Допустимая погрешность равна ± 5 км/ч. Для начала проверки необходимо нажать кнопку "Старт" и подождать, пока давление не достигнет требуемого и прибор не отработает показание.

Режим имитации имеет 2 подрежима: отработка погрешности в пределах нормы, а также отработку погрешности, превышающей допустимую.

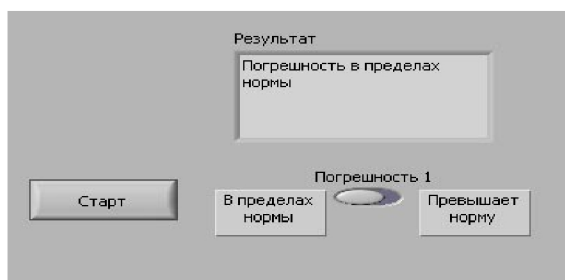


Рисунок 5.8 – Проверка Vпр

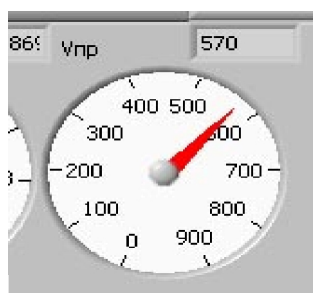


Рисунок 5.9 – Идеальные показания

Программа позволяет проводить проверку ряда значений Vпр. При проведении данной проверки на вход динамического давления подается ряд давлений, в результате которой получаем ряд значений реальных и идеальных показаний приборной скорости, а так же относительных погрешностей приборной скорости и график зависимости погрешности.

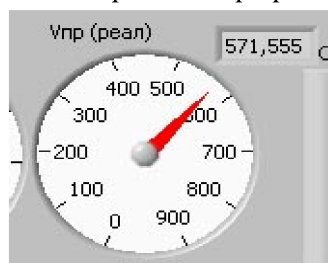


Рисунок 5.10 – Реальные показания (погрешность в пределах допустимой)

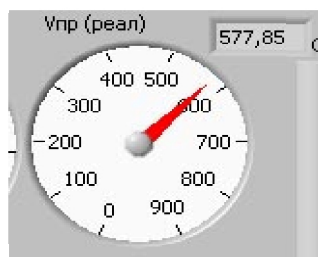


Рисунок 5.11 – Реальные показания (погрешность выше допустимой)

Допустимые погрешности равны: 8; 5 3,5; 3,5; 3,5; 4; 5; 5; 6; 6; 7; 8 соответственно. Ряд проверяемых точек указан ниже:

Таблица 1	
0	2,27
0	3,55
	8,01
	14,27
	22,39
	32,39
	44,32
	58,25
	92,38
	135,46
	188,35
	252,1

Рисунок 5.12 – Таблица проверяемых точек (слева – Рд, справа - Vпр)

Для начала необходимо нажать кнопку "Старт" и подождать пока не отработается весь ряд значений динамического давления. Результаты проверки записываются в таблицах: array Vпр (реал), array Vпр, array dV, а также в виде графика dV(Рд) во вкладке "График погрешностей dV при различных Рд", пользуясь переключателем "Погрешность 2" возможно задать погрешность "В пределах нормы" и "Превышает норму".

Array Рд	Array Vпр (реал)	Array Vпр	Array dV
0	2,27	0	-6,14261
	3,55	-713,858	4,74942
	8,01	-704,75	3,27489
	14,27	-653,273	-2,15429
	22,39	-597,849	-1,58699
	32,39	-548,413	3,0423
	44,32	-503,041	2,20687
	58,25	-452,201	4,79119
	92,38	-404,792	-3,95576
	135,46	-296,033	-1,25855
	188,35	-198,756	-5,85775
	252,1	-94,166	6,2143
		-6,2143	

Старт

Погрешность 2

В пределах нормы Превышает норму

Рисунок 5.13 – Табличные результаты проверки (погрешность в пределах нормы)

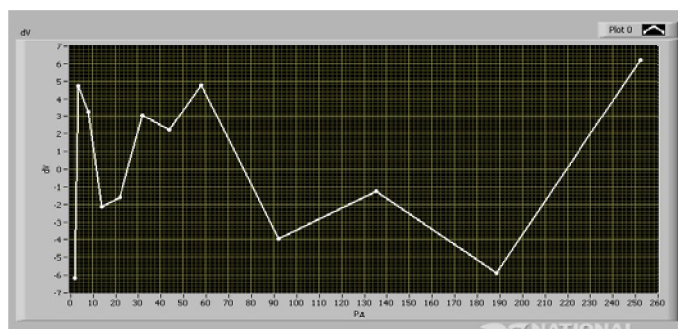


Рисунок 5.14 – Графические результаты проверки (погрешность в пределах нормы)

Array Pд	Array Vnp (реал)	Array Vnp	Array dV
0	2,27	0	9,30984
	3,55	-729,31	13
	8,01	-713,001	-12,2334
	14,27	-637,76E	13,6778
	22,39	-613,681	13,9249
	32,39	-563,92E	11,8623
	44,32	-511,861	-8,96542
	58,25	-441,02E	9,3103
	92,38	-409,311	10,1789
	135,46	-310,16E	8,90641
	188,35	-208,921	11,0214
	252,1	-111,04E	-13,440E
		13,4408	
		-720,001	
		-700,001	
		-649,99E	
		-600,00E	
		-550	
		-499,99E	
		-449,994	
		-400	
		-299,98E	
		-200,01E	
		-100,024	
		-7,62057	

Погрешность 2

В пределах нормы | | Превышает норму

Рисунок 5.15 – Табличные результаты проверки (погрешность превышает допустимую)

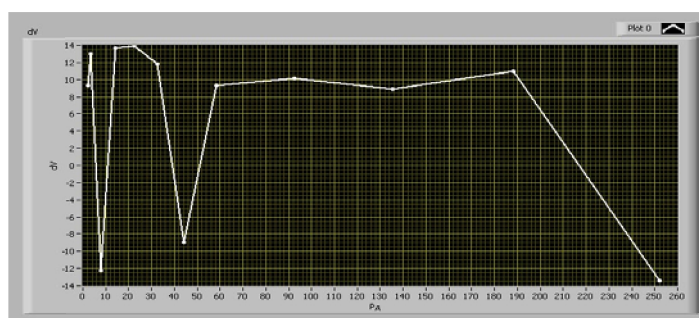


Рисунок 5.16 – Графические результаты проверки (погрешность превышает допустимую)

Программа позволяет проводить точностную оценку ряда значений относительных сопротивлений. При проведении данной проверки на вход динамического давления подается ряд давлений, в результате которой получаем ряд значений реальных и идеальных показаний относительных сопротивлений, а так же относительных погрешностей относительных сопротивлений и график зависимости погрешности. Допустимая погрешность равна 0,14 %.

5.5 Оценка точностных характеристик реального прибора и моделируемого

Для начала необходимо нажать кнопку "Старт" и подождать пока не отработается весь ряд значений относительных сопротивлений. Результаты проверки записываются в таблицах: array Rotn (реал), array Rotn, array dR, а также в виде графика dR(Pд) во вкладке "График погрешностей dRotn при различных Pд", пользуясь переключателем "Погрешность 3" возможно задать погрешность "В пределах нормы" и "Превышает норму".

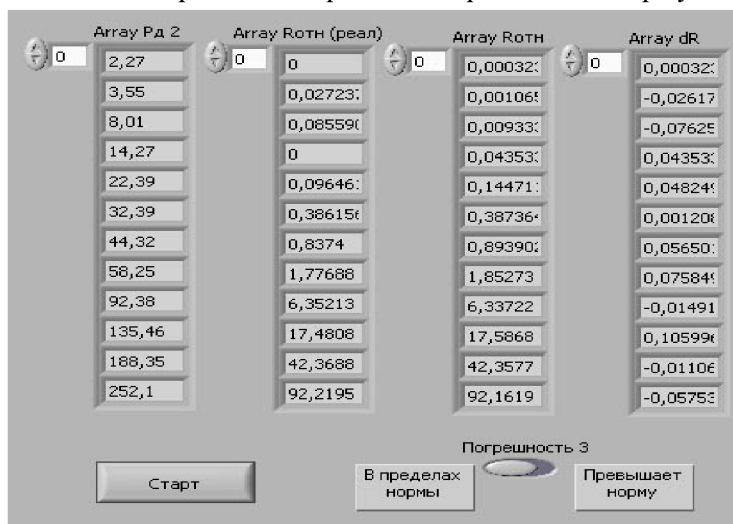


Рисунок 5.17 – Табличные результаты проверки относительного сопротивления (погрешность находится в рамках допустимой)

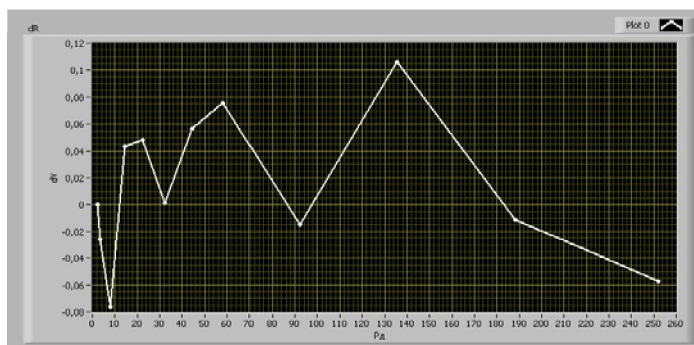


Рисунок 5.18 – Графические результаты проверки относительного сопротивления (значения находятся в рамках допустимых значений)

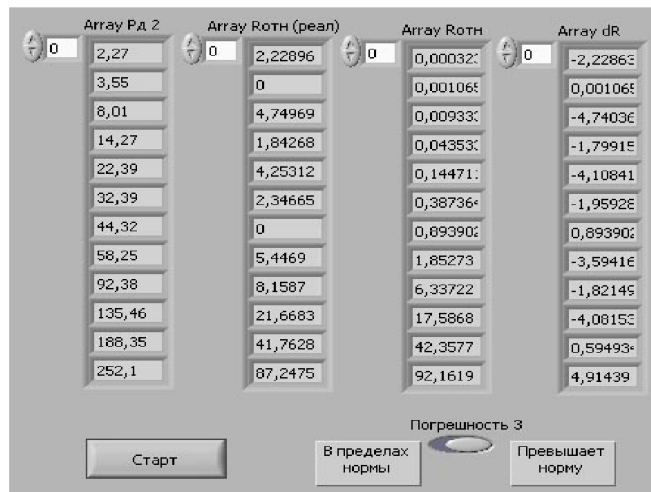


Рисунок 5.19 – Табличные результаты проверки относительного сопротивления (значения выходят за рамки допустимых)

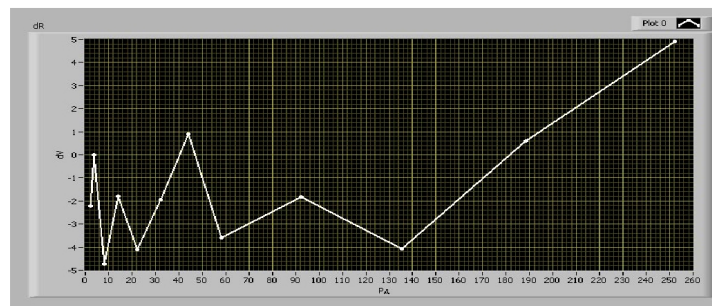


Рисунок 5.20 – Графические результаты проверки относительного сопротивления (значения выходят за рамки допустимых)

Вывод: Проанализировав полученные данные и графики можно сделать о точностных характеристиках проверяемого прибора. Если полученные реальные характеристики входят в заданный интервал ожидаемых значений, то есть погрешность имеет допустимое значение, значит прибор исправен; если полученные характеристики выходят за рамки интервала, то есть погрешность больше допустимой, значит прибор не исправен.

5.6 Анализ принципиальной схемы и составление программы тестирования

5.6.1 Формирование модулей для контроля принципиальной схемы СВС

Для упрощения составления программы контроля, сведения к минимуму возможности возникновения ошибки во время её выполнения, необходимо разбить схему на отдельные электрически независимые модули. Для этого необходимо проследить соединение элементов схемы и выявить группы цепей, имеющих общие электрические связи. Таким образом, цепь разбивается на максимально возможное количество отдельных «модулей». Для удобства схема перерабатывается и составляется таким образом, чтобы все элементы, принадлежавшие одному модулю, группировались вместе и определяли принцип его работы. Один из модулей представлен на рисунке 5.21. Схема представлена в приложении А. Схема принципиальная разбиения на модули и состоит из тринадцати отдельных модулей.

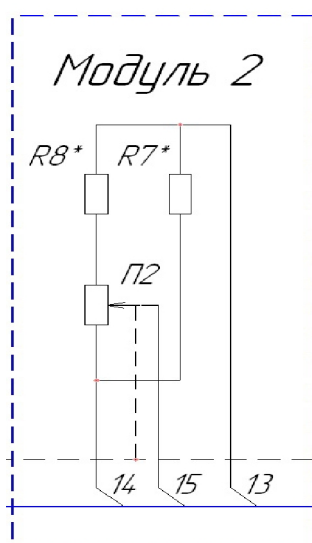


Рисунок 5.21 – Модуль цепи $P_{ст}$

Затем выделяются простые электрические цепи, которые проверяются элементарными операциями.

Для модуля на рисунке 5.21 простейшей цепью является цепь, образующаяся между проводами 13 и 14, 14 и 15, 13 и 15.

В модулях 1 и 7 проверить параметры не представляется возможным, так как не имеют прямого выхода на разъемы. Каждая цепь проверяется в соответствии с принципом преобразования электрического сигнала (проверка правильности монтажа, измерение параметров цепи и т.д.).

5.6.1 Составление программы тестовой проверки

Проанализировав принципы взаимодействия элементов полученных схем, составляется программа проверки для каждой из них. Алгоритм составляется таким образом, чтобы охватить по возможности все элементы проверяемых цепей и осуществить контроль или диагностирование объекта контроля с минимальными временными затратами и максимальной объективностью.

Алгоритм контроля включает в себя:

- проверку правильности монтажа;
- измерение параметров цепи;
- частичная проверка функционирования встроенным контролем

Проверка правильности монтажа подразумевает прохождение контрольного сигнала по цепи, то есть подачу и ожидание сигнала на строго определенных выводах.

Измерение параметров цепи состоит из измерения активного сопротивления резисторов, сопротивления изоляции, измерение емкости, индуктивности, проверку диодов прямым и обратным напряжениями.

Частичная проверка функционирования позволяет проверить параметры цепи при отработке системы контрольных значений и оценить работоспособность.

Структуру алгоритма составляют кадры контроля.

Первый символ первой строки кадра определяет его тип и называется «признаком кадра». Вторым символом в кадре, вслед за типом кадра, идет «признак независимости». Каждая строка ПК, кроме первой, начинается символом «признак строки», определяющим конкретный тип воздействия на объект контроля. В первой строке признак строки располагается в третьей позиции – после признака кадра и признака независимости. Признаки строк логически подразделены на 2 группы: «типы точек», т.е. варианты возможных воздействий на конкретный адрес в проверяемом объекте и «типы действия», т.е. варианты некоторых общих действий или описания чего-либо. Алгоритм составлен с использованием алфавита и знаков системы МАСКА.

Программа проверки представлена в приложении Б.

5.7 Разработка варианта функциональной схемы в аппаратно-программной среде МАСКА

В данном разделе приводится описание схемы функциональной комплекса технических средств системы «МАСКА» и обоснование выбора комплектации системы.

Система «МАСКА» является универсальным комплексом проверки и диагностирования, однако его состав может варьироваться в зависимости от назначения и условий применения. В соответствии с ТО МАСКА основными элементами системы являются БУИК и МКУ. Этим элементов не достаточно для проверки системы СВС, поэтому в состав включены дополнительные элементы.

Комплектация блока управления, измерения и контроля.

Ядром построения БУИК является платформа РХИ-1050 со встроенной высокоскоростной вычислительной системой на базе контроллера РХИ-8196 (рисунок 5.22).



Рисунок 5.22 – Модуль контроллера NI PXI-8196

Контроллер NI PXI-8196 – является одним из высокопроизводительных и доступных на сегодняшний день контроллеров реального времени. В контроллере PXI-8196 присутствует широкий набор стандартных периферийных устройств и интерфейсов, таких как жесткий диск, интерфейс GPIB, последовательный порт и Ethernet контроллер. Эти контроллеры совместимы с широким спектром модулей PXI и CompactPCI производства National Instruments и сторонних производителей и поставляются с предустановленным программным обеспечением NI LabVIEW Real-Time.

Так как обмен данными между МКУ и БУИК организуется через протокол связи CAN, то наличие модуля CAN-интерфейса в составе платформы PXI-1050 является необходимым для всех вариантов комплектации системы «МАСКА». Наиболее подходящим является PXI-8461, приведенный на рисунке 5.23. Модуль подключается к разъемам DE-9 модулей МКУ через шину управления.



Рисунок 5.23 – Модуль CAN-интерфейса PXI-8461

Для измерения параметров цепи (U , R , L , C) в блок включен многофункциональный мультиметр PXI-4072, изображенный на рисунке 5.24.

Особенности данного модуля:

- наличие двух экранированных измерительных каналов;
- максимальное измеряемое напряжение 300В;
- максимальный измеряемый ток 1А;
- максимальная измеряемая индуктивность 5Гн;
- максимальная измеряемая ёмкость 10мФ;
- максимальное измеряемое сопротивление 1ГОм;
- частота измерения 1,8МГц;
- точность измерения – 7 знаков.



Рисунок 5.24 – Модуль мультиметра PXI-4072

Модуль подключается универсальным измерительным щупом на разъёмы РС-7 МКУ. Плюс на клемму номер 2, общий на клемму 7.

Управление авиационной тестирующей станцией осуществляется по протоколу IEEE 488 модулем PXI-8232 (Рисунок 5.25), подключаемым через стандартный разъем IE 488 24-pin.

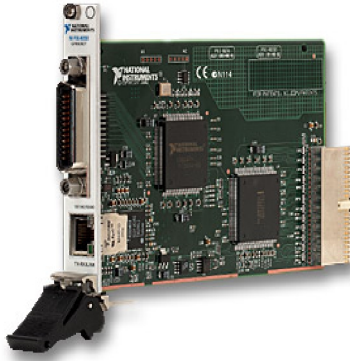


Рисунок 5.25 – Модуль интерфейса IEEE 488 PXI-8232

Для подключения проверяемых цепей объекта контроля к блоку управления, измерения и контроля в состав системы введен модуль коммутации и управления (МКУ). Каждый модуль МКУ имеет 2 одинаковых штепсельных разъёма 2PM42БПН50Г2В1В на 50 контактов. В стандартную комплектацию унифицированного системного комплекса (УСК) входят 5 модулей. Блок вычисления параметров БВП-9 имеет 88 контрольных точек, распределённых по двум штепсельным разъёмам РПКМ-57Ш1В. Отсюда делаем вывод о том, что достаточно одного коммутатора МКУ. Соединение ОК с МКУ осуществляется двумя переходными кабелями в соответствии со стыковочной картой. Стыковочная карта приведена в приложении В.

Питание МКУ осуществляется постоянным напряжением 27 В независимым источником питания АКИП-1104. Данный источник представляет собой импульсный преобразователь мощностью 80 Вт, имеет три диапазона: 16В/5А, 27В/3А и 36В/2,2А с режимом стабилизации тока и напряжения (рисунок 5.26).



Рисунок 5.26 – Источник питания постоянным током АКИП-1104

Подключается источник через разъем РС-10 МКУ.

Питание блока БВП спецнапряжением $\sim 115\text{В}$ производится независимым источником питания APS-9301 (рисунок 5.27), подключаемым к МКУ через клемму 1 разъема РС-7. Основные характеристики источника:

- Выходная мощность – $300\text{ В}\cdot\text{А}$;
- Диапазон выходного напряжения – $0\text{-}300\text{ В}$;
- Нестабильность $< 0,1\text{В}$ при изменении напряжения питания,
 $< 0,1\text{ В}$ при измерении тока нагрузки;
- Частота выходного напряжения – $45\text{-}500\text{ Гц}$;
- Выходной ток при $U=115\text{В}$ – $2,3\text{ А}$.



Рисунок 5.27 – Источник питания переменным током APS-9301

Для измерения сопротивления изоляции, в состав входит измеритель МІ 2123, изображенный на рисунке 5.28. Данная модель производит:

- Измерение сопротивления изоляции (50 В , 100 В , 250 В , 500 В , 1000 В)
- Проверку целостности и измерение сопротивления защитных проводников заземления и зануления (током $> 200\text{ мА}$)
- Проверку целостности и измерение сопротивления проводников, имеющих индуктивную составляющую (током 7 мА)
- Компенсацию сопротивления измерительных проводов



Рисунок 5.28 – Измеритель сопротивления изоляции проводов МІ-2321

Измерение сопротивления изоляции производится через разъем РС-7 клемму 3, после измерения прибор осуществляет передачу полученных данных в БУИК через интерфейс RS-232, входящим в контроллер РХІ-8196.

Авиационная тестирующая станция MPS-31С предназначена для создания давлений P (статического) и $P_{\text{п}}$ (полного). Имеет полностью автоматизированное управление и обладает высокой функциональностью. Для удобства транспортировки корпус MPS31С оснащен

колесами и выдвижной ручкой. Система имеет устройство приема/передачи данных по протоколу Bluetooth и встроенную аккумуляторную батарею, обеспечивающую 2-х часовую бесперебойную работу. В станции имеется система безопасности прибора. Внешний вид станции изображен на рисунке 5.8.

Управление станцией осуществляется БУИКом через интерфейс IEEE 488.



Рисунок 5.8 – Авиационная тестирующая станция MPS-31C

Все блоки КТС «МАСК-СВС-72» имеют общее заземление. Блок управления, измерения и контроля связан через локальную сеть с автоматизированным рабочим местом инженера (АРМИ), в базе данных которого хранятся программы контроля различных объектов и итоговые протоколы проверок.

6 РАЗРАБОТКА РАБОЧЕЙ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ МАСКА

6.1 Средства и технологии

Программа «LabVIEW» (среда разработки лабораторных виртуальных приборов) представляет собой среду графического программирования, которая широко используется в промышленности, образовании и научно-исследовательских лабораториях в качестве стандартного инструмента для сбора данных и управления приборами. «LabVIEW» – мощная и гибкая программная среда, применяемая для проведения измерений и анализа полученных данных, которую можно использовать на компьютерах с различными типами современных операционных систем.

Персональные компьютеры являются более гибкими инструментами, чем традиционные измерительные приборы, поэтому процесс создания *виртуального прибора* (ВП) в виде программы на «LabVIEW» довольно таки прост. Этому способствует также наличие *лицевой панели* (front panel) в виде интуитивно понятного интерактивного пользовательского интерфейса. Лицевая панель содержит:

- элементы управления (controls), которые являются средствами ввода данных со стороны пользователя;
- элементы индикации (indicators) – выходные данные из программы.

Концепция «LabVIEW» сильно отличается от последовательной природы традиционных языков программирования, предоставляя разработчику лёгкую в использовании графическую оболочку, которая включает в себя весь набор необходимых инструментов. Если в традиционных алгоритмических языках программирование основано на вводе текстовых команд, последовательно образующих программный код, то в «LabVIEW» используется язык графического программирования, именуемый G (Джей), где алгоритм создаётся в графической иконной форме (pictorial form), образующей так называемую *блок-диаграмму* (block-diagram), что позволяет исключить множество синтаксических деталей. Таким образом, с помощью «LabVIEW» можно программировать решаемую задачу в виде графической блок-диаграммы, которая компилирует алгоритм в машинный код, тем самым затрачивая значительно меньше времени и усилий по сравнению с написанием традиционной программы.

Основопологающим для «LabVIEW» принципом является принцип *потока данных* (dataflow), согласно которому функции выполняются лишь тогда, когда они получают на вход необходимые данные. Это однозначно определяет порядок исполнения существующего алгоритма.

Кроме того, «LabVIEW» следует концепции *модульного программирования* (modular programming), суть которой состоит в разделении большой прикладной задачи на ряд простых подзадач. Далее создаются ВП для выполнения каждой из подзадач, которые объединяются на блок-диаграмме ВП более высокого уровня, выполняющего прикладную задачу в целом. Более того, ВП низкого уровня (ВПП, SubVI) часто выполняют в целом типичные задачи, и поэтому могут использоваться во многих отдельных приложениях.

Процесс моделирования любой сложной технической системы проходит в «LabVIEW» 4 логических этапа:

- сбор данных;
- анализ собранных данных;
- представление полученных результатов;
- управление процессами.

Таким образом, *мониторинг* и *управление процессами* являются основными функциями этого программного продукта. Помимо этого, применение нашло *динамическое моделирование* ввиду наличия широких возможностей работы с накоплением информации и временными задержками при выполнении программ.

6.2 Разработка виртуальной панели системы «МАСК-ПЭ» в ПС «LabVIEW»

Лицевая панель «МАСК-СВС-72» является интуитивно понятным виртуальным комплексом, состоящим из 3-х подпанелей:

- панель управления «МАСКА»;
- панель объекта контроля;
- панель результатов проверки.

Внешний вид лицевой панели в процессе работы изображен на плакате А1 – Алгоритм и лицевая панель.

Панель управления исходя из ее названия, обеспечивает выбор и выполнение всего комплекса операционных функций. Панель состоит из органов управления и универсального информационного поля.

Органы управления обеспечивают выбор и ввод в систему команд.

К органам управления относятся:

1 Кнопка включения/выключения виртуального прибора для активации выполнения всего виртуального прибора



Рисунок 6.1 – Кнопка включения/выключения виртуального прибора

2 Ниспадающее меню выбора режима «РЕЖИМ» - выбор одного из режимов работы программы - «Имитация», «Работа», «Тест-контроль».

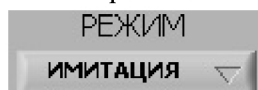


Рисунок 6.2 – Меню выбора режима работы

По умолчанию программа устанавливает режим «Имитация», для выбора другого режима необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши по силуэту меню и выбрать один из ниспадающих вариантов.

- 2 Ниспадающее меню выбора паузы обеспечивает выбор времени задержки выполнения виртуального прибора. По умолчанию выбрана средняя длительность паузы, обеспечивающая оптимальное время задержки. Минимальная длительность паузы устанавливает наиболее короткую задержку, которая используется для быстрого выполнения, например для демонстрации работы в режиме «Имитация».

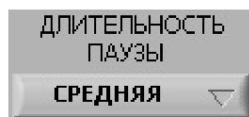


Рисунок 6.3 – Меню выбора длительности паузы

- 4 Ниспадающее меню выбора способа выдачи информации доступно при режимах работы «Имитация» и «Работа» и обеспечивает выбор работы ВП покадрово (то есть по окончании выполнения кадра ВП переходит в режим ожидания) или непрерывно (по окончании выполнения кадра ВП переходит к выполнению следующего кадра при условии, что в нем нет ручной операции).

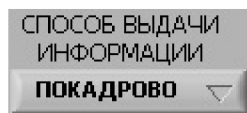


Рисунок 6.4 – Меню выбора способа выдачи информации

- 3 Ниспадающее меню выбора результата проверки. Данный элемент доступен только в режиме «Имитация» и предназначен для выбора имитации одного из состояний проверяемого объекта – «Исправное состояние», «Отказ ОК» или «сбой в МКУ».

4

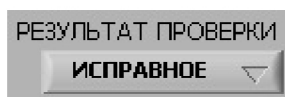


Рисунок 6.5 – Меню выбора результата проверки

- 5 Кнопка «Запуск Тест-контроль». Доступна только в одноименном режиме. Обеспечивает запуск тестовой программы проверки МКУ.

6

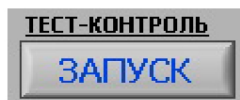


Рисунок 6.6 – Кнопка запуска тест-контроля

- 7 Кнопки управления процессом выполнения программы проверки, функциональное назначение которых соответствует их названию.

>> - Кнопка перехода к следующему кадру;

<< - Кнопка возврата к предыдущему кадру;

ПОВТОР – повтор выполнения текущего кадра;

ЗАПИСЬ – запись полученных результатов по завершению проверки;

СТОП – кнопка экстренного останова программы, нажимать следует только в крайних случаях!

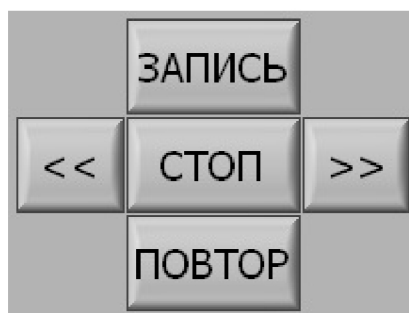


Рисунок 6.7 – Кнопки управления программой проверки

Данные элементы управления активны только в режимах «Имитация» и «Работа».

Универсальное информационное поле (Рисунок 6.8) предназначено для отображения информации о ходе выполнения проверки.



Рисунок 6.8 – Универсальное информационное поле

На нем отображаются информация о текущем действии, выбранном режиме, описание и комментарии (при наличии), а так же результаты проверки. Результаты проверки отображаются в виде интегральной оценки цветом, соответствующим состоянию объекта (Отказов не обнаружено – зеленым, Отказ - красным), и виде краткого сообщения о конкретных неисправностях (отсутствует сигнал на каком-либо выводе разъема, измеренное

значение параметра выше/ниже установленного диапазона). Помимо этого в средней части поля появляется фрагмент электрической схемы проверяемого модуля для лучшего восприятия.

Панель объекта контроля предоставляет информацию о проверяемом объекте и состоит из поля выбора объекта контроля, поля отображения содержимого текущего кадра и фрагмента имитирующего лицевую часть объекта контроля (в данном случае блок БВП-9 системы СВС-72). По умолчанию объектом контроля выбрана система СВС-72.



Рисунок 6.9 – Поле выбора объекта контроля

Поле выбора объектом контроля введено с целью расширения перечня проверяемых объектов.

Поле отображения содержимого кадра состоит из элемента, в котором задается с какого кадра следует начать проверку, элемента в котором задается каким кадром окончить проверку, окна отображения номера кадра и окна содержимого кадра.



Рисунок 6.10 – Элементы выбора кадров и отображения текущего кадра

Окно содержимого кадра предоставляет информацию о типе кадра и содержащихся в нем операциях.

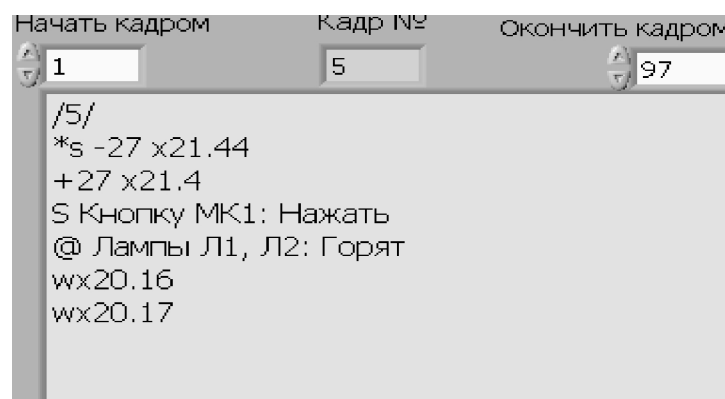


Рисунок 6.11 – Окно содержимого кадра

Фрагмент имитации (представлен на рисунке 6.12) выполнен с максимальной точностью отображения внешнего вида настоящего БВП-9. Все элементы управления и элементы индикации на ней работоспособны и допускают возможность воздействия на них в процессе имитации.



Рисунок 6.12 – Фрагмент имитации проверяемого объекта

Панель результатов проверки содержит цифровой индикатор измеряемого параметра и поле отображения работы МКУ. Поле отображения работы МКУ введено для дополнительной визуализации процесса контроля и состоит в общем виде из 300 цветных индикаторов-клемм (по 100 – на каждый из 3-х МКУ, по 50 – на каждый штепсельный разъём одного МКУ), разбитых на 6 двумерных массивов. Каждый индикатор-клемма цветом отображает подаваемый сигнал. Значения цветов приводятся выше поля МКУ.

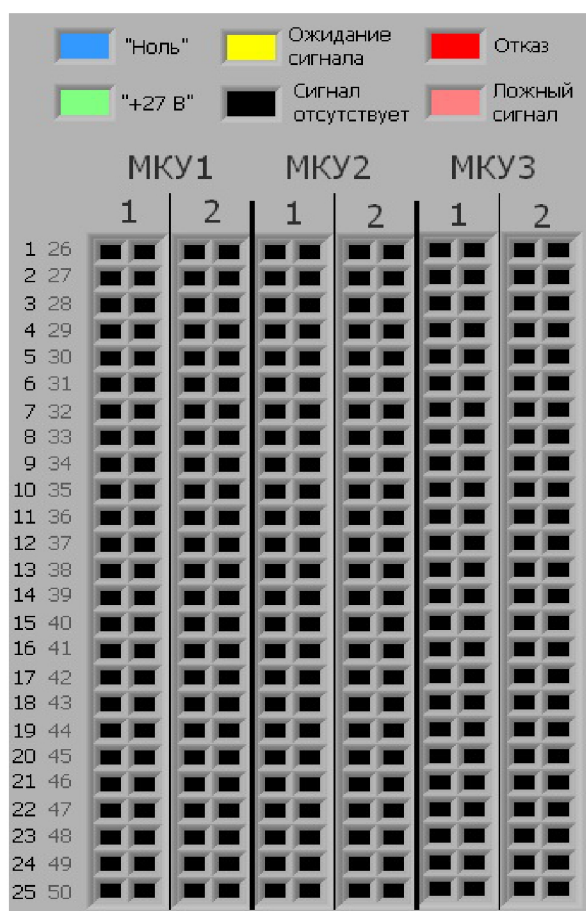


Рисунок 6.13 – Поле отображения работы МКУ

Выше лицевой панели расположено небольшое поле вспомогательных параметров, для просмотра которого необходимо прокрутить колесико указателя «Мышь» вверх. Данные параметры определяют настройку системы для работы с различным оборудованием и производят отображения дополнительной информации. Изменять параметры рекомендуется только при настройке и отладке программы.

6.3 Описание блок-диаграммы виртуального прибора «МАСК-СВС-72»

Для просмотра блок-диаграммы данной программы необходимо нажать сочетание клавиш Ctrl+E или выбрать в командной строке программы «LabVIEW» Window – show block diagram. Внешний вид диаграммы расположен на плакате А1 – Блок диаграмма виртуального прибора.

Блок-диаграмма состоит из главного цикла, элементов формирования очереди, листов команд и вспомогательных модулей. Принцип выполнения всего виртуально прибора основан на использовании «очереди» (queue), которая строго формирует последовательность выполнения, исключая возможность ошибки. «Очередь» содержит порядок команд, выполняемых одна за другой в установленной «Очереди» последовательности. Затем, в структуре «Команды» производится поочередное выделение вкладок, соответствующих определенной команде. Главный цикл обеспечивает непрерывное создание очереди и выделение из нее команд.

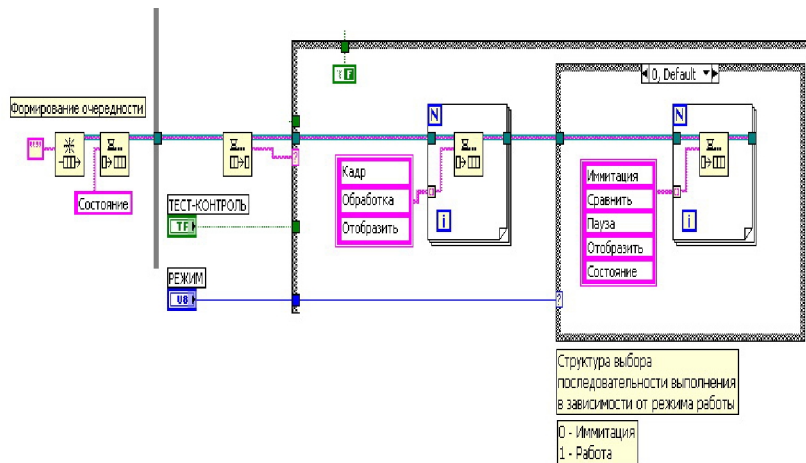


Рисунок 6.14 – Цепь элементов формирования очередности

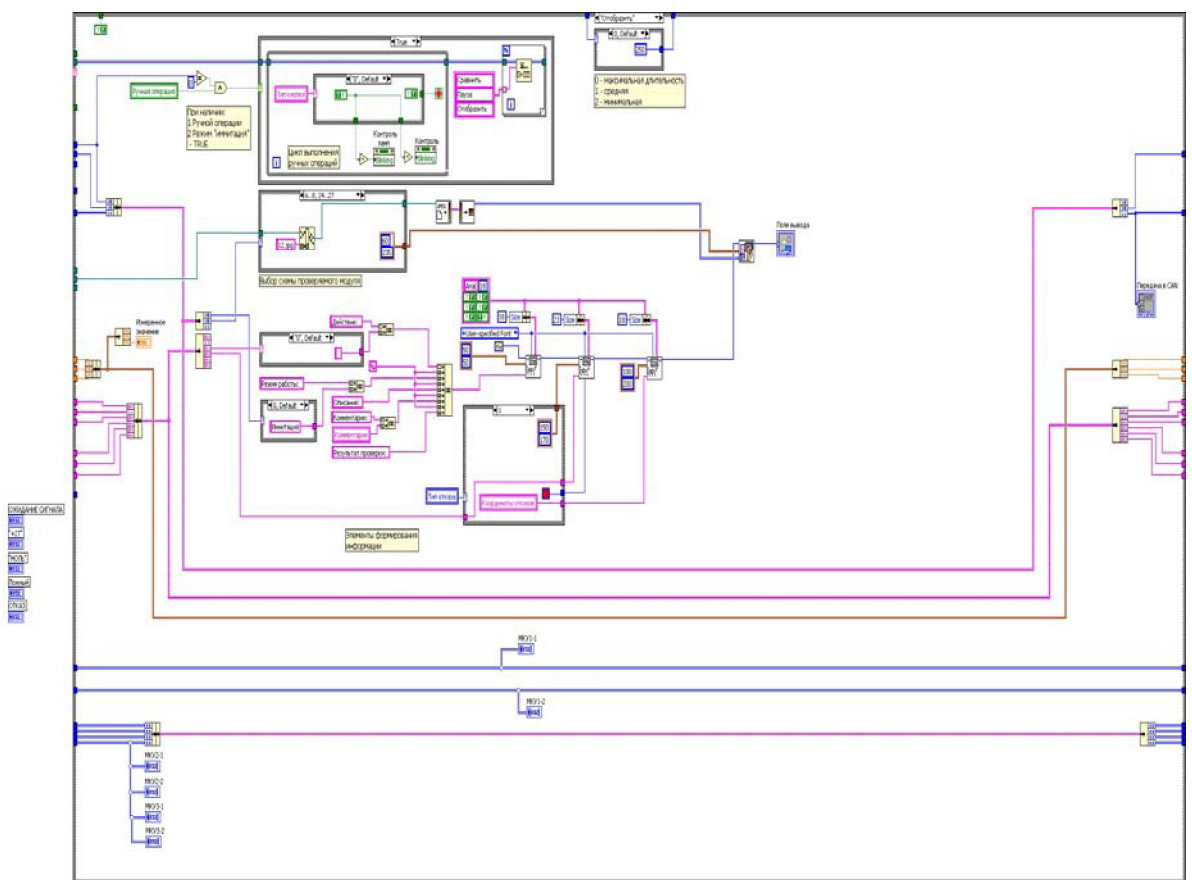


Рисунок 6.15 – Внешний вид одной из вкладок

Структура каждой вкладки состоит из нескольких различных по функциональному назначению модулей и элементов, взаимосвязанных между собой. Сдвиговые регистры, расположенные по краям главного цикла, обеспечивают передачу данных из одного листа в другой. Фрагмент одной из «Вкладок команд» приведен на рисунке 6.15.

Очередь состоит из следующих команд:

- 1 Состояние – проверка изменения органов управления;
- 2 Отобразить – визуализация промежуточных и конечных результатов;
- 3 Тест – подпрограмма тестовых сигналов проверки МКУ;
- 4 Пуск – формирование очередности выполнения в зависимости от выбранного режима работы;
- 5 Кадр – вкладка выделения и формирования кадра и информации о нем;
- 6 Обработка – соответствующее действие над выбранным кадром;
- 7 Передача/Прием – передача и получение данных в/из внешних устройств;
- 8 Имитация – подпрограмма выработки сигналов и параметров;
- 9 Сравнить – сравнение полученных результатов с ожидаемыми;
- 10 Пауза – временная задержка;
- 11 Запись/Отчет – документирование и запись полученных результатов;
- 12 Стоп – остановка выполнения программы.

Рассмотрим некоторые из них.

Перед началом работы программы все сдвиговые регистры обнуляются и формируются начальные данные установленные системой или выбранные оператором.

Состояние. Данная вкладка содержит структуры, определяющие начало и порядок выполнения работы программы. Например, структура кнопки «Вперед», изображенная на рисунке 6.16.

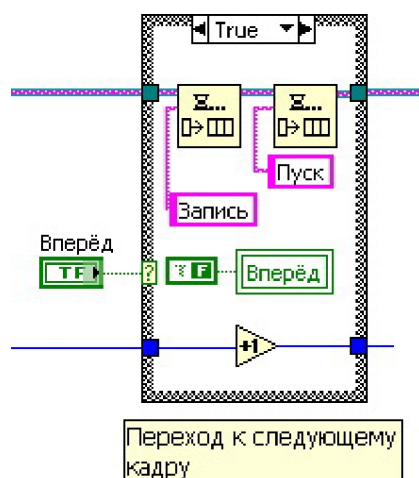


Рисунок 6.16 – Структура перехода к следующему кадру

При нажатии на кнопку «Вперед» происходит увеличение номера текущего кадра на единицу, в очередь добавляются команды «Запись» и «Пуск». Программа переходит к выполнению соответствующих команд, т. е. все данные, полученные на этой вкладке, перейдут на вкладку «Запись», а затем «Пуск».

Отобразить. Совокупность структур и элементов этой вкладки производит преобразование всех получаемых данных в вид, удобный для восприятия оператора. Набор фрагментов на рисунке 6.17 производит формирование текстового файла, содержащего необходимую информацию о текущем действии и результатах проверки.

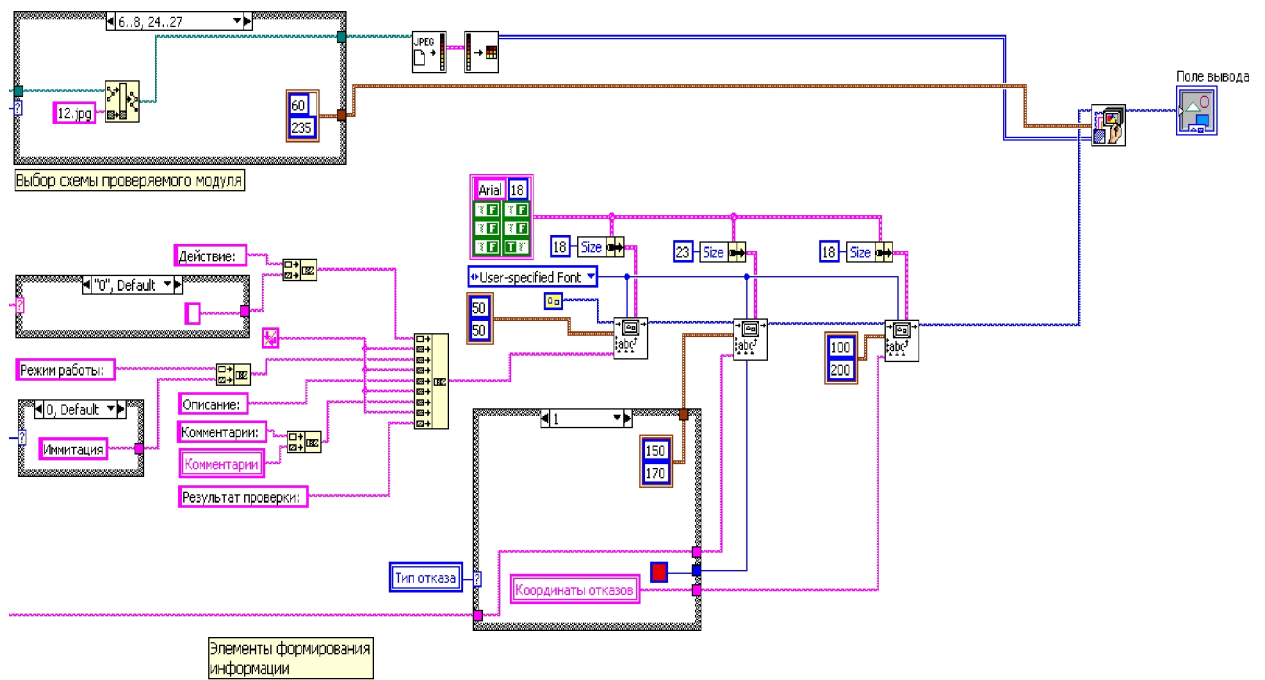


Рисунок 6.17 – Фрагменты отображения процесса выполнения программы

Полученные результаты отображаются на информационном поле. Дополнительная структура в верхней части вкладки предназначена для изменения порядка очереди при наличии ручной операции. При приходе данных на вкладку «Отобразить», а также при условии, что в кадре имеется ручная операция и активирован режим “имитация” запускается цикл, переводящий программу в режим ожидания до тех пор, пока не будет выполнена ручная операция.

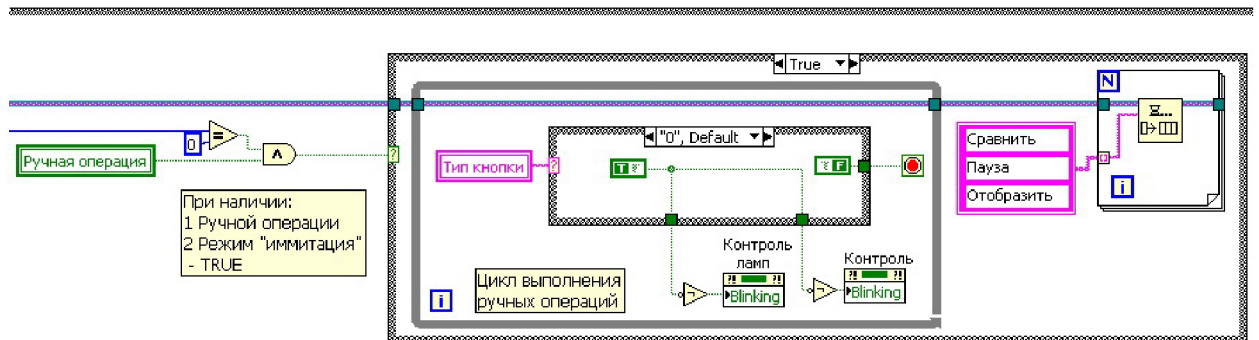


Рисунок 6.18 – Модуль ожидания при наличии ручной операции

При невыполнении любого из условия, данная структура не активна, и программа будет выполняться по очереди, образованной ранее.

Тест. Подпрограмма тест-контроля состоит из цикла, который производит последовательное подключение контрольных точек в МКУ для его проверки. Внешний вид цикла изображен на рисунке 6.19. Запуск программы тестирования осуществляется кнопкой «Запуск» на лицевой панели, при условии, что нажата кнопка вкл/выкл.

Пуск. На данной вкладке происходит основное формирование очередности выполнения программы. Цепь формирования очереди содержит постоянные команды и команды, которые

инициализируются в очередь при различных условиях. Постоянной цепью команд является цепь:

Кадр – Обработка – Отобразить;

Переменные команды:

При режиме «Работа»: Передача – Прием – Сравнить – Пауза– Отобразить;

При режиме «Имитация»: Имитация – Сравнить – Пауза.

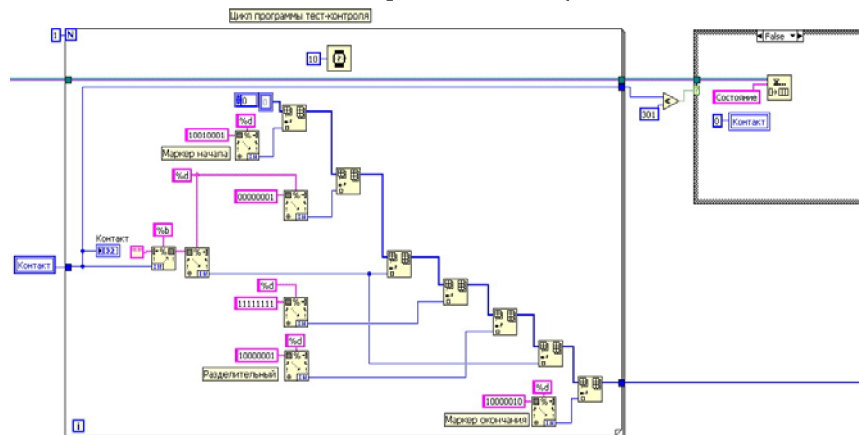


Рисунок 6.19 – Цикл тест-контроля

После образования очередности, программа переходит к выполнению команды «Кадр».

Кадр. Вкладка данной команды состоит из модулей и фрагментов, осуществляющих извлечение и преобразование информации о выбранном кадре. Фрагмент, изображенный на рисунке 6.20 представляет собой цикл обработки стыковочной карты и преобразования данных в массив строк, более удобный в дальнейшем использовании.

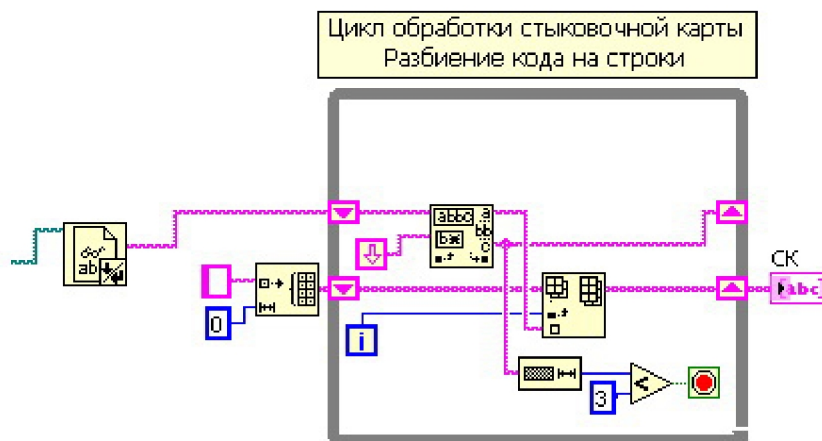


Рисунок 6.20 – Цикл обработки кода стыковочной карты

На рисунке 6.21 представлены элементы, осуществляющие открытие, поиск и преобразование необходимого кадра, а так же поиск и выделение комментариев к кадру, если таковые имеются.

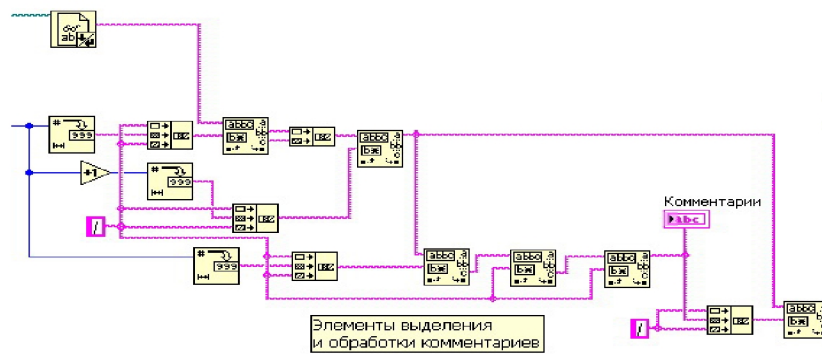


Рисунок 6.21 – Выделение кадра и комментариев к нему

В модуле на рисунке 6.22 изображен цикл обработки кода программы и преобразование его в массив строк.

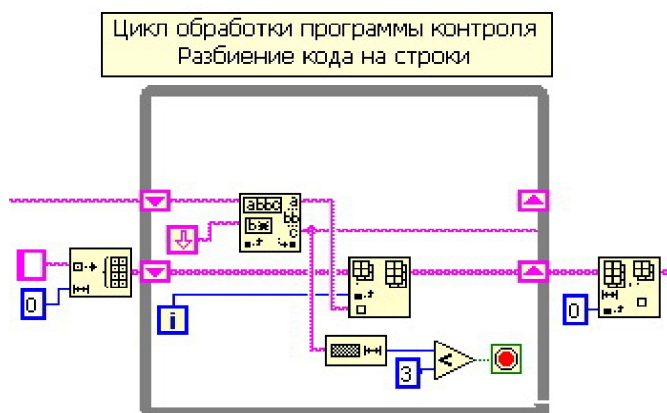


Рисунок 6.22 – Обработка кадра

Важными параметрами являются: тип кадра, зависимость кадра, наличие ручных операций и визуального контроля. Они выделяется во фрагментах, представленных на рисунках 6.23, 6.24, 6.25, 6.26. При наличии в кадре данных параметров, происходит запись индикаторов значениями истина (TRUE), которые передаются по локальным переменным в соответствующие листы команд.



Рисунок 6.23 – Определение типа кадра

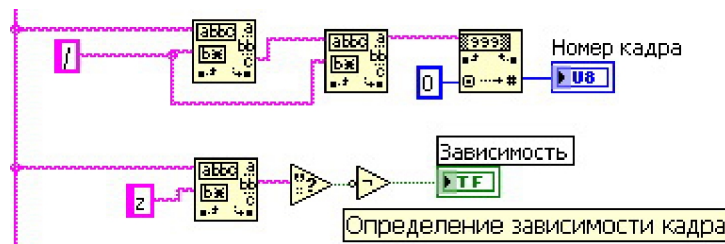


Рисунок 6.24 – Определение номера и зависимости кадра

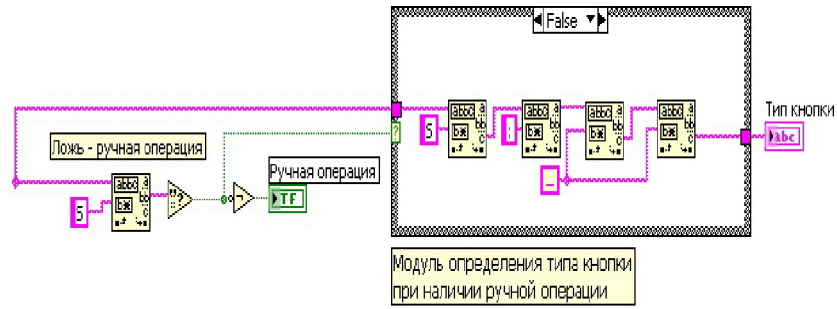


Рисунок 6.25 – Определение ручной операции и типа кнопки

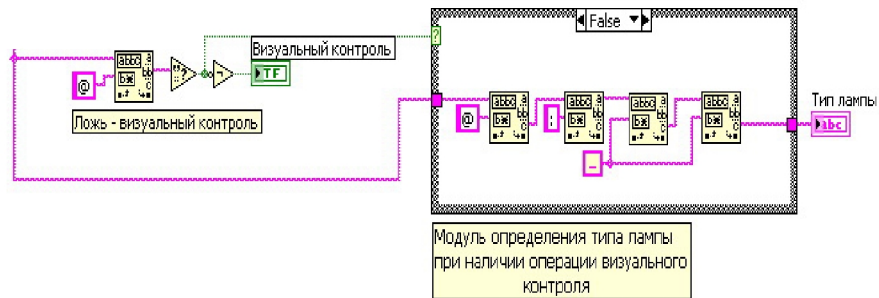


Рисунок 6.26 – Определение визуального контроля и типа лампы

После выполнения всех операций, все полученные данные передаются на вкладку команды «Обработка».

Обработка является одной из основных вкладок в процессе выполнения программы. Вкладка содержит структуру, в которой кадр обрабатывается в зависимости от его признака. Обработка монтажного кадра включает в себя:

- выделение типа и номера контакта соответствующего разъема подаваемого сигнала;
- выделение типа и номера контакта соответствующего разъема ожидаемого сигнала;
- сравнение и преобразование полученных контактов со стыковочной картой;
- преобразование полученных данных для передачи в CAN - интерфейс;
- преобразование полученных данных в цветовой код для отображения на поле имитации работы МКУ.

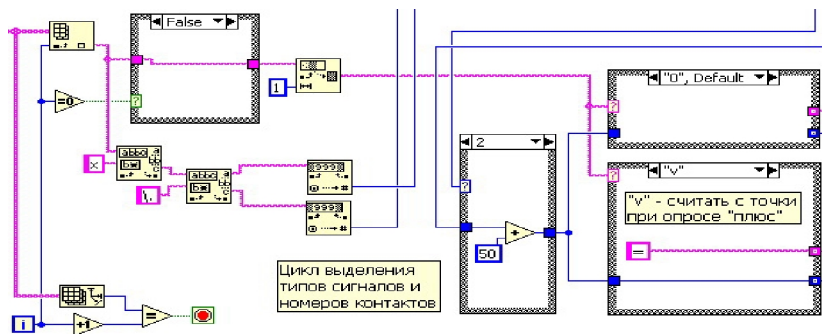


Рисунок 6.27 – Выделение сигналов и номеров контактов

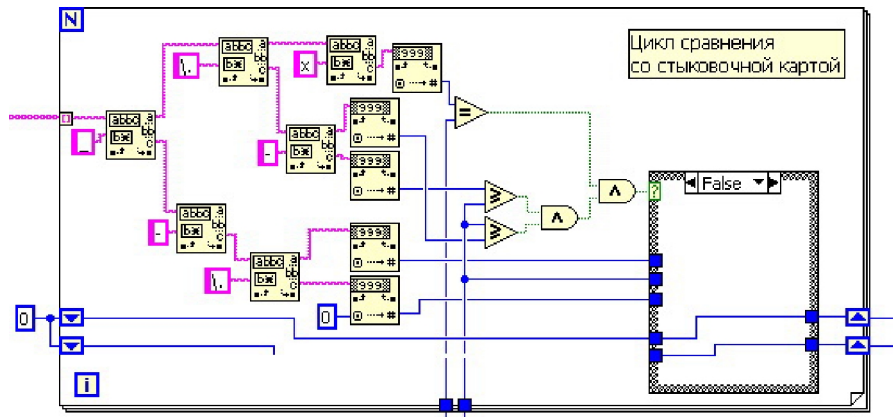


Рисунок 6.28 – Преобразование в соответствии со стыковочной картой

Измерительные кадры состоят из операций:

- определение типа измеряемого параметра;
- определение номинального значения измеряемого параметра, а также верхней и нижней границы измеряемого параметра;
- преобразование полученных данных для передачи в CAN – интерфейс и активации работы мультиметра;
- преобразование полученных данных в цветовой код для отображения на поле имитации работы МКУ.

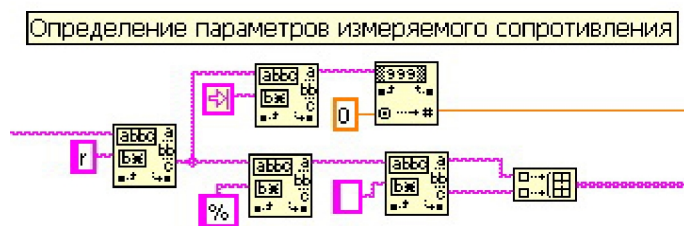


Рисунок 6.29 – Элементы определения значения измеряемого параметра

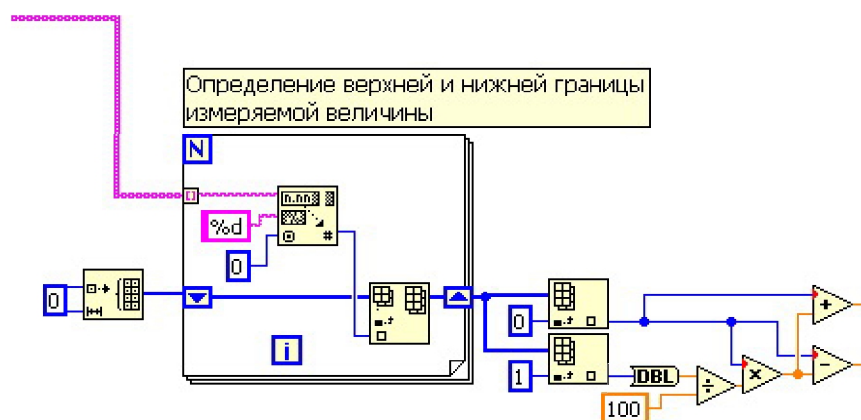


Рисунок 6.30 – Элементы определения верхней и нижней границы измеряемого параметра

Передача/Прием данных производится на одноименных вкладках. На вкладке «Передача» все сформированные ранее сигналы посылаются в указанные устройства. На вкладке «Прием» производится выделение типа и очередности получаемых из внешних устройств сигналов. Для исключения конфликта оборудования с программой, данные вкладки частично деактивированы.

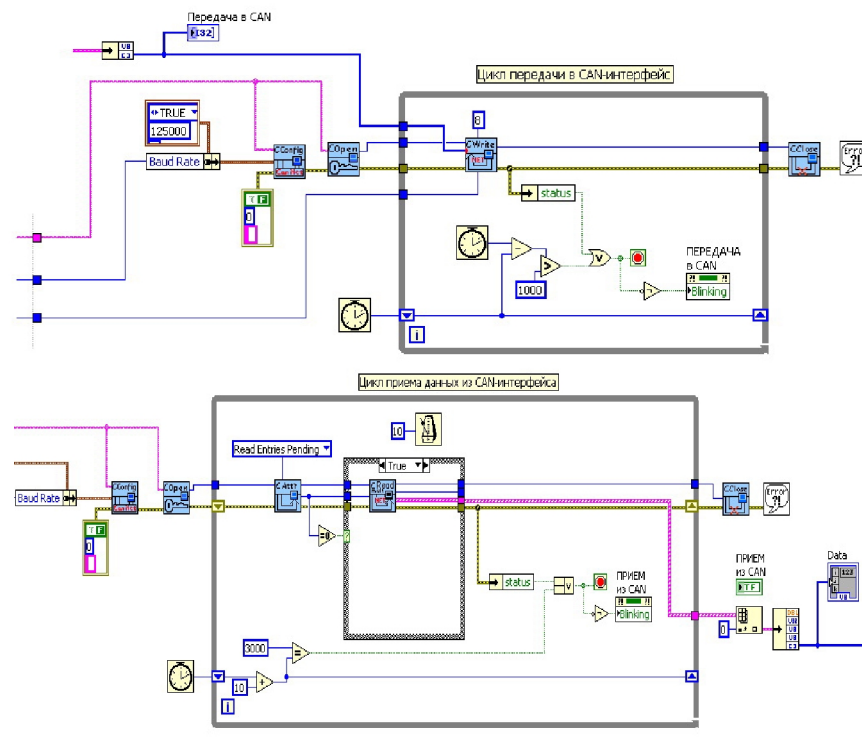


Рисунок 6.31 – Элементы передачи (верхний рисунок) и приема (нижний) данных в/из CAN- интерфейса

Имитация. Вкладка предназначена для создания сигналов, имитирующие сигналы объекта контроля. В данной вкладке расположена структура, которая воспроизводит сигналы в зависимости от типа кадра. Каждая из этих структур может сформировать один из сигналов (Отказ, исправность), задаваемых меню «Результат проверки».

Сравнение также является одной из ключевых команд в процессе работы виртуального прибора. На этой вкладке обработка получаемых сигналов производится так же в зависимости от типа кадра. После выбора соответствующей структуры производится первоначальная обработка сигнала. По полученным данным определяется состояние объекта (Исправное, Отказ), после чего производится выделение типа отказов, номера контактов, полученные номиналы. После выполнения этой вкладки, все полученные результаты переходят на вкладку «Отобразить».

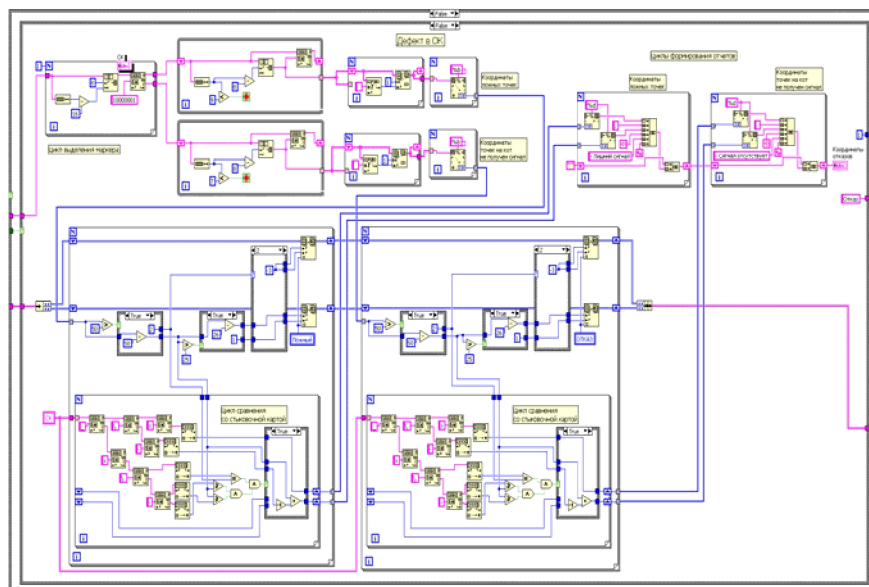


Рисунок 6.32 – Структура обработки полученных результатов

Команда «Пауза» осуществляет временную задержку при выполнении обработки кадра. Дополнительная структура в верхнем левом углу осуществляет автоматический переход к следующему кадру при условии, что выбран непрерывный способ выдачи информации и отсутствует ручная операция.

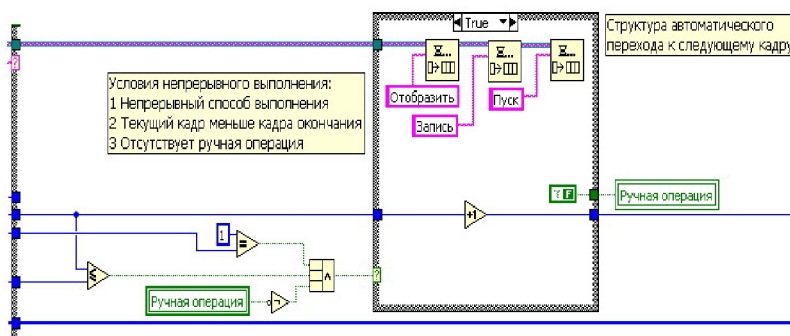


Рисунок 6.33 – Структура автоматического перехода к следующему кадру

На вкладках «Запись» и «Отчет» производится подготовка полученных результатов проверки к записи и непосредственное осуществление записи данных в файл, содержащий необходимую информацию.

6.4 Работа программы контроля в режиме «Имитация»

Как уже отмечалось ранее, режим имитация предназначен для ознакомления и демонстрации работы программы. Отличие от режима «Работа» состоит в том, что вместо реальных сигналов, получаемых при проверке объекта контроля, производится сравнение сигналов имитирующих реальные. Последовательность действий следующая:

1. После открытия виртуального прибора произведите его запуск и включение соответствующей кнопкой в верхнем левом углу.

2. Установите режим тест-контроля, продолжительность паузы минимальную. Нажмите кнопку Тест-контроль «Запуск». На поле имитации МКУ поочередно должны загораться номера контактов, подключаемых к шине +27В. Тест завершается при прохождении всех точек.

3. Установите режим имитации, продолжительность паузы минимальную, способ выдачи информации – покадрово.

4. В меню «Результат проверки» выберите один из трех предлагаемых вариантов.

5. Начать имитацию проверки, нажав кнопку вперед.

В зависимости от выбранного результата проверки, программа сформирует соответствующий сигнал, после чего произведет его обработку и отобразит полученные результаты. Если длительность паузы слишком маленькая, ее можно увеличить, выбрав соответственно среднюю или максимальную. Для повтора процесса проверки кадра нажмите кнопку «Повтор».

При обработке кадра с ручной операцией происходит переход программы в режим ожидания. Что бы продолжить проверку необходимо нажать кнопку, указанную в комментарии. Для лучшей визуализации, кнопку которую необходимо нажать, мигает. В кадрах с визуальным контролем лампы загораются только при исправном «Результате проверки».

6. Чтобы выполнить проверку непрерывно, выберите соответствующий способ выдачи информации.

ВНИМАНИЕ!!! При наличии в кадре ручной операции, программа переходит в режим ожидания до тех пор, пока не будет нажата соответствующая кнопка. Затем возобновляется выполнение программы, пока опять не наступит данное условие.

7. Сформировать отчет возможно на любом этапе проверки. Нажмите кнопку «Запись» и убедитесь, что программа создала соответствующий файл.

8. После завершения работы нажмите кнопку «Выкл». Остановите процесс выполнения виртуального прибора.

7 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОВЕРКИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ «МАСКА»

7.1 Технология работы с системой

Проверка системы подразделяется на три комплекса работ: подготовительные работы, проверка работоспособности системы, заключительные работы.

Подготовительные работы:

1. Внимательно изучите инструкции по технике безопасности и эксплуатации, убедитесь, что КТС системы «МАСКА» соединен правильно;
2. Включите источник питания АКПП-1104, убедитесь в наличие питания МКУ;
3. Нажатием кнопки «Тест» на лицевой панели МКУ запустите тест-контроль, к следующему пункту перейти только при успешном завершении тестирования;
4. Соединить объект контроля с МКУ и с авиационной тестирующей станцией;
5. Произведите запуск платформы PXI и протестируйте ее на наличие вирусов, включить монитор, источник питания APS, измеритель изоляции MI 2123 и авиационную тестирующую станциюMPS31C;
6. Активируйте на платформе программу LabVIEW и выберите из меню «Getting Started» файл «МАСК_СВС-72»;
7. После открытия лицевой панели программы запустите выполнение виртуального прибора, выберите режим работы «Тест», нажмите кнопку Тест-контроль «Запуск» и произведите повторное тестирование через компьютер, что бы убедиться в правильности прохождения сигналов;

Проверка работоспособности системы

Запустив программу LV и успешно выполнив тест-контроль, оператор должен выбрать объект контроля и установить: режим работы («РАБОТА» или «ИМИТАЦИЯ»), длительность паузы (максимальная, средняя, минимальная) и способ выдачи информации (покадрово или непрерывно). В зависимости от выбранного режима, проверка проходит по алгоритму, представленному на плакате А1 «Алгоритм проверки и лицевая панель виртуального прибора». Управление процессом проверки осуществляется кнопками управления на лицевой панели.

После окончания проверки оператор имеет возможность сохранить результаты проверки, нажав кнопку «ЗАПИСЬ». Происходит запись в файл формата «txt», содержащий информацию о дате и времени проверки, типе проверяемой системы и результаты проверки, разбитые по кадрам.

Заключительные работы

1. Остановить выполнение программы нажатием кнопки «СТОП»;
2. Выключите питание всех приборов;
3. Отсоедините объект контроля от МКУ и АТС;
4. Отключите питание платформы PXI.

7.2 Технология проверки системы СВС-72

Проверка системы СВС-72 состоит из двух этапов:

- 1 Проверка блока БВП-9 с помощью системы «МАСКА»
- 2 Функциональная проверка и снятие точностных характеристик указателя скорости и числа М УМС совместно с проверенным блоком БВП.

Технология проверки представлена в технологических картах (Приложение Г).

Список используемых источников

1. Анненков, Н.П. Приборы и навигационно-пилотажное оборудование самолетов Ту - 154Б. - М.: Транспорт, 1980. -168с.
2. Браславский Д.А. Приборы и датчики летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1970. - 392с.
3. Боднер В.А. Авиационные приборы. – М.: Машиностроение, 1969. - 468с.
4. Воробьев В.Г. Авиационные приборы, информационно-измерительные системы и комплексы: учеб. для вузов - М.: Транспорт, 1992. - 399с.
5. Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И. LabVIEW для радиоинженеров. – М.: ДМК Пресс, 2007. - 400с.
6. Прилепский В.А. Авиационные приборы и информационно-измерительные системы. Книга 1: Учеб. пособие. – Самара: Изд. Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. - 240с.
7. Система воздушных сигналов типа СВС1-72-1. Руководство по технической эксплуатации 6Х2.300.090 РЭ. 1976 год.
8. Суранов А. Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. – М.: ДМК Пресс, 2007. - 536 с.
9. Техническая документация. Руководство по технической эксплуатации топливной системы самолёта АН-124-100