

РГРТУ
КУРСОВАЯ РАБОТА
246-09.03.01
ИВАНОВ А.В.
2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Ф. УТКИНА"

Кафедра автоматизированных систем управления

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине

«Основы электроники»

на тему

«Разработка электронного устройства»

Пояснительная записка

КР – 090301 – 246 – 10 – 24

Выполнил: студент гр. 246

Иваков А.В.

Проверила: ст. пр. каф. АСУ

Витязева Т. А.

Рязань 2024

Введение

Измерение температуры представляет собой критически важный аспект для понимания динамики процессов, происходящих в окружающей среде. Оно обладает высокой практической значимостью, и точные приборы для измерения температуры являются неотъемлемой необходимостью. Для разработки таких приборов применяются разнообразные схемы, датчики и материалы.

В рамках данной курсовой работы осуществляется проектирование электронного устройства для измерения температуры, которое способно измерять температуру в диапазоне от -40°C до 180°C при работе в 5-канальном режиме. Для измерения температуры будет использоваться датчик типа Н. В процессе работы будут выполнены расчеты, разработаны структурные, принципиальные и функциональные схемы устройства.

Задание на курсовую работу

Содержание

Введение.....	3
Задание на курсовую работу	4
Структура и алгоритм проектируемого устройства.....	7
2 Расчёт и выбор необходимой элементной базы.....	10
2.1 Управляющая схема	10
2.1.1 Генератор импульсов.....	10
2.1.2 Делитель частоты.....	11
2.1.3 Делитель с переменным коэффициентом деления	12
2. ПИП + ИУ	12
2.2 Блок формирования измерительной информации (БФИИ)	12
2.2.1 Расчет тока питания первичный измерительных приборов	13
2.2.2 Расчет выходного сигнала ПИП	15
2.2.3 Расчет измерительного усилителя	16
2.3 Блок формирования выходного сигнала	17
2.3.1 Расчет нормирующего усилителя	17
3 Разработка структурной, функциональной и принципиальной схем	19
3.1 Разработка структурной схемы.....	19
3.2 Функциональные схемы блоков структурной схемы	21
3.2.1 Генератор импульсов.....	21
3.2.2 Делитель частоты.....	21
3.2.3 Делитель частоты с переменным коэффициентом деления	21
3.2.4 ДПКД, подключенный к буферным усилителям	22
3.2.5 Схема нормирующего усилителя.....	23
3.2.6 Функциональная схема	23
3.3 Разработка принципиальной схемы	25
4 Результаты моделирования	30
4.1.1 Генератор импульсов.....	30
4.1.2 Делители частоты.....	30
4.1.3 Делитель частоты с переменным коэффициентом деления	30
4.1.4 Мультиплексор + ДПКД	31
4.1.5 Мост Уитстона и измерительный усилитель	32
4.1.6 Нормирующий усилитель	32
4.1.7 Схема устройства.....	33
4.2 Проверка работы устройства	33
4.2.1 Результат работы делителей частоты и генератора импульсов	33

4.2.2 Результат работы ДПКД.....	36
4.2.3 Результаты работы моста Уитстона и измерительного усилителя	37
4.2.4 Общий результат работы устройства измерения температуры	39
Заключение.....	42
Список использованной литературы.....	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение А	43
Приложение Б.....	44
Приложение В.....	45
Приложение Г	46
Приложение Д	47
Приложение Е.....	48

Структура и алгоритм проектируемого устройства

Для данной работы необходимо провести проектирование и расчет параметров узлов системы измерения температуры с несколькими каналами. Обычно такие системы включают три основных блока: блок формирования измерительной информации (БФИИ), блок формирования выходного сигнала (БФВС) и управляющую схему.

На рисунке 1 представлена схема многоканальной измерительной системы с временным разделением каналов. Каждый канал измерения в блоке формирования измерительной информации (БФИИ) генерирует напряжение, соответствующее измеряемой температуре. Каждый канал содержит первичный измерительный прибор (ПИП), который преобразовывает температуру в напряжение, и измерительный усилитель (ИУ), который усиливает подверженное помехам напряжение, создаваемое измерительным устройством, и преобразует сформированное напряжение в необходимый для дальнейшей обработки вид.

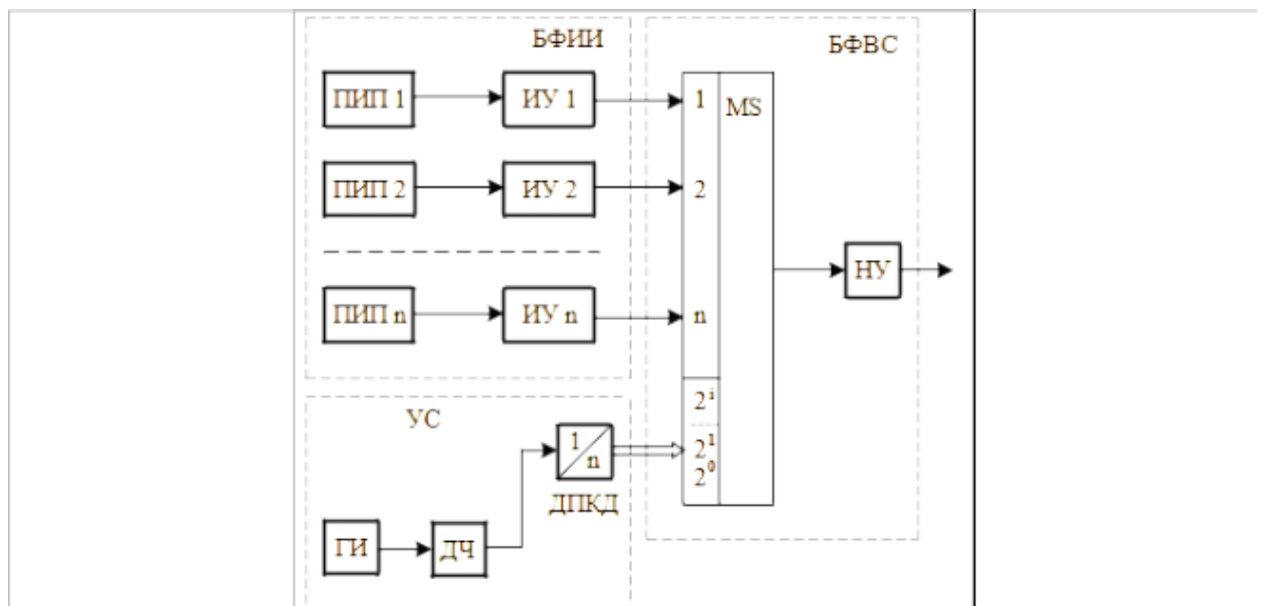


Рисунок 1 — Многоканальная измерительная система

В качестве измерительного устройства может быть использован мост Уитстона, представленный на рисунке 2.

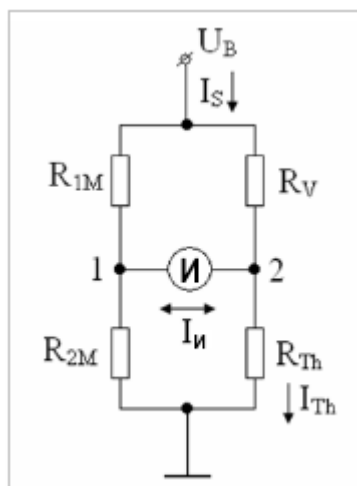


Рисунок 2 — Мост Уитстона

На рисунке 2 приняты следующие обозначения:

G - измерительный прибор,

R_m - сопротивление датчика температуры,

R - сопротивление уравнивающего резистора,

R_{1m} , R_{2m} - сопротивления резистивного делителя,

I_s - ток питания моста, I_t - ток, протекающий через датчик.

Так при нулевой температуре сопротивления всех резисторов одинаковое и напряжение между точками 1 и 2 равно нулю. При увеличении температуры сопротивление R_m увеличивается, что приводит к тому, что потенциал в точке 2 стремится к потенциалу в точке 3 и растёт, создавая разницу напряжения между точками 1 и 2.

Управляющая схема формирует опорную частоту при помощи генератора импульсов (ГИ), которая далее используется для формирования интервалов времени, в течение которых опрашивается каждый из каналов. Для этого используется делитель частоты (ДЧ). Импульсы, сформированные ДЧ, поступают на вход переменного делителя частоты (ДПКД), который преобразует импульсы в управляющие кодовые комбинации каналов.

Блок формирования выходного сигнала (БФВС) включает аналоговый мультиплексор (MS) и нормирующий усилитель (НУ). MS имеет n аналоговых входов и m цифровых входов управления, на которые поступают управляющие

кодовые комбинации, определяющие с какого аналогового входа пропустить сигнал. НУ ограничивает диапазон изменения выходного сигнала. Для более стабильной работы системы рекомендуется использовать генераторы импульсов с большей частотой генерации.

2 Расчёт и выбор необходимой элементной базы

2.1 Управляющая схема

2.1.1 Генератор импульсов

Исходные данные

Опорная частота $F_{оп}$	2,2 МГц
--------------------------	---------

Расчетная часть

На рисунке 3 представлена схема, которая позволяет создать опорное колебание с заданной частотой. Элементы DD1.1 – DD1.3 выбраны в качестве инверторов (схема К155ЛН1).

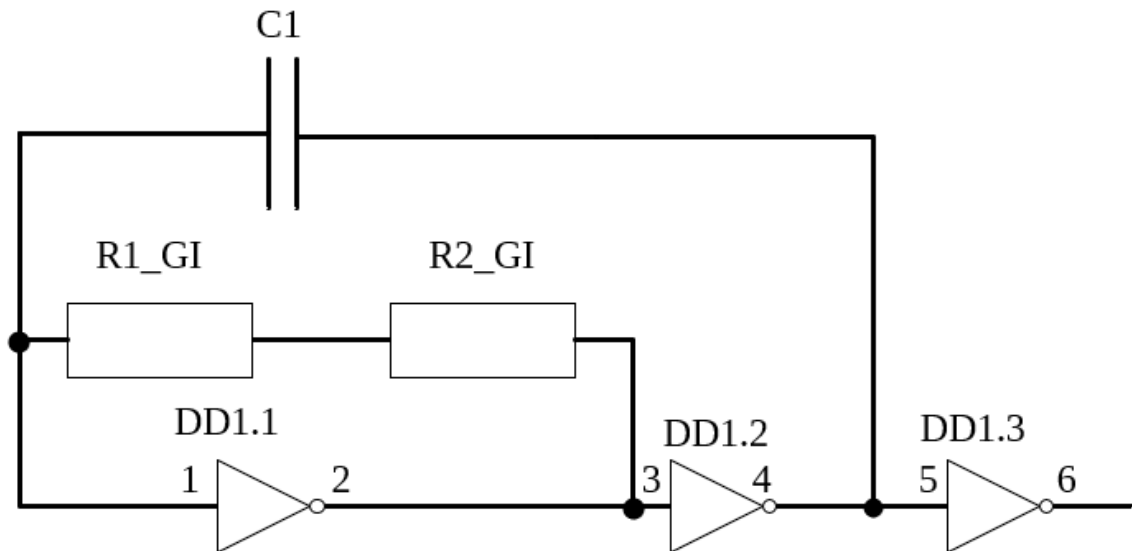


Рисунок 3 – Схема генераторов импульсов

Для безошибочного функционирования необходимо выполнение условия [1]:

$$R1_{GI} + R2_{GI} \in [180 \text{ Ом}; 470 \text{ Ом}]$$

Необходимо вычислить $R1_{GI}$ и $R2_{GI}$, определить точное значение опорной частоты и ее относительную погрешность на основании первоначальных данных. Формула для расчета опорной частоты, создаваемой данной схемой, следующей [2]:

$$F_{оп} = \frac{1}{3 * (R1_{GI} + R2_{GI} * C1)}$$

Примем:

$$R1_{GI} = 330 \text{ Ом}$$

$$R2_{GI} = 20 \text{ Ом}$$

Данные резисторы соединены последовательно, и общее их сопротивление составляет 350 Ом, тогда требуемая ёмкость конденсатора C1 равна:

$$C1 = \frac{1}{3 * (R1_{GI} + R2_{GI} * F_{оп})} = \frac{1}{3 * 350 * 2,2 * 10^6} = 432,9 \text{ пФ}$$

Значения 432,9 пФ нет в шкале номиналов конденсаторов, поэтому C1 будет заменено ближайшим меньшим значением из ряда E24 номиналов конденсаторов, что соответствует 430 пФ, чтобы уточненное значение $F_{оп}^*$ было не меньше заданного $F_{оп}$ (что в свою очередь обеспечивает выполнение условия теоремы В.А. Котельникова).

В таком случае уточнённое значение опорной частоты равно:

$$F_{оп} = \frac{1}{3 * 350 * 430 * 10^{-12}} \approx 2,2148 \text{ МГц} > 2,2 \text{ МГц}$$

Тогда относительная погрешность формирования опорной частоты равны:

$$\Delta F_{оп} = \frac{|F_{оп} - F_{оп}^*|}{F_{оп}} = \frac{|2,2 * 10^6 - 2,2148 * 10^6|}{2,2 * 10^6} \approx 0,67\% < 1\%$$

2.1.2 Делитель частоты

Исходные данные

Уточненное значение опорной частоты $F_{оп}^*$	2,2148 МГц
Частота опроса каналов F_d	70 Гц
Число каналов n	5

Расчетная часть

Частота $F_{вых}$ следования импульсов на выходе делителя рассчитывается следующим образом:

$$F_{вых} = n * F_d = 5 * 70 = 350 \text{ Гц}$$

Тогда коэффициент будет равен:

$$K_D = \frac{F_{\text{оп}}^*}{F_{\text{вых}}} = \frac{2,2148 \cdot 10^6}{350} = 6328$$

Уточненный коэффициент деления:

$$K_{\text{ДЕЛ}}^* = 6250 = 2 \cdot 5^5$$

$$F_{\text{вых}}^* = \frac{F_{\text{оп}}^*}{K_{\text{ДЕЛ}}^*} = \frac{2,2148 \cdot 10^6}{6250} = 354,4 \text{ Гц}$$

Такой делитель можно получить соединением 5 делителей с коэффициентами подсчета 10 и 5 (один с 10, четыре с 5) (рисунок 4). В качестве делителя на 10 и 5 может быть использована микросхема K155ИЕ2.

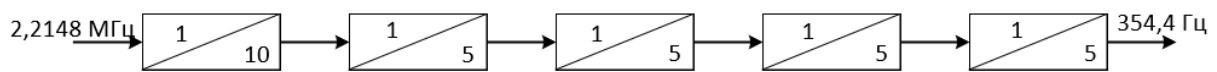


Рисунок 4 – Счетчики для получения частоты на 6250

2.1.3 Делитель с переменным коэффициентом деления

В качестве счетчика каналов, при $n = 5$, выберем микросхему K155ИЕ2.

2. ПИП + ИУ

2.2 Блок формирования измерительной информации (БФИИ)

Блок ПИП + ИУ представлен на рисунке 5.

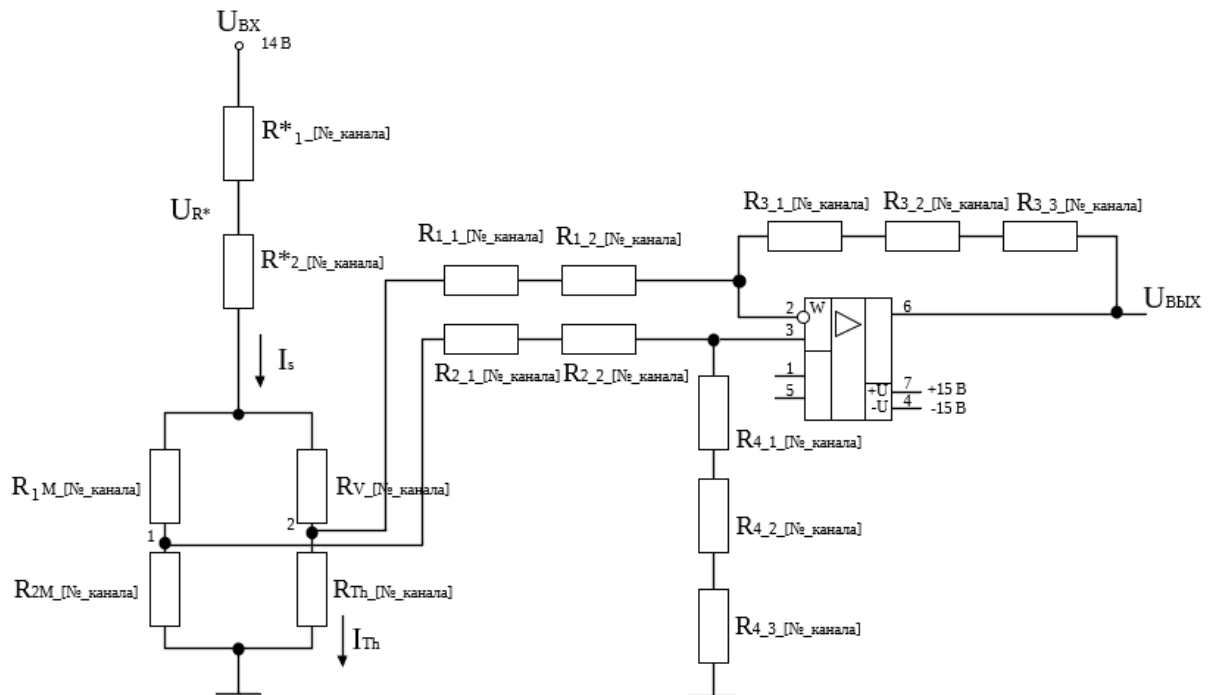


Рисунок 5 – ПИП + ИУ

2.2.1 Расчет тока питания первичный измерительных приборов

Исходные данные:

Номинальное сопротивление терморезистора	500 Ом
Коэффициент ЕК	3 мВт/°С
Напряжение источника питания моста Уитстона U_B	14 В

Расчетная часть

Резистор R_{Th} нагревается и при увеличении температуры, и когда по нему течёт ток. Это приводит к погрешности измерений температуры.

Погрешность измерения, обусловленная самонагревом датчика, зависит от мощности $P=UI=I^2R$, излучаемой термодатчиком при протекании через него измерительного тока, класса допуска ТС и постоянной ЕК, называемой коэффициентом самонагрева. Размерность коэффициента самонагрева ЕК – мВт/°С.

$$\Delta T = \frac{P}{EK} \quad (2)$$

где P – излучаемая измерительным сопротивлением мощность (в милливаттах).

$$P = I_{Th}^2 R_{Th} \quad (3)$$

I_{Th} – ток, протекающий через терморезистор.

Учитывая, что обусловленное самонагревом повышение температуры ΔT не должно превышать 0,2 допуска D , определенного для заданного класса допуска и диапазона измеряемых температур, используя уравнения (2), (3) можно составить формулу для оценки тока, который должен протекать через терморезистор, для начала рассчитаем коэффициент D :

Для этого воспользуемся таблицей характеристик термометров сопротивлений.

Таблица 1 – Характеристики термометров сопротивления

Класс допуска	Допуск D, °C	Диапазон измерений, °C			
		Платиновый		Медный	Никелевый
		проволочный	пленочный		
AA	$\pm(0,1 + 0,0017 t)$	от -50 до +250	от -50 до +250	—	—
A	$\pm(0,15 + 0,002 t)$	от -100 до +450	от -50 до +450	От -50 до +120	—
B	$\pm(0,3 + 0,005 t)$	От -196 до +660	От -50 до +600	От -50 до +200	—
C	$\pm(0,6 + 0,01 t)$	От -196 до +660	От -50 до +600	От -180 до +200	От -60 до +180

$$D = \pm 0,6 + 0,01 * 180^{\circ}\text{C} = 0,48$$

$$I_{Th} = \sqrt{\frac{\Delta T * EK}{R_{Th}}} = \sqrt{\frac{0,2 * D * EK}{R_{Th}}} = \sqrt{\frac{0,48 * 3 * 10^{-3} \text{ мВт/}^{\circ}\text{C}}{5000 \text{ Ом}}} \approx 0,001697 \text{ А} \approx 1,697 \text{ мА}$$

Так как ток I_s разветвляется на две составляющие, протекающие через равноценные по сопротивлению ветви моста, через токоограниченное сопротивление R^* должен протекать ток равный 3,394 мА. Зная I_s , можно рассчитать величину R^* .

Примем, что при сопротивлении термодатчика $R_{Th}=5000 \text{ Ом}$ и температуре 0°C все сопротивления моста $R_{1M}=R_{2M}=R_V=R_{Th}=5000 \text{ Ом}$.

Тогда эквивалентное сопротивление моста Уитстона получится следующим образом:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{500 + 500} + \frac{1}{500 + 500}} = 5000 \text{ Ом}$$

Тогда используя ранее полученные данные получим R^* :

$$R^* = \frac{U_s}{I_s} - R_{\text{ЭКВ.М}} = \frac{14 \text{ В}}{3,394 * 10^{-3} \text{ А}} - 5000 \text{ Ом} = 36240 \text{ Ом} = 3,624 \text{ кОм}$$

Рассчитанного значения R^* нет в шкале резисторов. Для того, чтобы генерируемое напряжение было, максимально точным, резистор R^* будет взят с точным значением, обеспечим точность с помощью 2-ух резисторов из ряда E24, один на 3600 Ом, другой на 24 Ом.

$$R^*_{1_[\text{номер_канала}]} = 3600 \text{ Ом}$$

$$R^*_{2_[\text{номер_канала}]} = 24 \text{ Ом}$$

2.2.2 Расчет выходного сигнала ПИП

Номинальное сопротивление терморезистора	500 Ом
Диапазон измеряемых температур	$T_{\max} = +180^\circ\text{C}$ $T_{\min} = -40^\circ\text{C}$
Ток I_S	3,394мА

Расчетная часть

Изменение электрического сопротивления датчика описывается следующей формулой в зависимости от температурного диапазона:

Для диапазона измерений от минус 60°C до плюс 100°C :

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2).$$

Для диапазона измерений от 100°C до 180°C :

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100^\circ\text{C})^2].$$

где значения постоянных следующие:

$$A = 5,4963 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1};$$

$$B = 6,7556 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-2};$$

$$C = 9,2004 \cdot 10^{-9} \text{ }^\circ\text{C}^{-3};$$

R_0 – сопротивление датчика при температуре $T_0 = 0^\circ\text{C}$ (или 273К).

Используя представленные формулы рассчитаем максимальное сопротивление датчика при $T_{\max} = +180^\circ\text{C}$:

$$R_{+t} = 500 \text{ Ом} * [1 + 180 * 5,4963 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} + 180^2 * 6,7556 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-2} + 9,2004 \cdot 10^{-9} * (180^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C})^2] = 1116.0314 \text{ Ом} = 1,116 \text{ кОм}$$

При $T_{\min} = -40^\circ\text{C}$:

$$R_{-t} = 500 \text{ Ом} * (1 + (-40 * 5,4963 \cdot 10^{-3}) + 6,7556 \cdot 10^{-6} * (-40)^2) = 395,4785 \text{ Ом}$$

Изменение температуры приведет к разбалансу моста, это означает, что между точками 1 и 2 возникнет разность потенциалов (рисунок 5):

$$U_M = (U_B - U_{R^*}) * \left(\frac{R_{1M}}{R_{1M} + R_{2M}} - \frac{R_V}{R_V + R_{Th}} \right), \text{ где}$$

$$U_{R^*} = I_S * R^* = 3,394 * 10^{-3} \text{ А} * 3624 \text{ Ом} \approx 12.2999 \text{ В}$$

Для -40°C :

$$U_{-M} = (14V - 12,2999V) * \left(\frac{5000\Omega}{5000\Omega + 5000\Omega} - \frac{5000\Omega}{5000\Omega + 395,47850\Omega} \right) = -99,22mV$$

Для +180°C:

$$U_{+M} = (14V - 12,2999V) * \left(\frac{5000\Omega}{5000\Omega + 5000\Omega} - \frac{5000\Omega}{5000\Omega + 1,116 * 10^3 \Omega} \right) = 324,03mV$$

Тогда:

$$\pm U_{21} = |-99,22mV| + |324,03mV| = 423,25mV$$

2.2.3 Расчет измерительного усилителя

Пусть для опроса канала используется 8-канальный мультиплексор КР590КН1. Рассчитаем параметр $|U_{ВЫХ}|$, тогда для этого рассчитаем нижнюю границу: $-40^\circ C * 55mV/^\circ C = -2,2V$, верхняя граница $9,9V$

$$|U_{ВЫХ}| = |-2,2 - 9,9| = 12,1V$$

Найдем общий коэффициент усиления:

$$K_{УС Об} = \frac{|U_{ВЫХ}|}{\pm U_{21}} = \frac{12,1}{423,25 * 10^{-3}} \approx 28,59$$

Разделим данный коэффициент на два коэффициента:

$$K_{УС Об} = K_{ИУ} * K_{НУ}$$

Где:

$K_{ИУ}$ — коэффициент усиления измерительного усилителя;

$K_{НУ}$ — коэффициент усиления нормирующего усилителя;

Возьмём $K_{ИУ} = -5,35$, тогда $K_{НУ} = -5,34$

$$R_{1_номер_канала} = R_{2_номер_канала} = R_t * 100 = 500\Omega * 100 = 50k\Omega$$

Так как в шкале резисторов нет данного сопротивления, возьмем два резистора на $47k\Omega$ и $3k\Omega$.

Сопротивления $R_{3_1_номер_канала}$, $R_{3_2_номер_канала}$, $R_{3_3_номер_канала}$, $R_{4_1_номер_канала}$, $R_{4_2_номер_канала}$, $R_{4_3_номер_канала}$ зависят от требуемого коэффициента усиленного и равны:

$$R_{3_1_номер_канала} + R_{3_2_номер_канала} + R_{3_3_номер_канала} = R_{4_1_номер_канала} + R_{4_2_номер_канала} + R_{4_3_номер_канала} = |K_{ИУ}| * R_{1_номер_канала} = 5,35 * 50000 = 267,5k\Omega.$$

Так как в шкале резисторов нет сопротивления в $267,5k\Omega$, то тогда

$$R_{3_1_номер_канала} = R_{4_1_номер_канала} = 240k\Omega$$

$$R_{3_2_[\text{номер_канала}]} = R_{4_2_[\text{номер_канала}]} = 20 \text{ кОм}$$

$$R_{3_3_[\text{номер_канала}]} = R_{4_3_[\text{номер_канала}]} = 7,5 \text{ кОм}$$

2.3 Блок формирования выходного сигнала

2.3.1 Расчет нормирующего усилителя

Блок формирования выходного сигнала включает аналоговый мультиплексор и нормирующий усилитель, которые коммутируют один из входных каналов на один выходной канал по коду, поданному на адресные входы мультиплексора. Для более стабильной работы системы рекомендуется использовать генераторы импульсов с большей частотой генерации. В роли мультиплексора используется схема КР590КН1 с диапазоном коммутируемых ею напряжений $\pm 5\text{В}$ (рисунок 6).

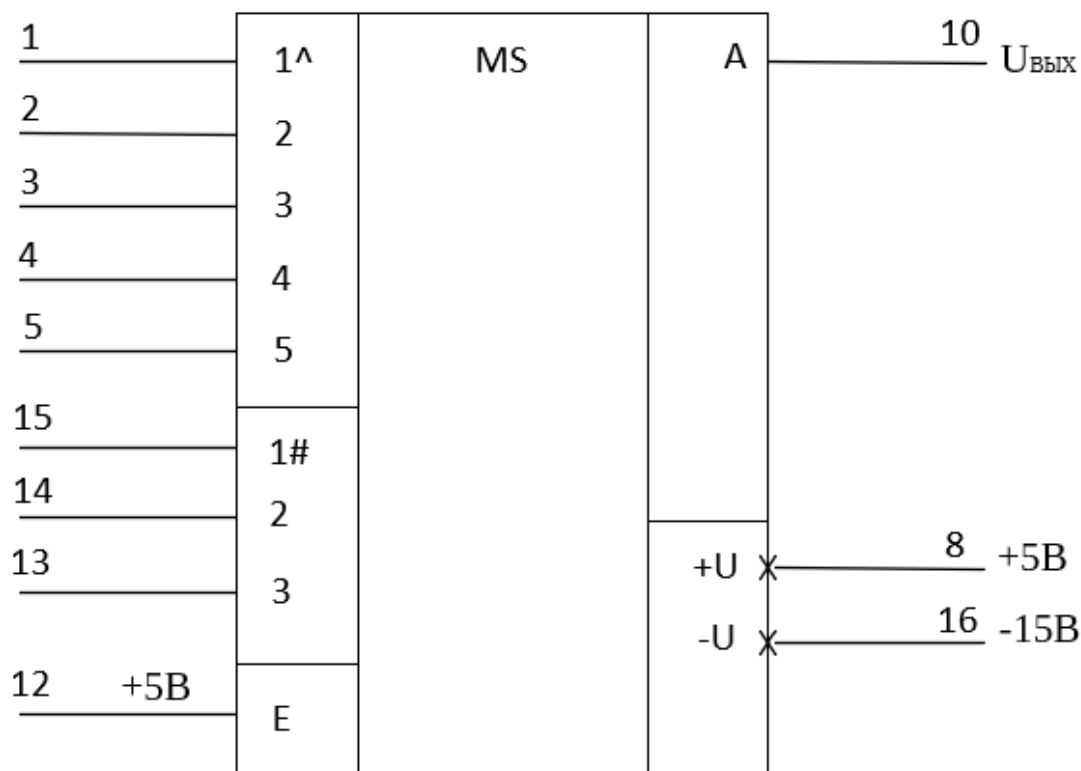


Рисунок 6 – Мультиплексор КР590КН1

Исходные данные:

$K_{иу}$	5,35
----------	------

Расчетная часть:

Нормирующий усилитель следует рассматривать в виде схемы инвертирующего включения операционного усилителя (рисунок 7), так как напряжения, выходящее с БФИИ, является инвертированным.

$$K_{н\text{у}} = \frac{R_{2н\text{у}1} + R_{2н\text{у}2} + R_{2н\text{у}3}}{R_{1н\text{у}}} = 5,34$$

Возьмем $R_{1н\text{у}} = 10 \text{ кОм}$, тогда $R_{2н\text{у}} = R_{1н\text{у}} * K_{иу} = 5,34 * 10 \text{ кОм} = 53,4 \text{ кОм}$.

Так как данного сопротивления нет в ряде E24, возьмем три резистора сопротивлениями 51 кОм, 1,5 кОм и 1кОм соответственно ($R_{2н\text{у}1}$, $R_{2н\text{у}2}$ и $R_{2н\text{у}3}$).

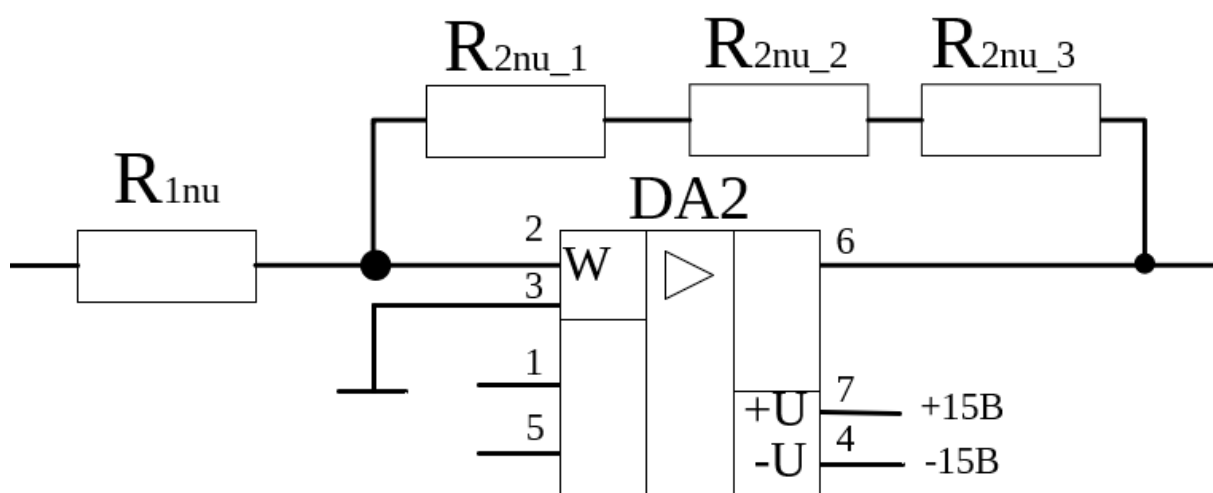


Рисунок 7 – Нормирующий усилитель

3 Разработка структурной, функциональной и принципиальной схем

3.1 Разработка структурной схемы

Общий вид структурной схемы измерительного устройства представлена на рисунке 8:

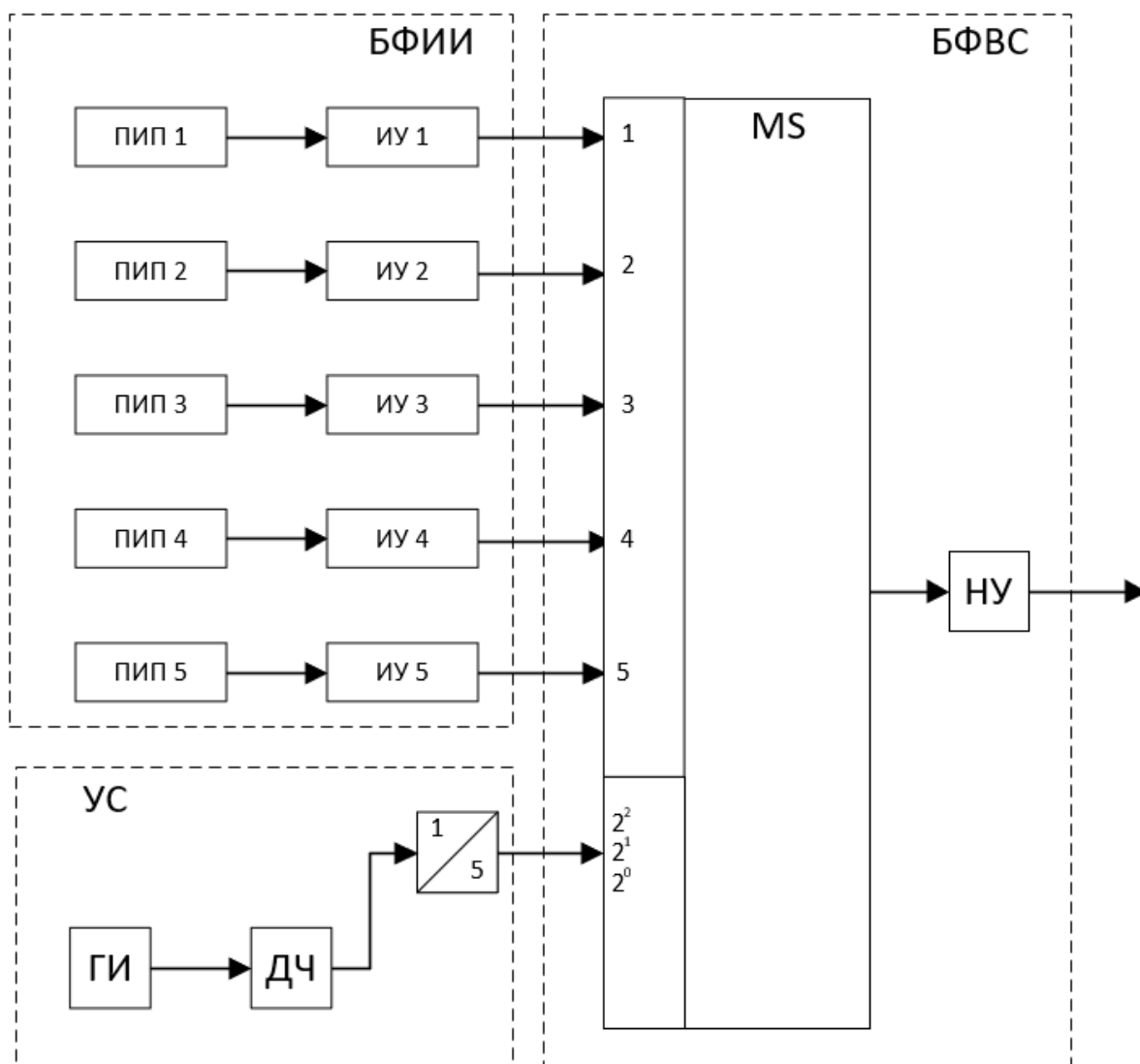


Рисунок 8 – Общий вид структурной схемы

Обозначения на схеме:

- БФИИ - блок формирования измерительной информации

Блок формирования измерительной информации (БФИИ) состоит из нескольких измерительных каналов, каждый из которых содержит первичный измерительный прибор (ПИП), осуществляющий формирование сигнала в форме напряжения, соответствующего значению параметра

измеряемой физической величины (в конкретном случае, соответствующего значению измеряемой температуры), и измерительный усилитель (ИУ), позволяющий представить сформированное напряжение в виде, необходимом для дальнейшей обработки. Число каналов БФВИ в данном случае принимается равным 5.

- БФВС - блок формирования выходного сигнала

Блок формирования выходного сигнала (БФВС) включает аналоговый мультиплексор (MS), имеющий 5 аналоговых входов и 8 цифровых входов управления, и нормирующий усилитель (НУ), позволяющий ограничить диапазон изменения выходного сигнала

- УС - управляющая схема.

Управляющая схема (УС) обеспечивает формирование опорной частоты с помощью генератора импульсов (ГИ), из которой посредством делителя частоты (ДЧ) формируются интервалы времени, в течение которых опрашиваются каждый из каналов измерительной системы. Время опроса определяется периодом колебания, сформированного на выходе ДЧ. Делитель частоты необходим в случае, когда требуемое значение времени опроса нельзя сформировать непосредственно с помощью ГИ. Как правило, генераторы импульсов с большей частотой генерации реализовать существенно проще, нежели генераторы с низкой частотой генерации импульсов. Кроме того, они обеспечивают более стабильную работу, чем низкочастотные генераторы. Импульсы, сформированные ДЧ, поступают на вход делителя частоты с переменным коэффициентом деления (ДПКД).

3.2 Функциональные схемы блоков структурной схемы

3.2.1 Генератор импульсов

Резисторы R1_GI и R2_GI обеспечивают задание рабочей точки первого каскада генератора (усилителя на логическом элементе DD1.1). В качестве элемента DD1 выбрана схема К155ЛН1 (рисунок 9).

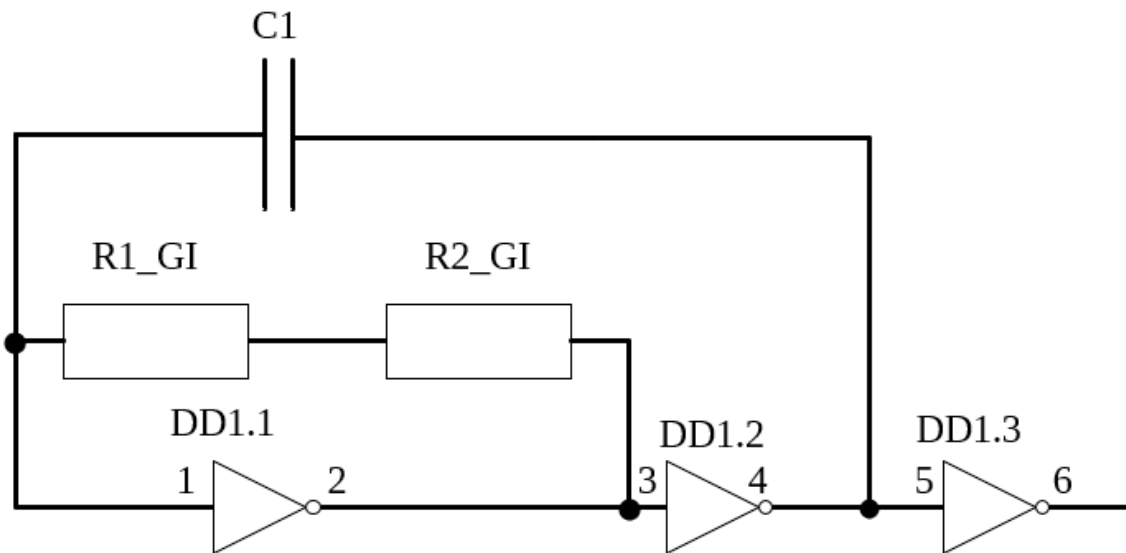


Рисунок 9 – Генератор импульсов

3.2.2 Делитель частоты

Для того, чтобы получить на выходе частоту 354,4Гц из 2,2148МГц требуется соединить один делитель с коэффициентом пересчёта 10, а остальные (их 4) с коэффициентом пересчета 5. В качестве делителя на 10 может быть использована микросхема К155ИЕ2 (рисунок 10).

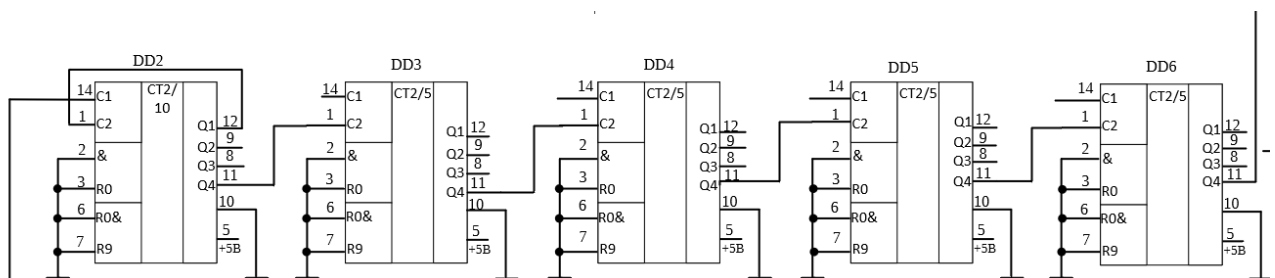


Рисунок 10 – Делитель частоты

3.2.3 Делитель частоты с переменным коэффициентом деления

Для $n = 5$ в качестве счетчика выберем микросхему К155ИЕ2 (рисунок 11), так как она считает до $10 = 2 * 5$.

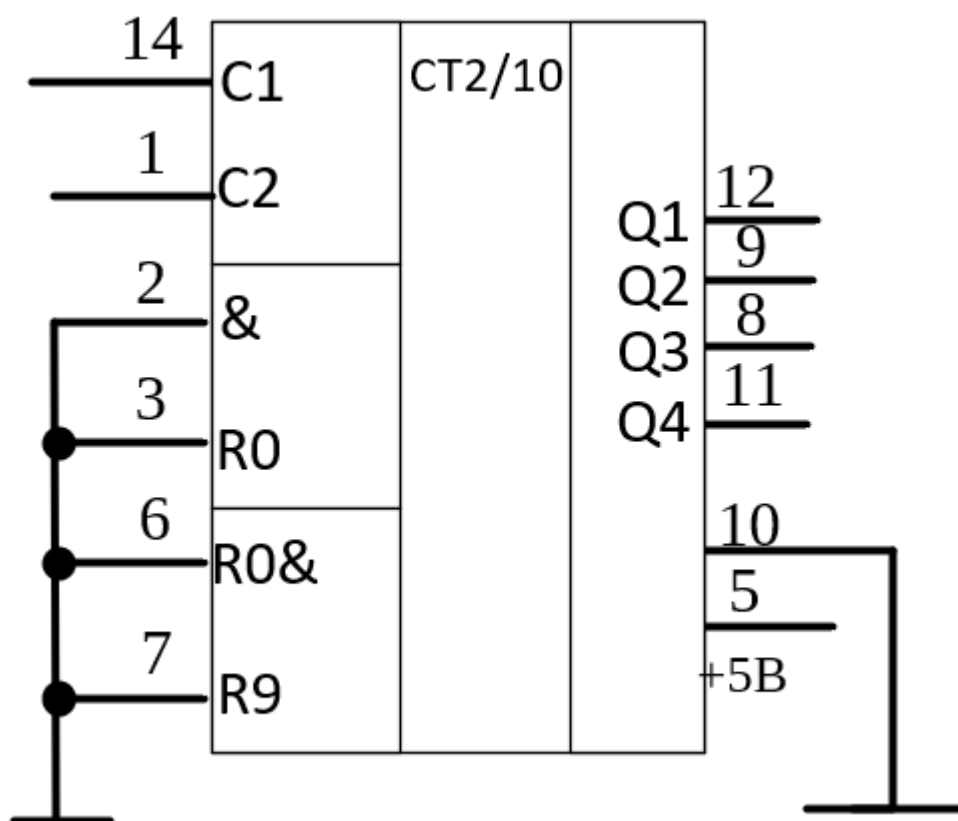


Рисунок 11 – ДПКД

3.2.4 ДПКД, подключенный к буферным усилителям

Сигналы с выходом ДПКД необходимо подключить к входам буферных усилителей (микросхема К155ЛН4), выходы которых, в свою очередь необходимо подключить через три резистора с сопротивлением 1 кОм к источникам питания +5 В (рисунок 12).

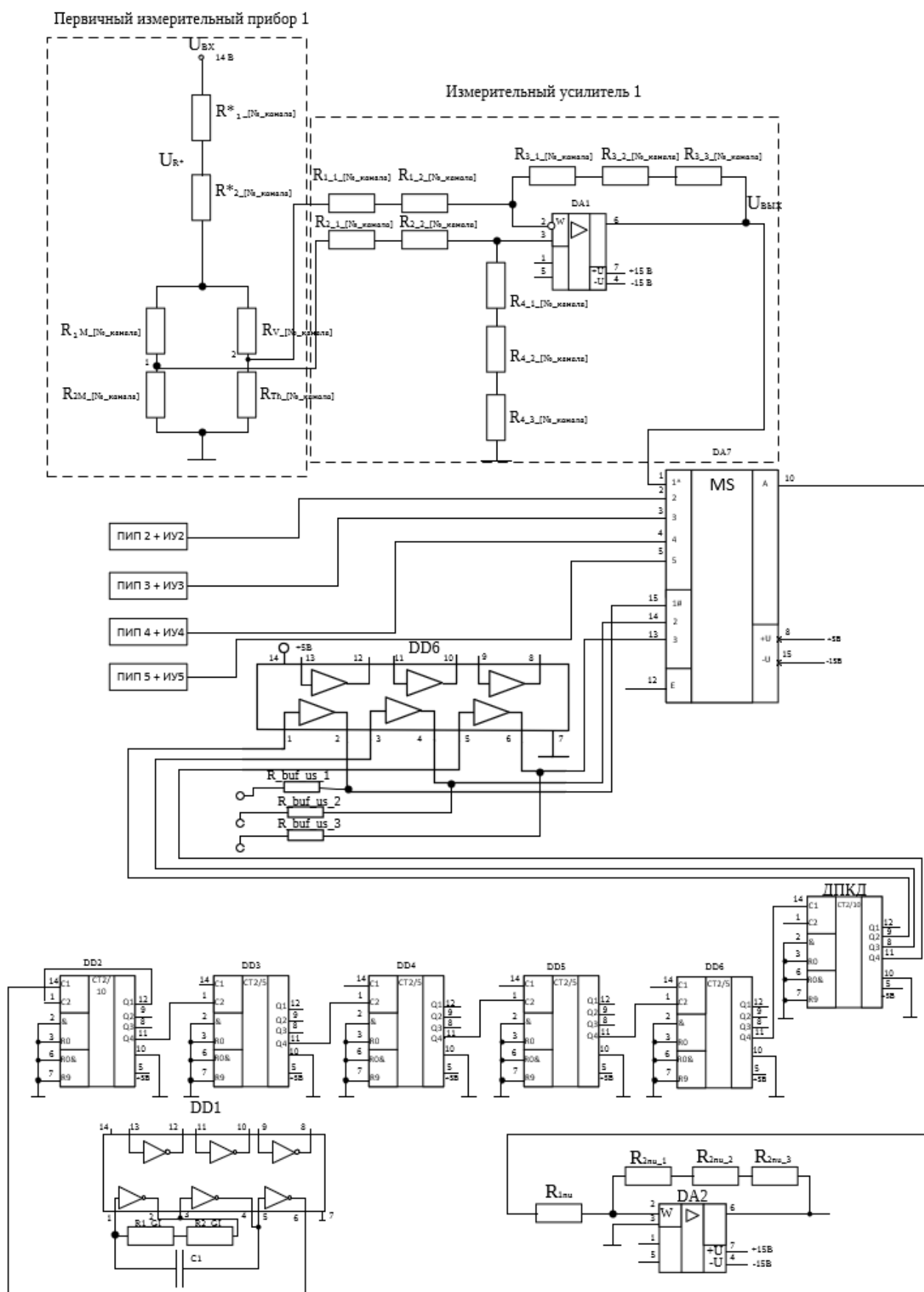


Рисунок 14 – Функциональная схема

3.3 Разработка принципиальной схемы

Принципиальная схема получившегося устройства представлена на рисунке 15. Эта же схема в формате А3 представлена в приложении А. Перечень необходимых устройств приведен в таблице 2.

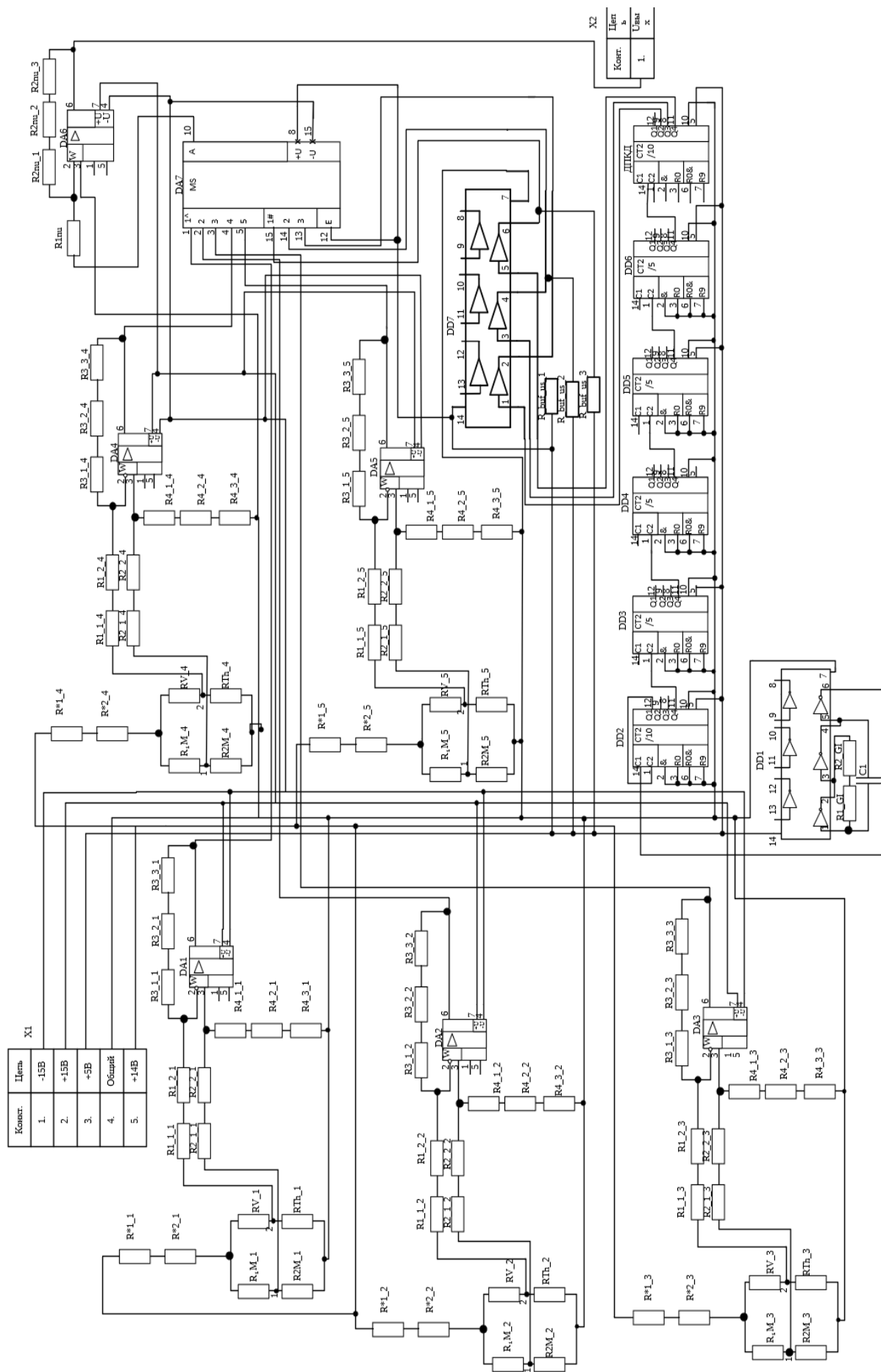


Рисунок 15 – Принципиальная схема

Рассчитаем мощности резисторов по формуле: $P = I^2 R$

$$P_{R^*1_1}, P_{R^*1_2}, P_{R^*1_3}, P_{R^*1_4}, P_{R^*1_5} = (3,394 * 10^{-3})^2 A * 3600 \text{ Ом} = 0,0415 \text{ Вт}$$

$$P_{R^*2_1}, P_{R^*2_2}, P_{R^*2_3}, P_{R^*2_4}, P_{R^*2_5} = (3,394 * 10^{-3})^2 A * 24 \text{ Ом} = 0,0003 \text{ Вт}$$

$$P_{R1M_1}, P_{R2M_1}, P_{RV_1}, P_{RTh_1}, P_{R1M_2}, P_{R2M_2}, P_{RV_2}, P_{RTh_2}, P_{R1M_3}, P_{R2M_3}, P_{RV_3}, \\ P_{RTh_3}, P_{R1M_4}, P_{R2M_4}, P_{RV_4}, P_{RTh_4}, P_{R1M_5}, P_{R2M_5}, P_{RV_5}, P_{RTh_5} = (1,697 * 10^{-3})^2 A * 500 \\ \text{Ом} = 0,0014 \text{ Вт}$$

$$P_{R1_1_1}, P_{R2_1_1}, P_{R1_1_2}, P_{R2_1_2}, P_{R1_1_3}, P_{R2_1_3}, P_{R1_1_4}, P_{R2_1_4}, P_{R1_1_5}, P_{R2_1_5}, = \\ (1,697 * 10^{-3})^2 A * 47000 \text{ Ом} = 0,1354 \text{ Вт}$$

$$P_{R2_2_1}, P_{R1_2_2}, P_{R2_2_2}, P_{R1_2_3}, P_{R2_2_3}, P_{R1_2_4}, P_{R2_2_4}, P_{R1_2_5}, P_{R2_2_5} = (1,697 * \\ 10^{-3})^2 A * 3000 \text{ Ом} = 0,0086 \text{ Вт}$$

$$P_{R1_1_1}, P_{R4_1_1}, P_{R1_1_2}, P_{R4_1_2}, P_{R1_1_3}, P_{R4_1_3}, P_{R1_1_4}, P_{R4_1_4}, P_{R1_1_5}, P_{R4_1_5} = \\ (0,8485 * 10^{-3})^2 A * 390000 \text{ Ом} = 0,2808 \text{ Вт}$$

$$P_{R1_2_1}, P_{R4_2_1}, P_{R1_2_2}, P_{R4_2_2}, P_{R1_2_3}, P_{R4_2_3}, P_{R1_2_4}, P_{R4_2_4}, P_{R1_2_5}, P_{R4_2_5} = \\ (0,8485 * 10^{-3})^2 A * 20000 \text{ Ом} = 0,0144 \text{ Вт}$$

$$P_{R1_3_1}, P_{R4_3_1}, P_{R1_3_2}, P_{R4_3_2}, P_{R1_3_3}, P_{R4_3_3}, P_{R1_3_4}, P_{R4_3_4}, P_{R1_3_5}, P_{R4_3_5} = \\ (0,8485 * 10^{-3})^2 A * 7500 \text{ Ом} = 0,0054 \text{ Вт}$$

$$P_{R1_{nu}}, P_{R2_{nu_1}}, P_{R2_{nu_2}}, P_{R1_{GI}}, P_{R2_{GI}} = 0,125 \text{ Вт}$$

Таблица 2 – Перечень необходимых устройств

Поз. обозна чение	Наименование	Ко л.	Примечание
Конденсаторы			
C ₁	K10-17Б-М47-430 пФ ОЖ0.460.172ТУ	1	
Микросхемы аналоговые			
DA1..D A6	KP140УД6 бК0.348.095-03ТУ/02	6	Аналог: “ТТ” ТТ NE5532 Datasheet (Приложение Б)
DA7	K590KH1 бК0.348.209-02ТУ	1	Аналог: ADG408 “Analog Devices”, ТТ ADG408 Datasheet (Приложение Б)
Микросхемы цифровые			
DD1	K155ЛH1 бК0.348.006-13ТУ	1	
DD2..D D6	K155ИЕ2 бК0.348.006-04ТУ	6	
DD7	K155ЛH4 бКО.348.006-17ТУ	1	
Резисторы			
R _{1_1_1..R1_1_5} , R _{2_1_1..R2_1_5}	C1-4-1-47 кОм ± 5% ГОСТ 24238	10	
R _{1_2_1..R1_2_5} , R _{2_2_1..R2_2_5}	C1-4-1-3 кОм ± 5% ГОСТ 24238	10	
R _{3_1_1..R3_1_5} , R _{4_1_1..R4_1_5}	C1-4-1-240 кОм ± 5% ГОСТ 24238	10	
R _{3_2_1..R3_2_5} , R _{4_2_1..R4_2_5}	C1-4-1-20 кОм ± 5% ГОСТ 24238	10	
R _{3_3_1..R3_3_5} , R _{4_3_1..R4_3_5}	C1-4-1-7.5 кОм ± 5% ГОСТ 24238	10	

R _{4_3_1..} R _{4_3_5}			
R _{1_GI}	C1-4-1-330 Ом ± 5% ГОСТ 24238	1	
R _{2_GI}	C1-4-1-20 Ом ± 5% ГОСТ 24238	1	
R _{1_nu}	C1-4-1-10 кОм ± 5% ГОСТ 24238	1	
R _{2_1_nu}	C1-4-1-1.5 кОм ± 5% ГОСТ 24238	1	
R _{2_2_nu}	C1-4-1-1 кОм ± 5% ГОСТ 24238	1	
R _{1M_1..R1} M ₅ , R _{2M_1..} R _{2M_5} , R _{V_1..RV_} 2,	C1-4-1-500 Ом ± 5% ГОСТ 24238	15	
R _{buf_u} s ₁ , R _{buf_u} s ₂ , R _{buf_u} s ₃ ,	C1-4-1-1 кОм ± 5% ГОСТ 24238	3	
R _{Th_1..RTh} _5	Терморезистор из никеля, 500 Ом	5	
R* _{1_1...} R* _{1_5}	C1-4-1-3,6 кОм ± 5% ГОСТ 24238	4	
R* _{2_1...} R* _{2_5}	C1-4-1-24 Ом ± 5% ГОСТ 24238	4	
Розетки			
X1, X2	MA522-500M2 “DECA SwitchLab”	2	

4 Результаты моделирования

Моделирование производилось с помощью программы Micro-Cap, с результатами моделирования отдельных элементов и общей схемы, можно ознакомиться в следующих пунктах.

4.1.1 Генератор импульсов

Генератор импульсов представлен на рисунке 16.

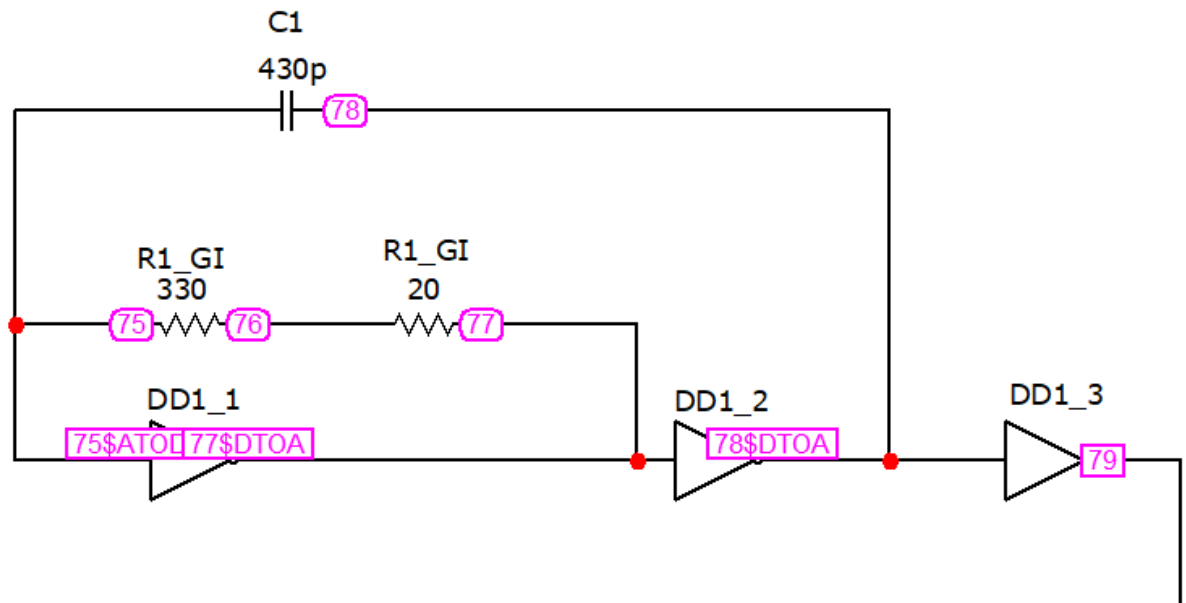


Рисунок 16 – Генератор импульсов

4.1.2 Делители частоты

Делители частоты представлены на рисунке 17.

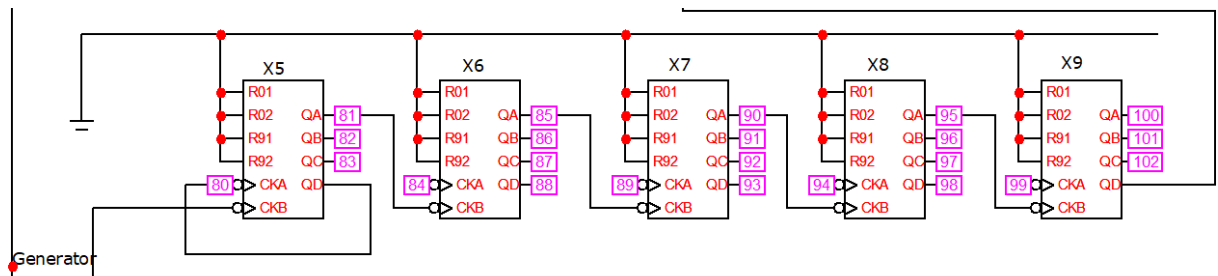


Рисунок 17 – Делители частоты

4.1.3 Делитель частоты с переменным коэффициентом деления

ДПКД представлен на рисунке 18.

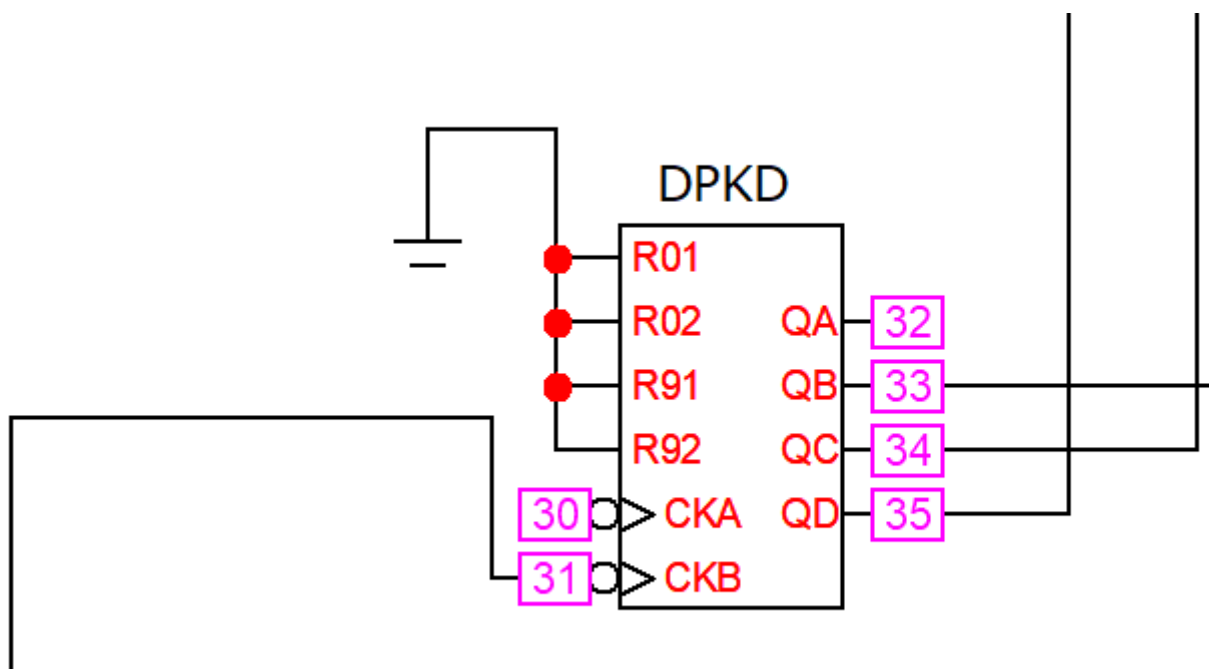


Рисунок 18 – ДПКД

4.1.4 Мультиплексор + ДПКД

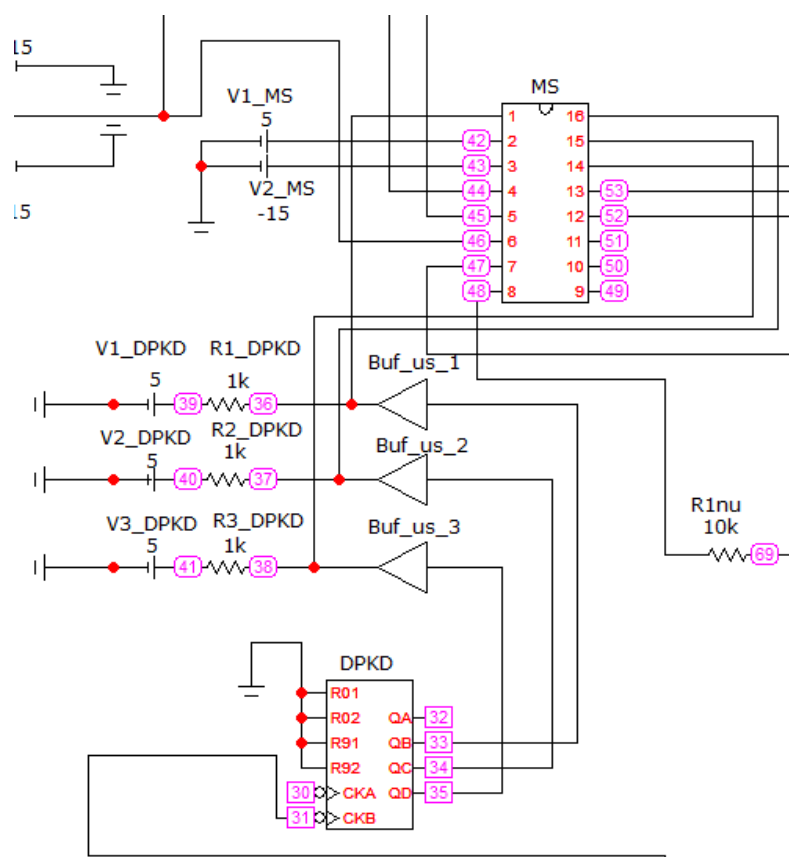


Рисунок 19 – Мультиплексор + ДПКД

4.1.5 Мост Уитстона и измерительный усилитель

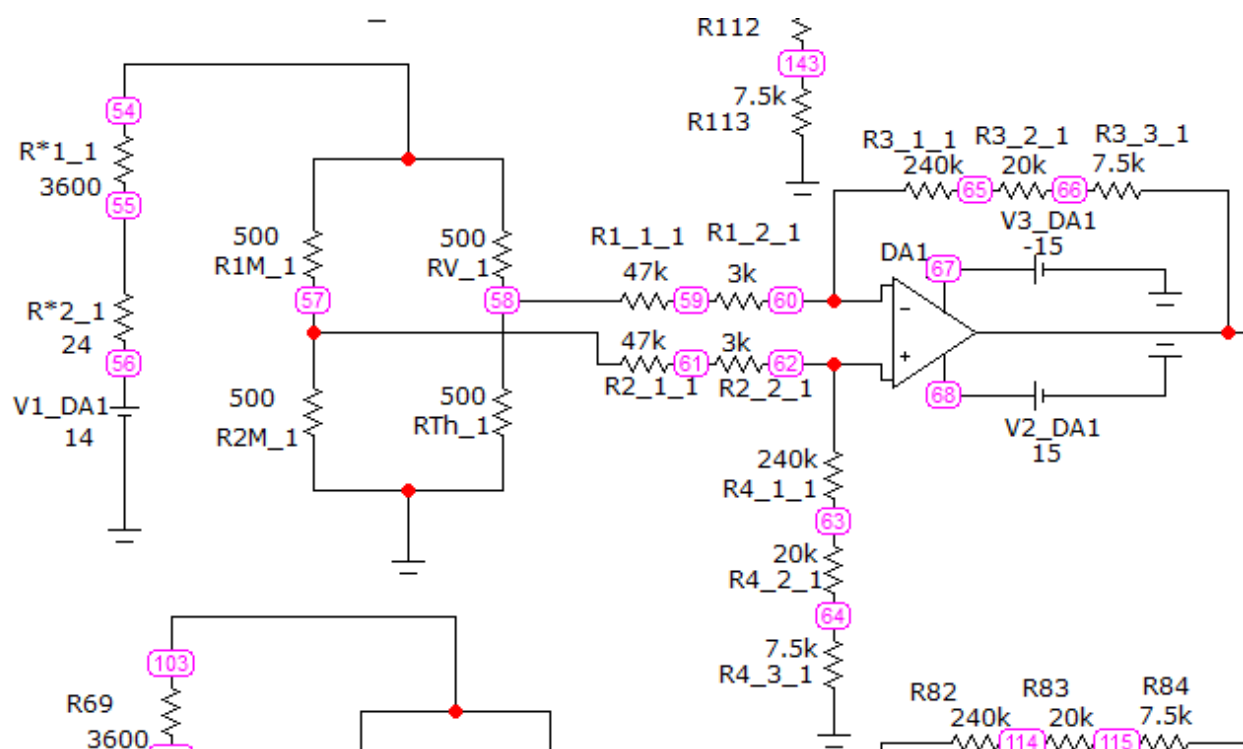


Рисунок 20 – Мост Уитстона и измерительный усилитель

4.1.6 Нормирующий усилитель

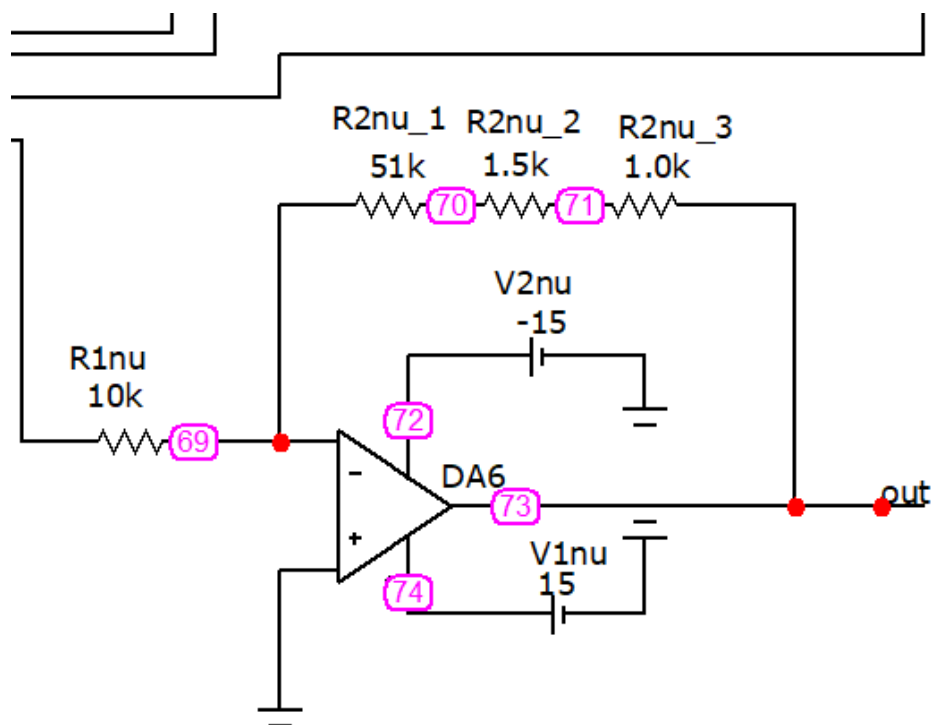


Рисунок 21 – Нормирующий усилитель

4.1.7 Схема устройства

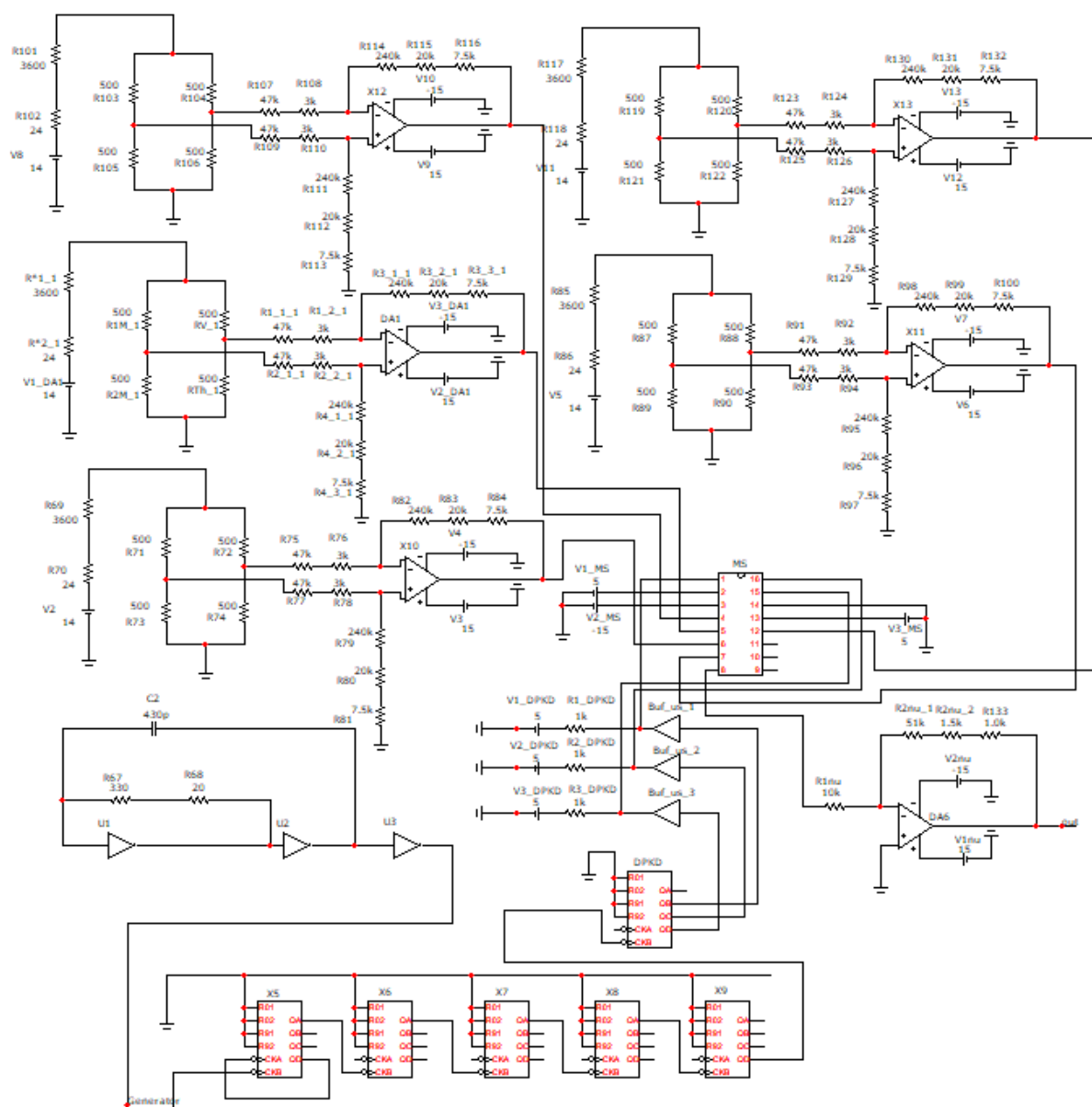


Рисунок 22 – Схема устройства

4.2 Проверка работы устройства

4.2.1 Результат работы делителей частоты и генератора импульсов

Генератор импульсов имеет общее сопротивление резисторов R_{1_GI} и R_{2_GI} 350 Ом (т.к. соединены последовательно 330 + 20) и емкость конденсатора C1 430 пФ. При данных параметрах генератор импульсов, который представлен на рисунке 16 должен выдавать импульсы частотой 2,2148МГц. На рисунке 23

представлены номера выходов делителей частоты, для того чтобы удостовериться в правильности работы данных делителей.

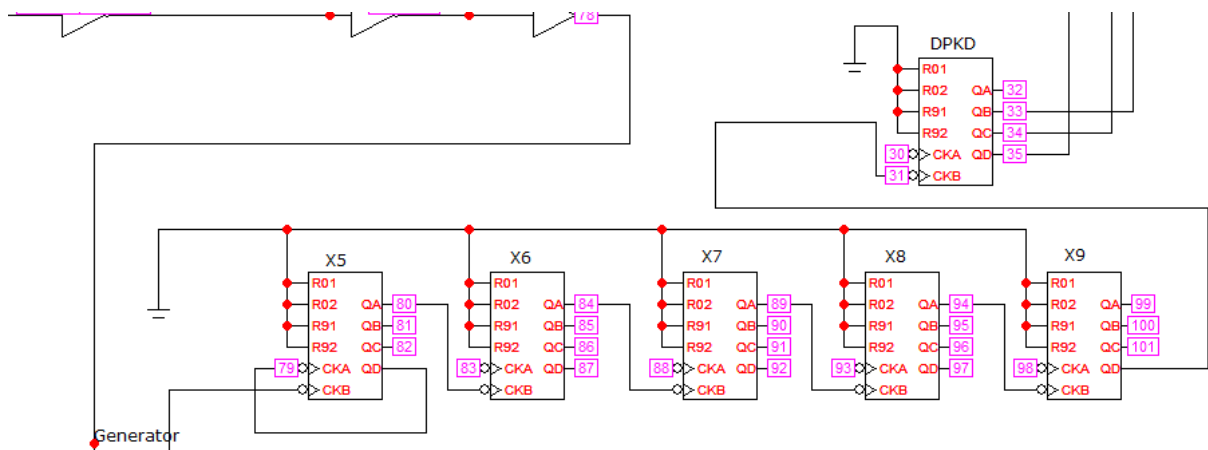


Рисунок 23 – Схема делителей с обозначением выходов

На рисунке 24 представлен график частоты, выходящей с генератора.



Рисунок 24 – Результат работы генератора импульсов

На рисунке 24 период колебания T равен 452 нс. Тогда можно рассчитать значение частоты по формуле:

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{452 * 10^{-9}} = 2,212 \text{ МГц}$$

Это говорит о том, что генератор импульсов работает корректно. Затем проверим работу делителей частоты. Всего делителей пять, один на 10 и четыре на 5. На рисунке 25 представлен график частоты, выходящей с первого делителя на 10.



Рисунок 26 – Результат работы первого делителя частоты

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{4,52 * 10^{-6}} = 221 \text{ 239 Гц}$$

Далее рассчитаем и проверим работу оставшихся делителей частоты, результаты представлены на рисунках 26-29.



Рисунок 26 – Результат работы второго делителя частоты

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{22,58 * 10^{-6}} = 44\,287 \text{ Гц}$$



Рисунок 27 – Результат работы третьего делителя частоты

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{112,9 * 10^{-6}} = 8\,857 \text{ Гц}$$



Рисунок 28 – Результат работы четвёртого делителя частоты

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{564,52 * 10^{-6}} = 1\,771 \text{ Гц}$$

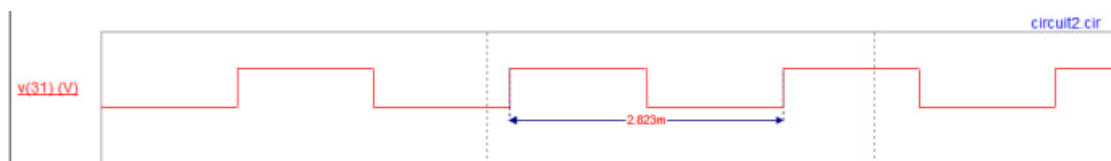


Рисунок 29 – Результат работы пятого делителя частоты

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,823 * 10^{-3}} = 354,2 \text{ Гц}$$

Получается, что начальная частота была 2,2148 МГц, на выходе получилась 354,2 Гц, это говорит о том, что делители вместе с генератором работают правильно.

4.2.2 Результат работы ДПКД

ДПКД представлен на рисунке 19. Результат его работы представлен на рисунке 30. Как видно из рисунка 30, ДПКД работает корректно, всего пять состояний, 1 состояние – 000, 2 состояние – 001, 3 состояние – 010, 4 состояние – 011, 5 состояние – 100.

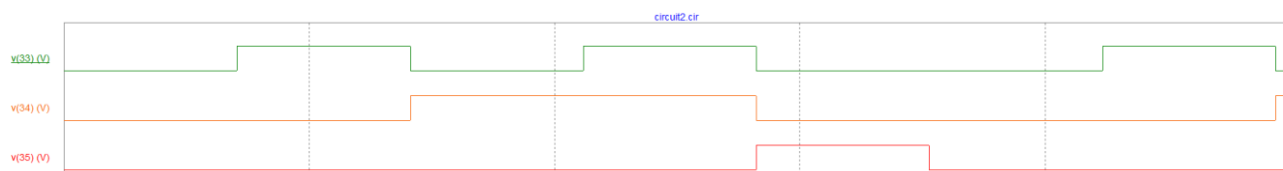


Рисунок 30 – Результат работы ДПКД

На рисунках 31 – 33 представлены выходы QB, QC, QD для более детального изучения.

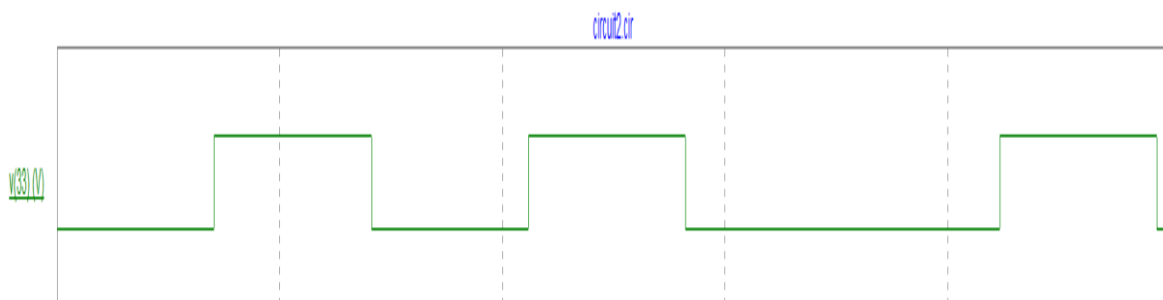


Рисунок 31 – Выход QB

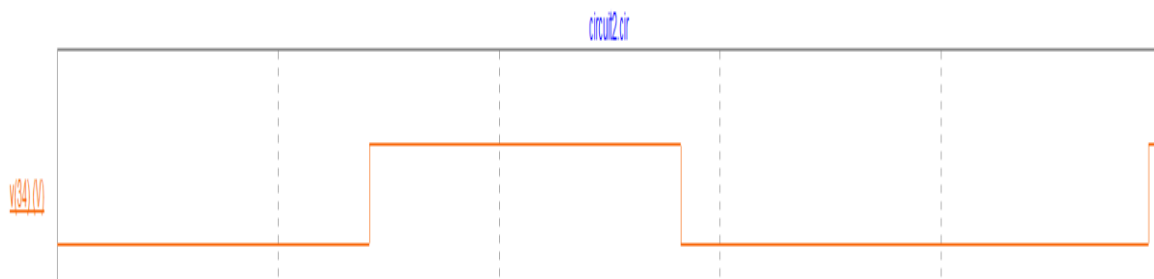


Рисунок 32 – Выход QC

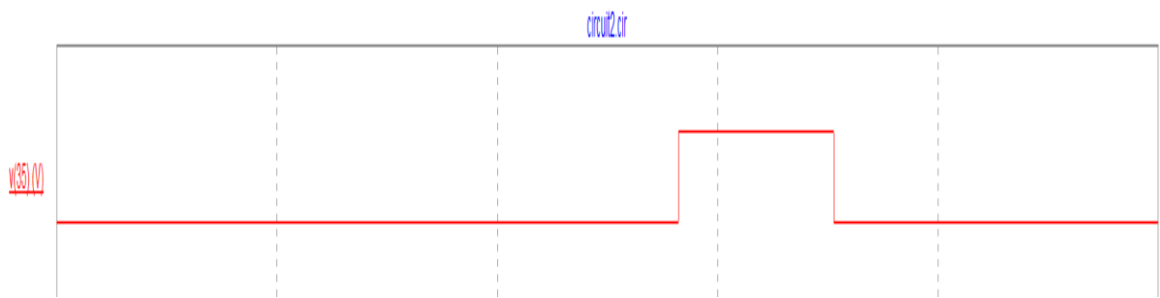


Рисунок 33 – Выход QD

4.2.3 Результаты работы моста Уитстона и измерительного усилителя

Разность потенциалов между ветвями моста Уитстона (рисунок 2) при максимальной температуре должна быть равна 324,03мВ (см. пункт 2.2.2), а R_{+t} должно быть равно 1,116 кОм.

На рисунке 34 приведен график разности потенциалов между точками 1t и 2t моста Уитстона (рисунок 35).

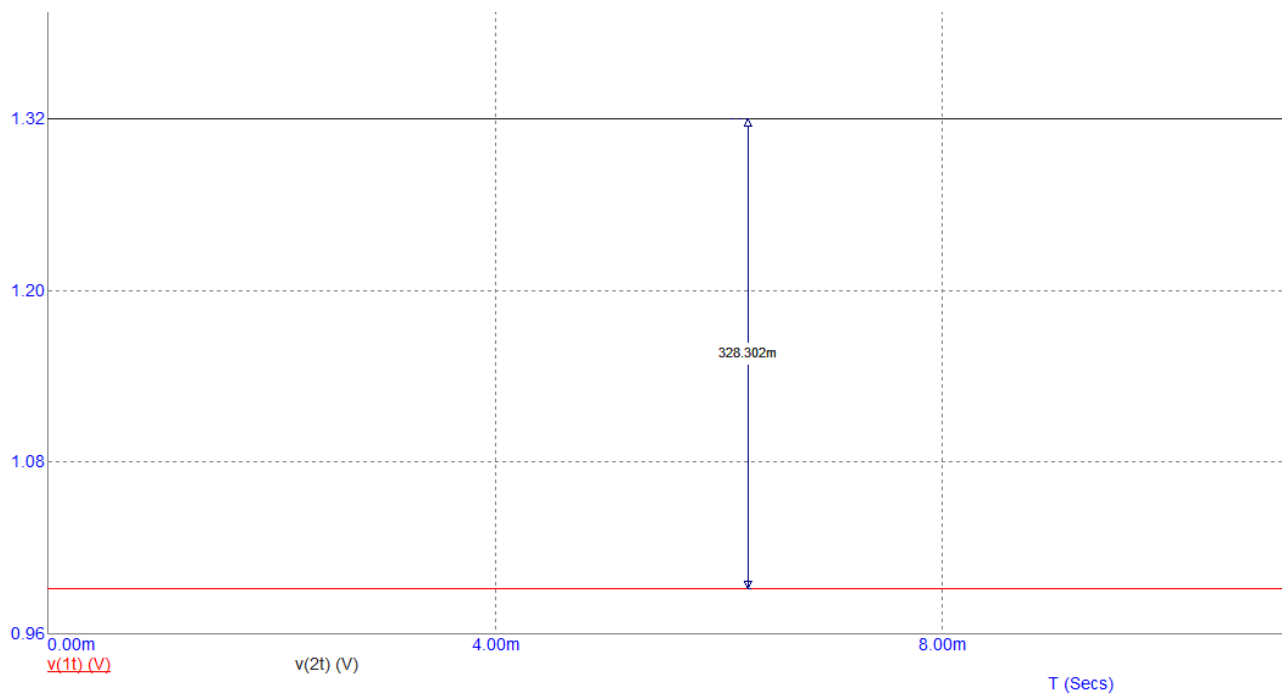


Рисунок 34 – Разность потенциалов при максимальной температуре

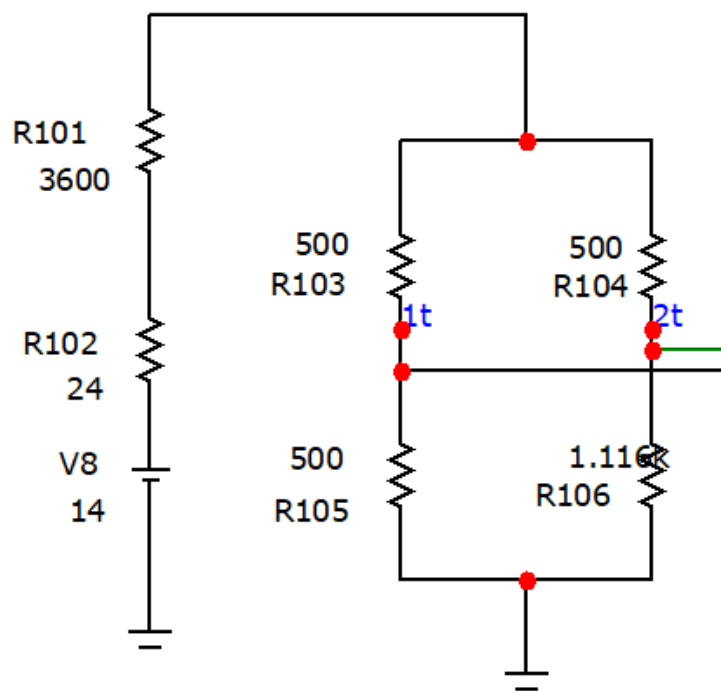


Рисунок 35 – Мост Уитстона

Из рисунка 34 видно, что разность потенциалов примерно равна заявленной с небольшой погрешностью, следовательно Мост Уитстона работает корректно.

Измерительный усилитель имеет коэффициент усиления равный -5,35. Это значит, что выходное напряжение с ИУ должно быть приблизительно равно $U_{+м} * (-5,35) = 324,03\text{мВ} * (-5,35) \approx -1,73\text{В}$.

Напряжение на выходе ИУ представлено на рисунке 36.

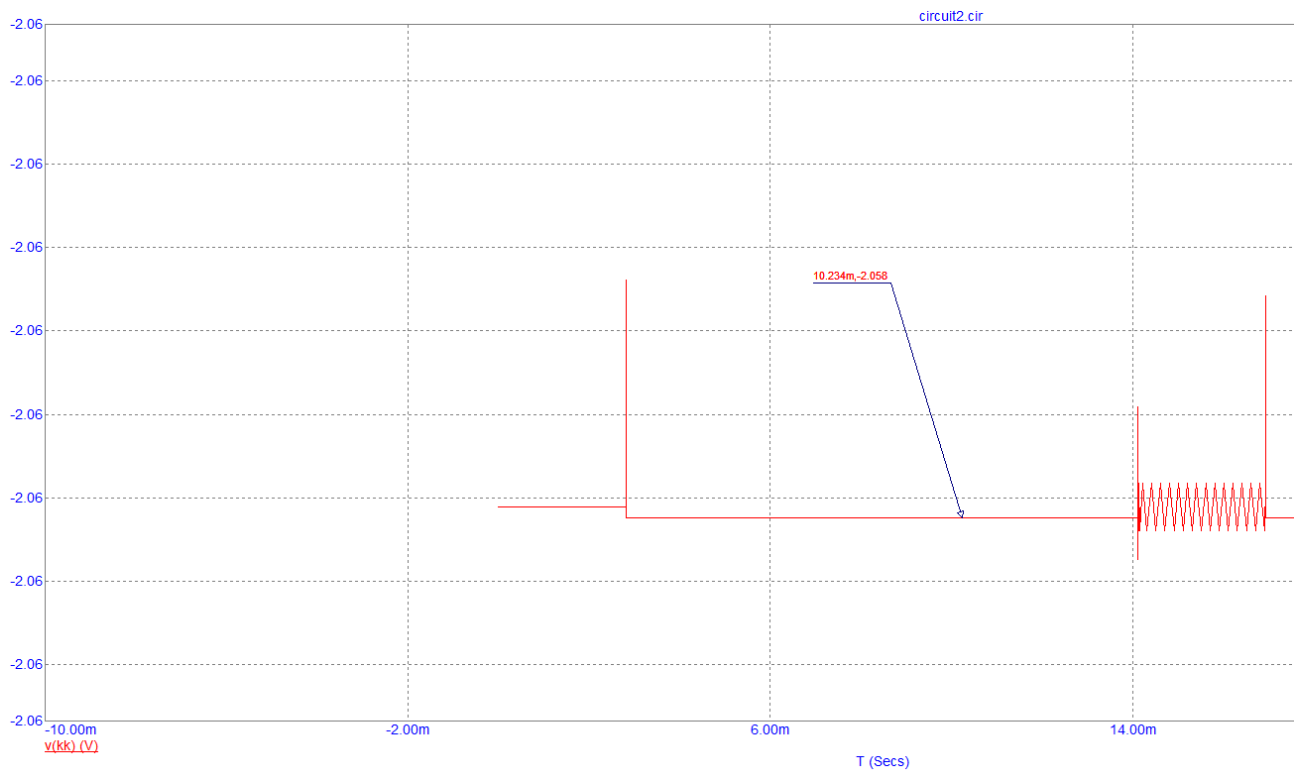


Рисунок 36 – Напряжение на выходе ИУ

Так получившееся значение ИУ примерно равно заявленному.

4.2.4 Общий результат работы устройства измерения температуры

Вычислим сопротивление R_{Th} , а также напряжения U_M и $U_{вых}$ разных температур в заявленном диапазоне (от -40°C до $+180^{\circ}\text{C}$), используя формулы, которые были в пункте 2.2.2, для проверки возьмем 5 разных температур:

Для диапазона измерений от минус 60°C до плюс 100°C :

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

Для диапазона измерений от 100°C до 180°C :

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100^{\circ}\text{C})t^2].$$

Где значения постоянных следующие:

$$A = 5,4963 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1};$$

$$B = 6,7556 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2};$$

$$C = 9,2004 \cdot 10^{-9} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-3};$$

$$U_M = (U_B - U_{R*}) * \left(\frac{R_{1M}}{R_{1M} + R_{2M}} - \frac{R_V}{R_V + R_{Th}} \right), \text{ где}$$

$$U_{R*} = I_S * R^* = 3,394 * 10^{-3} \text{ A} * 3624 \text{ Ом} \approx 12,2999 \text{ В}$$

$$U_{вых} = U_M * K_{ус об}$$

Тогда:

$$T_1 = -40^{\circ}\text{C}$$

$$R_{t1} = 500 \cdot (1 + 5,4963 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot (-40^{\circ}\text{C}) + 6,7556 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2} \cdot (-40^{\circ}\text{C})^2) = 395,47848 \text{ Ом}$$

$$U_M = (14\text{В} - 12,2999 \text{ В}) \cdot \left(\frac{5000\text{М}}{5000\text{М} + 5000\text{М}} - \frac{5000\text{М}}{5000\text{М} + 395,47848 \text{ Ом}} \right) = -99,22\text{мВ}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = -99,22\text{мВ} \cdot 28,59 = -2,8366998 \text{ В}$$

$$T_2 = 0^{\circ}\text{C}$$

$$R_{t2} = 500 \cdot (1 + 5,4963 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 0^{\circ}\text{C} + 6,7556 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2} \cdot (0^{\circ}\text{C})^2) = 500\text{Ом}$$

$$U_M = (14\text{В} - 12,2999 \text{ В}) \cdot \left(\frac{5000\text{М}}{5000\text{М} + 5000\text{М}} - \frac{5000\text{М}}{5000\text{М} + 500 \text{ Ом}} \right) = 0\text{В}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = 0\text{В} \cdot 28,59 = 0 \text{ В}$$

$$T_3 = 22^{\circ}\text{C}$$

$$R_{t3} = 500 \cdot (1 + 5,4963 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 22^{\circ}\text{C} + 6,7556 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2} \cdot (22^{\circ}\text{C})^2) = 562,1 \text{ Ом}$$

$$U_M = (14\text{В} - 12,2999 \text{ В}) \cdot \left(\frac{5000\text{М}}{5000\text{М} + 5000\text{М}} - \frac{5000\text{М}}{5000\text{М} + 562,1 \text{ Ом}} \right) = 49,7\text{мВ}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = 49,7\text{мВ} \cdot 28,59 = 1,420923\text{В}$$

$$T_4 = 122^{\circ}\text{C}$$

$$R_4 = 500\text{Ом} \cdot [1 + 122 \cdot 5,4963 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} + 122^2 \cdot 6,7556 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2} + 9,2004 \cdot 10^{-9} \cdot (122^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}) \cdot 122^{\circ}\text{C}] = 887,1 \text{ Ом}$$

$$U_M = (14\text{В} - 12,2999 \text{ В}) \cdot \left(\frac{5000\text{М}}{5000\text{М} + 5000\text{М}} - \frac{5000\text{М}}{5000\text{М} + 887,1 \text{ Ом}} \right) = 237,2\text{мВ}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = 237,2\text{мВ} \cdot 28,59 = 6,781548 \text{ В}$$

$$T_5 = 180^{\circ}\text{C}$$

$$R_5 = 500\text{Ом} \cdot [1 + 180 \cdot 5,4963 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} + 180^2 \cdot 6,7556 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2} + 9,2004 \cdot 10^{-9} \cdot (180^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}) \cdot 180^{\circ}\text{C}] = 1116,0314 \text{ Ом} = 1,116 \text{ кОм}$$

$$U_M = (14\text{В} - 12,2999 \text{ В}) \cdot \left(\frac{5000\text{М}}{5000\text{М} + 5000\text{М}} - \frac{5000\text{М}}{5000\text{М} + 1116,0314 \text{ Ом}} \right) = 324,03\text{мВ}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = 324,03\text{мВ} \cdot 28,59 = 9,2640177 \text{ В}$$

На рисунке 37 представлена работа нормирующего усилителя с опроса пяти каналов.

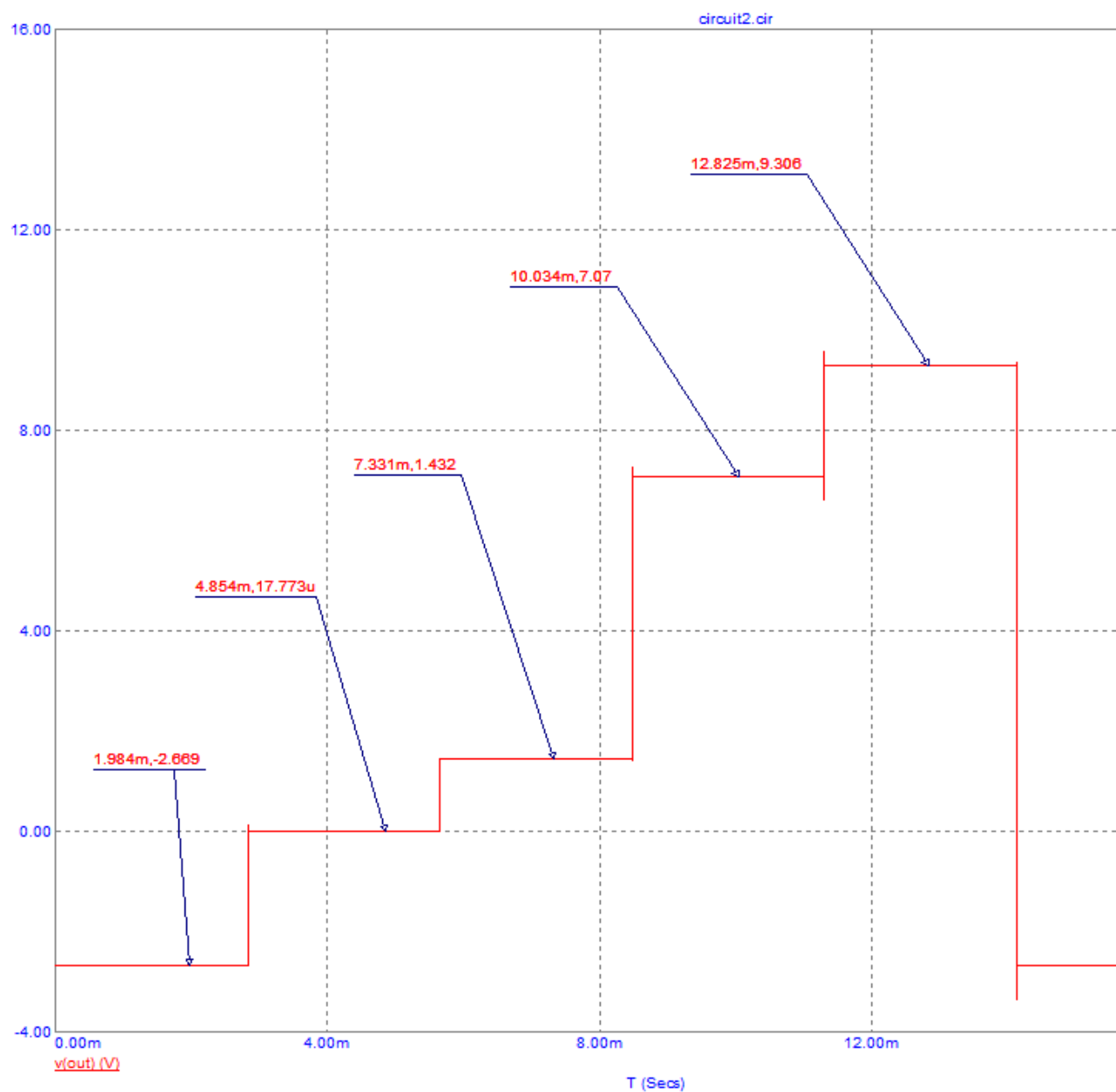


Рисунок 37 – Напряжение на выходе НУ

Как видно из рисунка напряжения примерно равны заявленным с небольшой погрешностью.

Заключение

В результате выполнения курсовой работы, было спроектировано, смоделировано устройство для измерения температуры с заданными характеристиками, которое использует для опроса пять каналов.

В результате проверки и анализа данного устройства в программе MicroCap-12, было выяснено, что данное устройство может быть воплощено в реальности с заданными параметрами.

Список использованных источников

1. Разработка электронного устройства: методические указания к курсовой работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: С. И. Холопов, А. А. Михеев, Т. А. Витязева. – Рязань, 2024. – 40 с.
2. Ряд E24 номиналов резисторов [Электронный ресурс]
<https://www.radiolibrary.ru/reference/resistorseries/e24.html>
3. Ряд E24 номиналов конденсаторов [Электронный ресурс]
<https://www.radiolibrary.ru/reference/capacitorseries/e24.html>
4. Микросхемы серий K155, K561, K176, 74, 40 [Электронный ресурс]
<https://www.microshemca.ru/>
5. ГОСТ 2.701-2008. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
6. ГОСТ 2.728-74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы.
7. ГОСТ 2.743-91 Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники».



LC²MOS 4-/8-Channel High Performance Analog Multiplexers

ADG408/ADG409

FEATURES

44 V Supply Maximum Ratings
V_{SS} to V_{DD} Analog Signal Range
Low On Resistance (100 Ω max)
Low Power (I_{SUPPLY} < 75 μ A)
Fast Switching
Break-Before-Make Switching Action
Plug-in Replacement for DG408/DG409

APPLICATIONS

Audio and Video Routing
Automatic Test Equipment
Data Acquisition Systems
Battery Powered Systems
Sample and Hold Systems
Communication Systems

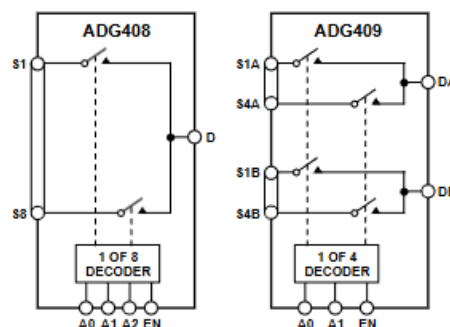
GENERAL DESCRIPTION

The ADG408 and ADG409 are monolithic CMOS analog multiplexers comprising eight single channels and four differential channels respectively. The ADG408 switches one of eight inputs to a common output as determined by the 3-bit binary address lines A0, A1 and A2. The ADG409 switches one of four differential inputs to a common differential output as determined by the 2-bit binary address lines A0 and A1. An EN input on both devices is used to enable or disable the device. When disabled, all channels are switched OFF.

The ADG408/ADG409 are designed on an enhanced LC²MOS process which provides low power dissipation yet gives high switching speed and low on resistance. Each channel conducts equally well in both directions when ON and has an input signal range that extends to the supplies. In the OFF condition, signal levels up to the supplies are blocked. All channels exhibit break-before-make switching action, preventing momentary shorting when switching channels. Inherent in the design is low charge injection for minimum transients when switching the digital inputs.

The ADG408/ADG409 are improved replacements for the DG408/DG409 Analog Multiplexers.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAMS



PRODUCT HIGHLIGHTS

- Extended Signal Range**
The ADG408/ADG409 are fabricated on an enhanced LC²MOS process giving an increased signal range that extends to the supply rails.
- Low Power Dissipation**
- Low R_{ON}**
- Single Supply Operation**
For applications where the analog signal is unipolar, the ADG408/ADG409 can be operated from a single rail power supply. The parts are fully specified with a single +12 V power supply and will remain functional with single supplies as low as +5 V.

REV. A

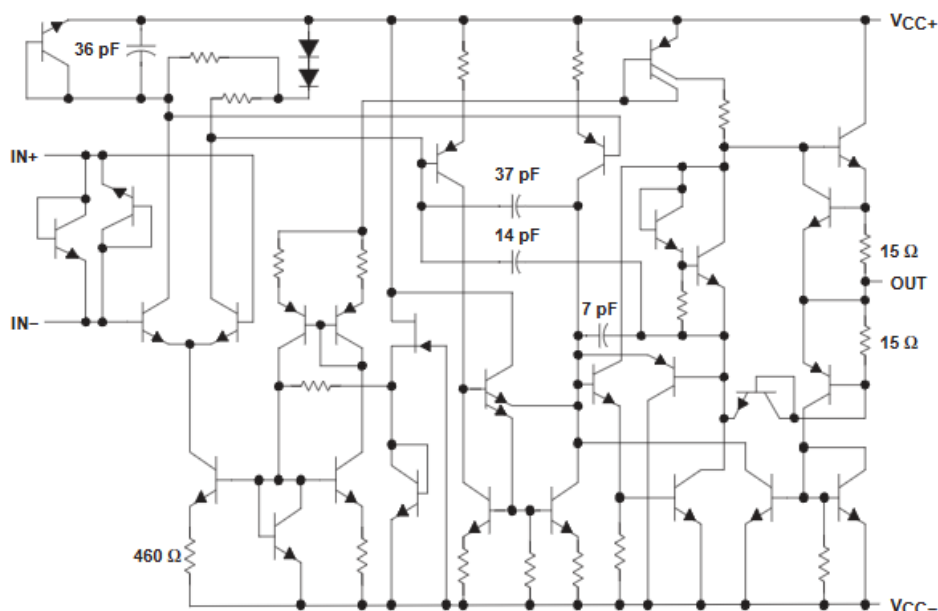
Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
 Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1998

NE5532, NE5532A, SA5532, SA5532A DUAL LOW-NOISE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS075H – NOVEMBER 1979 – REVISED MAY 2004

schematic (each amplifier)



Component values shown are nominal.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[†]

Supply voltage (see Note 1): V_{CC+}	22 V
V_{CC-}	-22 V
Input voltage, either input (see Notes 1 and 2)	$V_{CC\pm}$
Input current (see Note 3)	± 10 mA
Duration of output short circuit (see Note 4)	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 5 and 6): D package	97°C/W
P package	85°C/W
PS package	95°C/W
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

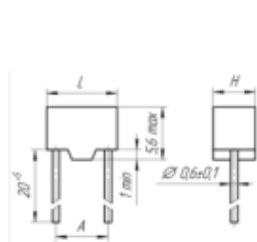
[†] Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage.
 3. Excessive input current will flow if a differential input voltage in excess of approximately 0.6 V is applied between the inputs, unless some limiting resistance is used.
 4. The output may be shorted to ground or either power supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure the maximum dissipation rating is not exceeded.
 5. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 6. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

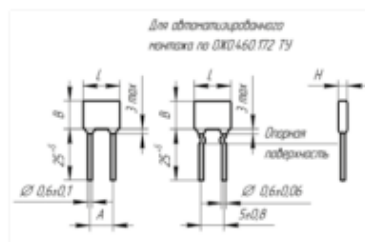


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

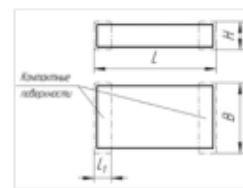
1.11. Конденсаторы К10-17



К10-17а, ОСК10-17а
Рис. 1



К10-17б, ОСМК10-17б
Рис. 2



К10-17в, ОСК10-17в, К10-17-4в
Рис. 3

Конденсаторы К10-17 предназначены для работы в цепях постоянного, переменного токов и в импульсных режимах.

Конденсаторы изготавливают в соответствии с: ОЖ0.460.172 ТУ;

ОЖ0.460.107 ТУ;

ОЖ0.460.107 ТУ ОЖ0.460.183 ТУ;

ОЖ0.460.107 ТУ ПО.070.052.

Конденсаторы выпускают в водородоустойчивом исполнении.

К10-17а (рис. 1) правильной формы, изолированные керамические конденсаторы, исполнение – всеклиматическое.

К10-17б (рис. 2) изолированные осклупенные керамические конденсаторы, исполнение – всеклиматическое.

К10-17в (рис. 3) незащищенные керамические конденсаторы.

К10-17-4в (рис. 3) незащищенные керамические конденсаторы.

Конденсаторы К10-17в изготавливают с контактными поверхностями: нелуженые и луженые с никель-барьером. Конденсаторы К10-17-4в изготавливают только с нелужеными контактными поверхностями. Конденсаторы с лужеными контактными поверхностями (серебро-палладий/олово-свинец-серебро) изготавливают только по согласованию между изготовителем и потребителем.

Упаковывают конденсаторы россыпью; К10-17в луженые с никель-барьером и К10-17-4в – россыпью и для автоматизированной сборки аппаратуры – в blister-ленту и катушки (см. раздел 3 каталога).

Параметры и характеристики	МПО	М47	МПО; М47; М1500 (только К10-17-4в)	М1500	Н20	Н50	Н90
Допускаемое отклонение емкости от номинальной, ряды емкостей	Для К10-17а, К10-17б (ряд Е24) $C_{ном} 2,2-4,7 \text{ нФ: } \pm 0,5 \text{ нФ;}$ $C_{ном} 5,1-9,1 \text{ нФ: } \pm 1 \text{ нФ;}$ $C_{ном} \geq 10 \text{ нФ: } \pm 5 \%; \pm 10 \%; \pm 20 \%$ Для К10-17в, К10-17-4в $C_{ном} 0,47 \text{ нФ; } 0,56 \text{ нФ: } \pm 0,25 \text{ нФ}$ (ряд Е12); $C_{ном} 0,68-2,2 \text{ нФ: } \pm 0,25 \text{ нФ; } \pm 0,5 \text{ нФ}$ (ряд Е12); $C_{ном} 2,4-4,7 \text{ нФ: } \pm 0,25 \text{ нФ; } \pm 0,5 \text{ нФ}$ (ряд Е24); $C_{ном} 5,1-9,1 \text{ нФ: } \pm 0,5 \text{ нФ; } \pm 1 \text{ нФ}$ (ряд Е24); $C_{ном} \geq 10 \text{ нФ: } \pm 5 \%; \pm 10 \%; \pm 20 \%$ (ряд Е24)	Ряд Е24 $C_{ном} 2,2-6,8 \text{ нФ: } \pm 20 \%;$ $7,5 \text{ нФ} \leq C_{ном} \leq 15 \text{ нФ: } \pm 10 \%; \pm 20 \%;$ $C_{ном} \geq 16 \text{ нФ: } \pm 5 \%; \pm 10 \%; \pm 20 \%$	$C_{ном} 0,47 \text{ нФ; } 0,56 \text{ нФ: } \pm 0,25 \text{ нФ}$ (ряд Е12); $C_{ном} 0,68-2,2 \text{ нФ: } \pm 0,25 \text{ нФ; } \pm 0,5 \text{ нФ}$ (ряд Е12); $C_{ном} 2,4-4,7 \text{ нФ: } \pm 0,25 \text{ нФ; } \pm 0,5 \text{ нФ}$ (ряд Е24); $C_{ном} 5,1-9,1 \text{ нФ: } \pm 0,5 \text{ нФ; } \pm 1,0 \text{ нФ}$ (ряд Е24); $C_{ном} \geq 10 \text{ нФ: } \pm 5 \%; \pm 10 \%; \pm 20 \%$ (ряд Е24)	Ряд Е24 $C_{ном} 2,2-6,8 \text{ нФ: } \pm 20 \%;$ $7,5 \text{ нФ} \leq C_{ном} \leq 15 \text{ нФ: } \pm 10 \%; \pm 20 \%;$ $C_{ном} \geq 16 \text{ нФ: } \pm 5 \%; \pm 10 \%; \pm 20 \%$	Ряд Е12 $\pm 10 \%;$ $\pm 20 \%$	Ряд Е6 $+50 \%$ -20%	Ряд Е6 $+80 \%$ -20%
Номинальное напряжение, В	Для К10-17: 50; 100 Для К10-17-4в: 50	50					
Диапазон рабочих температур, °С	-60/125						-60/85
Тангенс угла потерь, не более	$C_{ном} \leq 10 \text{ нФ: не нормируется;}$ $10 \text{ нФ} < C_{ном} \leq 50 \text{ нФ: } 1,5 \left(\frac{150}{C_{ном}} + 7 \right) \cdot 10^{-4};$ $C_{ном} \geq 50 \text{ нФ: } 0,0015$				0,035		
Сопротивление изоляции для $C_{ном} \leq 0,025 \text{ мкФ, МОм, не менее}$	10 000				4 000		
Постоянная времени для $C_{ном} > 0,025 \text{ мкФ, МОм - мкФ, не менее}$	250				100		
Сопротивление изоляции между выводами конденсаторов К10-17а и К10-17б, соединенными вместе, и корпусом, МОм, не менее	10 000				5 000		

Размеры и условные обозначения размеров конденсаторов К10-17а (см. таблицу 1 каталога)					
Условное обозначение размера конденсатора в таблицах каталога	Размеры, мм				
	L _{ток}	H _{ток}	A	Код	Видоразмер для группы по ТСЕ МПО
I	6,8	4,6	2,5±0,5	–	1
II	8,4	4,6	5,0±0,5	5,0	–
III		6,7		–	2
IV				8,4	–
V	12,0	8,6	7,5±0,5	–	3

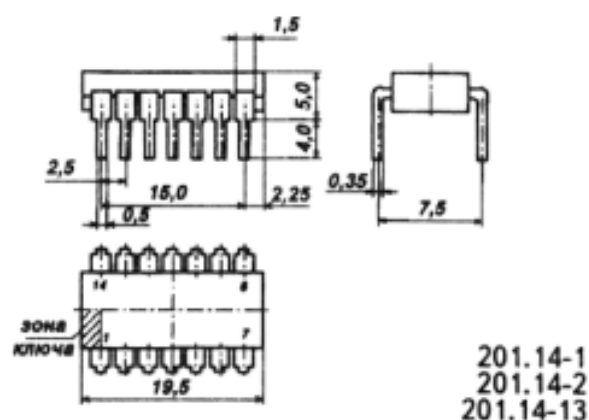
Размеры и условные обозначения размеров конденсаторов К10-17б (см. таблицу 1 каталога)						
Условное обозначение размера конденсатора в таблицах каталога	Размеры, мм					
	L _{ток}	B _{ток}	H _{ток}	A	Код	Видоразмер для группы по ТСЕ МПО
I	5,6	4,0	3,0	2,5±0,8 5,0±0,8	2,5 –	1
II	6,3*	4,5*	3,0*	5,0±0,8*	–	1
III	7,5	5,0	4,5	2,5±0,8 5,0±0,8	2,5 –	2
IV	9,0	7,1	5,0	5,0±0,8	–	3
V				9,0	–	
VI	11,5	9,0	5,0	5,0±0,8 7,5±1,5	5,0 –	–

Примечание – *Конденсаторы только для автоматизированной сборки аппаратуры по таблице 5 ОЖ0.460.172 ТУ.

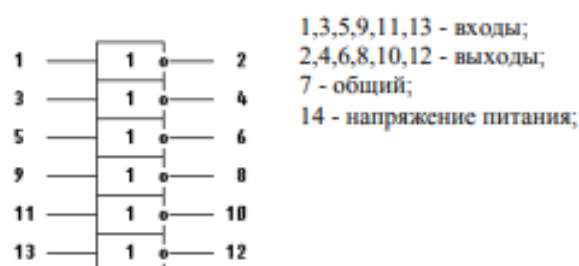
Приложение Д

Микросхема представляет собой шесть логических элементов НЕ. Корпус К155ЛН1 типа 201.14-1, масса не более 1 г и у КМ155ЛН1 типа 201.14-8, масса не более 2,2 г.

Корпус ИМС К155ЛН1



Условное графическое обозначение



Электрические параметры

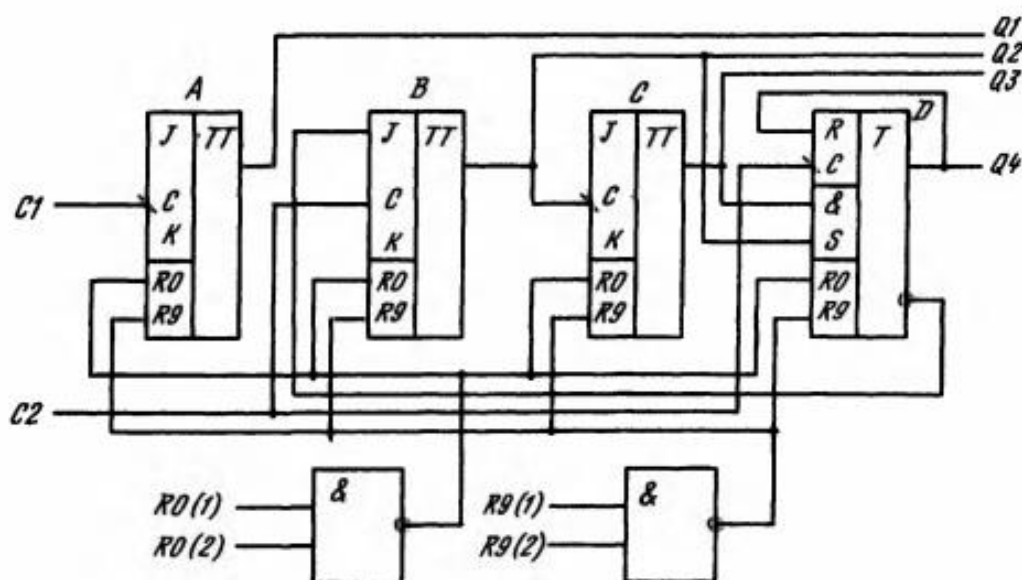
1	Номинальное напряжение питания	5 В $\pm 5\%$
2	Выходное напряжение низкого уровня	не более 0,4 В
3	Выходное напряжение высокого уровня	не менее 2,4 В
4	Входной ток низкого уровня	не более -1,6 мА
5	Входной ток высокого уровня	не более 0,04 мА
6	Входной пробивной ток	не более 1 мА
7	Ток потребления при низком уровне выходного напряжения	не более 33 мА
8	Ток потребления при высоком уровне выходного напряжения	не более 12 мА
9	Потребляемая статическая мощность на один логический элемент	не более 19,7 мВт
10	Время задержки распространения при включении	не более 15 нс
11	Время задержки распространения при выключении	не более 22 нс

Зарубежные аналоги

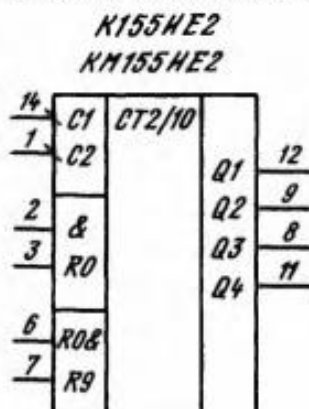
SN7404N, SN7404J

К155ИЕ2, КМ155ИЕ2

Микросхемы представляют собой двоично-десятичные четырехразрядные счетчики. Каждая ИМС состоит из четырех триггеров, внутренне соединенных для деления на 2 и 5. Может использоваться также в качестве делителя на 10. Корпус К155ИЕ2 типа 201.14-1, КМ155ИЕ2 — типа 201.14-8.



Функциональная схема ИМС К155ИЕ2, КМ155ИЕ2

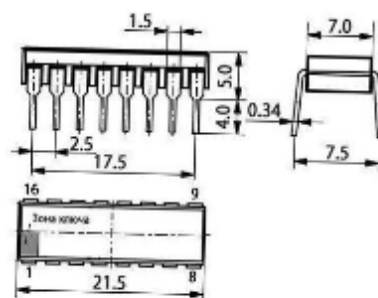
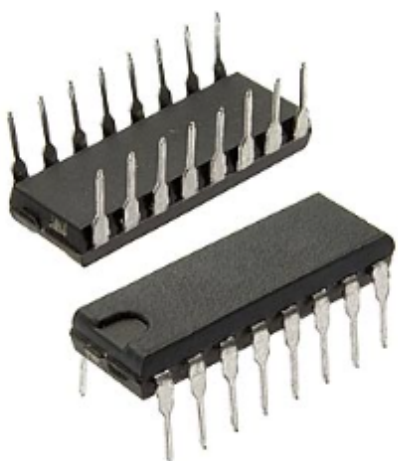


Условное графическое обозначение ИМС К155ИЕ2, КМ155ИЕ2

Назначение выводов: 1 — вход счетный C2; 2 — вход установки 0 R0(1); 3 — вход установки 0 R0(2); 4, 13 — свободные; 5 — питание ($+U_n$); 6 — вход установки 9 R9(1); 7 — вход установки 9 R9(2); 8 — выход третьего разряда Q3; 9 — выход второго разряда Q2; 10 — общий; 11 — выход четвертого разряда Q4; 12 — выход первого разряда Q1; 14 — вход счетный C1.

Приложение Ж

Возможны незначительные отличия фактического дизайна изделия от данного изображения



Вес	не более 1,2 г
Корпус	238.16-2
Напряжение питания	Un1: -13,5...-16,5; Un2: 4,5...5,5 В
Входное напряжение	высокого уровня: 3,6...5,5 В
Рабочая температура	-45...+70 °С
Ток	потребления: не более 3,5 мА
Сопротивление	не более 200 Ом
Время	включения: не более 1 мкс
Входной ток	высокого уровня: не более 1 мкА
Ток утечки	не более 50 мА
Емкость	аналогового выхода: 28 пФ
Коммутируемый ток	10 мА