

СОДЕРЖАНИЕ

1. Исходные данные для проектирования преобразователя	4
2. Структурная схема измерения температуры.....	5
3. Температурная зависимость сопротивления термистора	6
4. Функциональная схема измерительного преобразователя	9
5. Расчет измерительной схемы и дифференциального усилителя	10
6. Блок питания преобразователя	15
Заключение	19
Список литературы	20

1. Исходные данные для проектирования преобразователя

- Тип термистора: С621/10к/+.
- Диапазон измерения температуры: $0...+57^{\circ}\text{C}$.
- Диапазон выходного напряжения: $0...+5\text{ В}$.
- Тип операционного усилителя: К140УД7.
- Особенности включения датчика: стандартное расположение.

2. Структурная схема измерения температуры

Структурная схема измерения представлена на рисунке 1, где приняты следующие обозначения:

ОИ – объект измерения;

ЗА – защитный корпус чувствительного элемента термопреобразователя (термистора);

ЧЭ – чувствительный элемент (термистор);

ЛС – линия связи;

$R_{лс}$ – сопротивление линии связи;

$R_{из}$ – сопротивление изоляции между ЧЭ и ЗА датчика;

$C_{пар}$ – емкость между ЧЭ и ЗА, обусловленная конструктивными особенностями датчика;

ИТ – источник тока для питания измерительной схемы с датчиком;

ВУ – входной усилитель, усиливающий выходное напряжение полезного сигнала.

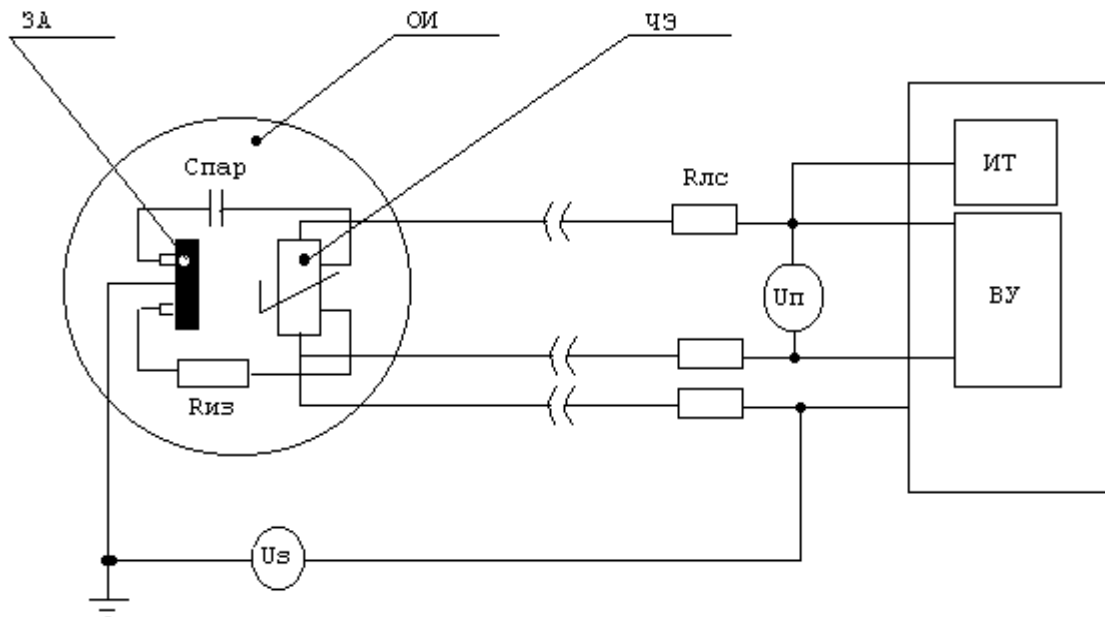


Рис. 1. Структурная схема измерения температуры с использованием термистора.

3. Температурная зависимость сопротивления термистора

Первичным измерительным преобразователем температуры является термистор. Термистор типа С621/10к/+ представляет собой герметизированный миниатюрный датчик для измерения температуры в системах воздушного кондиционирования, устройствах автомобильной и промышленной электроники.

Статическая температурная характеристика термистора в диапазоне рабочих температур приближенно описывается выражением:

$$\frac{R_T}{R_N} = e^{B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N} \right)},$$

где R_T – сопротивление термистора при температуре T , °K;

R_N – сопротивление термистора при номинальной температуре T_N , °K;

B – коэффициент температурной чувствительности, зависящий от свойств материала и температуры (для термистора типа С621/4,7к/+: $B = 3530$ °K).

Для построения фактической температурной характеристики $R(T)$ термистора типа С621/10к/+ используем табличные данные нормализованной характеристики, которые указаны производителем и приведены в методических указаниях к курсовой работе. С помощью следующего соотношения построим фактическую температурную зависимость сопротивления термистора для заданного интервала температур:

$$R_T = R_{25} \cdot \left(\frac{R_T}{R_{25}} \right) = R_{25} \cdot \alpha(T),$$

где R_T – значение сопротивления при искомой температуре T , Ом;

R_{25} – значение сопротивления при номинальной температуре +25 °C, Ом;

T – текущая температура термистора, °C;

α – относительный коэффициент сопротивления (отношение сопротивлений) термистора при температуре T , °C.

На рисунке 2 приведен график зависимости относительного коэффициента сопротивления от температуры для термистора типа С621/10к/+.

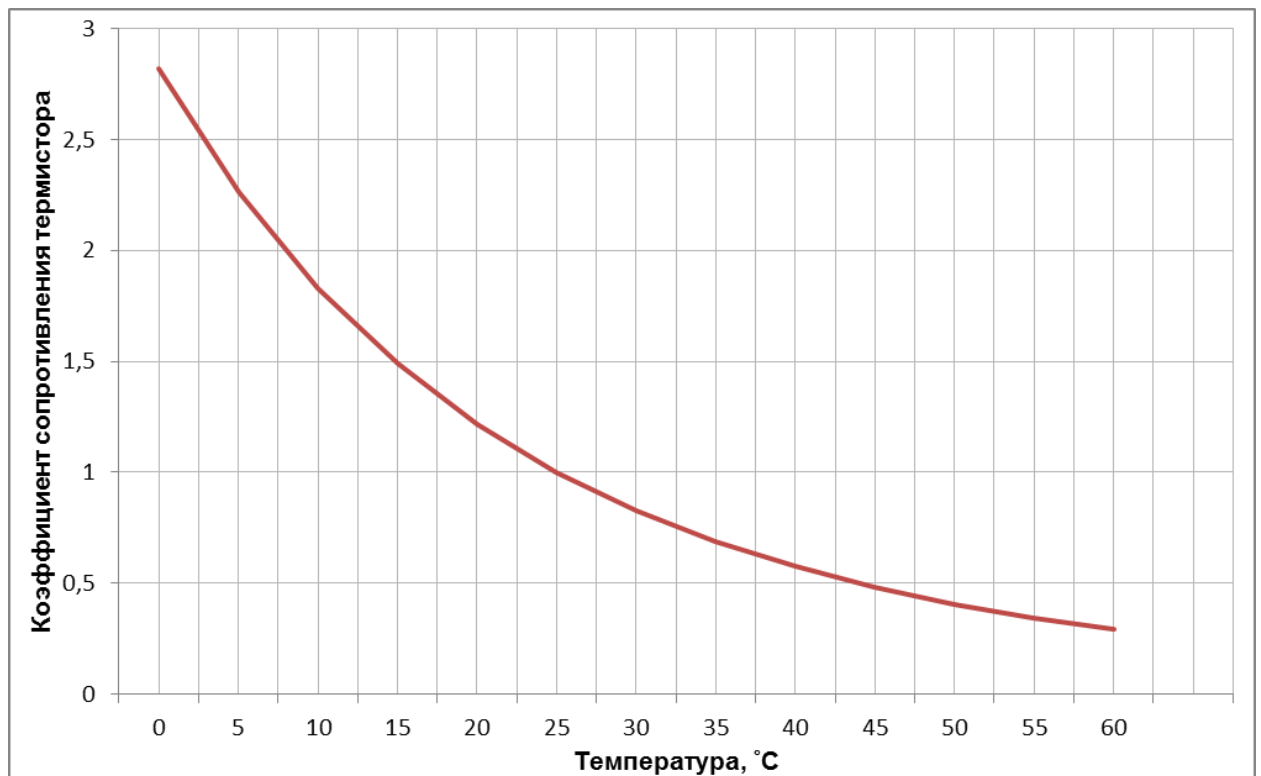


Рис. 2. Зависимость коэффициента сопротивления термистора С621/4,7к/+ от температуры по данным производителя.

Так как заданный верхний предел 57°C попадает в диапазон $55\text{--}60^{\circ}\text{C}$ точное значение R_T

$$R_T = R_{T_x} \cdot \exp \left[\frac{a_x}{100} \cdot (T_x + 273,15)^2 \cdot \left(\frac{1}{T + 273,15} - \left(\frac{1}{T_x + 273,15} \right) \right) \right] =$$

$$3,4427 \cdot \exp \left[\frac{3,3}{100} \cdot (55 + 273,15)^2 \cdot \left(\frac{1}{57 + 273,15} - \frac{1}{55 + 273,15} \right) \right] = 3,2241 \text{ кОм},$$

где R_T – значение сопротивления при искомой температуре T ;

R_{T_x} - значение сопротивления начала интервала;

T_x – температура в $^{\circ}\text{C}$ начала интервала;

T – искомая температура в $^{\circ}\text{C}$;

a_x – температурный коэффициент сопротивления при температуре T_x .

Коэффициент сопротивления термистора от температуры для 47°C

$$\alpha(T) = \frac{R_T}{R_{25}} = \frac{3,2241}{10} = 0,32241.$$

По табличным данным теперь можно построить график зависимости абсолютных значений сопротивления термистора С621/10к/+ от температуры, который показан на рисунке 3. Из этого графика видно, что температурная зависимость сопротивления термистора носит нелинейный характер. Поэтому выходное напряжение измерительной схемы также будет нелинейно зависеть от измеряемой температуры. В ряде случаев измерительный преобразователь может быть использован для искусственной линеаризации нелинейной зависимости выходного сигнала от входного с помощью заданных характеристик усилителя в его составе.

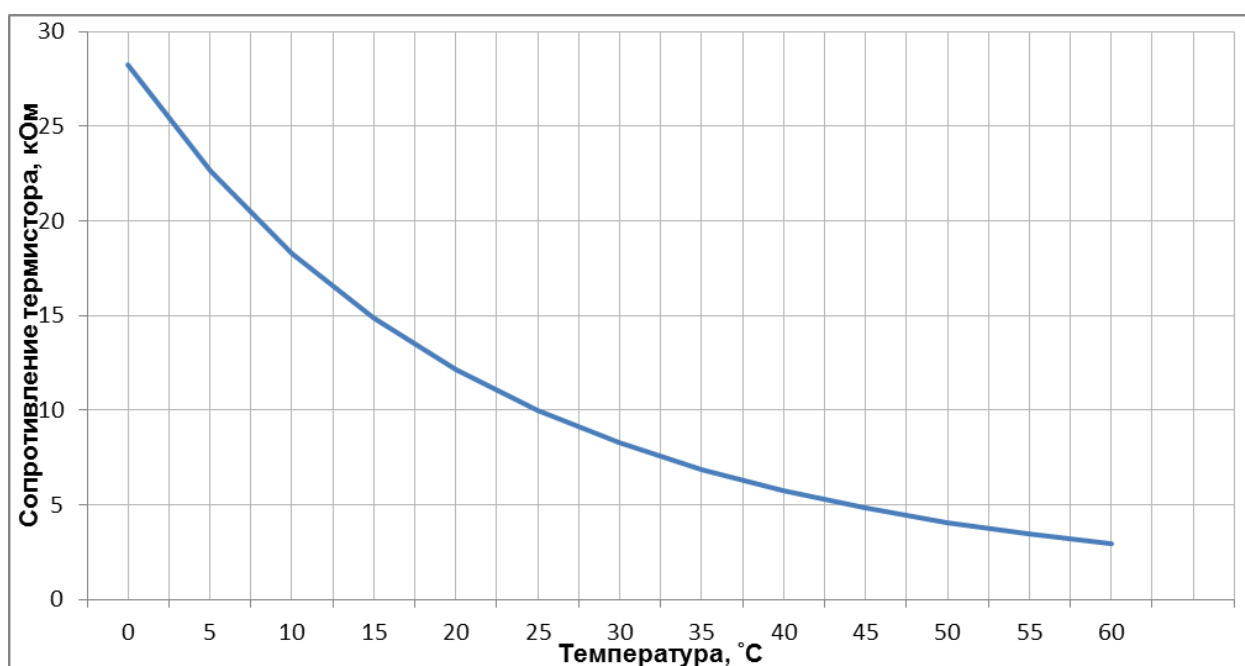


Рис. 3. Зависимость абсолютных значений сопротивления термистора С621/10к/+ от температуры.

Из графика на рисунке 3 следует, что термистор типа С621/10к/+ имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления и его сопротивление с ростом температуры падает.

4. Функциональная схема измерительного преобразователя

Функциональная схема типового измерительного преобразователя с использованием термистора приведена на рисунке 4.

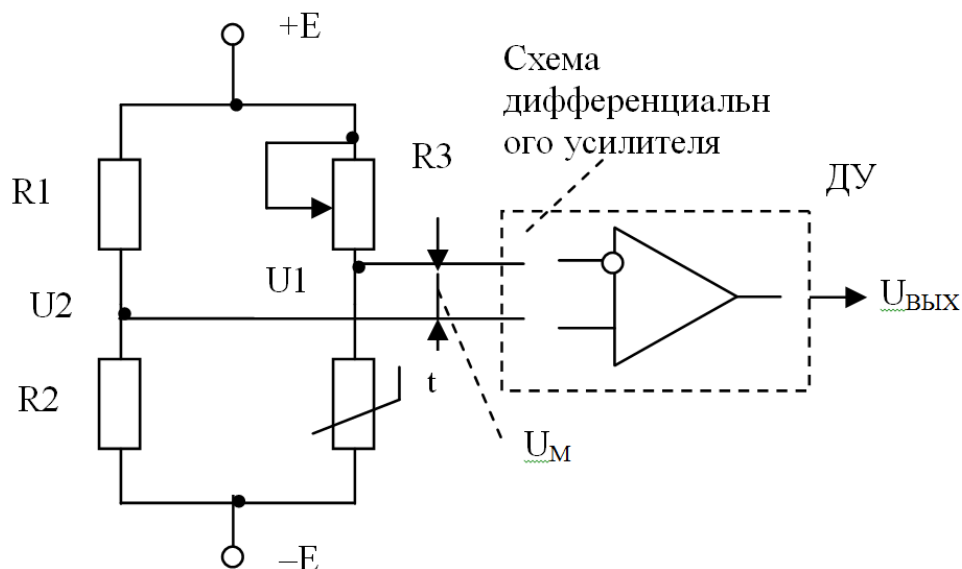


Рис. 4. Функциональная схема измерительного преобразователя

В качестве датчиков температуры в настоящее время наибольшее распространение получили полупроводниковые терморезисторы: термисторы и позисторы. Это обусловлено высокой стабильностью их характеристик, малой потребляемой мощностью, малыми геометрическими размерами и низкой стоимостью. В качестве вторичных преобразователей распространение получили мостовые схемы Уитстона с термистором в одном из плеч измерительного моста и дифференциальным усилителем (рис.4).

При выполнении условия $R_1 R_t = R_3 R_2$ напряжение в диагонали моста $U_M = U_2 - U_1$ равно нулю. Это условие носит название условия балансировки. Балансировку выполняют, помещая датчик в среду с определенной температурой (температурой балансировки T_6), при которой известно сопротивление датчика R_6 . Регулировкой сопротивления R_3 добиваются выполнения условия $U_M = 0$

5. Расчет измерительной схемы и дифференциального усилителя

Измерительная схема с термистором выполнена как неуравновешенный мост Уинстона, в котором термистор включен в нижнее плечо моста по условию необходимости заземления корпуса датчика температуры. Для регулировки уровня выходного сигнала преобразователя в схеме предусмотрен потенциометр R_a , который изменяет коэффициент усиления первого каскада на ОУ DA2-3. Изменение температуры датчика вызывает разбалансировку моста и появление выходного напряжения небаланса соответствующего знака, которое поступает на вход дифференциального усилителя, выполненного на ОУ DA2-4 (рисунок 5).

Для схемы на рисунке 5 при выполнении условия $R_1 R_t = R_3 R_2$ напряжение в диагонали моста $U_m = U_2 - U_1$ равно нулю. Это условие носит название условия балансировки. Балансировку выполняют, помещая датчик в среду с определенной температурой (температурой балансировки T_0), при которой известно сопротивление датчика R_0 . Регулировкой сопротивления R_3 добиваются выполнения условия $U_m = 0$. При изменении сопротивления датчика R_t , напряжение, подаваемое на вход дифференциального усилителя (ДУ):

$$U_m = E [R_5 / (R_5 + R_4) - R_6 / (R_6 + R_t)].$$

Для регулировки уровня выходного сигнала преобразователя в схеме предусмотрен потенциометр R_2 , который изменяет выходное напряжение на источнике опорного напряжения на операционном усилителе DA1 (рис. 8).

При номиналах резисторов, указанных на схеме и напряжениях питания ОУ $U_n = \pm 15$ В, напряжение E питания измерительного моста можно изменять с помощью резистора R_2 в диапазоне ± 5 В. Для питания моста выберем напряжение $E = -4,3$ В.

Для резисторов моста примем равным номиналы сопротивлений: $R_4 = 10$ кОм и $R_5 = 10$ кОм, для резистора настройки баланса $R_6 = 10$ кОм, тогда при температуре 25°C мост будет находиться в уравновешенном состоянии при соответствующем положении движка резистора R_6 после подстройки, для расширения настройки последовательно с резистором R_6 включим резистор R_7 величиной $5,1$ кОм. Тогда баланс моста будет достигим при среднем положении движка резистора. Результирующая зависимость выходного напряжения от температуры измерительного моста с выбранными номиналами резисторов для термистора С621/10к/+ приведена на рисунке 6.

Указанные номиналы сопротивлений обеспечивают практически равный диапазон значений выходного напряжения моста обоих знаков для последующего масштабирования выходного сигнала преобразователя к заданному диапазону $0 \dots +5$ В.

Таблица 1. Результаты расчёта параметров измерительного моста

Температура	Коэффициент сопротивления	Сопротивление термистора	Напряжение моста
0	2,8222	28,222	-1,024993459
5	2,2649	22,649	-0,832961193
10	1,83	18,3	-0,630565371
15	1,4872	14,872	-0,421148279
20	1,2161	12,161	-0,209654348
25	1	10	0
30	0,82677	8,2677	0,203881441
35	0,68708	6,8708	0,398782512
40	0,57401	5,7401	0,581875909
45	0,48181	4,8181	0,751856513
50	0,40638	4,0638	0,907495129
55	0,34427	3,4427	1,048762153
57	0,32241	3,2241	1,127801352

Определим выходное напряжение $U_{изм.мин}$, $U_{изм.маx}$ измерительного моста для предельных значений измеряемой температуры в заданном диапазоне:

$$R_{T,0} = 2,8222 \cdot R_{25} = 2,8222 \cdot 10 = 28,222 \text{ кОм};$$

$$R_{T,+57} = 0,32241 \cdot R_{25} = 0,32241 \cdot 10 = 3,2241 \text{ кОм};$$

тогда минимальное $U_{изм.мин}$ и максимальное $U_{изм.маx}$ выходное напряжение разбаланса моста составит:

$$U_{изм.мин} = E_n \cdot \left(\frac{R_5}{R_5 + R_4} - \frac{R_6}{R_6 + R_{T,-20}} \right) = -4,3 \cdot \left(\frac{10}{10+10} - \frac{10}{10+28,222} \right) \approx -1,025 \text{ В};$$

$$U_{изм.маx} = E_n \cdot \left(\frac{R_5}{R_5 + R_4} - \frac{R_6}{R_6 + R_{T,+45}} \right) = -4,3 \cdot \left(\frac{10}{10+10} - \frac{10}{10+3,2241} \right) \approx 1,128 \text{ В}.$$

Необходимый коэффициент усиления по напряжению преобразователя для преобразования масштаба выходного сигнала к диапазону 0...+5 В равен

$$K_u = \frac{5}{U_{изм.маx}} = \frac{5}{1,128} \approx 4,433.$$

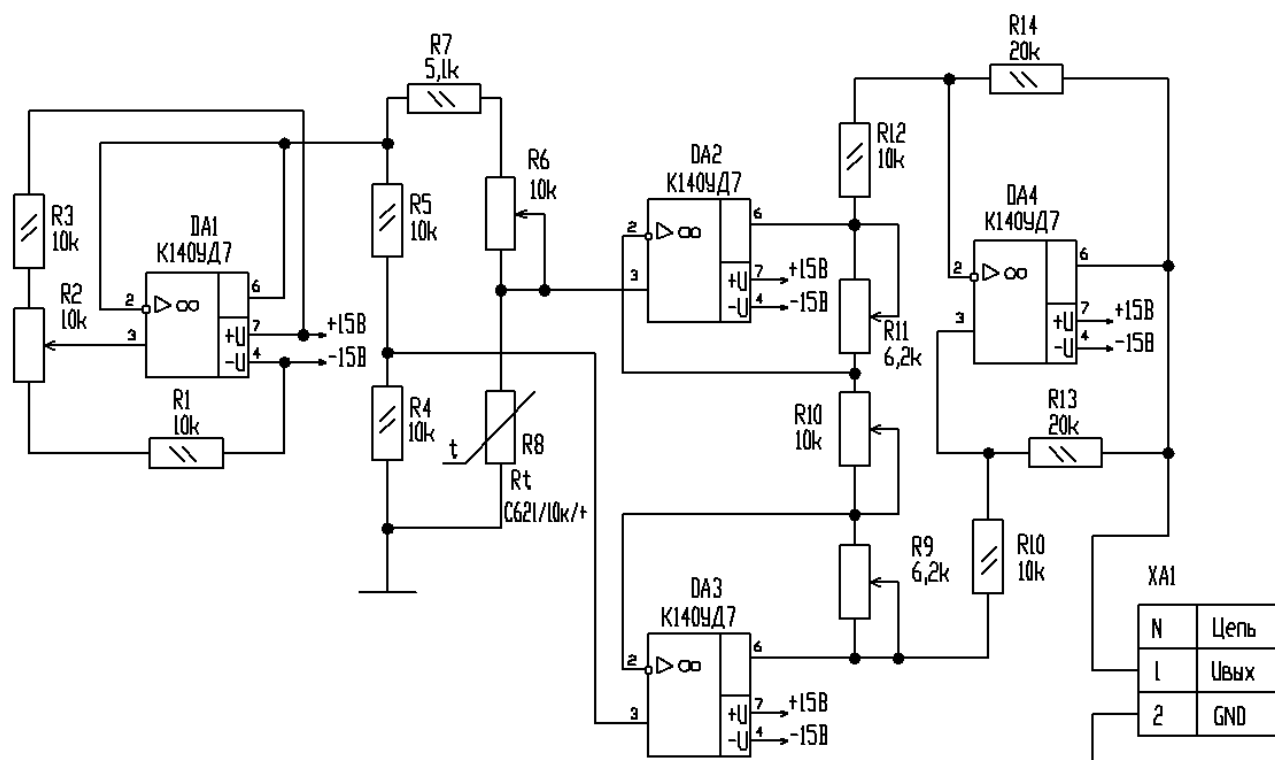


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема измерительного преобразователя.

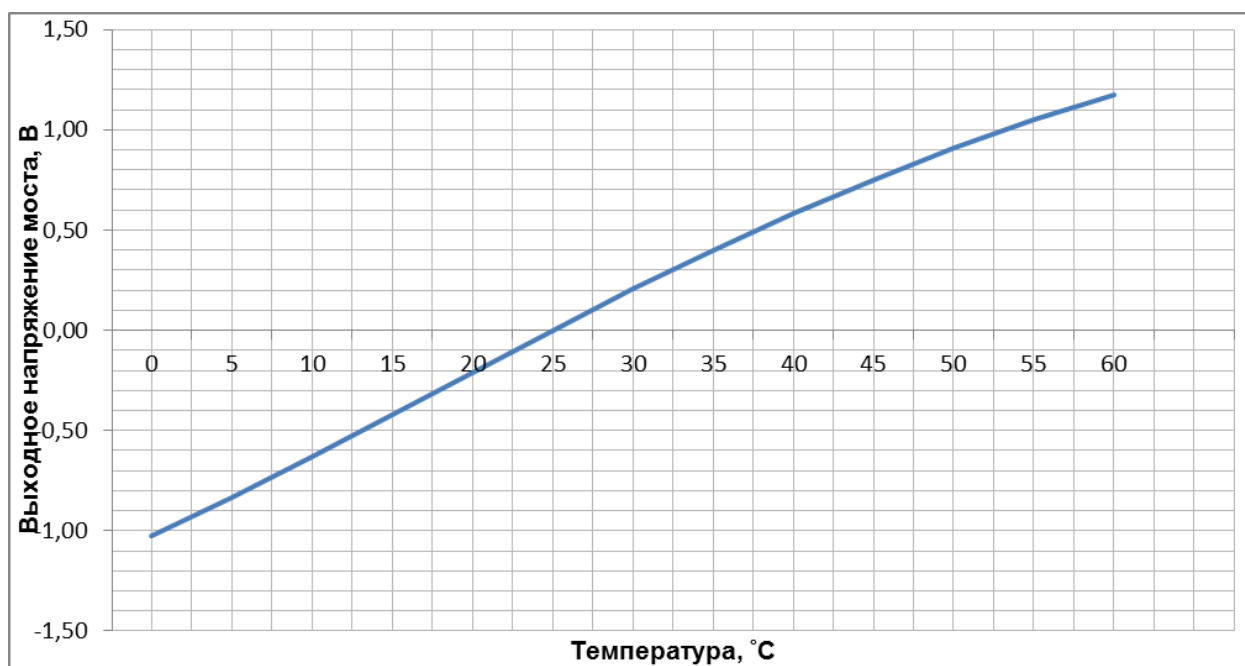


Рис. 6. Зависимость выходного напряжения измерительного моста от температуры.

Параметры резисторов для данной схемы дифференциального усилителя можно определить из выражения

$$K_u = \frac{R_5}{R_4} \cdot \left(\frac{2R}{R_a} + 1 \right),$$

при этом необходимо выполнить соотношение для резисторов R4-7:

$$\frac{R_7}{R_6} = \frac{R_5}{R_4}.$$

Для уменьшения влияния входного тока операционного усилителя DA3, с учётом вышеуказанного соотношения, примем равными номиналы резисторов $R_8 = R_{12} = 10$ кОм, $R_{13} = R_{14} = 20$ кОм. Сопротивление регулировочного резистора примем равным $R_{10} = 10$ кОм, тогда можно определить требуемую величину резисторов R_9 и R_{11} в цепях обратной связи усилителей DA1.2-2.2:

$$R_9 = R_{11} = \frac{R_{10}}{2} \cdot \left(K_u \cdot \frac{R_4}{R_5} - 1 \right) = \frac{10}{2} \cdot \left(4,433 \cdot \frac{10}{20} - 1 \right) = 6,0815 \text{ кОм}.$$

Применим переменные резисторы номиналом 6,2 кОм.

В качестве активных элементов схемы усилителя выбираем по условию задания операционный усилитель типа К140УД17 (рисунок 9). Это прецизионный усилитель с малым напряжением смещения и большим коэффициентом усиления напряжения.

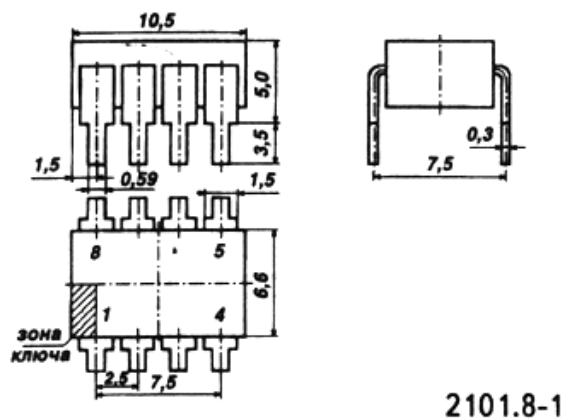


Рис. 9. Исполнение корпуса микросхемы К140УД17.

Этот операционный усилитель имеет внутреннюю частотную коррекцию, обладает низким уровнем собственного шума и предназначен для применения в высокоточных измерительных цепях с большим коэффициентом усиления. Его основные электрические параметры приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры операционного усилителя типа К140УД17.

Параметры	КР140УД17
Напряжение питания, В	$\pm(3...18)$
Коэффициент усиления, не менее	$150 \cdot 10^3$
Входной ток, нА	10
Выходной ток, не более, мА	5
Ток потребления номинальный, мА	5
Частота единичного усиления, МГц	0,4
Сопротивление нагрузки, не менее, кОм	2

6. Блок питания преобразователя

Питание измерительных преобразователей (ИП) может осуществляться как от сети однофазного переменного тока, так и от источника постоянного тока. Согласно требованиям к проекту схема преобразователя получает питание от источника постоянного напряжения с номиналами ± 15 В, подключенного к электросети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Коэффициент высших гармоник для напряжения питания измерительного преобразователя должен быть не более 0,1%.

Блок питания содержит два канала выходного постоянного напряжения: выход +15 В и выход -15 В относительно корпуса для питания операционных усилителей.

Выпрямитель блока питания выполнен на диодном мосте (рисунок 10).

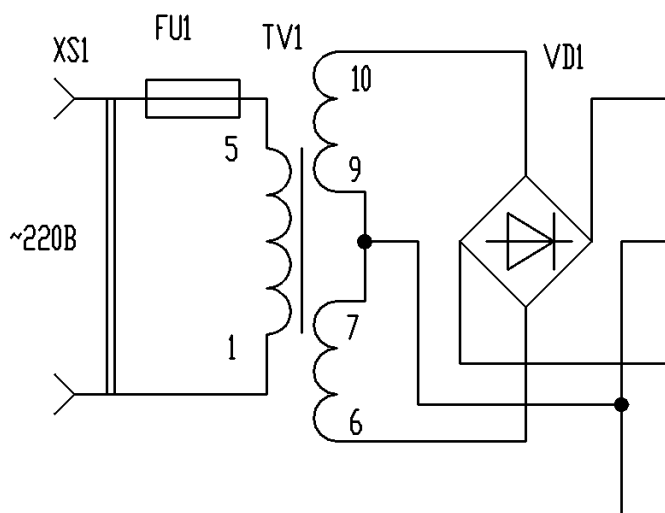


Рис. 8. Принципиальная схема блока питания преобразователя.

Для стабилизации выходного напряжения и достижения минимального коэффициента пульсаций в схеме используется стабилизатор в интегральном исполнении на соответствующее выходное напряжение и ток нагрузки. Для блока питания преобразователя выбираем интегральный стабилизатор К142ЕН6А, технические характеристики которого приведены в таблице 3.

Таблица 3. Технические характеристики ИС стабилизатора серии К142ЕН6.

Тип	$U_{\text{ВЫХ}}$, В	$I_{\text{ВЫХ}}$, А	$U_{\text{ВХ.min.}}$, В	$U_{\text{ВХ.max.}}$, В	Ток потребления, мА
КР142ЕН6А,Б	± 15	0,2	± 20	± 40	18

Типовая схема включения изображена на рисунок 11.

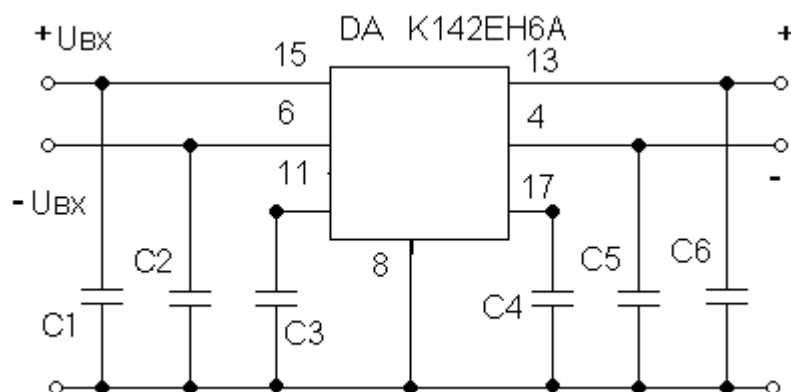


Рис. 9. Типовая схема включения интегрального стабилизатора серии КР142.

Требуемые номиналы конденсаторов C1, C2 ёмкостного фильтра выпрямителя принимаем равными 200 мкФ на рабочее напряжение 25 В, номиналы сглаживающих конденсаторов C3, C6 на выходе стабилизатора принимаем равными 10 мкФ на рабочее напряжение 25 В. Для вспомогательных цепей микросхемы стабилизатора ёмкость конденсаторов C4, C5 принимаем равной 0,1 мкФ.

Блок питания должен обеспечивать общий выходной ток $I_{\text{вых}}$ не менее

$$I_{\text{вых}} = 2 \cdot (N \cdot I_{\text{ОУ}} + I_{\text{пит.ст}}) = 1,5 \cdot (2 \cdot 3,5 + 18) = 50 \text{ мА},$$

где $N=2$ – количество операционных усилителей в схеме преобразователя;

$I_{\text{ОУ}}$ – ток потребления микросхемой ОУ, мА;

$I_{\text{пит.ст}}$ – ток питания микросхемы стабилизатора блока питания, мА.

Требования к номинальным параметрам диодов выпрямительного моста:

$$I_{\text{пр.ср}} > 0,5 \cdot I_{\text{выпр}} = 0,5 \cdot 0,050 = 0,025 \text{ А};$$

$$U_{\text{обр.макс}} = \frac{\pi}{2} U_{\text{пит}} = \frac{3,14}{2} \cdot 15 = 23,6 \text{ В}.$$

С учётом этих значений выбираем для схемы выпрямителя диодный мост типа КЦ407А.

Технические данные моста КЦ407А приведены в таблице 4.

Таблица 4. Параметры диодного моста типа КЦ412А.

Тип	$I_{\text{пр.ср}}$, (А)	$I_{\text{пр.и}}$, (А)	$U_{\text{обр.макс}}$, (В)	$U_{\text{пр}}$, (В)
КЦ407А	1	15	50	1,2

Действующие значения напряжений и токов для вторичных обмоток силового трансформатора:

$$U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot |U_{\text{выпр}}|}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot 20}{\sqrt{2}} = 28,4 \text{ В};$$

$$I_2 = 1,11 \cdot I_{\text{выпр}} = 1,11 \cdot 50 \approx 0,056 \text{ А}.$$

Действующий ток первичной обмотки

$$I_1 = \frac{I_2}{n} = \frac{I_2 \cdot U_1}{U_2} = \frac{0,056 \cdot 220}{220} = 0,056 \text{ А}.$$

Типовая мощность для мостовой схемы

$$S_T = I_2 \cdot U_2 = 0,056 \cdot 28,4 = 1,58 \text{ ВА}.$$

Трансформатор подбирается по требуемым параметрам напряжения U_2 и тока I_2 для вторичной обмотки, при этом рекомендуется использовать унифицированные малогабаритные трансформаторы. Для разрабатываемого устройства применим трансформатор серии ТПК-2 (вариант исполнения: для установки на печатную плату) для питания устройств на полупроводниковых приборах. Масса трансформатора серии ТПК-2 не более 0,11 кг, ток холостого хода – не более 0,02 А.

Таблица 5. Параметры малогабаритного трансформатора ТПК-2-2х15В.

Ном. мощность, В·А	Ток первичной обмотки, А	Напряжения вторичных обмоток (при номинальной нагрузке), В		Допустимый ток вторичных обмоток, А
		Номера вторичных обмоток		
		6 – 7	9 – 10	
2,5	0,02	15	15	0,08

Выбираем для блока питания силовой трансформатор ТПК-2-2х12В на номинальное напряжение первичной обмотки 220 В, на пластинчатом магнитопроводе, для установки на печатную плату. Технические параметры малогабаритного силового трансформатора приведены в таблице 5.

Трансформатор типа ТПК-2-2х15В имеет 2 одинаковых вторичных обмотки. Вторичные обмотки 6–7, 9–10 на общее напряжение холостого хода 20 В используются для питания моста выпрямителя. На рисунке 12 приведены внешний вид и габаритный чертеж трансформатора серии ТПК-2.

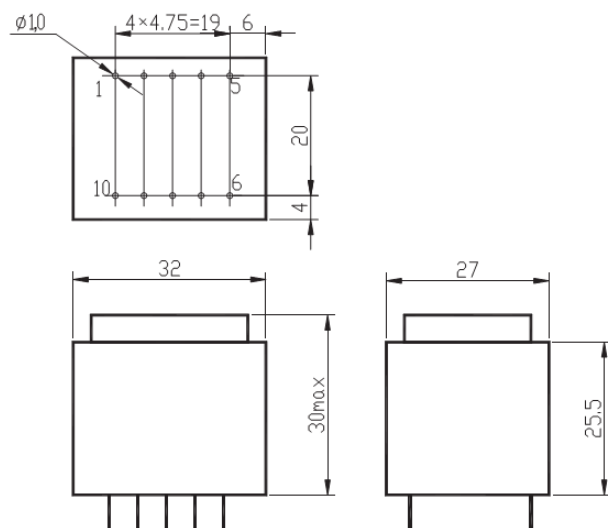


Рис. 10. Общий вид и габаритный чертеж силового трансформатора серии ТПК-2.

Заключение

В ходе курсовой работы разработан измерительный преобразователь «напряжение-температура» с использованием операционных усилителей.

Эксплуатационные характеристики устройства полностью соответствуют требованиям, указанных в задании. К недостаткам разработанного устройства можно отнести необходимость в использовании прецизионных элементов (резисторов), так как схема чувствительна к разбросу параметров элементов. Однако, использование переменных резисторов в измерительном мосте, источнике опорного напряжения и усилителя позволяет нивелировать разбросы номиналов элементов. Это позволит использовать резисторы в измерительных цепях с большим процентным допуском разброса номиналов.

Область применения данного преобразователя: промышленные установки и приборы, бытовые машины и другие устройства, где необходимо выполнять измерение температуры данного диапазона.

Список литературы

1. Бриндли К. Измерительные преобразователи: Справочное пособие: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.В. Электроника: учеб. пособие для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1982.
3. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1988.
4. Жеребцов И.П. Основы электроники. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1990.
5. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник. – Киев: Техніка, 1983.
6. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешов и др.; под ред. С.В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1989.