

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электроэнергетики и электрооборудования

ЭЛЕКТРОНИКА

Методическое указание к выполнению курсовой работы

Санкт-Петербург

2017

УДК 621.382

Электроника: методическое указание к выполнению курсовой работы / Л.А. Пигарев, факультет технических систем, сервиса и энергетики, каф. «Электроэнергетики и электрооборудования». СПб.:СПбГАУ. 2017. – 10 с.

В методическом указании предлагается разработать схему и провести расчет преобразователя температура – напряжение. В качестве примера рассматривается один из простых способов технической реализации преобразователя температура – напряжение с использованием операционных усилителей.

Методическое указание по выполнению курсовой работы предназначено для подготовки бакалавров очной (заочной) формы обучения по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», тип образовательной программы - академический бакалавриат, профиль подготовки бакалавра - «Электрооборудование и электротехнологии в АПК».

Тема курсовой работы: спроектировать преобразователь температура - напряжение с использованием операционных усилителей.

1. Схемы преобразования.

Преобразователи данного типа используются для измерения температуры в системах контроля и автоматического управления технологическими процессами. Функциональная схема преобразователя приведена на рис. 1.

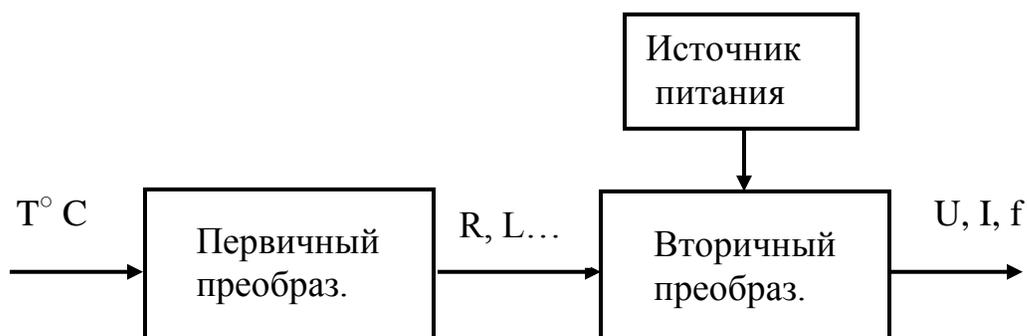


Рис.1. Функциональная схема преобразователя

Преобразователь, как правило, состоит из двух элементов: первичного преобразователя (датчика) и вторичного. В первичном преобразователе под действием какого либо физического параметра изменяются его характеристики, например сопротивление, геометрические размеры и т.д. Далее сигнал первичной информации преобразуется вторичным преобразователем в сигнал измерительной информации – напряжение, ток, частоту, как правило, стандартного диапазона.

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 мос-

та и дифференциальным усилителем (рис.2, 3) или схемы, построенные с использованием мостовых усилителей на операционных усилителях (рис. 4, 5).

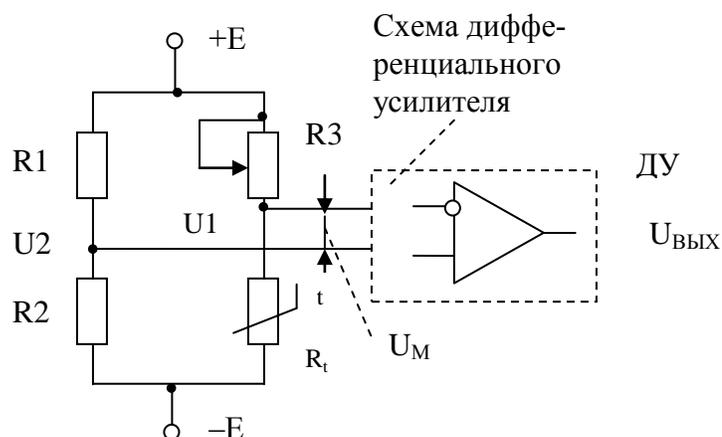


Рис.2. Схема с мостом Уитстона

Для схемы рис. 2 при выполнении условия $R1R_t = R3R2$ напряжение в диагонали моста $U_M = U2 - U1$ 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 $R3$ добиваются выполнения условия $U_M = 0$. При изменении сопротивления датчика R_t , напряжение, подаваемое на вход дифференциального усилителя (ДУ) будет меняться по соотношению:

$$U_M = E [R1 / (R1+R2) - R3 / (R3+Rt)]. \quad (1)$$

Далее это напряжение усиливается ДУ до необходимого значения $U_{ВЫХ}$.

Схема рис. 3 используется, когда датчик удален от вторичного преобразователя на большие расстояния (десятки метров).

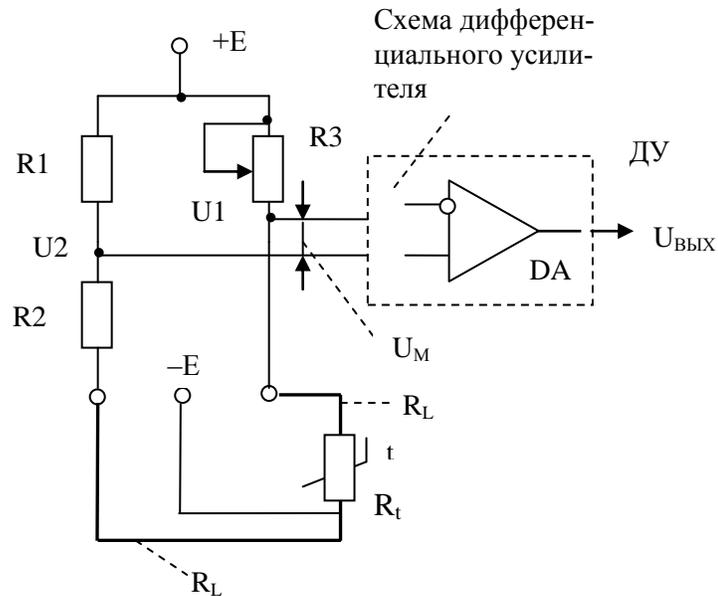


Рис. 3. Схема подключения удаленного датчика

В этом случае к мосту Уитстона датчик подсоединяется с помощью трехпроводной линии связи, что позволяет скомпенсировать длину соединительных проводов, поскольку для измерительного резистивного моста при условии баланса выполняется соотношение:

$$R1 (Rt+R_L) = R3 (R2+R_L), \quad (2)$$

где R_L - сопротивление линии (соединительного проводника).

Поскольку сопротивления R_L включаются в противоположные плечи моста, то условие баланса не зависит от длины соединительной линии.

В схемах рис.2 и 3 сопротивления R1 и R2 обычно задают несколько кОм, сопротивление R3 определяется номиналом терморезистора R_t при температуре балансировки. Величина напряжения питания E и его полярность определяют величину напряжения на выходе измерительного моста U_M (обычно это несколько вольт). Далее это напряжение усиливается схемой дифференциального усилителя до заданного значения $U_{ВЫХ}$.

Другой способ преобразования сопротивления термодатчика в напряжение – использование схем мостовых усилителей на операционных усилителях (ОУ) (рис.4, 5).

В схеме рис.4 датчик включается в цепь обратной связи. Его сопротивление представлено как $R_B + dR$, где R_B – сопротивление датчика при температуре балансировки, а dR - изменение сопротивления при изменении температуры относительно температуры балансировки: $dR_i = R_{Ti} - R_B$. Балансировку мостового усилителя осуществляют с помощью резистора R^* , сопротивление которого должно быть $R^* = R_B$.

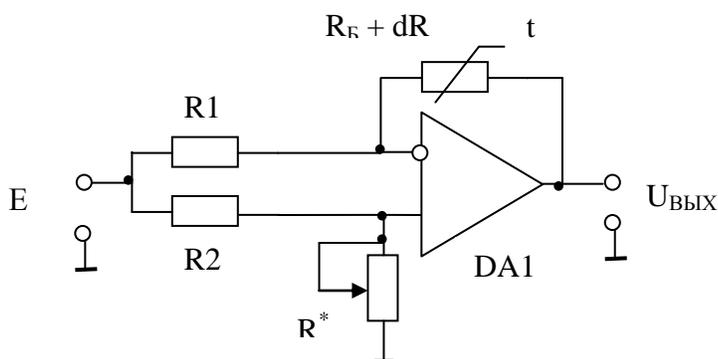


Рис. 4. Схема мостового усилителя с датчиком в обратной связи

С целью упрощения расчета выходного напряжения, обычно сопротивления $R1 = R2$. Для ОУ, используемых в курсовой работе, их значения рекомендуются ≤ 10 кОм. Тогда выходное напряжение преобразователя определяется соотношением [1]:

$$U_{\text{ВЫХ}i} = - (E dR_i) / (R1 + R_B). \quad (3)$$

Схему рис. 5 используют, когда датчик температуры должен быть заземлен.

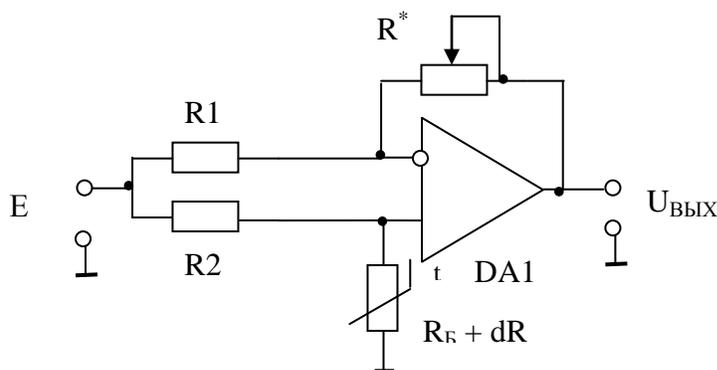


Рис. 5. Схема мостового усилителя с заземленным датчиком

Для данной схемы выходное напряжение преобразователя определяется соотношением [1]:

$$U_{\text{ВЫХ}i} = (E \, dR_i) / (R1 + R_B + dR_i) \quad (4).$$

При проектировании преобразователей необходимо соблюдать определенное требование – максимальное значение величины выходного напряжения должно находиться в стандартном диапазоне для заданного диапазона измерения параметра. Для напряжения постоянного тока стандартными являются диапазоны выходного напряжения преобразователя:

$$0 \div 2,5 \text{ В}, \quad 0 \div 5 \text{ В}, \quad -5 \text{ В} \div +5 \text{ В}, \quad 0 \div 10 \text{ В}.$$

2. Расчет источника питания преобразователя.

Питание операционного усилителя осуществляется от двухполярного источника питания. Для большинства ОУ стандартным является напряжение $\pm 15 \text{ В}$. Для его получения можно использовать типовую схему (рис. 6), состоящую из мостового выпрямителя VD1 – VD4, сглаживающего фильтра C1 – C2 и серийного двухканального стабилизатора постоянного напряжения DA1 с выходным напряжением $\pm 15 \text{ В}$. В качестве мостового выпрямителя целесообразно

но использовать не дискретные диоды, а выпрямительные блоки, например КЦ407 или их зарубежные аналоги.

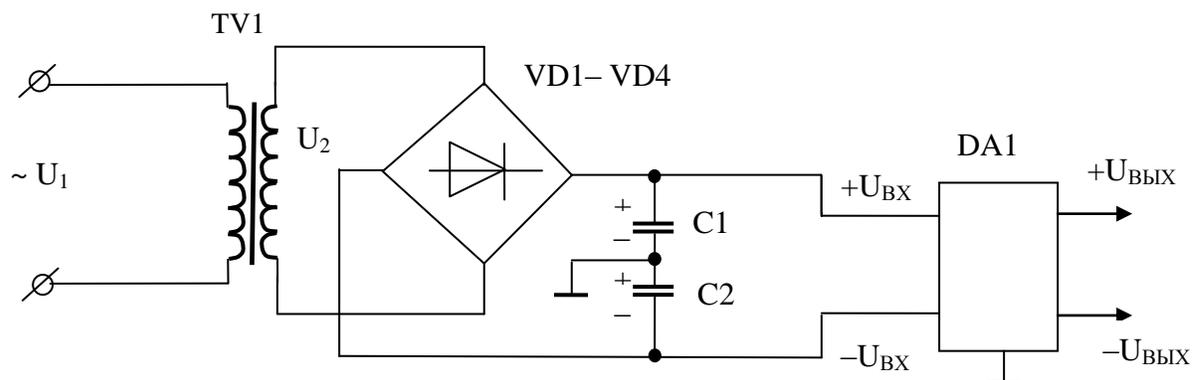


Рис. 6. Типовая схема источника питания

Емкости $C1$ и $C2$ кроме фильтрации переменной составляющей выпрямленного напряжения обеспечивают получение общей точки двухполярного источника питания. Двухканальные стабилизаторы постоянного напряжения $DA1$ с выходным напряжением ± 15 В выпускаются серийно в интегральном исполнении и имеют большое значение интегрального коэффициента стабилизации (сотни единиц и более). Параметры некоторых типов интегральных стабилизаторов серии К142 и их зарубежных аналогов приведены в таблице 1, а схемы включения на рис . 7

Таблица 1 - Стабилизаторы напряжения.

Тип	$U_{ВЫХ}$, В	$I_{ВЫХ}$, А	$U_{ВХ.min.}$, В	$U_{ВХ.max.}$, В	Ток потребления, мА
КР142ЕН5А	4,9-5,1	1,5	9	15	10
КР142ЕН8В	14,55-15,45	1,5	20	35	10
КР142ЕН6А,Б	± 15	0,2	± 20	± 40	18
КР142ЕН6В,Г	± 15	0,2	± 18	± 30	20
78L05	+ 5	0,1	-	+9	15
79L05	- 5	0,1	-	+9	15

При работе выпрямителя на емкостной фильтр, выпрямительные диоды работают в режиме отсечки (прерывания тока). Поэтому расчет емкостей достаточно сложен. Производители стабилизаторов напряжений рекомендуют пользователям

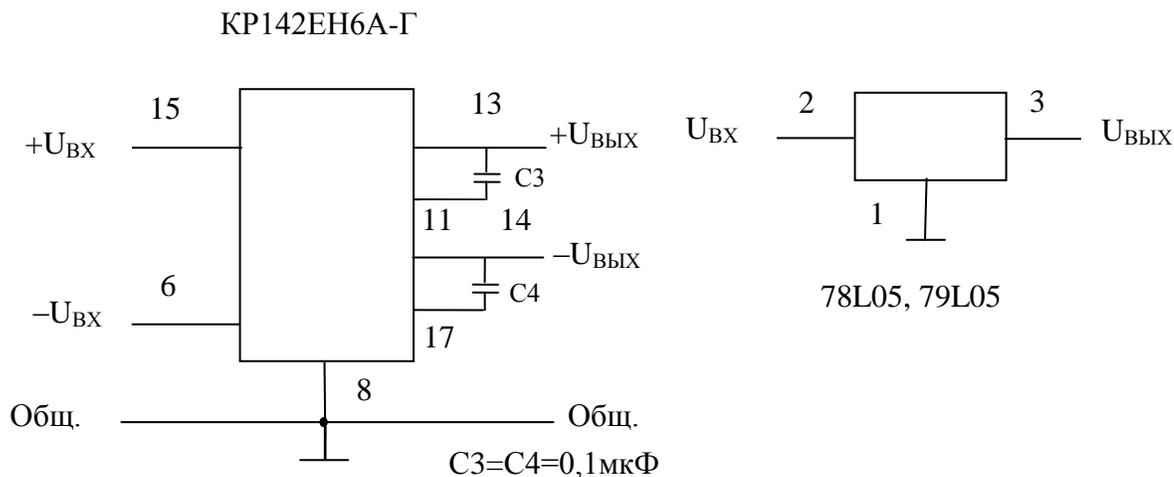


Рис. 7. Схемы включения интегральных стабилизаторов напряжения

расчетные значения емкостей электролитических конденсаторов для заявленных значений выходных токов.

Для стабилизаторов, приведенных в таблице 1, рекомендуемые значения емкостей электролитических конденсаторов сглаживающего фильтра $C1 = C2 = 200 \text{ мкФ}$. При работе выпрямителя на емкостную нагрузку, каждый из конденсаторов $C1$ и $C2$ заряжается до половины амплитудного значения напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{C1} = U_{C2} = U_{2m} / 2$. Эти напряжения являются входными напряжениями $+U_{ВХ}$ и $-U_{ВХ}$ для стабилизатора. Таким образом, расчет выпрямителя фактически сводится к выбору сетевого трансформатора по действующим значениям тока I_2 и напряжения U_2 на его вторичной обмотке. Поскольку на входное напряжение стабилизатора накладываются ограничения по минимальному и максимальному значению, примем,

что $\pm U_{BX} = [(\pm U_{BX \min}) + (\pm U_{BX \max})] / 2$ (см. табл. 1).

Тогда действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора можно определить как:

$$U_2 = U_{2m} / \sqrt{2} = 2 |U_{BX}| / \sqrt{2}, \quad (5)$$

где $|U_{BX}|$ - модуль входного напряжения $+ U_{BX}$ и $- U_{BX}$.

Для нахождения действующих значений токов первичной I_1 и вторичной I_2 обмоток трансформатора сначала необходимо определить ток нагрузки I_H , который потребляет схема. Он складывается из тока потребления схемой стабилизатора напряжения, выходного тока операционных усилителей, задействованных в схеме, а так же токов, протекающих в измерительной части схем (моста Уитстона или цепи обратной связи ОУ при минимальных значениях сопротивления терморезистора). Поскольку среднее значение тока выпрямительной схемы $I_{CP} \geq I_H$, то используя понятие коэффициента формы тока $D = I_2 / I_{CP}$, можно определить действующее значение тока вторичной обмотки I_2 . Для мостовой схемы $D = I_2 / I_{CP} = I_2 / I_H = 1,11$. Тогда действующее значение тока вторичной обмотки $I_2 = 1,11 I_H$.

Через коэффициент трансформации $n = U_1 / U_2$ можно определить действующее значение тока первичной обмотки $I_1 = I_2 / n$.

Типовая мощность трансформатора для мостовой схемы определяется соотношением $S_T = (S_1 + S_2) / 2$, где S_1 и S_2 - мощности первичной и вторичной обмоток трансформатора:

$$S_2 = I_2 U_2, \quad S_1 = I_1 U_1 = (I_2 / n) U_2 \quad n = I_2 U_2.$$

Таким образом, типовая мощность трансформатора для мостовой схемы $S_T = I_2 U_2$. По найденным значениям I_1 , I_2 , U_2 и S_T выбирается унифицированный сетевой трансформатор [4].

2.1. Источник питания преобразователя

Для работы измерительных схем необходим источник питания с напряжением питания E . Наиболее просто для получения напряжения E можно использовать источник двухполярного питания операционного усилителя $\pm U_{\Pi}$ и повторитель напряжения на ОУ (рис.8). При номиналах резисторов, указанных на схеме и напряжениях питания ОУ $U_{\Pi} = \pm 15$ В, напряжение E можно изменять с помощью резистора $R2$ в диапазоне ± 5 В.

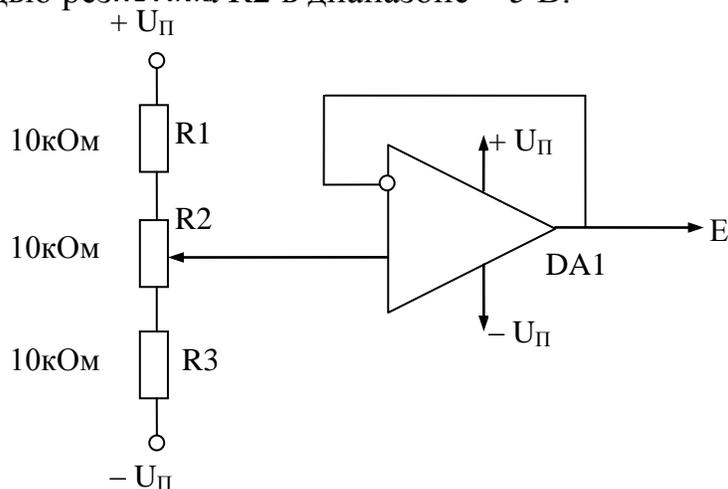


Рис. 8. Источник двухполярного напряжения

Для получения напряжения питания E фиксированной величины и полярности в место делителя из трех резисторов можно использовать более простой резистивный делитель, состоящий из двух сопротивлений и однополярного напряжения питания $+U_{\Pi}$ или $-U_{\Pi}$.

3. Порядок расчета преобразователя.

Вариант задания студента соответствует его номеру в списке группы, определенный деканатом (см. Приложение 2). Исходные данные (*тип термистора, диапазон измерения температуры, диапазон выходного напряжения преобразователя, тип операционного усилителя, особенности включения*

датчика) приведены в «Приложении 2». Параметры термистора и операционных усилителей приведены в Приложениях 3,4.

Последовательность выполнения курсовой работы может быть следующей:

1. Построение статической характеристики термистора (R / T характеристика, $R_T = f(T)$).

Зависимость сопротивления термисторов от температуры в интервале изменения температуры несколько десятков градусов аппроксимируется экспоненциальной зависимостью:

$$R_T = R_N * \exp [B (1 / T - 1 / T_N)] \quad (6),$$

где:

- R_T - сопротивление термистора в Ом при температуре T в К;
- R_N - сопротивление термистора в Ом при номинальной температуре T_N в К;
- B – коэффициент температурной чувствительности, зависящий от свойств материала и температуры.

Значение B для температурного диапазона можно определить по соотношению [2]:

$$B = [(T_1 * T_2) / (T_2 - T_1)] * \ln(R_1 / R_2), \quad (7)$$

где: R_1 и R_2 – сопротивления термистора соответственно при температуре T_1 и T_2 .

Значение B для большинства термисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) лежит в пределах 2000 ... 6000. Таким образом, для построения R / T - характеристики по выражению (6), необходимо определить значение B для заданного температурного диапазона, а для этого надо знать соответствующие сопротивления термистора.

Второй способ построения R / T - характеристики заключается в использовании нормализованных R / T - характеристик [2], которые фирмы производи-

тели прилагают к выпускаемым термисторам (см. Приложение 3). Обычно R / T –характеристики приводятся в таблицах относительно температуры 25°C (величина R_T / R_{25}). Для того, чтобы найти значение сопротивления при температуре T , необходимо вычислить

$$R_T = (R_T / R_{25}) * R_{25} \quad (8).$$

Если значение температуры T попадает в интервал $T_X < T < T_{X+1}$, то для определения R_T необходимо воспользоваться соотношением

$$R_T = R_{TX} * \exp [(\alpha_X / 100) * (T_X + 273,15)^2 * ((1 / (T + 273,15)) - (1 / (T_X + 273,15)))] \quad (9),$$

где:

R_T – значение сопротивления при искомой температуре T ;

R_{TX} - значение сопротивления начала интервала;

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

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

α_X – температурный коэффициент сопротивления при температуре T_X .

Постройте R / T –характеристику для заданного температурного диапазона, используя первый или второй способ.

2. В соответствии с заданием выберите схему построения преобразователя и проведите его расчет. Параметры операционных усилителей приведены в таблице 4. Постройте выходную характеристику преобразователя

$$U_{\text{ВЫХ}} = f(T^\circ) \text{ с учетом заданного диапазона выходного напряжения.}$$

3. Проведите расчет источника питания преобразователя в соответствии с рекомендациями и методикой, изложенной в пункте 2.

4. В соответствии с ГОСТ и ЕСКД изобразите принципиальную электрическую схему разработанного преобразователя. При выполнении чертежа в формате А4 принципиальная электрическая схема выполняется на двух листах:

- первый содержит схему и основную надпись (185x55 мм.) с наименованием «Преобразователь температура-напряжение. Схема электрическая принципиальная.»
- второй дополнительную надпись (185x40 мм.) с наименованием «Преобразователь температура-напряжение. Перечень элементов.» и таблицу перечня элементов.

При выполнении чертежа в формате А3 принципиальная электрическая схема выполняется на одном листе и содержит схему, основную надпись (185x55 мм.) с наименованием «Преобразователь температура-напряжение. Схема электрическая принципиальная», а также таблицу перечня элементов.

5. Пояснительную записку следует выполнить на листах формата А4, компьютерный набор: **шрифт Times New Roman, 14, интервал – 1,5**. Вариант задания вставьте на первой странице (Приложение 1).

Литература.

1. Р. Кофлин, Ф. Дрискол. Операционные усилители и линейные интегральные схемы. Издательство «Мир», М., 1979.
2. Библиотека электронных компонентов. №5. Термисторы фирмы Siemens и Matsushita. Додека, 1999.
3. Б. И. Горошков, А. Б. Горошков. Электронная техника. М. «Академия», 2008 г.
4. И.И. Сидоров. Малогабаритные трансформаторы и дроссели.
5. Л.А. Пигарев, Электроника: учебное пособие. СПбГАУ. 2017. Электронный ресурс. Университетская библиотека Online.
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480400>
6. Ю.С. Забродин. Промышленная электроника. «Высшая школа», М., 1982.

Приложение 1.

Поместить на первой странице пояснительной записки.

Задание по курсовой работе по дисциплине «Электроника»

студенту _____ курса Санкт-Петербургского государственного аграрного университета

_____ № _____
(фамилия, имя, отчество) (шифр)

Спроектировать преобразователь температура - напряжение с использованием операционных усилителей.

Исходные данные для расчета:

тип термистора _____;

диапазон измерения температуры °С: _____;

диапазон выходного напряжения, В _____;

тип операционного усилителя _____;

особенности включения датчика _____;

« _____ » _____ 202__ г.

(подпись выдавшего задание)

Таблица 2 - Исходные данные.

№	Тип термистора	Диапазон измерения температуры °С	Диапазон выходного напряжения, В	Тип операционного усилителя	Особенности включения датчика.
1	C621/4,7k/+	- 30 ... + 30	- 5...+5	KP140УД8	Удаленное расположение
2	C621/10k/+	0...57	0...5	KP140УД7	Стандартное расположение
3	C621/22k/+	0...28	0...10	KP140УД14	Заземленный корпус
4	M891/15k/+	-15...+37	- 5...+5	KP140УД17	В цепи ОС мостового усилителя
5	M891/33k/+	-20... +45	- 5...+5	KP140УД20	Стандартное расположение
6	M891/47k/+	0... 62	0...10	KP140УД8	Заземленный корпус
7	S869/10k/+40	- 25...+55	- 5...+5	KP140УД14	Стандартное расположение
7	Z10/10k/G	0...100	0...5	KP140УД8	Удаленное расположение
9	M2020/5k/A1	- 30...+7	- 5...+5	KP140УД7	В цепи ОС мостового усилителя
10	C621/4,7k/+	-15...+49	-5...+5	KP140УД14	Заземленный корпус
11	C621/10k/+	0...80	0...10	KP140УД7	Удаленное расположение
12	C621/22k/+	0...50	0...5	KP140УД14	Стандартное расположение
13	M891/15k/+	-20...+77	- 10...+10	KP140УД17	Удаленное расположение
14	M891/33k/+	-30... +65	- 5...+5	KP140УД7	Заземленный корпус
15	M891/47k/+	0... 100	0...5	KP140УД20	В цепи ОС мостового усилителя
16	S869/10k/+40	0...+85	0...+10	KP140УД8	Удаленное расположение
17	Z10/10k/G	0...50	0...5	KP140УД7	Стандартное расположение
18	M2020/5k/A1	- 40...+40	- 5...+5	KP140УД7	Заземленный корпус
19	C621/4,7k/+	-35...+87	-5...+5	KP140УД20	Удаленное расположение
20	C621/4,7k/+	- 50 ... + 75	- 5...+5	KP140УД17	В цепи ОС мостового усилителя
21	C621/10k/+	0...120	0...10	KP140УД8	Заземленный корпус

№	Тип термистора	Диапазон измерения температуры °С	Диапазон выходного напряжения, В	Тип операционного усилителя	Особенности включения датчика.
22	C621/22k/+	-35...65	-5...+5	КР140УД8	Стандартное расположение
23	M891/15k/+	0...100	0...10	КР140УД14	Заземленный корпус
24	M891/33k/+	-50... +50	- 5...+5	КР140УД20	Удаленное расположение
25	M891/47k/+	-55... +55	- 5...+5	КР140УД7	В цепи ОС мостового усилителя
26	S869/10k/+40	0...140	0...10	КР140УД7	Стандартное расположение
27	Z10/10k/G	- 20...+40	- 5...+5	КР140УД8	Стандартное расположение
28	M2020/5k/A1	- 40...+40	- 5...+5	КР140УД14	Заземленный корпус
29	C621/4,7k/+	0...100	0...5	КР140УД17	Стандартное расположение
30	C621/4,7k/+	- 35 ...+ 45	- 5...+5	КР140УД20	Удаленное расположение

Таблица 3 - Параметры термисторов.

Тип С621 – для измерений и регулирования температуры. Серебрянно-палладиевые контактные поверхности.

Температура окружающей среды	T_A	- 55 ...+125	°С
Номинальная температура	T_H	25	°С
Максим. мощность рассеивания при 25°С	P_{25}	300	мВт
Постоянная времени охлаждения	τ_C	10	с

Т, °С	Тип		Тип		Тип	
	С621/4,7к/+		С621/10к/+		С621/22к/+	
	$R_{25} = 4,7 \text{кОм}$		$R_{25} = 10 \text{кОм}$		$R_{25} = 22 \text{кОм}$	
	$B_{25/100} = 3520 \text{К}$		$B_{25/100} = 3530 \text{К}$		$B_{25/100} = 3560 \text{К}$	
	R_T / R_{25}	$\alpha, \%/K$	R_T / R_{25}	$\alpha, \%/K$	R_T / R_{25}	$\alpha, \%/K$
-30	11,674	5,3	12,256	5,4	12,696	5,4
-25	9,0124	5,1	9,4071	5,2	9,7251	5,2
-20	7,0136	4,9	7,2862	5,0	7,5171	5,1
-15	5,5001	4,8	5,6835	4,9	5,8353	4,9
-10	4,3451	4,6	4,4698	4,7	4,5686	4,8
-5	3,4569	4,5	3,5385	4,6	3,6050	4,7
0,0	2,7688	4,4	2,8222	4,5	2,8665	4,5
5	2,2321	4,2	2,2649	4,3	2,2907	4,4
10	1,8105	4,1	1,8300	4,2	1,8438	4,3
15	1,4773	4,0	1,4872	4,1	1,4920	4,1
20	1,2122	3,9	1,2161	4,0	1,2154	4,0
25	1,0000	3,8	1,0000	3,9	1,0000	3,9
30	0,82924	3,7	0,82677	3,8	0,82976	3,8
35	0,69105	3,6	0,68708	3,6	0,68635	3,7
40	0,57861	3,5	0,57401	3,5	0,57103	3,6
45	0,48666	3,4	0,48181	3,5	0,48015	3,5

50	0,41110	3,3	0,40638	3,4	0,40545	3,4
55	0,34872	3,3	0,34427	3,3	0,34170	3,3
60	0,29699	3,2	0,29296	3,2	0,28952	3,2
65	0,25390	3,1	0,25035	3,1	0,24714	3,1
70	0,21786	3,0	0,21478	3,0	0,21183	3,1
75	0,18759	3,0	0,18501	2,9	0,18194	3,0
80	0,16208	2,9	0,15995	2,9	0,15680	2,9
85	0,14050	2,8	0,13881	2,8	0,13592	2,8
90	0,12217	2,8	0,12088	2,7	0,11822	2,8
95	0,10656	2,7	0,10563	2,7	0,10340	2,7
100	0,093213	2,6	0,093597	2,6	0,090741	2,6
105	0,081767	2,6	0,081442	2,5	0,079642	2,6

Тип М891 – термисторы дисковые для измерений и регулирования температуры.

Температура окружающей среды	T_A	- 55 ...+125	°C
Номинальная температура	T_H	25	°C
Максим. мощность рассеивания при 25°C	P_{25}	200	мВт
Постоянная времени охлаждения	τ_C	12	с

Т, °C	Тип		Тип		Тип	
	M891/15k/+		M891/33k/+		M891/47k/+	
	$R_{25} = 15 \text{кОм}$		$R_{25} = 33 \text{кОм}$		$R_{25} = 47 \text{кОм}$	
	$B_{25/100} = 4100 \text{К}$		$B_{25/100} = 4300 \text{К}$		$B_{25/100} = 4250 \text{К}$	
	R_T / R_{25}	$\alpha, \%/\text{К}$	R_T / R_{25}	$\alpha, \%/\text{К}$	R_T / R_{25}	$\alpha, \%/\text{К}$
-30	17,787	6,3	21,567	6,6	19,615	6,4
-25	13,083	6,1	15,641	6,3	14,365	6,2
-20	9,7251	5,8	11,466	6,2	10,629	6,0

-15	7,3160	5,6	8,4510	6,0	7,9249	5,8
-10	5,5545	5,4	6,2927	5,9	5,9641	5,6
-5	4,2531	5,3	4,7077	5,7	4,5098	5,5
0,0	3,2836	5,1	3,5563	5,5	3,4405	5,3
5	2,5512	5,0	2,7119	5,3	2,6434	5,1
10	1,9973	4,8	2,0860	5,1	2,0475	5,0
15	1,5738	4,7	1,6204	5,0	1,6005	4,9
20	1,2488	4,5	1,2683	4,8	1,2600	4,7
25	1,0000	4,5	1,0000	4,7	1,0000	4,6
30	0,80080	4,3	0,79420	4,6	0,79511	4,5
35	0,64733	4,2	0,63268	4,5	0,63773	4,4
40	0,52628	4,0	0,50740	4,3	0,51454	4,2
45	0,43263	3,9	0,41026	4,2	0,41764	4,1
50	0,35708	3,9	0,33363	4,1	0,34080	4,0
55	0,29406	3,8	0,27243	4,0	0,27970	3,9
60	0,24342	3,7	0,22370	3,9	0,23063	3,8
65	0,20278	3,6	0,18459	3,8	0,19082	3,7
70	0,16964	3,5	0,15305	3,7	0,15857	3,6
75	0,14257	3,4	0,12755	3,6	0,13242	3,6
80	0,12028	3,4	0,10677	3,5	0,11104	3,5
85	0,10196	3,3	0,089928	3,4	0,093483	3,4
90	0,086757	3,3	0,076068	3,3	0,079004	3,3
95	0,073804	3,2	0,064524	3,3	0,066980	3,2
100	0,062974	3,0	0,054941	3,2	0,056982	3,2
105	0,054276	2,9	0,047003	3,1	0,048754	3,1

Типы:

S869 – герметизированные эпоксидной смолой миниатюрные сенсоры для прецизионных измерений в системах воздушного кондиционирования, автомобильной и промышленной электроники.

Z10 – датчики для паровых котлов, систем нагрева и температурных измерений в жидкостях. Стальной корпус с опрессованной базовой частью из пластика.

M2020 – датчики для температурных измерений в рефрижераторах, морозильных камерах, системах воздушного кондиционирования.

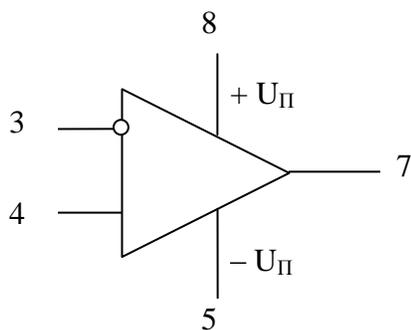
Тип		S869	Z10	M2020	
Температура окружающей среды	T_A	- 55 ...+155	- 25 ...+100	- 40 ...+100	°C
Номинальная температура	T_H	25	25	0	°C
Максим. мощность рассеивания при 25°C	P_{25}	60	100	100	мВт
Постоянная времени охлаждения	τ_C	15	2,5	50	с

T, °C	Тип		Тип		Тип	
	S869/10k/+40		Z10/10k/G		M2020/5k/A1	
	$R_{25} = 10\text{кОм}$		$R_{25} = 10\text{кОм}$		$R_{25} = 5\text{кОм}$	
	$B_{25/100} = 3988\text{К}$		$B_{25/100} = 3920\text{К}$		$B_{25/100} = 3980\text{К}$	
	R_T / R_{25}	$\alpha, \%/K$	R_T / R_{25}	$\alpha, \%/K$	R_T / R_{25}	$\alpha, \%/K$
-30	17,70	6,2		17,753	6,3	
-25	13,04	6,0	12,621	5,9	13,067	6,0
-20	9,707	5,8	9,4515	5,8	9,7228	5,8
-15	7,293	5,6	7,1273	5,6	7,3006	5,6
-10	5,533	5,5	5,4270	5,5	5,5361	5,5
-5	4,232	5,3	4,1522	5,3	4,2332	5,3
0,0	3,265	5,1	3,2063	5,1	3,2660	5,1
5	2,539	5,0	2,5019	4,9	2,5392	5,0
10	1,990	4,8	1,9679	4,7	1,9902	4,8
15	1,571	4,7	1,5623	4,6	1,5709	4,7

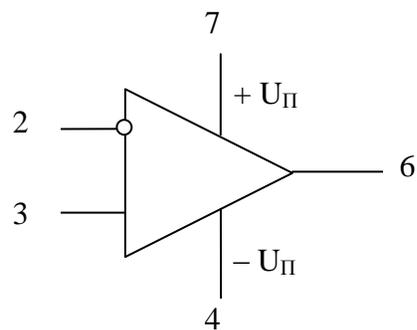
20	1,249	4,5	1,2488	4,5	1,2492	4,5
25	1,0000	4,4	1,0000	4,3	1,0000	4,4
30	0,8057	4,3	0,81105	4,2	0,80575	4,3
35	0,6531	4,1	0,65930	4,1	0,65326	4,1
40	0,5327	4,0	0,53922	4,0	0,53290	4,0
45	0,4369	3,9	0,44345	3,9	0,43715	3,9
50	0,3603	3,8	0,36674	3,7	0,36064	3,8
55	0,2986	3,7	0,30513	3,6	0,29908	3,7
60	0,2488	3,6	0,25514	3,5	0,24932	3,6
65	0,2083	3,5	0,21457	3,4	0,20886	3,5
70	0,1752	3,4	0,18131	3,4	0,17578	3,4
75	0,1481	3,3	0,15360	3,3	0,14863	3,3
80	0,1258	3,2	0,13064	3,2	0,12621	3,2
85	0,1072	3,2	0,11156	3,1	0,10763	3,1
90	0,09177	3,1	0,095606	3,0	0,092159	3,1
95	0,07885	3,0	0,082347	3,0	0,079225	3,0
100	0,06800	2,9	0,071180	2,9	0,068356	2,9
105	0,05886	2,9				

Таблица 4 - Параметры операционных усилителей.

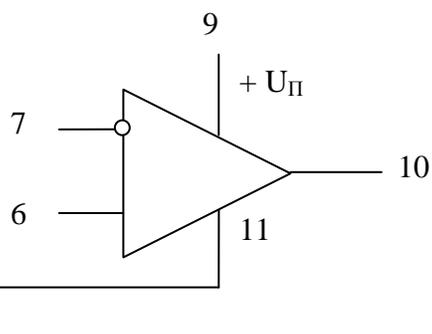
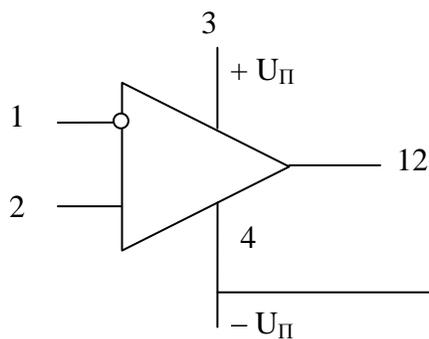
Тип ОУ	КР140УД7	КР140УД8	КР140УД14	КР140УД17	КР140УД20
Напряжение питания, В	$\pm(5...20)$	± 15	$\pm(5...20)$	$\pm(3...18)$	$\pm(5...20)$
Коэффициент усиления	$50 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$	$150 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^3$
Входной ток, нА	200	0,2	5	10	100
Выходной ток, мА	5	5	5	5	5
Ток потребления, мА	3,5	3,5	4	5	3,5
Частота среза, МГц	0,8	1,0	0,5	0,4	0,5
Сопротивление нагрузки не менее, кОм	1...2	2	1	2	1



К140УД7, 14, 17



К140УД8



К140УД20