

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт машиностроения, материалов и транспорта
Высшая школа автоматизации и робототехники

Отчёт

по лабораторной работе №2

Дисциплина: Программирование микроконтроллеров для управления
роботами

Тема: Вторичный источник питания

Студент гр. 3331506/70401

Преподаватель

Жернаков А.А.

Капустин Д.А.

« » _____ 2020 г.

Санкт-Петербург

2020

Содержание

Задание	3
1. Преобразователь напряжения.....	4
1.1. Описание	4
1.2. Расчет максимальной частоты переключения $f_{SW(max)}$ и резистора $R_{RT/CLK}$	5
1.3. Расчет минимального значения индуктивности	6
1.4. Расчет выходной емкости	7
1.5. Расчет входной емкости	7
1.6. Выбор конденсатора между выводами BOOT и SW	8
1.7. Расчет резисторов делителя напряжения на выводе FB	8
1.8. Расчет резистора на выводе COMP	8
1.9. Расчет конденсаторов на выводе COMP	9
2. Расчет резисторов делителя напряжения на выводе FB	10
2.1. Описание	10
2.2. Расчет резистора на выводе ILIM.....	12
2.3. Расчет резисторов делителя напряжения	12
2.4. Расчет конденсатора для вывода dVdT.....	13
2.5. Выбор входного конденсатора	13
2.6. Выбор резистора для стабилитрона	14
3. Расчет стоимости производства платы	15
3.1. Стоимость текстолита.....	15
3.2. Стоимость компонентов	15
Заключение	16

Задание

Вариант задания №5. Микросхема TPS54360B.

Разработать понижающий преобразователь напряжения DC/DC 48В/5В. Мощность преобразователя 5Вт. Преобразователь должен быть защищен от подачи напряжения обратной полярности, подачи напряжения ниже 40В, а также подачи напряжения выше 48В. В устройстве должна присутствовать индикация напряжения питания на выходе. Устройство должно быть защищено от КЗ на выходе источника.

1. Преобразователь напряжения

1.1 Описание

TPS54360B — это понижающий преобразователь напряжения со встроенным высокочастотным МОП-транзистором. Устройство реализует постоянную частоту, управление токовым режимом, что снижает выходную емкость и упрощает внешнюю частотную компенсацию. Широкий диапазон частот переключения позволяет оптимизировать выбор компонентов выходного фильтра.

Основные характеристики данной микросхемы приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики микросхемы TPS54360B

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	от 4,5 до 60
Номинальный ток, А	до 3,5
Частота переключения, МГц	от 0,1 до 2,5
Рабочие температуры, °C	от -40 до 150
Температура теплового отключения, °C	176

На рисунке 1.1 представлено условное графическое обозначение микросхемы.

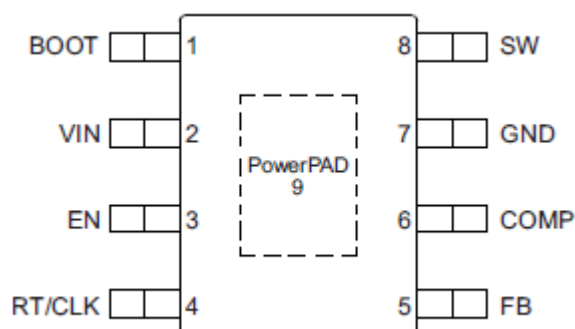


Рисунок 1.1 – УГО микросхемы TPS54360B

Контакт VIN предназначен для подключения входного напряжения питания с рабочим диапазоном от 4,5 В до 60 В.

Контакт EN предназначен для защиты от подачи пониженного

напряжения. В данной работе оставлен неподключенным, так как защита от пониженного напряжения реализована с помощью защитной микросхемы.

Контакт RT/CLK предназначен для установки частоты переключения.

Контакт FB – вход компаратора обратной связи по выходному напряжению. Подключается к делителю напряжения, с помощью которого устанавливается выходное напряжение.

Контакт COMP предназначен для подключения компонентов частотной компенсации.

Контакт SW – коммутационный узел преобразователя. Между выводами BOOT и SW требуется нагрузочный конденсатор. Если напряжение на этом конденсаторе ниже минимума, необходимого для работы высокочастотного МОП-транзистора, выход выключается до тех пор, пока конденсатор не будет обновлен.

1.2 Расчет максимальной частоты переключения $f_{SW(max)}$ и резистора

$$R_{RT/CLK}$$

Вычислим максимальную частоту переключения $f_{SW(max)}$ по формуле (1.1).

$$f_{SW(max)} = \frac{1}{t_{ON}} \cdot \left(\frac{I_{OUT} \cdot R_{dc} + V_{OUT} + V_d}{V_{IN} - I_{OUT} \cdot R_{DS(on)} + V_d} \right), \quad (1.1)$$

где t_{ON} – минимальное время включения, с; I_{OUT} – выходной ток, А; R_{dc} – сопротивление катушки, Ом; V_{OUT} – выходное напряжение, В; V_d – падение напряжения на диоде, В; V_{IN} – входное напряжение, В; $R_{DS(on)}$ – сопротивление внутреннего переключателя, Ом.

Выберем диод SS36-E3/57T ($V_d = 0,75$ В) и катушку SRP7028A-220M ($L = 22$ мкГн, $R_{dc} = 0,165$ Ом).

Из документации на микросхему: $t_{ON} = 135$ нс, $R_{DS(on)} = 92$ мОм.

Из задания $V_{IN} = 48$ В, $V_{OUT} = 5$ В, $I_{OUT} = 1$ А,

Подставив значения в формулу (1.1), получим

$$f_{SW(max)} = \frac{1}{135 \cdot 10^{-9}} \cdot \left(\frac{1 \cdot 0,165 + 5 + 0,75}{48 - 1 \cdot 0,092 + 0,75} \right) = 901 \text{ Гц}$$

Вычислим сопротивления резистора между контактом RT/CLK и GND по формуле (1.2).

$$R_{RT/CLK} = \frac{101756}{f_{SW}^{1,008}} = \frac{101756}{800^{1,008}} = 96,5 \text{ кОм} \quad (1.2)$$

Выбираем $f_{SW} = 800 \text{ Гц}$ и $R_{RT/CLK} = 97,6 \text{ кОм}$.

1.3 Расчет минимального значения индуктивности

Для расчета минимального значения индуктивности используем формулу (1.3).

$$L_{min} = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{I_{OUT} \cdot K_{IND}} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{IN} \cdot f_{SW}}, \quad (1.3)$$

где K_{IND} – коэффициент, рекомендуемое значение которого равно $K_{IND} = 0,3$.

Подставив значения в формулу (1.3), получим

$$L_{min} = \frac{48 - 5}{1 \cdot 0,3} \cdot \frac{5}{48 \cdot 800 \cdot 10^3} = 18,7 \text{ мкГн}$$

Для расчета тока пульсации используем формулу (1.4).

$$I_{RIPPLE} = \frac{V_{OUT} \cdot (V_{IN} - V_{OUT})}{V_{IN} \cdot L \cdot f_{SW}} = \frac{5 \cdot (48 - 5)}{48 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3} = 0,254 \text{ А} \quad (1.4)$$

Для расчета пикового тока индуктивности используем формулу (1.5).

$$I_{L(peak)} = I_{OUT} + \frac{I_{RIPPLE}}{2} = 1 + \frac{0,254}{2} = 1,127 \text{ А} \quad (1.5)$$

Оставляем выбранную катушку индуктивности SRP7028A-220M ($L = 22 \text{ мкГн}$, $R_{dc} = 0,165 \text{ Ом}$, $I_{sat} = 3,5 \text{ А}$).

1.4 Расчет выходной емкости

Расчет выходной емкости C_{OUT} по току пульсации выполняется по формуле (1.6).

$$C_{OUT} > \frac{1}{8 \cdot f_{SW}} \cdot \frac{I_{RIPPLE}}{V_{OUT(RIPPLE)}}, \quad (1.6)$$

где $V_{OUT(RIPPLE)} = 25$ мВ – максимально допустимая пульсация выходного напряжения.

Подставив значения в формулу (1.6), получим

$$C_{OUT} > \frac{1}{8 \cdot f_{SW}} \cdot \frac{I_{RIPPLE}}{V_{OUT(RIPPLE)}} = \frac{1}{8 \cdot 800 \cdot 10^3} \cdot \frac{0,254}{25 \cdot 10^{-3}} = 1,59 \text{ мкФ}$$

Эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора должно быть меньше значения, которое рассчитывается по формуле (1.7).

$$R_{ESR} < \frac{V_{OUT(RIPPLE)}}{I_{RIPPLE}} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{0,254} = 98 \text{ мОм} \quad (1.7)$$

Используем керамический конденсатор 22 мкФ, 10 В, X5R.

1.5 Расчет входной емкости

Найдем номинал входного конденсатора. Номинальное напряжение входного конденсатора должно быть больше максимального входного напряжения. Конденсатор также должен иметь номинальный пульсационный ток, превышающий максимальную пульсацию входного тока.

Расчет входного тока пульсации выполняется по формуле (1.8).

$$I_{CI} = I_{OUT} \cdot \sqrt{\frac{V_{OUT}}{V_{IN(min)}} \cdot \frac{(V_{IN(min)} - V_{OUT})}{V_{IN(min)}}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{5}{40} \cdot \frac{(40 - 5)}{40}} = 0,331 \text{ А} \quad (1.8)$$

Выбираем два параллельно соединенных керамических конденсатора 2,2 мкФ, 100 В, X7R.

1.6 Выбор конденсатора между выводами BOOT и SW

Для правильной работы между выводами BOOT и SW рекомендуется использовать керамический конденсатор емкостью 0,1 мкФ с диэлектриком X5R или лучше и номинальным напряжением не менее 10 В.

Используем керамический конденсатор 0,1 мкФ, 50 В, X7R.

1.7 Расчет резисторов делителя напряжения на выводе FB

Расчет резисторов R_{HS} и R_{LS} делителя напряжения на выводе FB выполняется по формуле (1.9).

$$R_{HS} = R_{LS} \cdot \frac{V_{OUT} - 0,8}{0,8} \quad (1.9)$$

Рекомендованное значение $R_{LS} = 10,2$ кОм. Подставив значения в формулу (1.9), получим

$$R_{HS} = 10,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{5 - 0,8}{0,8} = 53,6 \text{ кОм}$$

Используем резисторы 10,2 кОм и 53,6 кОм.

1.8 Расчет резистора на выводе COMP

Расчет резистора на выводе COMP выполняется по формуле (1.10).

$$R_{COMP} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{c0} \cdot C_{OUT}}{gmps} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{REF} \cdot gmea}, \quad (1.10)$$

где $gmps = 12$ А/В; $V_{REF} = 0,8$ В; $gmea = 350$ мкА/В; f_{c0} рассчитывается по формуле (1.11).

$$f_{c0} = \sqrt{f_{p(mod)} \cdot \frac{f_{SW}}{2}}, \quad (1.11)$$

где $f_{p(mod)}$ рассчитывается по формуле (1.12).

$$f_{p(mod)} = \frac{I_{OUT}}{2 \cdot \pi \cdot V_{OUT} \cdot C_{OUT}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 22 \cdot 10^{-6}} = 1450 \text{ Гц} \quad (1.12)$$

Подставив значения в формулу (1.11), получим

$$f_{c0} = \sqrt{f_{p(mod)} \cdot \frac{f_{SW}}{2}} = \sqrt{1450 \cdot \frac{800 \cdot 10^3}{2}} = 24,1 \text{ кГц}$$

Подставив значения в формулу (1.10), получим

$$\begin{aligned} R_{COMP} &= \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{c0} \cdot C_{OUT}}{gmps} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{REF} \cdot gmea} = \\ &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 24,1 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-6}}{12} \cdot \frac{5}{0,8 \cdot 350 \cdot 10^{-6}} = 4,95 \text{ кОм} \end{aligned}$$

Используем резистор на 4,99 кОм.

1.9 Расчет конденсаторов на выводе COMP

Расчет конденсаторов на выводе COMP выполняется по формулам (1.13) и (1.14).

$$\begin{aligned} C_{COMP1} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{COMP} \cdot f_{p(mod)}} = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 4,95 \cdot 10^3 \cdot 1450} = 22,2 \text{ нФ} \end{aligned} \quad (1.13)$$

$$\begin{aligned} C_{COMP2} &= \frac{1}{R_{COMP} \cdot f_{SW} \cdot \pi} = \\ &= \frac{1}{4,95 \cdot 10^3 \cdot 800 \cdot 10^3 \cdot 3,14} = 80,4 \text{ пФ} \end{aligned} \quad (1.14)$$

Используем конденсатор 0,022 мкФ, 16 В, X7R, и конденсатор 82 пФ, 16 В, NPO.

2. Защитная микросхема

2.1 Описание

В данной работе используется защитная микросхема TPS16630PWPR, которая представляет собой многофункциональный электронный предохранитель и обеспечивает защиту от перегрузки по току, защиту от короткого замыкания, контроль скорости нарастания выходного сигнала, защиту от перенапряжения и блокировку пониженного напряжения.

Основные характеристики данной микросхемы приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики микросхемы TPS16630PWPR

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	от 4,5 до 60
Номинальный ток, А	до 6
Рабочие температуры, °C	от -40 до 150
Температура теплового отключения, °C	165

На рисунке 2.1 представлено условное графическое обозначение микросхемы.

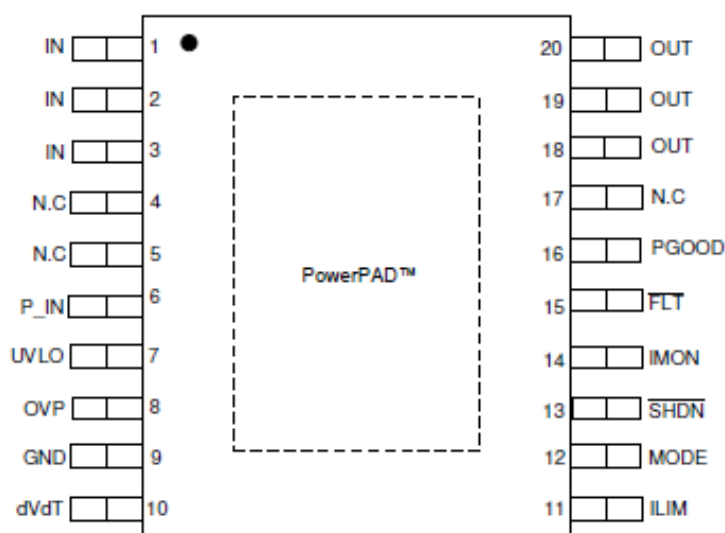


Рисунок 2.1 – УГО микросхемы TPS16630PWPR

Контакты IN и OUT подключаются к источнику питания и нагрузке соответственно.

Контакт P_IN предназначен для питания микросхемы. Подключается напрямую к контактам IN.

Контакт UVLO предназначен для установки программируемого порога блокировки пониженного напряжения.

Контакт OVP предназначен для установки регулируемого порога защиты от перенапряжения.

Контакт dVdT предназначен для задания скорости нарастания выходного напряжения при подаче питания.

Контакт ILIM служит для установки ограничения выходного тока. Значение устанавливается с помощью резистора между выводом и GND.

Контакт MODE предназначен для выбора режима для реакции на перегрузку и неисправность.

Контакт SHDN предназначен для перехода микросхемы в режим отключения при подаче на него низкого уровня.

Контакт IMON предназначен для наблюдения выходного тока. В данной работе не используется, оставлен неподключенным.

Контакт IMON предназначен для наблюдения выходного тока. В данной работе не используется, оставлен неподключенным.

Контакт FLT – индикатор неисправностей. В данной работе не используется, оставлен неподключенным.

Контакт PGOOD – индикатор нормальной работы внутреннего полевого транзистора. В данной работе не используется, оставлен неподключенным.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные

Нижний порог входного напряжения, V_{UV}	40 В
Верхний порог входного напряжения, V_{OV}	48 В
Предел тока, I_{LIM}	3,5 А
Емкость нагрузки, C_{OUT}	47 мкФ
Пусковой ток, I_{INRUSH}	300 мА

2.2 Расчет резистора на выводе ILIM

Расчет резистора R_{ILIM} выполняется по формуле (2.1).

$$R_{ILIM} = \frac{18}{I_{LIM}} = \frac{18}{3,5} = 5,14 \text{ кОм} \quad (2.1)$$

Выбираем резистор 5,1 кОм.

2.3 Расчет резисторов делителя напряжения

Расчет резисторов R_1 , R_2 и R_3 делителя напряжения.

Ток через эти резисторы I_{R123} рассчитывается по формуле (2.2).

$$I_{R123} = \frac{V_{IN}}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (2.2)$$

В то же время ток I_{R123} должен быть минимум в 20 раз больше тока утечки выводов UVLO и OVP.

Из документации $I_{UVLO(max)} = I_{OVP(max)} = 150 \text{ нА}$.

Пусть $I_{R123} = 200 \cdot 150 \cdot 10^{-9} = 30 \text{ мкА}$.

Из формулы (2.2)

$$R_1 + R_2 + R_3 = \frac{V_{IN}}{I_{R123}} = \frac{48}{30 \cdot 10^{-6}} = 16 \cdot 10^5 \text{ Ом}$$

Расчет резисторов R_1 , R_2 и R_3 выполняется с помощью формул (2.3) и (2.4).

$$V_{OVPR} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot V_{OV} \quad (2.3)$$

$$V_{UVLOR} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot V_{UV} \quad (2.4)$$

Из документации $V_{OVPR} = V_{UVLOR} = 1,2 \text{ В}$.

Из уравнения (2.3) получаем

$$R_3 = \frac{(R_1 + R_2 + R_3) \cdot V_{OVPR}}{V_{OV}} = \frac{16 \cdot 10^5 \cdot 1,2}{48} = 40 \text{ кОм}$$

Из уравнения (2.4) получаем

$$R_2 = \frac{(R_1 + R_2 + R_3) \cdot V_{UVLOR}}{V_{UV}} - R_3 = \frac{16 \cdot 10^5 \cdot 1,2}{40} - 40 \cdot 10^3 = 8 \text{ кОм}$$

Так как, $R_1 + R_2 + R_3 = 16 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, получаем

$$R_1 = 16 \cdot 10^5 - R_2 - R_3 = 16 \cdot 10^5 - 8 \cdot 10^3 - 40 \cdot 10^3 = 1,552 \cdot 10^6 \text{ Ом}$$

Выбираем $R_1 = 1,54 \text{ МОм}$, $R_2 = 8,06 \text{ кОм}$, $R_3 = 40,2 \text{ кОм}$.

2.4 Расчет конденсатора для вывода dVdT

Расчет конденсатора для вывода dVdT выполняется по формуле (2.5).

$$C_{dVdT} = \frac{t_{dVdT}}{20,8 \cdot 10^3 \cdot V_{IN}}, \quad (2.5)$$

где t_{dVdT} вычисляется по формуле (2.6).

$$t_{dVdT} = \frac{V_{IN} \cdot C_{OUT}}{I_{INRUSH}} = \frac{48 \cdot 47 \cdot 10^{-6}}{300 \cdot 10^{-3}} = 0,007 \text{ с} \quad (2.6)$$

Подставив значения в формулу (2.5), получим

$$C_{dVdT} = \frac{0,007}{20,8 \cdot 10^3 \cdot 48} = 0,007 \text{ мкФ}$$

Выбираем конденсатор 6800 пФ, 50 В, X7R.

2.5 Выбор входного конденсатора

Входной конденсатор по рекомендациям должен быть номиналом не меньше 0,1 мкФ.

Выбираем 1 мкФ, 100 В, X7R.

2.6 Выбор резистора для стабилитрона

Выбираем стабилитрон BZD17C15P с напряжением стабилизации $U_{\text{стаб}} = 15 \text{ В}$ при силе тока стабилизации $I_{\text{стаб}} = 50 \text{ мА}$.

Расчет сопротивления резистора выполняется по формуле (2.7).

$$R = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{стаб}}}{I_{\text{стаб}}} \quad (2.7)$$

где $U_{\text{вх}}$ – входное напряжение, В.

Рассчитаем сопротивления резистора в диапазоне напряжений $U_{\text{вх}} = 48 \dots 60 \text{ В}$.

$$R_1 = \frac{48 - 15}{0,05} = 660 \text{ Ом}$$

$$R_2 = \frac{60 - 15}{0,05} = 900 \text{ Ом}$$

Выбираем резистор на 750 Ом.

3. Расчет стоимости производства платы

3.1 Стоимость текстолита

Спроектированная двухслойная плата имеет размеры $87,7 \times 31,5 \times 1,5$ мм и толщину проводящих слоев 0,035 мм. Минимальная ширина проводников равна 0,3 мм, минимальный диаметр отверстий также 0,3 мм. Расчет стоимости текстолита производился на сайте pcbway.com. Стоимость, без учета доставки, составила 5\$.

3.2 Стоимость компонентов

Расчет стоимости электронных компонентов производился на сайте mouser.com. Стоимости конденсатора CL05B682JB5NNNC и резистора RC0603BR0753K6L взяты с сайта digikey.com, так как на mouser.com информации о них не нашлось. На рисунке 3.1 представлен список компонентов, их стоимость и общая стоимость заказа.

№ произв.	Производитель	Заказанное кол-во	Цена (USD)
CC1206KKX7R0BB105	Yageo	1	\$0.70
CC1206KKX7R0BB225	Yageo	2	\$3.14
CC0201KRX5R7BB223	Yageo	1	\$0.16
CC0603KRX7R0BB104	Yageo	1	\$0.34
CC0603KRX7R9BB104	Yageo	1	\$0.16
MAL214699904E3	Vishay	1	\$2.62
CC0603MPX5R6BB226	Yageo	1	\$1.43
TPS16630PWPR	Texas Instruments	1	\$7.09
TPS54360BDDA	Texas Instruments	1	\$8.20
SRP7028A-220M	Bourns	1	\$2.14
TLMS1000-GS08	Vishay	1	\$0.70
RC0603FR-07750RL	Yageo	1	\$0.16
RC0603FR-071M54L	Yageo	1	\$0.16
RC0603FR-078K06L	Yageo	1	\$0.16
RC0603FR-0740K2L	Yageo	1	\$0.16
RC0603FR-0797K6L	Yageo	1	\$0.16
RC0603FR-074K99L	Yageo	1	\$0.16
RC0603FR-075K1L	Yageo	1	\$0.16
RC0603FR-0710K2L	Yageo	1	\$0.16
RC0603FR-07220RL	Yageo	1	\$0.16
FSM4JSMA	TE Connectivity	1	\$0.39
SS36-E3/57T	Vishay	3	\$2.48
CSD19532Q5B	Texas Instruments	1	\$4.08
4-1775099-1	TE Connectivity	2	\$1.46
BZD17C15P-E3-08	Vishay	1	\$0.83
1.5SMC62CA	Bourns	1	\$1.04
CC0603JRNPO7BN270	Yageo	1	\$0.16
CL05B682JB5NNNC	Samsung	1	\$0.1
RC0603BR0753K6L	Yageo	1	\$0.11
			\$38.77

Рисунок 3.1 – Стоимость компонентов

Общая стоимость компонентов составила 38,77\$.

Таким образом, общая стоимость платы составляет 43,77\$.

Заключение

В ходе лабораторной работы был разработан понижающий преобразователь напряжения, обеспечивающий все необходимые требования. Дано описание ключевых компонентов, выполнен расчет электронных компонентов схемы, рассчитана стоимость изготовления печатной платы.

В результате выполнения работы были предоставлены принципиальная электрическая схема, файлы производства, перечень электронных компонентов и файлы проекта Altium Designer.