

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

в г. Смоленске

Кафедра  
электроники и микропроцессорной техники

## КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Электронные промышленные устройства»

Тема: «Разработка цифрового устройства»

Студент группы ПЭ2-18

*дата сдачи*

*подпись*

Гончаренко В.Ю.

Руководитель

*Подпись*

ст. преп.  
Смолин В. А.

Работа допущена к защите

*дата*

*подпись*

ст. преп.  
Смолин В. А.

*Дата защиты*

*Оценка*

*Подписи*

*членов комиссии*

Смоленск 2020

## АННОТАЦИЯ

Автор работы: Гончаренко Вадим Юрьевич.

Тема — «Разработка цифрового устройства».

Курсовая работа посвящена синтезу асинхронного цифрового автомата на мультиплексорах. Разработана структурная, функциональная и принципиальная схемы устройства, рассчитаны её элементы. Произведено моделирование работы устройства. Построены временные диаграммы и описан принцип его работы. Выполнена разводка печатной платы и оформлен полный пакет конструкторской документации.

Расчетно-пояснительная записка содержит 53 страниц, 18 рисунков, 2 таблицы, 7 приложений.

Применено программное обеспечение Microsoft Word 2016, Micro-Cap 11, Solid Works 2019, Altium Designer 2020.

## THE SUMMARY

Author of work: Goncharenko Vadim Jur'evich.

The topic is “Digital device development”.

Coursework is devoted to the synthesis of an asynchronous digital automaton on multiplexers. The structural, functional, and fundamental scheme of the device is developed, its elements are calculated. The simulation of the device. Timing diagrams are constructed and the principle of its operation is described. The PCB layout was completed and a complete package of design documentation was drawn up.

The settlement and explanatory note contains 53 pages, 18 figures, 2 tables, 7 appendices. The software used is Microsoft Word 2016, Micro-Cap 11, Solid Works 2019, Altium Designer 2020.

## СОДЕРЖАНИЕ

<u>Введение</u> .....	5
<u>1 Анализ задания на курсову работу</u> .....	6
<u>2 Разработка структурной схемы устройства</u> .....	8
<u>3 Разработка функциональной схемы устройства</u> .....	10
<u>4 Моделирование схемы устройства</u> .....	14
<u>5 Разработка принципиальной схемы устройства</u> .....	21
<u>Заключение</u> .....	24
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ А</u> .....	25
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</u> .....	27
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ В</u> .....	29
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ Г</u> .....	31
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ Д</u> .....	31
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ Е</u> .....	37
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ Ж</u> .....	39
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ З</u> .....	41
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ И</u> .....	43
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ К</u> .....	45
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ Л</u> .....	47
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ М</u> .....	49

## **ВВЕДЕНИЕ**

Целью курсовой работы является создание цифрового устройства. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие основные задачи:

1. Проанализировать задание на курсовую работу.
2. Разработать алгоритм работы устройства и его структурную схему.
3. Реализовать каждый блок структурной схемы на функциональном уровне.
4. Разработать принципиальную схему устройства.
5. Построить полную модель устройства в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap 11 и проверить её работоспособность.
6. Получить временные диаграммы работы устройства, соответствующие требованиям задания.
7. Сделать выводы о соответствии полученных результатов заданию.
8. Оформить комплект конструкторской документации на разработанное устройство.

# 1 АНАЛИЗ ЗАДАНИЯ НА КУРСОВУ РАБОТУ

В соответствии с номером варианта разработка устройства будет осуществляться на термисторе NTC3D-11. Это резистор, сопротивление которого меняется от температуры. Термисторы бывают двух типов: с положительным и отрицательным температурным коэффициентом. Данный термистор относится к терморезисторам с отрицательным коэффициентом – потому его сопротивление при увеличении температуры уменьшается. Разрабатываемым устройством будет производиться преобразование изменения проводимости в выходной сигнал, который соответствует температуре окружающей среды.

Измеряемый датчиком диапазон — от  $-30$  до  $70$  °C. Согласно заданию, диапазон, где уровень сигнала  $d=1$ , это  $20-30$  °C.

В соответствии с заданием на курсовую работу необходимо синтезировать асинхронный автомат на мультиплексорах согласно графу переходов (рис. 0.1).

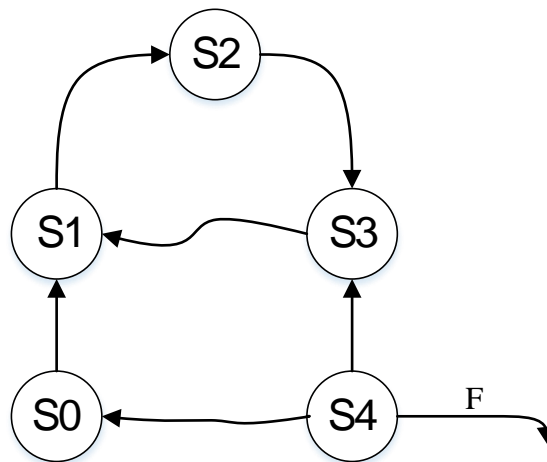


Рисунок 0.1 — Граф переходов

Переходы в графе осуществляются по сигналам  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  (табл. 0.1), где входные сигналы  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — кнопки;  $d$  — сигнал с датчика;  $F$  — выходной сигнал.

Таблица 0.1 — Условия переходов

$S0 \rightarrow S1$	$S1 \rightarrow S2$	$S2 \rightarrow S3$	$S3 \rightarrow S4$	$S4 \rightarrow S0$	$S3 \rightarrow S1$	$S0$
$a$	$bc$	$d$	$\bar{d}$	$b$	$\bar{c}a$	$001$

Также необходимо предусмотреть вывод сигнала с датчика на внешнее устройство в двоичном коде. Для преобразования аналогового сигнала с датчика в цифровой нужно использовать 8 битный параллельный АЦП.

Разработка принципиальной схемы начинается с построения структурной и функциональной схем.

Для проверки работоспособности разрабатываемого устройства необходимо провести моделирование в программе Micro-Cap 11 и получить временные диаграммы работы основных узлов.

На разработанное устройство оформляется комплект конструкторской документации и расчётно-пояснительная записка (РПЗ).

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

Схема электрическая структурная показывает взаимосвязь между основными блоками разрабатываемого устройства и их назначение (рис. 0.2).

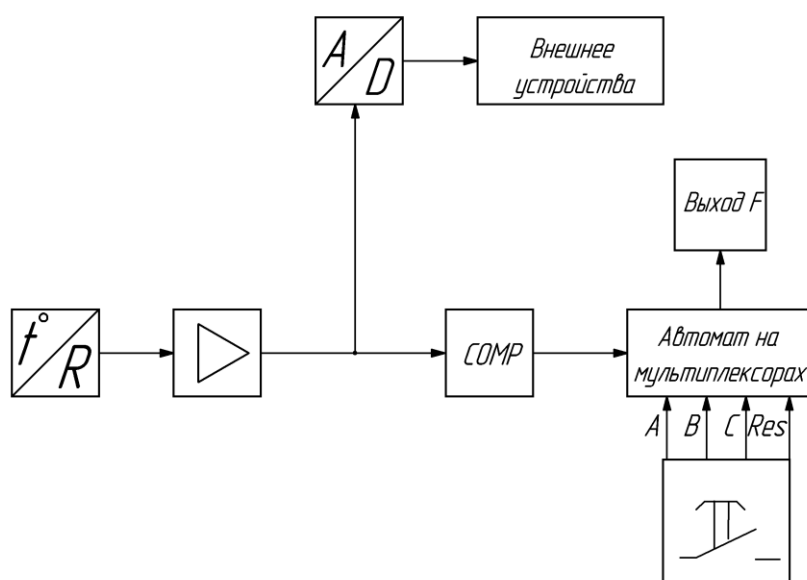


Рисунок 0.2 — Схема электрическая структурная

Блок «Датчик» формирует напряжение на входе усилителя в диапазоне в зависимости от концентрации температуре в окружающей среде. Согласно datasheet на используемый датчик NTC3D-11 в зависимости от концентрации изменяется сопротивление датчика, вследствие чего изменяется напряжение на выходе датчика.

Согласно datasheet на заданный датчик при значении температуры окружающей среды в 25 °C величина сопротивления датчика составляет 3 Ом. При температуре окружающей среды -30 °C — 90 Ом, при 20 °C — 7 Ом, при 30 °C — 2,7 Ом, при 70 °C — 1,5 Ом.

Блок «Усилитель» усиливает сигнал в диапазоне 0-5 В.

Блок «АЦП» преобразует аналоговое напряжение на входе в восьмиразрядный двоичный код. С выхода АЦП предусмотрен вывод сигнала на внешнее устройство.

Блок «Компаратор» производит сравнение с выходов усилителя и формирует на выходе высокий логический уровень при температуре окружающей среды от 20 до 30 °С.

Сигналами с блока «Компаратор» и «Кнопки» происходит управление блоком «Автомат».



## РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

Согласно заданию на курсовую работу необходимо собрать цифровое устройство по четверть мостовой схеме (мост Уитстона), с питанием током. Преимуществом этой схемы является высокая точность измерения даже малейших изменений сопротивления, высокая помехоустойчивость, а так же частичная компенсация температурной погрешности схемы. Для выполнения этой задачи, необходимо собрать измерительный мост.

Далее входной сигнал поступает на вход усилителя, который в сочетании с вычитателем формируют входное напряжение АЦП в диапазоне от  $0\text{ В}$  до значения опорного напряжения. На курсовую работу было выбрано АЦП MAX154 с опорным напряжением равным  $5\text{ В}$ . Таким образом, максимально допустимое выходное напряжение с усилителя не должно превышать значение опорного напряжения.

Вычисляется коэффициент усиления для усилителя *DA1*:

$$K = \frac{U_{out}}{(U_{IN}^+ - U_{IN}^-)} = \frac{5}{(4.49 - 0.140)} = 1.15,$$

где  $U_{out}$  – выходное напряжение усилителя;

$U_{IN}^+$  – напряжение на входе усилителя при  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$U_{IN}^-$  – напряжение на входе усилителя при  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для получения коэффициента усиления  $1.15$ , согласно datasheet на усилитель *DA1* – *INA821*, необходимо подключить резистор  $R_G = 470\text{ кОм}$ .

На усилителе *DA1* максимальное напряжение с датчика  $U_{out}$ , равное  $4.49\text{ В}$ , подаваемое на прямой вход, усиливается до  $4.98\text{ В}$ , при этом коэффициент усиления будет равен  $1.15$ . Тогда минимальное напряжение с датчика  $U_{out}$  усиливается до  $0.166\text{ В}$ . Это напряжение необходимо подать на инверсный выход усилителя *DA2*, чтобы минимальное напряжение, поступающее на вход АЦП, было равным  $0\text{ В}$ .

Для вычитания постоянной составляющей необходимо предусмотреть в схеме резистивный делитель (рис.3.1) и последующее усиление полученного сигнала.

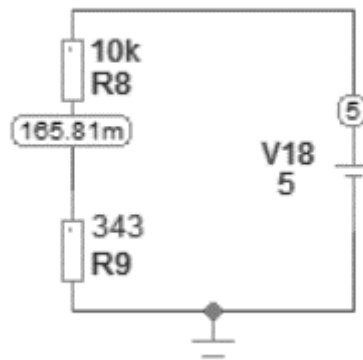


Рисунок 3.3 — Схема резистивного делителя

Принимаем  $R4 = 330 \text{ Ом}$ , а  $R8 = 10 \text{ кОм}$  по ряду E24.

Аналогично для получения коэффициента усиления равного 1.125, согласно datasheet на усилитель DA2 – INA821 необходимо подключить резистор  $R_G = 44,5 \text{ кОм}$  (рис.3.2).

На усилителе DA2 максимальное напряжение с датчика  $U_{out2}$  составляет  $4.814 \text{ В}$  и усиливается до  $4.98 \text{ В}$ , при этом коэффициент усиления будет равен 1.03. Тогда как минимальное напряжение с датчика  $U_{out2}$  составляет  $0 \text{ В}$ .

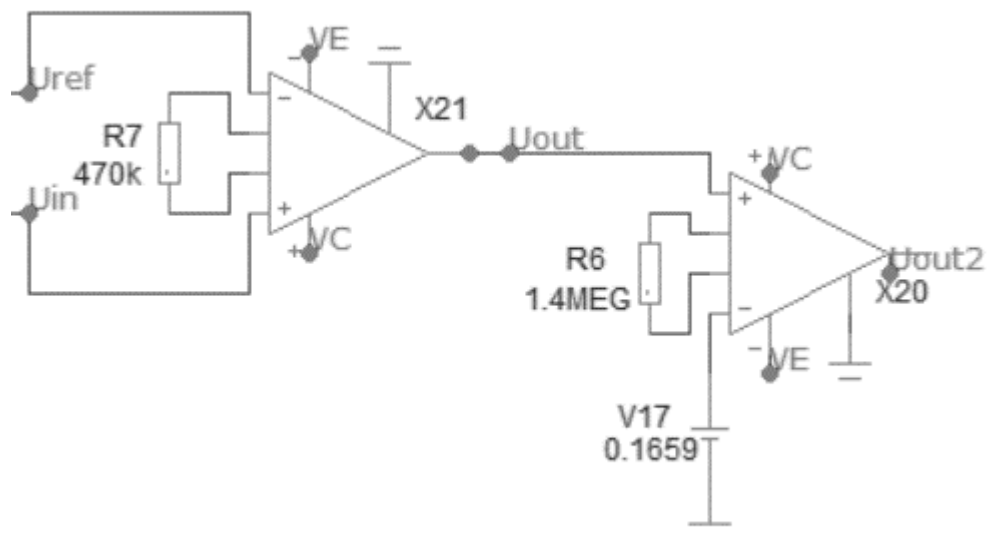


Рисунок 3.4 — Схема включения усилителей

Была разработана функциональная схема устройства (рис. 3.3).



## МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

В программе схемотехнического моделирования Micro-Cap 11 строится схема моделирования подключения датчика к восьмиразрядному АЦП (рис.4.1).

Преобразование обеспечивает соответствие дискретного отсчета  $x(t)$  значению кода  $N$ . Разрядность АЦП  $n$  характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. Количество уровней квантования определяется как  $N_{max} = 2^n$ .

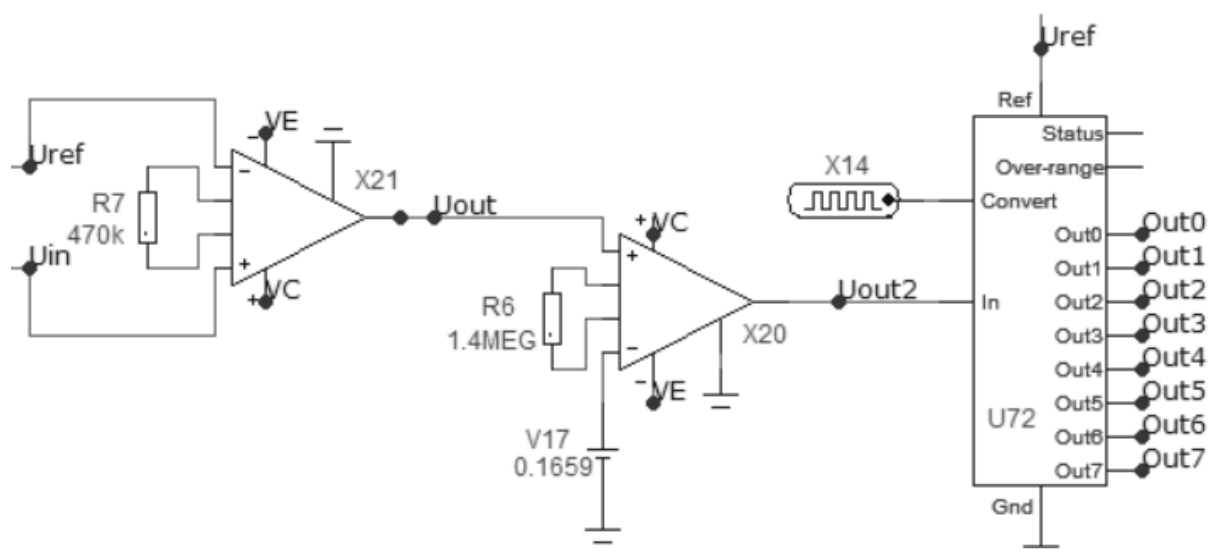


Рисунок 0.5 — Схема моделирования работы АЦП

Граничные значения напряжения на выходе усилителя для заданных диапазонов температуры составляют для  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  —  $4.98\text{ В}$ ,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  —  $0.343\text{ В}$ ,  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  —  $0.114\text{ В}$ ,  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  —  $0\text{ В}$ . Для каждого из этих напряжений рассчитываем  $N$  и переводим полученное число в восьмиразрядное двоичное:

$$N_{-30\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{N_{max} \cdot U_{-30\text{ }^{\circ}\text{C}}}{U_{ref}} = \frac{2^8 \cdot 4.98}{5} \approx 255_{10} = 11111111_2;$$

$$N_{20\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{N_{max} \cdot U_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}}{U_{ref}} = \frac{2^8 \cdot 0.343}{5} \approx 18_{10} = 00010010_2;$$

$$N_{30\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{N_{max} \cdot U_{30\text{ }^{\circ}\text{C}}}{U_{ref}} = \frac{2^8 \cdot 0.114}{5} \approx 6_{10} = 00000110_2;$$

$$N_{70^{\circ}\text{C}} = \frac{N_{\text{max}} \cdot U_{70^{\circ}\text{C}}}{U_{\text{ref}}} = \frac{2^8 \cdot 0}{5} \approx 0_{10} = 00000000_2;$$

Проведём моделирование для каждого рассчитанного напряжения на входе АЦП и сравним полученные двоичные числа с работой схемы (рис.4.2).

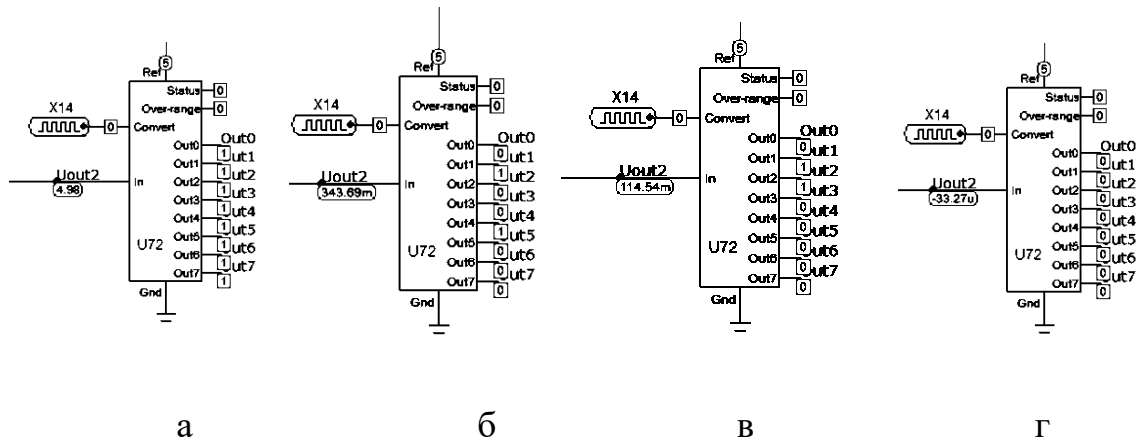


Рисунок 0.6 — Результаты моделирования работы АЦП, где а – при  $-30^{\circ}\text{C}$ ; б – при  $20^{\circ}\text{C}$ ; в – при  $30^{\circ}\text{C}$ ; г – при  $70^{\circ}\text{C}$ .

Рассчитанные значения на выходах АЦП соответствуют результатам моделирования.

На вход  $d$  цифрового автомата подаётся сигнал с компараторов. Концентрации в диапазоне от  $20^{\circ}\text{C}$  до  $30^{\circ}\text{C}$  соответствует высокий уровень сигнала  $d=1$  (рис.4.3).

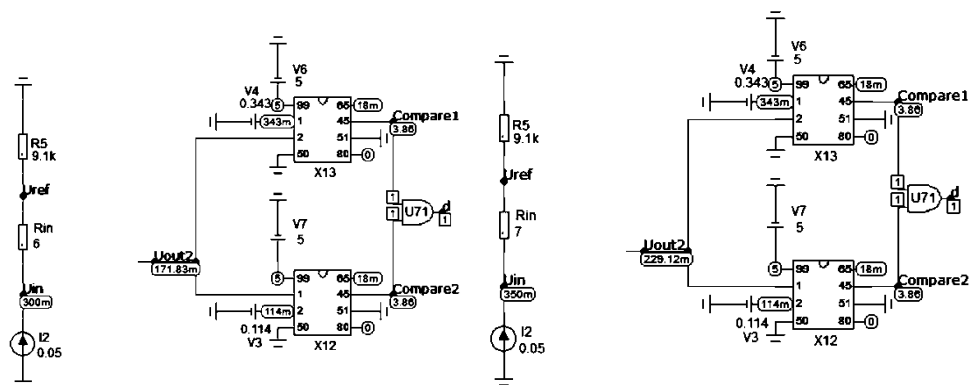


Рисунок 0.7 — Работа компараторов

Значениям, не входящим в диапазон от  $20^{\circ}\text{C}$  до  $30^{\circ}\text{C}$  соответствует сигнал низкого уровня  $d=0$  (рис.4.4).

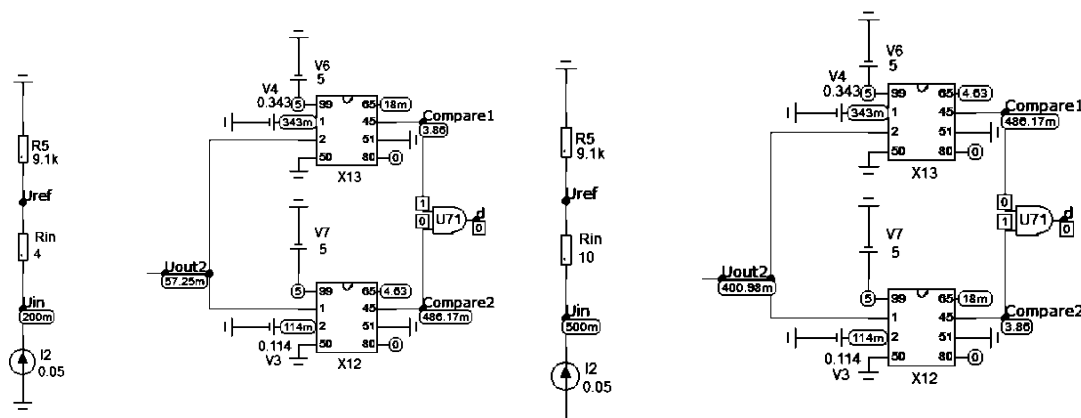


Рисунок 0.8 — Работа компараторов

Компаратор работает в соответствии с заданием на курсовую работу. Высокий уровень на его выходе формируется при концентрации от 20 °С до 30 °С, иначе на выходе формируется низкий уровень.

Согласно графической схеме переходов (рис.1.1) производится синтезирование асинхронного автомата на мультиплексорах. Автомат имеет четыре входа  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — кнопки и  $d$  — сигнал с датчика, которые могут принимать значения логического 0 и 1, и один выход  $F$ .

Выберем состояние  $S0$  как начальное и кодируем состояния графа по коду Грея, при необходимости вводя дополнительные состояния. Для данного графа введём состояния  $S4$  как дополнительное (рис.4.5).

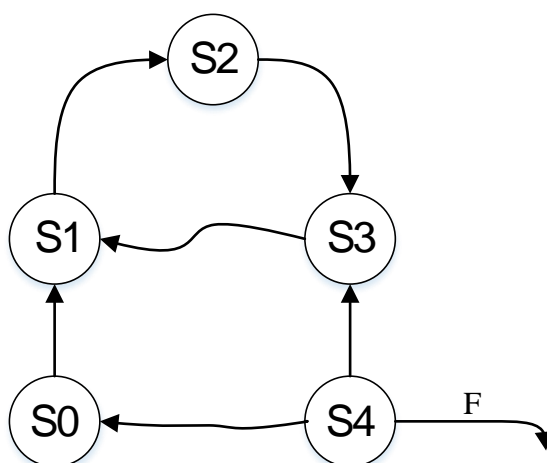


Рисунок 0.5 — Граф переходов

В соответствии с графом переходов ( $8 = 2^3$  устойчивых состояний) для синтеза устройства понадобится 3 мультиплексора.

Составим таблицу программирования мультиплексоров по следующим правилам:

В первой строке таблицы указываются коды состояний автомата  $Q_3Q_2Q_1$ , которые соответствуют кодам на селектирующих входах мультиплексоров.

Во второй строке таблицы указываются значения сигналов на информационных входах всех 3-х мультиплексоров  $D_0...D_7$ , которые формируются по следующим правилам:

а) в столбце, соответствующем  $i$ -ому ( $i=0...7$ ) состоянию автомата значения сигналов  $D_{ij}$  ( $j = 1...3, i = 0...7$ ) равны значениям  $Q_j$  для тех разрядов, которые остаются неизменными при переходе в следующее (соседнее) состояние.

б) остальным информационным сигналам  $D_{ij}$ , подаваемым на  $i$ -ые входы  $j$ -ых мультиплексоров, присваиваются значения переменных, вызывающих данный переход по следующим правилам. Если переход сопровождается изменением значения разряда кода состояния с 0 на 1, то переменная подается на соответствующий вход без инверсии, при изменении с 1 на 0 — переменная, подаваемая на вход, инвертируется.

В соответствии с вышеприведенными правилами составляется таблица программирования мультиплексоров (табл. 4.1).

Таблица 0.1 — Таблица программирования мультиплексоров

$i$	0	1	2	3	4	5	6	7
$Q_3Q_2Q_1$	000	001	010	011	100	101	110	111
$Q_3^iQ_2^iQ_1^i$	$\bar{c}d(ac)$	$(\bar{c}d)0\bar{b}$	$0\bar{b}0$	$x$	$a00$	$100$	$x$	$x$

Выходной сигнал  $F$  формируется, когда автомат находится в состоянии  $S3$ , поэтому он может быть образован из кода этого состояния  $010$  (рис. 4.5).

Таким образом, выражение для выходной функции  $F$  записывается в следующем виде:

$$F_1 = \overline{Q_3}Q_2\overline{Q_1}.$$

Для того чтобы перевести автомат в начальное состояние необходимо предусмотреть систему сброса. Для этого выходной сигнал с каждого мультиплексора подадим на один из входов логического элемента 2И, на второй вход подаём сигнал запуска (рис. 4.6).

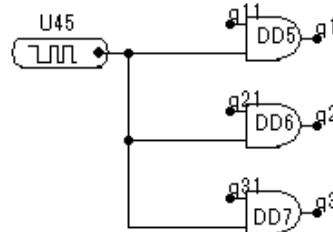


Рисунок 0.6 — Система сброса автомата

По табл. 4.1 и по полученным выше выражениям для выходной функции  $F$  составляется схема моделирования синтезированного автомата в среде схемотехнического моделирования программы Micro-Cap 9 (рис. 4.7).

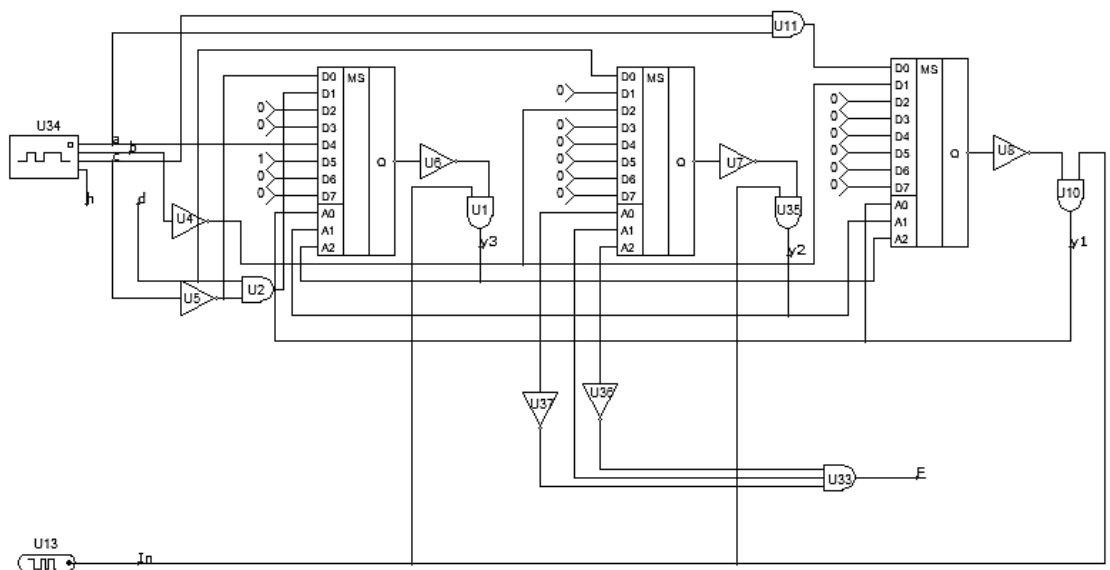


Рисунок 0.7 — Схема моделирования асинхронного автомата

При определённых значениях на входах  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  получаются соответствующие им значения состояний (табл. 4.1). Из чего следует вывод, что все переходы графа были реализованы верно. Выходы автомата работают корректно, выделяя заданные ранее сигналы.



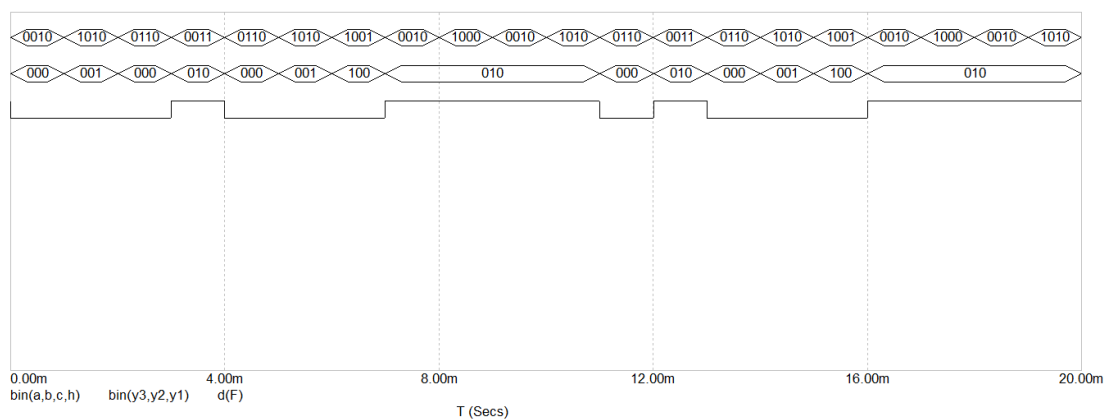


Рисунок 0.8

### — Временные диаграммы работы асинхронного автомата

По полученным временным диаграммам (рис. 4.8) видим, что автомат проходит все заданные в исходном графе состояния и на выходе  $F$  выделяет заданные состояния. Работа синтезированного асинхронного автомата на мультиплексорах соответствуют заданию на курсовую работу.

Далее проводится синхронизация сигнала  $d$ , сформированного на выходе компараторов, и сигнала  $h$ , сформированного ранее на входе асинхронного автомата. При этом получается следующий сигнал (рис.4.9).

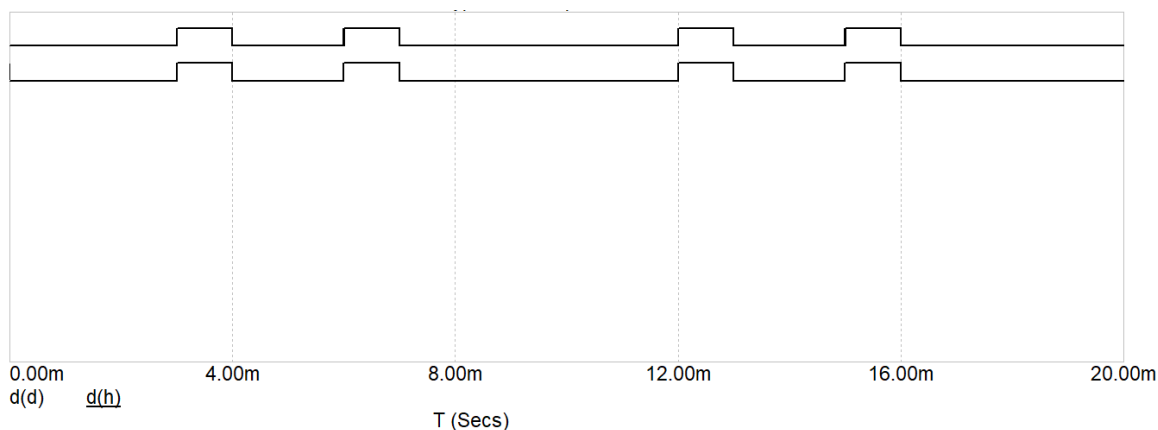


Рисунок 4.9 — Синхронизация сигнала d

Следовательно, цифровое устройство работает согласно заданию на КР.

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

В соответствии с заданием на курсовую работу использован термистор NTC3D-11 (рис.5.1).



Рисунок 5.1 — Внешний вид датчика NTC3D-11

Данный датчик температуры обладает следующими основными параметрами:

- диапазон измеряемых величин от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$  (рис.5.2);
- максимальный рабочий ток до 5 А;
- Сопротивление при комнатной температуре ( $25^{\circ}\text{C}$ ) 3 Ом;

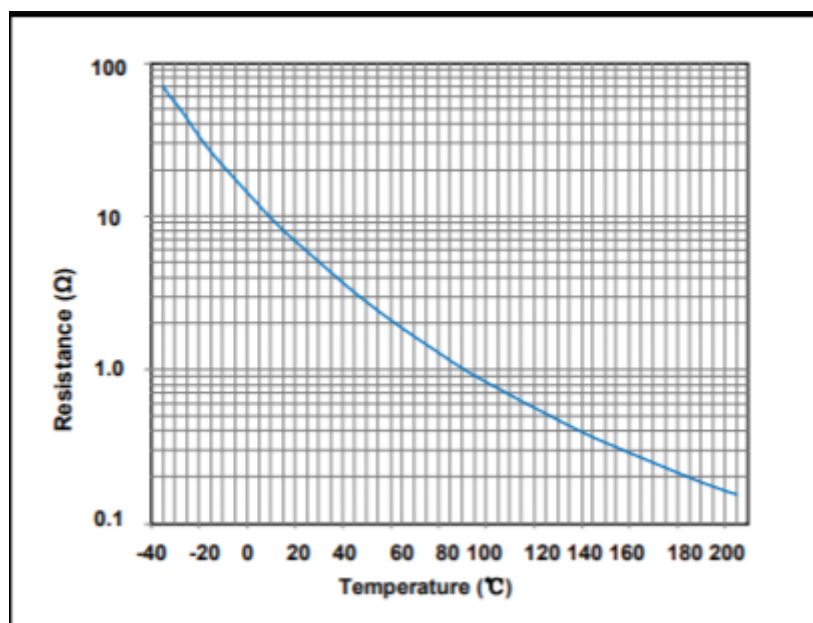


Рисунок 5.2 — График чувствительности термисторе NTC3D-11 к температуре

По заданию на курсовую работу и в соответствии с номером по журналу успеваемости нужно использовать АЦП с параллельным интерфейсом, имеющее не менее 8 разрядов. Был выбран АЦП *MAX154*, согласно datasheet на найденный элемент, он имеет все указанные характеристики, а также обладает дополнительными параметрами:

- величина опорного напряжения  $5\text{ В}$ ;
- диапазон внешнего напряжения от  $0$  до  $7\text{ В}$ .

Согласно datasheet на данный вид АЦП собирается развязка по питанию (рис.5.3).

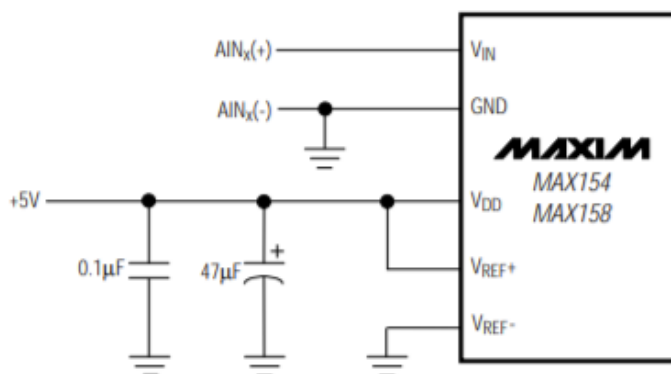


Рисунок 5.3 — Развязка по питанию для АЦП MAX154

В ходе расчетов были найдены минимальное и максимальное выходные напряжения, которые соответственно равны  $0\text{ В}$  и  $4,98\text{ В}$ . Был выбран усилитель *INA821* для усиления напряжения с датчика с основными параметрами, которые удовлетворяют нашим требованиям:

- диапазон рабочих температур от минус  $40$  до плюс  $85^{\circ}\text{C}$ ;
- однополярное входное напряжение от  $2,7$  до  $36\text{ В}$ .

Согласно datasheet на усилитель *INA821*(рис.5.4) рассчитываются значения коэффициента усиления  $G$ .

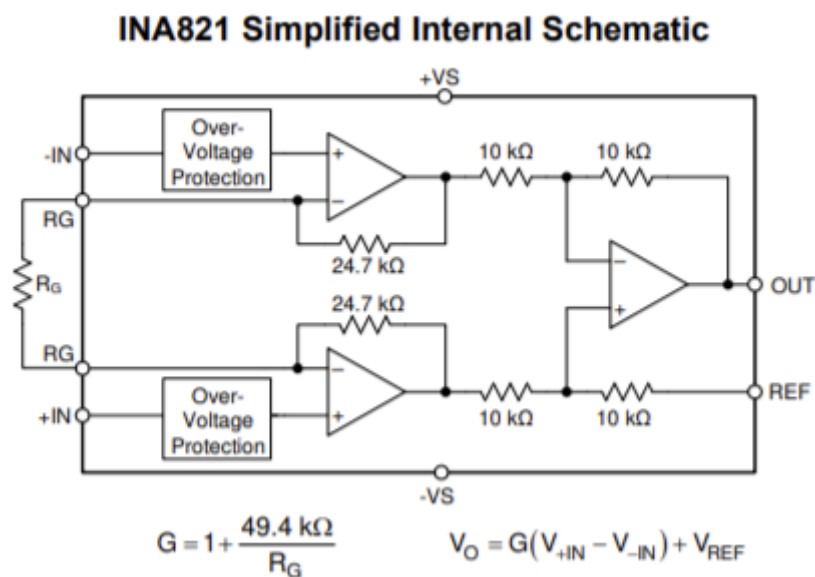


Рисунок 5.4 — Схема инструментального усилителя

Для выделения заданного диапазона напряжений должны использоваться компараторы, с напряжением питания —  $5\text{ В}$ . Были выбраны компараторы *MAX913* с основными параметрами:

- диапазон рабочих температур от минус  $40$  до плюс  $85^{\circ}\text{C}$ ;
- диапазон рабочего напряжения от  $-0.3$  до  $14\text{ В}$ ;
- ток потребления  $6\text{ мА}$ .

При разработке принципиальной схемы были использованы элементы поверхностного монтажа. *SMD* резисторы и *SMD* конденсаторы выбраны в соответствии с рядом номиналов E24. В курсовой работе используется резисторы и конденсаторы с типоразмером 0805.

Для устройства была разработана принципиальная схема, приведенная в приложении Г и оформлен пакет конструкторской документации.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения курсовой работы был синтезирован асинхронный цифровой автомат на мультиплексорах. Разработаны структурная, функциональная и принципиальная схемы устройства. Приведено полное описание и временные диаграммы работы полученной схемы. Также был произведён расчёт всех необходимых параметров.

Осуществлена проверка работоспособности устройства с помощью моделирования в программе MicroCap 11.

Моделирование показало, что разработанное устройство полностью работоспособно и удовлетворяет всем требованиям задания на курсовую работу.

Разработана печатная плата и оформлен комплект конструкторской документации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования MICRO-CAP. Версии 9, 10. Санкт-Петербург: Издательство Лань, 2014. 632 с.
- 2) Амелина М.А. Троицкий Ю.В. Анализ и синтез цифровых и смешанных аналого-цифровых устройств. Лабораторный практикум по курсу «Электронные промышленные устройства». Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2016. 124 с.
- 3) ГОСТ 2.730-73. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые. Введ. 1974-01-07. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2010. 73 с.
- 4) ГОСТ 2.728-74. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы. Введ. 1975-01-07. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2010. 46 с.
- 5) ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем. Введ. 2012-01-01. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2011. 46 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

### **Задание на курсовую работу**



При выполнении курсовой работы необходимо синтезировать автомат на мультиплексорах согласно графу переходов (рис. 1.1).

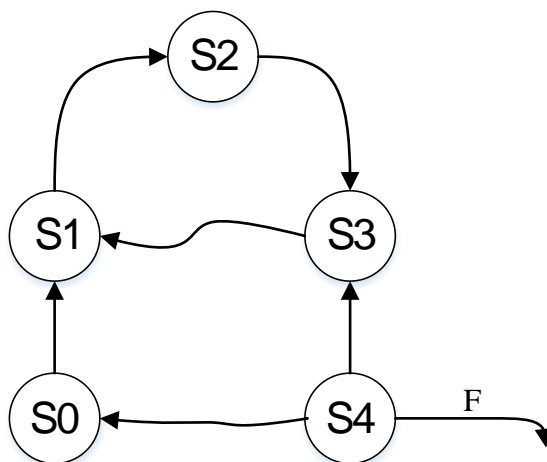


Рисунок 5.1 — Граф переходов

Переходы в графе осуществляются по сигналам  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  (табл. 1.1), где входные сигналы  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — кнопки;  $d$  — сигнал с датчика;  $F1$  и  $F2$  — выходные сигналы.

Таблица 5.1 — Условия переходов

$S0 \rightarrow S1$	$S1 \rightarrow S2$	$S2 \rightarrow S3$	$S3 \rightarrow S4$	$S4 \rightarrow S0$	$S3 \rightarrow S1$	$S0$
$a$	$bc$	$d$	$\bar{d}$	$b$	$\bar{c}a$	001

Измеряемый датчиком NTC3D-11 диапазон — измеряемый датчиком диапазон — от  $-30$  до  $70$  °C. Согласно заданию, диапазон, где уровень сигнала  $d=1$ , это  $20-30$  °C.

Предусмотреть вывод сигнала с датчика на внешнее устройство в двоичном коде. Для преобразования аналогового сигнала с датчика в цифровой использовать 8 битный параллельный АЦП.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

### **Схема электрическая структурная**

Справа. №

Перв. примен.

Справа. №

Справа. №

Справа. №

Справа. №

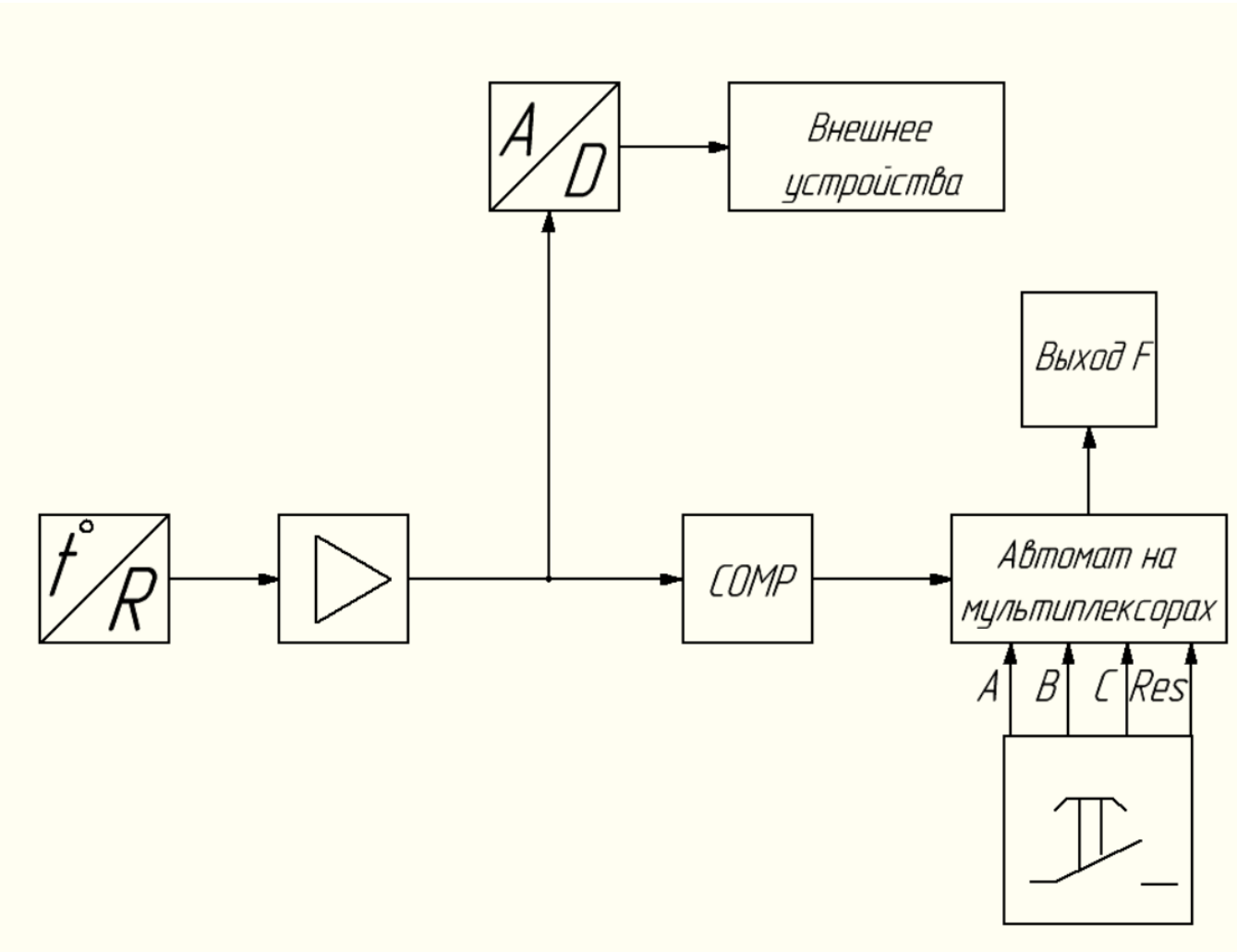
Справа. №

Справа. №

Справа. №

Справа. №

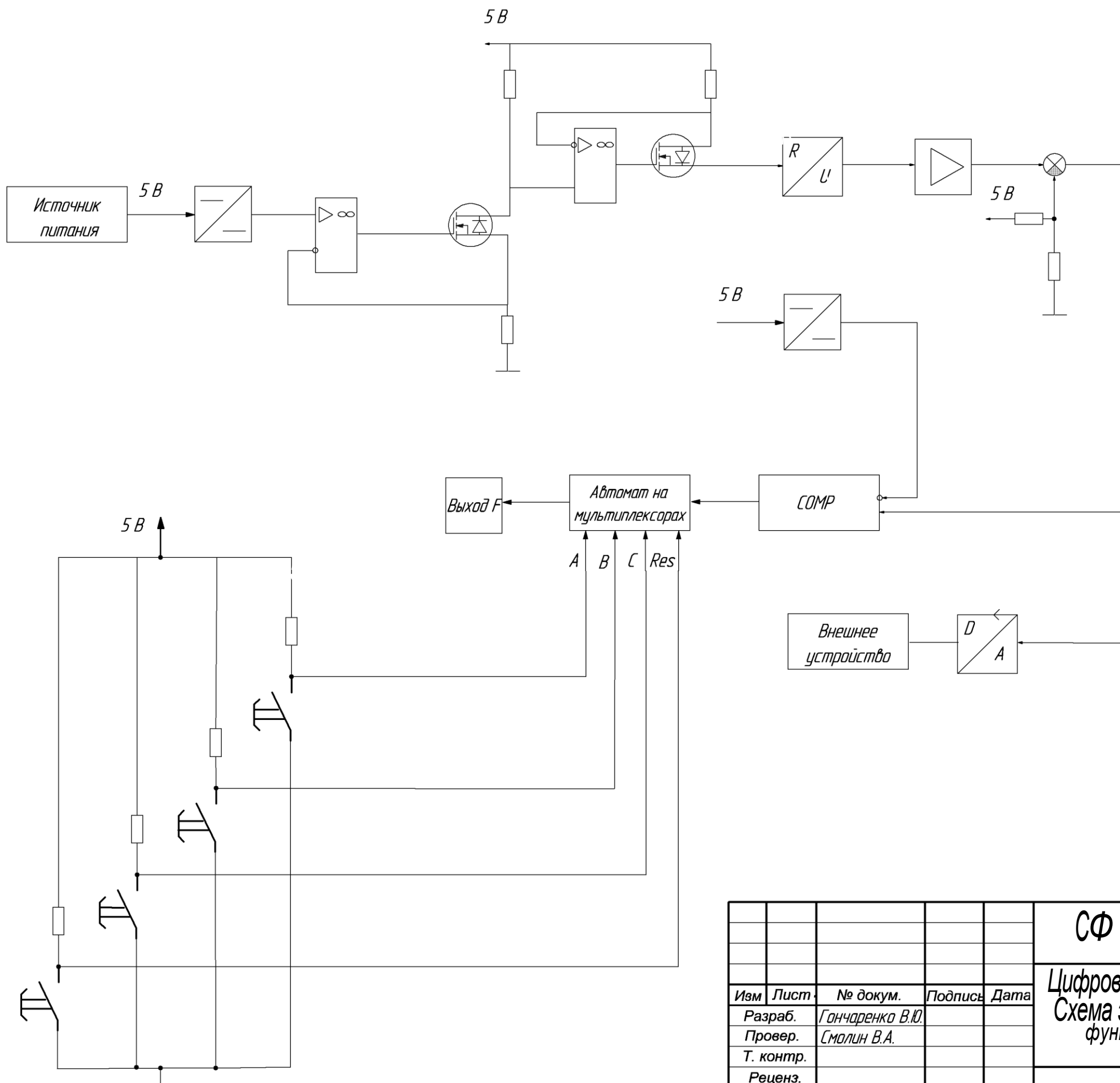
СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03 Э1



СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03 Э1					Цифровое устройство			Лист.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Год.	Дата	Схема электрическая структурная			у		1:1
Разраб.	Гончаренко В.Ю.									
Пров.	Смолин В.А.							Лист 1	Листов 1	
И.контр.								Филиал "НИУ МЭИ"		
Н.контр.								в г. Смоленске		
Утв.								ПЭ2-18		

## **ПРИЛОЖЕНИЕ В**

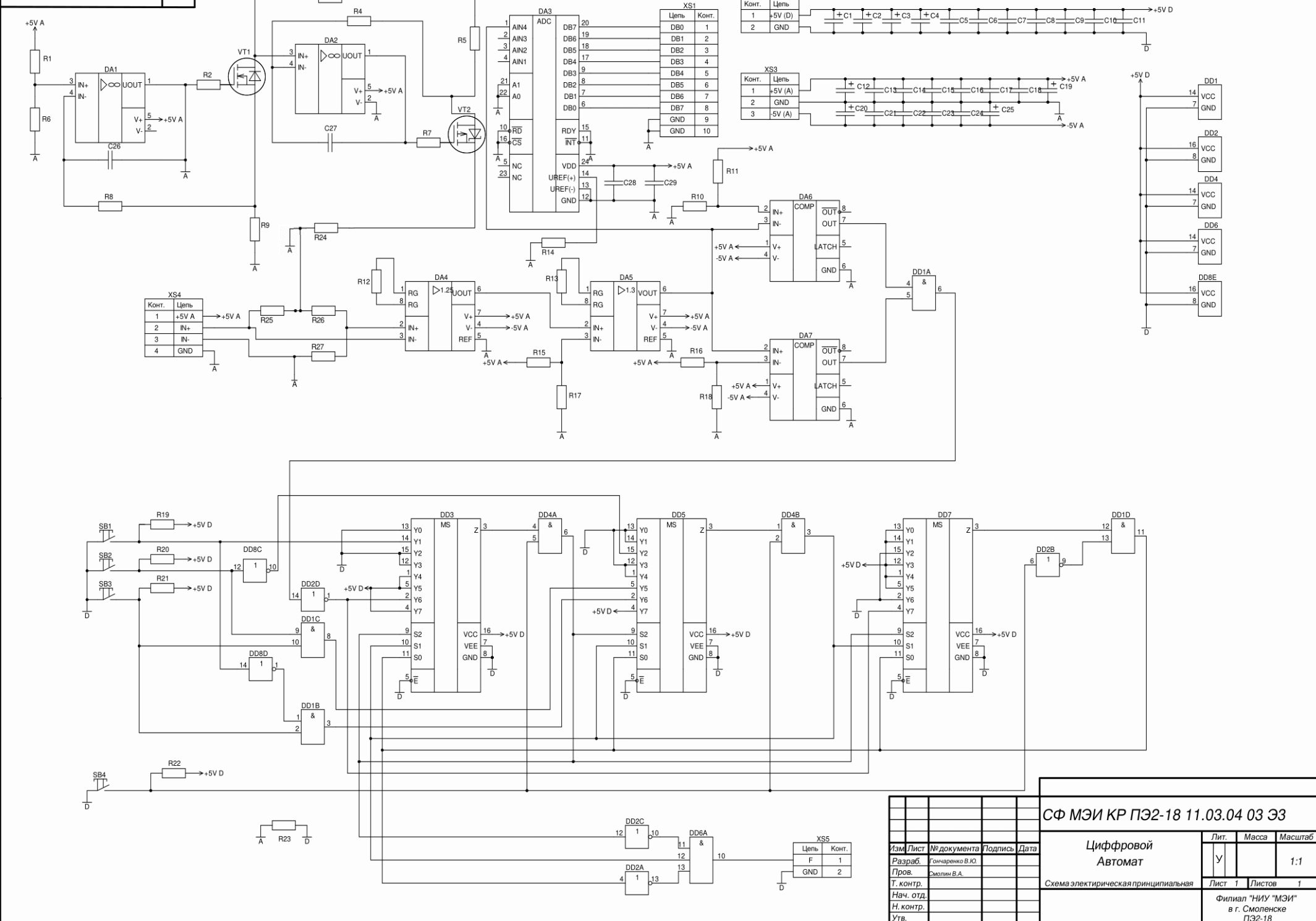
### **Схема электрическая функциональная**



					СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03 Э2				
					Цифровое устройство Схема электрическая функциональная	Лит		Масса	Масштаб
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			у		1:1
Разраб.		Гончаренко В.Ю.							
Провер.		Смолин В.А.							
Т. контр.									
Реценз.						Лист	1	Листов	1
Н. контр.						Филиал "НИУ МЭИ" в г. Смоленске ПЭ2-18			
Утверд.									

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

### **Схема электрическая принципиальная**



## **ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

### **Перечень элементов**



[illegible]

ИНВ. № посл.	Годп. и дата	Взам. инв. №	ИНВ. № оуол.	Годп. и дата	R15	0805-0.125 Bm -10 кОм ±1%	1			
					R16,R25	0805-0.125 Bm -1 кОм ±1%	1			
					R17	0805-0.125 Bm -330 кОм ±1%	1			
					R18	0805-0.125 Bm -56 Ом ±1%	1			
					R19...R22	0805-0.125 Bm -10 кОм ±1%	4			
					R23	0805-0.125 Bm -0 Ом ±1%	1			
					R24	0805-0.125 Bm -100 Ом ±1%	1			
					R26	0805-0.125 Bm -180 кОм ±1%	1			
					R27	0805-0.125 Bm -4.7 Ом ±1%	1			
ИНВ. № посл.	Годп. и дата	Взам. инв. №	ИНВ. № оуол.	Годп. и дата	SB1...SB4	Устройство коммутационное KAN0542-0155B-14	4			
					Транзисторы					
					VT1	MSC82304	1			
ИНВ. № посл.	Годп. и дата	Взам. инв. №	ИНВ. № оуол.	Годп. и дата	VT2	IRFL914	1			
Изм.	Лист	№ докум.	Годп.	Дата	СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03 ПЭЗ				Лист 2	

ИНВ. № ПОСП.	ПОСП. И ОАТА	ВЗАМ. ИНВ. №	ИНВ. № ОУОЛ.	ПОСП. И ОАТА

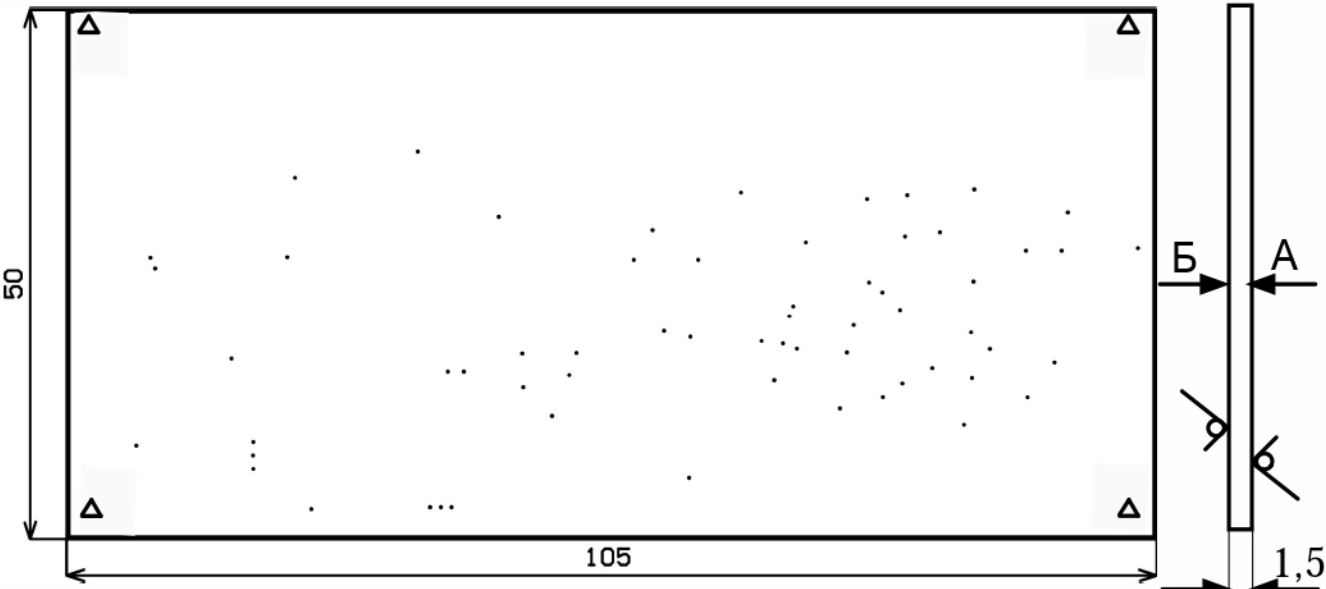
Лист  
3

**Формат** A4

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Е**

### **Плата печатная**

Перв. примен.	СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03			
	Справ. №			
Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.



- 1. \*Размер для справок.
- 2. Печатная плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79.
- Группа жесткости 2, класс точности 5 по ГОСТ Р 53429-2009.
- 3. Изготовить печатную плату субтрактивным методом с паяльной маской. Покрытие под маской - медь. Покрытие остальных участков - ПОМ-2 ГОСТ Р 52955-2008.
- 4. Шаг координатной сетки 1,25 мм.
- 5. Конфигурацию проводников выдерживать по чертежу с откл. ±0,1 мм.
- Допускается скругление углов проводников и контактных площадок.
- 6. Ширина печатного проводника в узких местах - не менее 0,1 мм, в свободных - не менее 0,5 мм, гарантийный пояс контактной площадки  $b_{min} = 0,025$  мм.
- 7. Расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка в узких местах - не менее 0,1 мм.
- 8. Неуказанные предельные отклонения размеров ±0,2 мм.
- 9. Площадь металлизации  $F_{мет.} = 6 \text{ см}^2$ .
- 10. На плату нанести фоточувствительную защитную паяльную маску XV-501T-4S.
- 11. Маркировку позиционных обозначений выполнить из диэлектрического материала. Шрифт 2-Пр3 ГОСТ 26.020-80.

Условное обозначение	Диаметр отверстия, мм	Диаметр контактной площадки, мм	Количество	Наличие металлизации
Δ	3,2	3,8	4	Есть
•	0,3	0,6	57	

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разраб.	Гончаренко В.Ю.			
Пров.	Смолин В.А.			
Т. контр.				
Н. контр.				
Утв.				

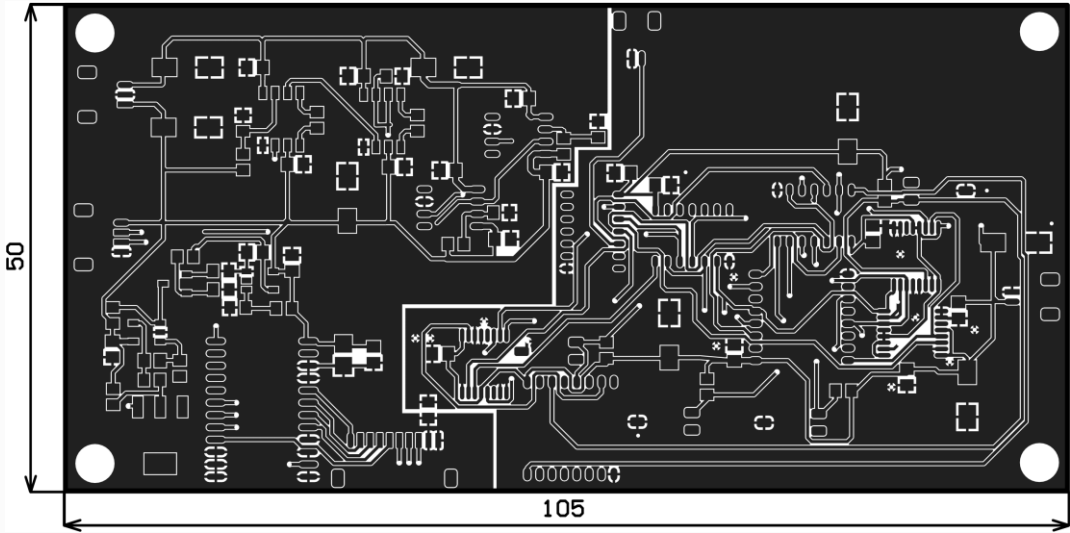
СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03			
Плата печатная	Лит.	Масса	Масштаб
	у		1:1
	Лист 1	Листов 5	
Филиал "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске ПЭ2-18			

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**

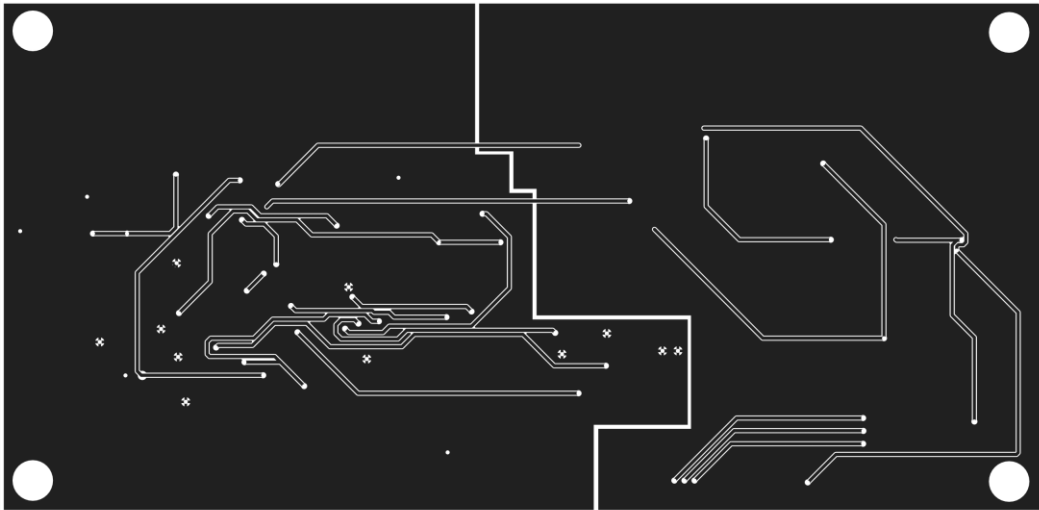
**Сторона печатного монтажа**

СТОРОНА ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

А



Б



Ив. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ив. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03

Лист
2

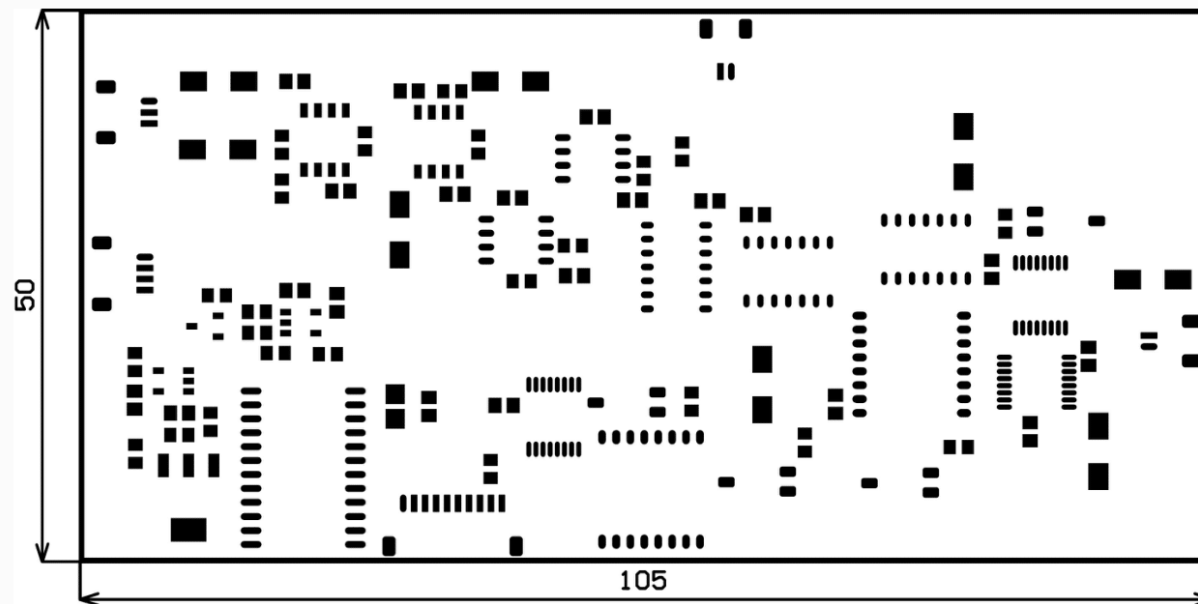
## **ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

**Сторона печатного монтажа — нанесение защитных масок**



# СТОРОНА ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА НАНЕСЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ МАСОК

А



Б



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

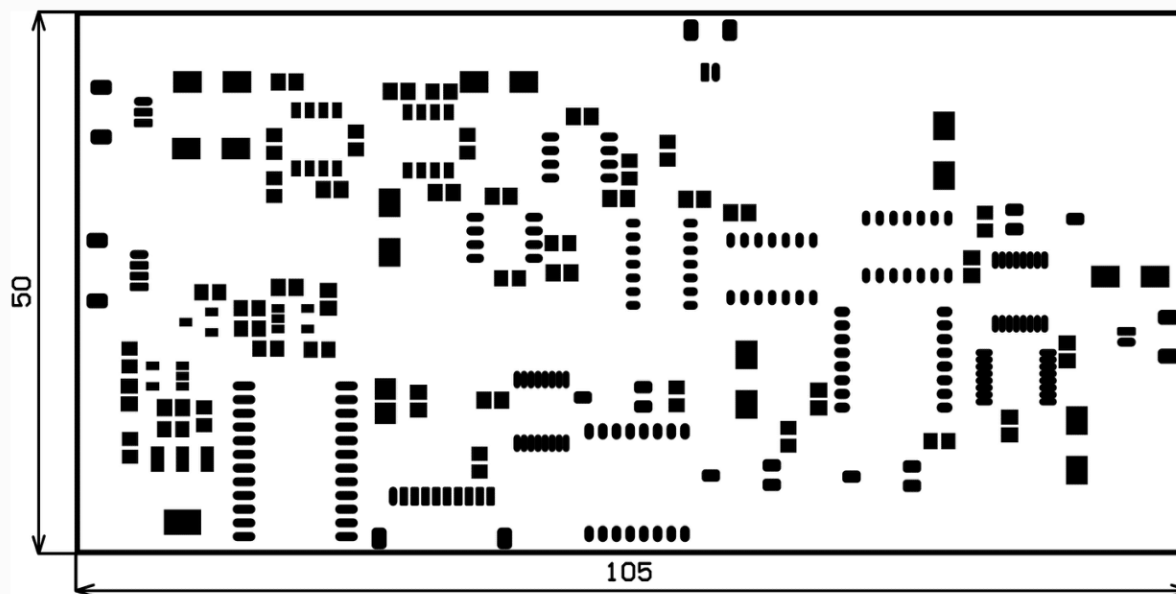
СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03

## **ПРИЛОЖЕНИЕ И**

**Сторона печатного монтажа — нанесение паяльной маски**

# СТОРОНА ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА НАНЕСЕНИЕ ПАЯЛЬНОЙ МАСКИ

A



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03

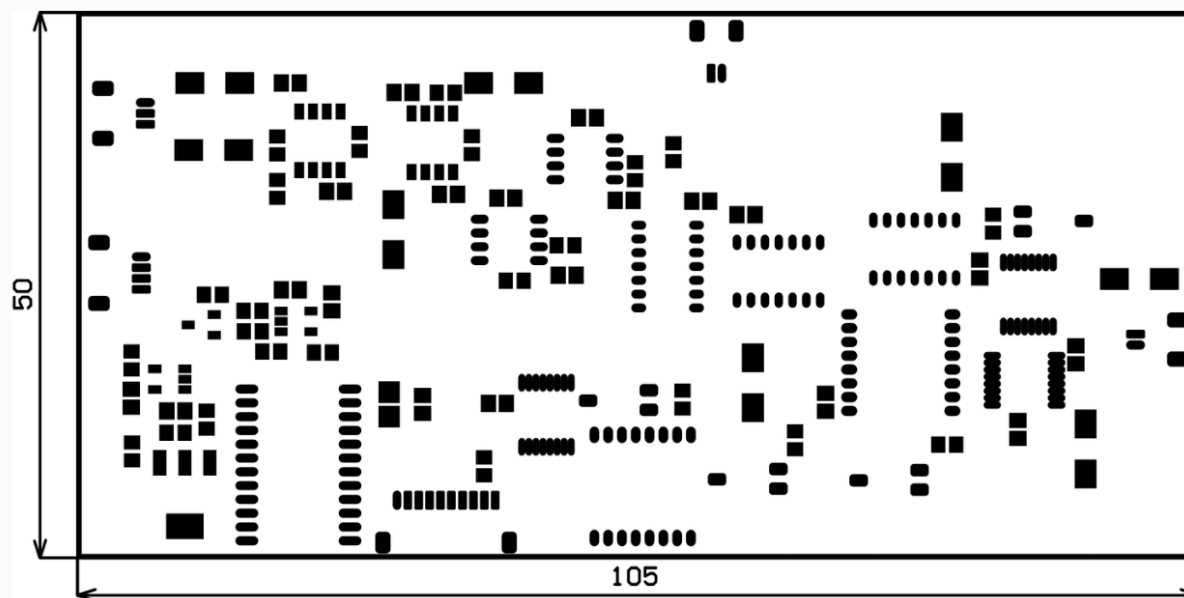
Лист  
4

# **ПРИЛОЖЕНИЕ К**

## **Верхний слой маркировки**

# СТОРОНА ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА НАНЕСЕНИЕ ПАЯЛЬНОЙ МАСКИ

A



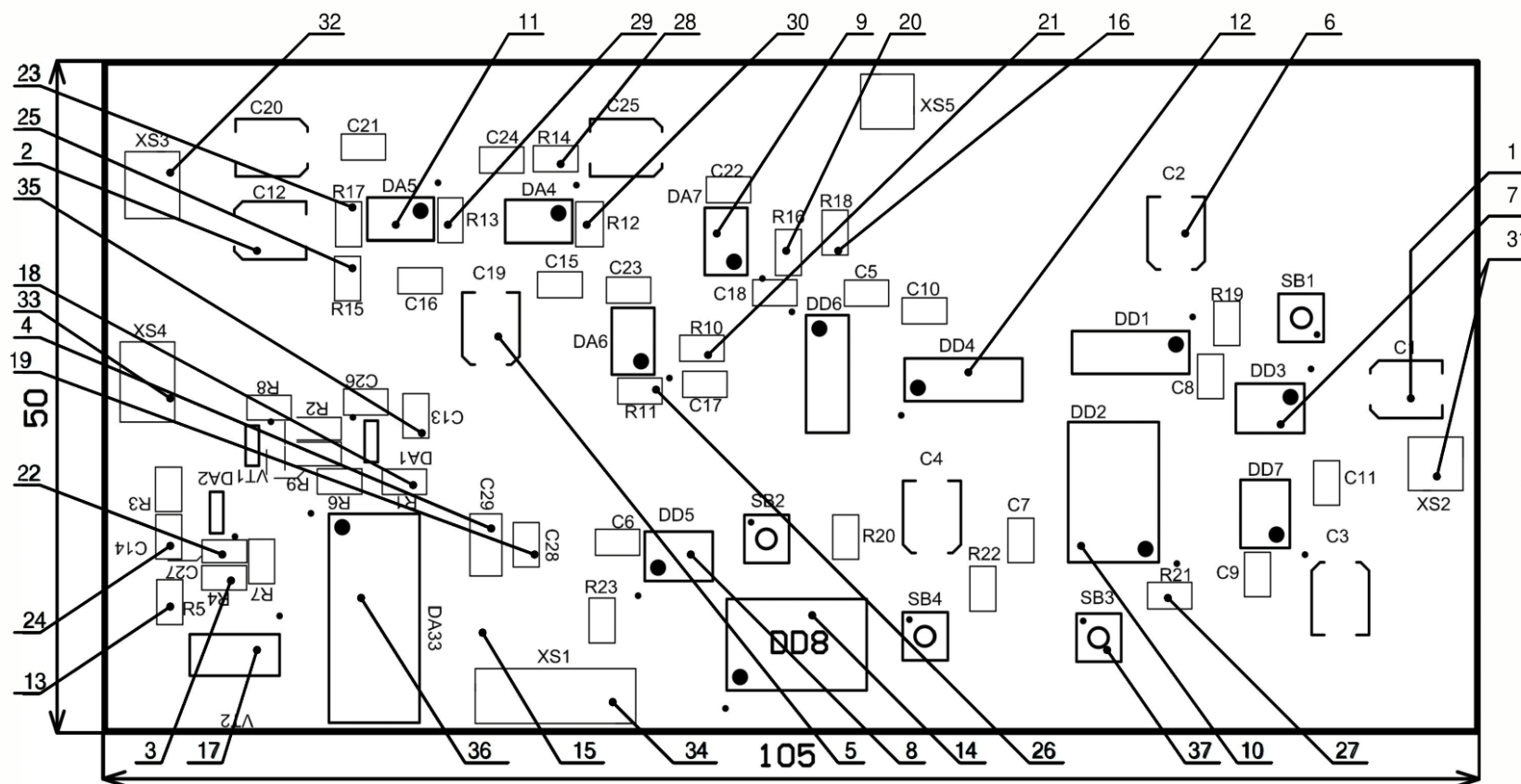
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Л**

### **Сборочный чертёж**



- 1 Размеры для справок.
- 2 Маркировка элементов соответствует схеме электрической принципиальной.
- 3 Установку элементов производить по ГОСТ 29137-91.
- 4 Паять припоем ПОМ-2 ГОСТ Р 52955-2008.
- 5 Элементы поверхностного монтажа устанавливать на плату на паяльную пасту.
- 6 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015

Изм	Лист	№ документа	Подпись	Дата	
Разраб.		Гончаренко В.Ю.			
Пров.		СМОЛИН В.А.			
Т. контр.					
Нач. отд.					
Н. контр.					
Утв					

СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03 СБ			
Циффровой Автомат	Лит.	Масса	Масштаб
	у		1:1
Сборочный чертёж	Лист 1	Листов 1	
Филиал "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске ПЭ2-18			

## **ПРИЛОЖЕНИЕ М**

### **Спецификация**







Инв. № посл.	Полп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № оуол.	Полп. и дата	36	MSC82304	1	VT1
					37	Устройство коммутационное	4	SB1...SB4
						KAN0542-0155B-14		
Инв. № посл.	Полп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № оуол.	Полп. и дата				
Изм.	Лист	№ докум.	Полп.	Дата	СФ МЭИ КР ПЭ2-18 11.03.04 03			Лист
								3