



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Мытищинский филиал
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ космический

КАФЕДРА К2

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №1
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПРОИЗВОДСТВА ЭВМ»

Студент КЗ-66Б

(Подпись, дата)

Несмеянов С.А.
(И.О.Фамилия)

Доцент К2, к.т.н.

(Подпись, дата)

Удалов М.Е.
(И.О.Фамилия)

2025 г.

Вариант №3

Задача 1. Определение габаритных размеров и массы печатной платы

Для приведённого списка электрорадиоэлементов (ЭРЭ) с использованием пособия «Основы проектирования электронных средств. Конструирование электронных модулей первого структурного уровня» выполнить следующие действия:

1. Подготовить компоновочную таблицу.
2. Выбрать вариант установки каждого элемента на печатную плату, учитывая условия эксплуатации электронного устройства.
3. Для выбранного варианта установки и шага координатной сетки, равного 2,5 мм, выписать упрощенное изображение элементов на печатной плате - его габаритными, установочными размерами и массами. Занести в компоновочную таблицу также диаметры выводов ЭРЭ.
4. Вычислить площадь, занимаемую всеми элементами на печатной плате. Данные занести в компоновочную таблицу.
5. Вычислить площадь монтажной зоны.
6. Определить длины и ширины монтажной зоны.
7. Учесть габаритные размеры зон подключения внешних выводов.
8. Учесть габаритные размеры зон размещения элементов контроля
9. Учесть зоны механического крепления ПП и зоны, определяемые несущей конструкцией блока (направляющие и т.п.).
10. Привести полученные значения размеров ПП к стандартным.

Схема электрическая принципиальная приведена на Рис. №1.

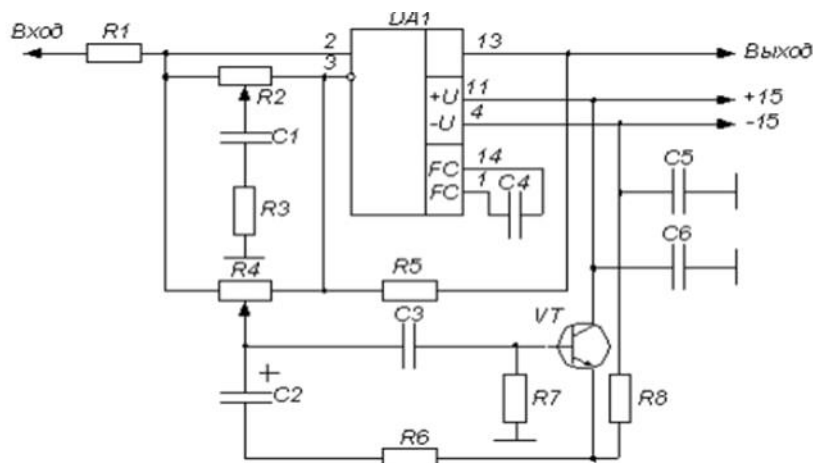


Рис. №1. Электрическая схема регулятора тембра

Резисторы R1, R3, R5-R8 типа МЛТ ГОСТ 7113 – 77 мощностью 0,125 Вт.

R2, R4 – типа СП-3-Зд на печатной плате не устанавливать.

R1, R2, R4, R5 – 47 кОм; R3 – 51 кОм; R6 – 4,7 кОм; R7 – 470 кОм; R8 – 27 кОм

Микросхема ДА1 – КФ140УД4 в корпусе 201.14-1.

Транзистор VT – КТ363А

Конденсаторы: C1 – 1500 пФ; C2 – 10 мкФ; C3 – КМ-46 – 6800 пФ; C4 – К10-17-1– 6,8 пФ; C5, C6 – КМ-46 – М1500 – 0,047 мкФ.

Неуказанные типы конденсаторов и условия эксплуатации даны в табл. 1.

Таблица 1

Номер варианта	Тип	ТКЕ	Тип	Напряжение, В	Условия эксплуатации
	C1		C2		
3	КМ-66	ПЗЗ	К50-16	10	группа 3*

Примечание: * по ГОСТ 16019 (СТ СЭВ 36 – 76);

Решение:

Таблица 2

Компоновочная таблица

Группа элементов	Количество элементов в группе	Вариант установки	Шаг координатной сетки, мм	Упрощенное обозначение ЭРЭ с размерами по ОСТ 4.010.030, мм	Масса i- го элемента, г	$S_n, \text{мм}^2$	Диаметр выводов ЭРЭ, мм
Конденсаторы							
C1	1	Ia	2,5	$D = 12,5; H = 15; B = 6; l = 17,5$	2	$S = (H+2) \cdot D = 212,5$	0,7
C2	1	Ia	2,5	$D = 5; L = 14; l = 2,5$	0,6	$S = (L+2) \cdot D = 80$	0,6
C4	1	Ia	2,5	$D = 6,8; H = 5,5; l = 12,5$	0,5	$S = D \cdot l = 85$	0,7
C3	1	Ia	2,5	$L = 8; B = 6,2;$	0,5	$S = B \cdot (L+2) = 62$	0,6
C5	2	Ia	2,5	$L = 8,5; B = 10,1;$	1	$S = B \cdot (L+2) = 106,05$	0,7
C6		Ia	2,5	$L = 8,5; B = 10,1;$	1	$S = B \cdot (L+2) = 106,05$	0,7
Резисторы							
R1, R3, R5- R8	6	Ia	2,5	$D = 2,0; L = 6,0; l = 10$	0,15	$S = D \cdot l = 20$	0,6

Транзисторы							
VT1 КТ363А	1	Ia	2,5	$D = 5,84; k = 1,12$	0,6	$S = \pi r^2 = \pi * ((D+k)/2)^2 = 38,02$	0,5
Микросхемы							
ДА1 КФ140УД4	1	VIIIa	2,5	$D = 8; l = 19,5$	1,2	$S = D * l = 156$	0,5

$$S_{\text{эрз}} = 212,5 + 80 + 85 + 62 + 2*106,05 + 6*20 + 38,02 + 156 = 965,62 \text{ мм}^2$$

Из компоновочной таблицы рассчитывают $S_{\text{мз}}$ по формуле:

$$S_{\text{мз}} = (1/K_s) * S_{\text{эрз}},$$

Где K_s – коэффициент заполнения печатной платы.

Значения K_s для некоторых видов аппаратуры приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения K_s для некоторых видов аппаратуры

Характеристика аппаратуры	Аппаратура		
	стационарная	возимая, носимая	бортовая
Передающая	0,2	0,4	0,6
Выпрямительная	0,5	0,7	0,8
Релейная	0,7	0,7	до 1,0

Я выбрал стационарную, выпрямительную $K_s = 0.5$

$$S_{\text{мз}} = (1/K_s) * S_{\text{эрз}} = 965,62 / 0,5 = 1931,24 \text{ мм}^2$$

Стороны печатной платы выбираются из условия:

$$S_{\text{мз}} = A * B,$$

где A – большая, B – меньшая стороны печатной платы. Следуя документации [1], я выбрал квадратную форму печатной платы (ПП), поэтому $A = B = 44$ мм. При длине менее 100 мм, размеры должны быть кратными 2.5 мм. Ближайшая длина, соответствующая данной кратности, равна 45 мм.

Соединение выбрано типа ГРППЗ, имеющее 14 контактов. Согласно документации [2] соединитель имеет длину 49 мм, а значит помещается на ПП, поэтому берём $a = 50$ мм. Площадь ПП состоит из рабочей (монтажной) зоны и зоны краевого поля, предусматриваемого для вспомогательных целей (размещения разъемов, крепежных отверстий, зон для направляющих элементов и т. п.). Я решил не использовать контрольные гнезда и лицевые панели для ПП.

Ширина краевого поля по оси X (как правило, одинакова слева и справа), которая определяется направляющими элементами конструкции, конструкцией выводов, устанавливаемых на ПП ЭРЭ, крепежными изделиями и т. д. Поскольку у нас штыревые выходы, $x_1 = 5$ мм.

Ширина краевого поля на верхней кромке ПП у₂ при отсутствии контрольных гнезд равна 2,5 мм, а при их наличии – 12,5 мм; при установке лицевых панелей у₂ увеличивается примерно на 5–10 мм. Так как у меня отсутствуют контрольные гнезда и лицевые панели, у₂ = 2,5 мм.

Ширина краевого поля нижней кромки ПП, предназначенного для установки соединителя, зависит от типа выбранного соединителя. Поскольку я взял тип соединителя ГРППЗ, то у₁ = 17,5 мм.

Отсюда, примерные размеры печатной платы составят:

- 1) по оси X $A = a + 2 \cdot x_1 = 50 + 2 \cdot 5 = 60$ мм;
- 2) по оси Y $B = a + y_1 + y_2 = 50 + 17,5 + 2,5 = 70$ мм.

Так как мною выбрана квадратная форма ПП, то размером её стороны выбрана та, длина которой больше, тогда окончательные размеры ПП будут:

- 3) по оси X $A = 70$ мм;
- 4) по оси Y $B = 70$ мм,

а полная площадь платы $S_{пп} = 4900$ мм².

Ответ: длина печатной платы $A = 70$ мм, ширина печатной платы $B = 70$ мм.

Задача 2. Сконструировать печатный модуль согласно заданным условиям эксплуатации

Согласно варианту, полученному для задачи №1 домашнего задания №1, с использованием пособия «Основы проектирования электронных средств. Конструирование электронных модулей первого структурного уровня» выполнить следующие действия:

1. Выбрать материал основания ПП.
2. Выбрать и обосновать типоразмеры монтажных отверстий.
3. Выбрать форму и рассчитать диаметр контактных площадок.
4. Рассчитать элементы печатного рисунка.
5. Выбрать конструктивное покрытие для ПП.
6. Решить вопрос о способе маркирования.
7. Рассчитать массу ПП и сборочного узла.

Таблица 4

Условия задания

Вариант	Класс точности ПП	Класс жесткости ПП
3	3	3

1, 2. По количеству диэлектрических и проводящих слоев проектируемая мною ПП будет двусторонней, потому что двусторонние печатные платы лучше односторонних за счет большей плотности монтажа и удобства трассировки, а перед многослойными выигрывают в теплоотдаче, стоимости и простоте изготовления.

Конструируемая ПП относится к третьему классу точности.

По группе жёсткости конструируемая ПП относится к третьей группе.

Таблица 5

Влияние класса точности на параметры ПП (для узкого места)

Минимально допустимые геометрические параметры печатных плат	Класс точности				
	1	2	3	4	5
Ширина проводника t , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Расстояние между проводниками S , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Минимальный диаметр контактной площадки b , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
Относительная толщина платы J , мм, т.е. отношение минимального значения диаметра наименьшего отверстия d_{\min} к толщине H печатной платы, мм	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблица 6

Группа жесткости по ГОСТ 23752-79

Параметр	Группа жесткости			
	1	2	3	4
Температура предельная, °K (°C)	328(+55) 248(-25)	358(+85) 233(-40)	358(85) 213(-60)	373(+100) 213(-60)
Повышенная влажность в % при температуре °K (°C)	75 308(+35)	96 298(+25)	98 308(+35)	98 308(+35)
Давление, кПа (мм рт. ст.)	100,2 (760)	46,7 (550)	(350)	0,67 (5)

Выбор осуществляется на основании заданных условий эксплуатации устройства.

3. Материал основания ПП выбирается исходя из:

- 1) электрических характеристик (частотный диапазон, пробивное напряжение и т. д.);
 - 2) климатических воздействий (температура и влажность);
 - 3) стойкости к механическим воздействиям (прочность, жесткость, ударная вязкость и т. д.);
- типа печатной платы (количество слоев) и способа ее изготовления.

Я выбрал стеклотекстолит фольгированный СФ, так как он подходит под все условия.

Таблица 7

Эксплуатационные параметры материалов печатных плат

Наименование материала, марка материала	Параметры воздействий		Толщина	
	Диапазон температур, °C	Отн. влажность, %, при температуре, °C	материала, мм	металлизации, мкм
Стеклотекстолит фольгированный СФ	От -60 до +105	98 при 40	0,5-3,0	35, 50

4. В односторонних и двухсторонних печатных платах используется несколько видов отверстий:

- 1) монтажные – для соединения выводов навесных элементов с печатной схемой;
- 2) крепежные – для механического крепления печатной платы на шасси или для крепления элементов на печатной плате;

- 3) фиксирующие – для точного расположения печатной платы в процессе ее обработки;
- 4) переходные – для электрического перехода с одного слоя печатной платы на другой (для ОПП такие отверстия отсутствуют, для ДПП эти отверстия можно отнести к монтажным).

При расчете минимального диаметра переходного отверстия d_{\min} следует учитывать класс точности. В простейшем случае d_{\min} можно определить из следующего соотношения:

$d_{\min} = J * H$, где J – относительная толщина ПП (выбирается по табл. 5);

H – толщина платы с учетом фольги.

$d_{\min} = 0,33 * (2 + 0,035) = 0,672$ мм. Выбираю $d_{\min} = 0,7$ мм.

Допуск на номинальный размер диаметра может быть как положительным, так и отрицательным в соответствии с ГОСТ 23751–86 [3]. Поэтому минимально применимый диаметр переходного отверстия необходимо вычислять по формуле:

$$d_{\text{пер}} = J * H + |\Delta d|,$$

где Δd – максимальное предельное отклонение диаметра рассчитываемого отверстия.

Следовательно, $d_{\text{пер}} = 0,71$ мм. Выбираю $d_{\text{пер}} = 0,8$ мм

5. Для припайки к печатному проводнику объемного проводника или вывода навесного ЭРЭ на проводнике делают контактную площадку (КП) в виде участка с увеличенной шириной. Металлизированные отверстия должны иметь контактные площадки с двух сторон печатной платы. Контактные площадки выполняют круглой, прямоугольной или близкой к ним формы. Допустима произвольная форма контактных площадок. Расчет минимального диаметра контактной площадки приведен в ОСТ 4.010.022- 85.

Самая распространенная круглая контактная площадка, она технологична и обеспечивает равномерное растекание припоя. Поэтому я выбрал именно этот тип контактной площадки.

В основу расчетов минимального диаметра D_{\min} круглой КП для различных методов изготовления печатной платы положено определение минимального эффективного диаметра контактной площадки для каждого переходного отверстия d_i :

$$D_{\text{эфф}} = 2 * (b + d_{\text{imax}}/2 + T_d + T_D),$$

Где d_{imax} – максимальный диаметр переходного отверстия с учетом допуска;

T_d и T_D - позиционные допуски расположения осей отверстий и контактных площадок по ГОСТ 23751–86 или табл. 8 и 9 соответственно.

Таблица 8

Значения позиционного допуска расположения осей отверстий

Размер печатной платы по большей стороне, мм	Значения позиционного допуска расположения осей отверстий T_d , мм для класса точности				
	1	2	3	4	5
До 180 включительно	0,20	0,15	0,08	0,05	0,05
Св. 180 до 360 включительно	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08
Св. 360	0,30	0,25	0,15	0,10	0,10

Таблица 9

Значения позиционного допуска расположения центров контактных площадок

Вид изделия	Размер печатной платы по большей стороне, мм	Значения позиционного допуска расположения центров контактных площадок T_D , мм для класса точности				
		1	2	3	4	5
ОПП; ДПП; ГПК; МПП (наружный слой)	До 180 включительно	0,35	0,25	0,15	0,10	0,05
	Св. 180 до 360 включительно	0,40	0,30	0,20	0,15	0,08
	Св. 360	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
МПП (внутренний слой)	До 180 включительно	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10
	Св. 180 до 360 включительно	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
	Св. 360	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20

Так как обе стороны моей печатной платы по 70 мм, исходя из данных таблиц, получаю $T_d = 0,08$ мм, а $T_D = 0,15$. Рассчитываю $D_{\text{эфф}}$:

$$D_{\text{эфф}} = 2 * (0,1 + 0,8/2 + 0,08 + 0,15) = 1,46 \text{ мм}$$

Минимальный эффективный диаметр $D_{\text{эфф}}$ - это диаметр, полученный при изготовлении с учетом травления проводящего слоя под защитной маской. Поскольку толщина проводящего слоя $H_{\text{пр}}$ (толщина фольги) или толщина фольги совместно с толщиной осажденной меди различается для различных типов печатных плат, то при расчете минимального диаметра контактной площадки D_{min} способ изготовления ПП обязательно должен быть учтен. Способ нанесения защитной маски также влияет на величину D_{min} . Для СФ чаще всего принимается субтрактивная технология.

Для субтрактивных технологий: $D_{\text{min}} = D_{\text{эфф}} + 1,5 * H_{\text{пр}}$

где $H_{\text{пр}}$ - толщина фольги.

$$D_{\text{min}} = 1,46 + 1,5 * 0,035 = 1,5125 \text{ мм}$$

Контактную площадку, рассчитанную по формулам, необходимо увеличивать в свободную сторону так, чтобы ее площадь без учета отверстия составляла для первого и второго классов точности не менее $2,5 \text{ мм}^2$, а для третьего, четвертого, пятого - $1,6 \text{ мм}^2$. В моем случае надо вычислить площадь круглой КП по формуле круга $S = \pi r^2 = 3,14 \text{ мм}^2$. И при вычитании из площади круга D_{min} , получаем, что $S - D_{\text{min}} > 1,6 \text{ мм}^2$. Количество секторных вырезов составляет 2-4, их ширина равна 1-1,5 мм, расстояние между ними - 1-2 мм. Я выбрал 3 секторных выреза, ширину равной 1,25 мм, а расстояние между ними - 1,5 мм.

6. Расчет минимальной ширины проводника t_{min} должен производиться так же, как и для диаметра КП, с учетом подтравливания проводящего слоя $H_{\text{пр}}$.

Для субтрактивных технологий: $t_{\text{min}} = t_{\text{imin}} + 1,5 H_{\text{пр}}$,

где t_{imin} - минимальная ширина проводника, определяемая классом точности (табл. 5) или полученная при проведении энергетических расчетов.

$$t_{\text{min}} = 0,25 + 1,5 * 0,035 = 0,3025 \text{ мм}.$$

Наименьшее номинальное расстояние между соседними элементами проводящего рисунка рассчитывают по формулам ОСТ 4.010.022-85. Минимально допустимое расстояние S_{min} между соседними элементами проводящего рисунка выбирают исходя из класса точности (табл. 5).

Расстояние L_0 между серединой проводника и центром контактной площадки определяется по формуле:

$$L_0 = S_{min} + [D_{max}/2 + t_{max}/2 + T_1],$$

где T_1 - позиционный допуск расположения печатного проводника относительно соседнего элемента проводящего рисунка (табл. 11); D_{max} - диаметр КП с учетом допуска при изготовлении $D_{max} = D_{min} + 0,04$; t_{max} – ширина печатного проводника с учетом допуска при изготовлении: $t_{max} = t_{min} + 0,04$.

Таблица 10

Значения позиционного допуска расположения печатного проводника

Вид изделия	Размер печатной платы по большей стороне, мм	Значения позиционного допуска расположения T_l , мм для класса точности				
		1	2	3	4	5
ОПП; ДПП; ГПК; МПП (наружный слой)	До 180 включ.	0,35	0,25	0,15	0,10	0,05
	Св. 180 до 360 включ.	0,40	0,30	0,20	0,15	0,08
	Св. 360	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
МПП (внутренний слой)	До 180 включ.	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10
	Св. 180 до 360 включ.	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
	Св. 360	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20

$T_1 = 0,15$, потому что стороны меньше 180 и наружный слой.

$L_0 = 0,25 + 1,0975 = 1,3475$ мм.

7. Конструктивные металлические и неметаллические покрытия применяются для обеспечения стабильности электрических, механических и других параметров печатных плат. Конструктивные металлические покрытия выбирают по ОСТ 4.ГО.014.000. Чаще других используют сплав Розе толщиной 1,5-3 мкм, сплав олово-свинец толщиной 9-15 мкм. Поскольку я выбрал материал СФ, то я выбираю сплав Розе толщиной 2 мкм.

8. Все необходимые надписи на печатных платах (маркировку) выполняют краской, устойчивой к воздействию спирто-бензиновой смеси или других растворителей (например, краской МКЭ чёрной или МКЭ белой по ОСТ 4.ГО.028.001). Маркировку, выполненную краской, можно располагать на печатных проводниках. При маркировке способом, которым выполняется проводящий рисунок, допускается применять упрощенный шрифт, при этом в технических требованиях чертежа способ маркировки не указывают.

9. Масса печатной платы с элементами определяется по формуле:

$$M_n = \sum_{i=1}^n n * M_i + \rho * A * B * H = 23,3 + 0,00205 * 70 * 70 * 2 = 43,39 \text{ г.}$$

где A – длина печатной платы (большая сторона); B – ширина печатной платы (меньшая сторона); M_i – масса i -го элемента; n – количество элементов, устанавливаемых на печатной

плате; ρ – объемная плотность материала основания печатной платы: для стеклотекстолита $\rho = 0.00205 \text{ г/мм}^3$; H – толщина основания печатной платы.

При вычислении формулы я получил следующее значение: $M_n = 43,39 \text{ г.}$ (с учетом массы коннектора = 15 г);

Ответы:

- материал основания печатной платы: стеклотекстолит фольгированный СФ;
- толщина печатной платы: 2 мм;
- типоразмеры переходных отверстий: 0,8 мм;
- форма и размеры контактных площадок: круглая форма, диаметр 2 мм;
- конструктивное покрытие печатной платы: сплав Розе толщиной 2 мкм;
- масса печатной платы и сборочного узла: 43,39 г

Список источников

1. Основы проектирования электронных средств. Конструирование электронных модулей первого структурного уровня: лаб. практикум / В.А. Юзова. – Красноярск: СФУ, 2012. – 206 с.
2. Соединители электрические низкочастотные прямоугольные ГРППЗ [Электронный ресурс]. – URL: <https://uzesiset.ru/katalog/razbiv/grpp3/grpp3.pdf> (дата обращения: 04.06.2025).
3. ГОСТ 23751-86 - Платы печатные. Основные параметры конструкции. – С. 6. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/124/12410.pdf> (дата обращения: 04.06.2025).