

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет повышения квалификации и переподготовки
Кафедра РЭС

«К защите допускаю»

«_____» _____ 2004г.

Руководитель проекта

Троян Ф.Д.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности»

на тему: «Широкополосный УМЗЧ с малыми искажениями»

Ф. Д. Троян
17.12.04

Выполнил:
студент гр. 380213
Хатько О.В.

Руководитель:
Троян Ф.Д.

Факультет

ФПКР

«ЗАЦВЯРДЖАЮ»

Загаччык кафедры

(подпіс)

« _____ »

2004 г.

ЗАДАНИЕ

па курсавому праектаванню

Студэнту

Хатко Олесь Віктаравіч

1. Тэма праекта

Шырокапапаласны УМЗЧ з малымі іскажэннямі

2. Тэрміны здачы студэнтам закончанага праекта

3. Выходныя даныя да праекта

3.1. Прынцыпальная электрычная схема ўстройства

3.2. Электрычныя параметры: $U_c = 220\text{В}$, $f_{сеті} = 50\text{Гц}$, $P_{вотр.} = 35\text{Вт}$ 3.3. Умовы эксплуатацыі па ГОСТ 15150-69 гр. 4, кл. 4: $T_{ср} = +40^\circ\text{С}$ $T_{міні} = -10^\circ\text{С}$, $\eta = 85\%$, $H = 10^5\text{Па}$, $f_{вв} = 100\text{Гц}$, $\Delta r \geq 60\%$ 3.4. Трэбавацца к электрамагнітнай сумяшчальнасці: электрамагнітнае поле частатой 500кГц , премоцыйны экран, $\Delta z \geq 40\text{дБ}$ 3.5. Трэбавацца к надзейнасці: верагоднасць безаказнай работы пры $T_{зд} = 1000\text{г}$ $P(t) \geq 0,9$; верагоднасць вярстанавлення $\bar{V}(T) \geq 0,8$ за $T = 20\text{г}$

4. Змест разлікова-тлумачальнай запіскі (пералік пытанняў, якія падлягаюць распрацоўцы)

4.1. Аналіз тэхнічнага задання

4.2. Выбор і абаснаванне элементнай базы схемы

4.3. Выбор і абаснаванне метадаў канструавання несучых канструкцый

4.4. Расчет тэмпературных рэжымаў

- 4.5. Расчёт виброзащитности
- 4.6. Расчёт эфрективности экранирования
- 4.7. Расчёт надёжности

5. Пералік графічнага матэрыяла (з дакладным пазначэннем абавязковых чарцяжоў і графікаў)

- 5.1. Зертёжэ прынцыпальнай электрычнаскай схемы
- 5.2. Сборачны зертёжэ негатыўнай платы

6. Кансультант па праекту (з пазначэннем раздзелаў праекта)

7. Дата выдачы задання 10.09.2004

8. Каляндарны графік работы над праектам на ўвесь перыяд

праектавання (з пазначэннем тэрмінаў выканання і працэнтасці асобных этапаў)

20.09 - п. 4.1 - 4.3

20.10 - п. 4.4 - 4.5

20.11 - п. 4.6 - 4.7, п. 5.1 - 5.2

20.12 - Захешта КП

КІРАУНІК

(подпіс)

Заданне прыняў да выканання 10.09.2004

(дата і подпіс студэнта)

1. Анализ технического задания.

Усилитель мощности звуковой частоты (УМЗЧ) предназначен для эксплуатации в составе радиокomплекса для воспроизведения программ с компакт-дисков и высококачественных магнитофонных записей.

К достоинствам УМЗЧ можно отнести его способность работать на ультразвуковых частотах порядка 100 кГц при полной выходной мощности с достаточно малыми искажениями сигнала, исключительно малые искажения на низких и средних частотах, а также относительную простоту.

Основные технические характеристики УМЗЧ:

Номинальная (максимальная) мощность, Вт, при сопротивлении нагрузки 4 Ом:	35	
Номинальное входное напряжение, В:	1	
Диапазон воспроизводимых частот при выходной мощности -3дБ от номинальной, Гц, не хуже:	2,5...110000	
Коэффициент гармоник при сопротивлении нагрузки 4 Ом, %:	20-1000	0,002
	6300	0,01
	20000	0,025
	100000	0,13
Мощность, потребляемая от сети, Вт, не более:	35	
Габаритные размеры, мм, не более:	200x180x80	
Масса, кг, не более:	1,3	

Техническое задание на УМЗЧ:

Условия эксплуатации по ГОСТ 15150-69:	
Максимальная температура окружающей среды, °С:	+40
Минимальная температура окружающей среды, °С:	-10
Относительная влажность окружающей среды, %:	85
Атмосферное давление, кПа:	100
Частота верхней вибрации, Гц:	100
Эффективность виброзащиты, %, не менее:	60
Требования к электромагнитной совместимости:	
Частота электромагнитного поля, кГц, не более:	500
Эффективность экранирования, дБ, не менее:	40
Требования к надёжности:	
Заданное время работы, ч:	1000
Вероятность безотказной работы, не менее:	0,9
Вероятность восстановления, при $\tau=2\tau_{max}$, не менее:	0,8

2. Выбор и обоснование элементной базы схемы.

Все используемые электро- радио компоненты, ИМС и другие покупные изделия, а также материалы должны обеспечивать показатели надежности и экономическую эффективность УМЗЧ.

Применяемые комплектующие изделия не должны требовать:

- разбраковки и отбора по техническим параметрам после входного контроля;
- разработки специальных средств для входного контроля.

Элементная база для перспективной аппаратуры должна включать следующие изделия:

- аналоговые и цифровые ИМС общего применения;
- современные комплектующие компоненты (резисторы, конденсаторы, реле и т.д.) отвечающие требованиям комплексной миниатюризации и имеющие электрические и массогабаритные показатели, совместимые с ИМС;
- специализированные полупроводниковые ИМС;
- специализированные гибридно-пленочные ИМС.

Для разработки современной аппаратуры необходимы комплектующие изделия, отличающиеся при большой сложности высокой надежностью и ограниченным числом внешних выводов. Стоимость аппаратуры на основе ИМС ниже стоимости аналогичной аппаратуры на другой элементной базе. Это объясняется использованием перспективной технологии и уменьшением объема монтажно-сборочных работ. При разработке современных технических решений в аудио аппаратуре решающими критериями выбора элементной базы являются надежность, долговечность и энергопотребление применяемых компонентов. Стоимость применяемых микросэлектронных изделий должна рассматриваться в комплексе с затратами на монтажные узлы, их производство и настройку. Учитывая, что стоимость собственно компонентов имеет тенденцию к постоянному снижению в соответствии с освоением технологии производства и увеличением серийности на заводе-изготовителе, а стоимость производства аппаратуры, как правило, возрастает, целесообразно закладывать в новые разработки перспективную элементную базу в виде специализированных ИМС. Единственное ограничение на применение таких изделий - это степень их отработанности на заводе-изготовителе, гарантирующая надежность и функциональное соответствие применяемых компонентов.

Таким образом, можно выделить следующие основные критерии выбора элементной базы:

- надежность;
- долговечность;
- энергопотребление;
- степень интеграции;
- стоимость.

Для применения в УМЗЧ используется широко распространенная ИМС серии 544, мощные ВЧ транзисторы КТ932А, КТ914 с индексами А или Б, КТ904 с индексами А или Б производимые отечественной промышленностью.

В усилителе допускается использовать следующие транзисторы: VT1 - КТ315 с индексами В, Г, Д и Е, VT2 - КТ361 с индексами Г и Е, VT3, VT5 - КТ315 с индексами Б, Г, Е, VT4 - КТ361 с такими же индексами; VT7 - любой р-п-р или п-р-п структуры (в соответствующем включении) - транзистор, конструкция корпуса которого обеспечивает хороший тепловой контакт кристалла с теплоотводом. В качестве ОУ DA1 можно применять только микросхемы К544УД2А и КР544УД2А.

В случае, если усилитель применяется или испытывается на ультразвуковых частотах, резистор R26 необходимо заменить более мощным.

3. Выбор и обоснование методов конструирования несущих конструкций.

В данный момент существуют три основных метода конструирования несущих конструкций:

1. Машиностроительный.

Суть метода: устойчивое положение прибора в пространстве или его равномерное прямолинейное движение обеспечивается замкнутой системой опорных поверхностей. Минимальное количество опорных поверхностей – две. Опорные поверхности необходимы для приборов большой массы, при больших механических нагрузках, чтобы не было деформации.

2. Геометрический.

Суть метода: устойчивое положение прибора в пространстве или его равномерное прямолинейное движение обеспечивается замкнутой системой опорных точек. Минимальное количество опорных точек – три. Метод применим к приборам малой массы.

3. Топологический метод.

Суть метода: изображение детали на плоскости в реальном или кратном масштабе. Метод применяется при изображении печатного монтажа

Так как устройство является стационарным, имеет массу приблизительно 1 кг, количество опорных точек – четыре, выбираем геометрический метод конструирования несущих конструкций.

В качестве несущей конструкции используется корпус, изготовленный штамповкой из листовой стали.

Печатная плата изготовлена из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Для её изготовления применяем топологический метод.

4. Расчёт температурных режимов.

Блок РЭА представляет собой сложную систему тел с множеством внутренних источников теплоты. Точное анализирование температурных полей внутри блока провести невозможно из-за громоздкости задачи и неточности исходных данных: мощности источников теплоты, теплофизических свойств материалов, размеров границ. Поэтому при расчете теплового режима блоков РЭА используют приближенные методы анализа и расчета. Целью расчета является определение температур нагретой зоны и среды вблизи поверхности РЭА.

Для снижения температур радиоэлектронного аппарата широко применяется метод перфорирования кожуха и шасси аппарата.

Исходя из данных технического задания и некоторых дополнительных допущений:

1. Температуру кожуха аппарата считаем изотермической, т. е. одинаковой в различных его частях.
2. Величину однородных коэффициентов теплоотдачи всех внутренних поверхностей аппарата считаем одинаковой.

Исходные данные для расчета температурного режима в перфорированном корпусе приводятся в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Данные	Обознач.	Ед. изм.	Значение
Потребляемая мощность	$P_{номр}$	Вт	35
Размеры корпуса	L_1	м	0,2
	L_2		0,18
	h_k		0,08
Высота нагретой зоны	$h_{н.з.}$	м	0,07
Степень черноты	ε	-	0,9
Давление окружающей среды	H	Па	100000
Температура окружающей среды	T_c	°С	40

Рассчитываем поверхность корпуса блока по формуле (4.1).

$$S_k = 2 \cdot (L_1 \cdot L_2 + (L_1 + L_2) \cdot h_k), (4.1)$$

где:

L_1 и L_2 – горизонтальные размеры корпуса аппарата, м;

h_k – вертикальный размер, м.

Определяем условную поверхность нагретой зоны по формуле (4.2).

$$S_{н.з.} = 2 \cdot (L_1 \cdot h_{н.з.} + L_2 \cdot h_{н.з.} + L_1 \cdot L_2), (4.2)$$

где:

$h_{н.з.}$ – высота нагретой зоны, м.

Находим удельную мощность корпуса блока по формуле (4.3):

$$P_{уд} = \frac{P_{номр}}{S_k} \quad (4.3)$$

Определяем перегрев относительно температуры окружающей среды по формуле (4.4).

$$\Delta T_k = \Delta T_{кр} \cdot K_S \cdot K_T \cdot K_\varepsilon \cdot K_{нв} \quad (4.4)$$

где:

$\Delta T_{кр}$, K_S , K_T , K_ε , $K_{нв}$ определяются по графикам на рис. 4.1.

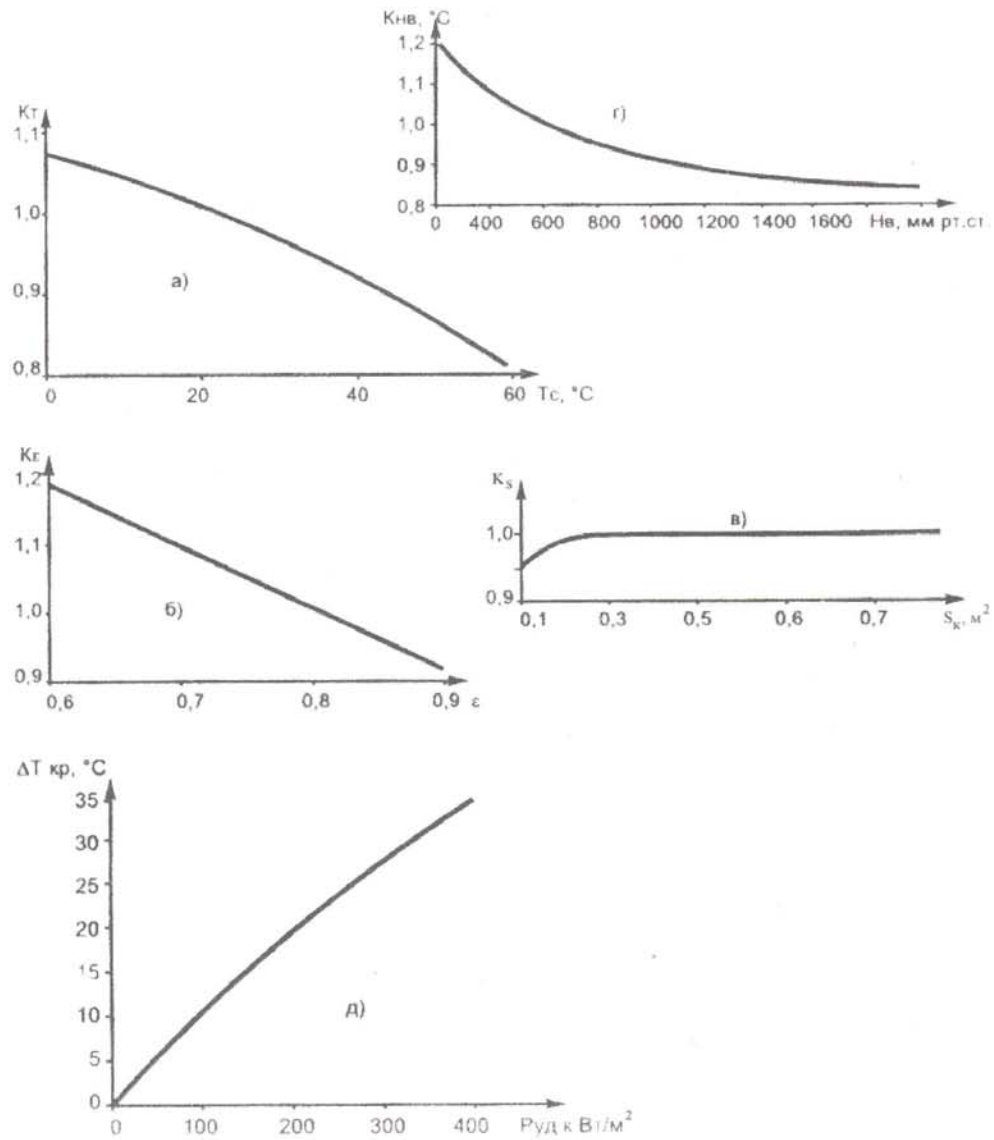


Рис. 4.1

а) $K_T = F(T_c)$, б) $K_\varepsilon = F(\varepsilon)$, в) $K_S = F(S_k)$, г) $K_{нв} = F(H_{нв})$, д) $\Delta T_{кр} = F(P_{уд.к})$

Находим температуру корпуса по формуле (4.5):

$$T_k = T_c + \Delta T_k \quad (4.5)$$

Определяем общую теплоотдачу корпуса по формуле (4.6):

$$\alpha_{\text{общ}} = \alpha_{\kappa} + \alpha_{\lambda} \quad (4.6)$$

Находим теплоотдачу корпуса конвекцией по формуле (4.7):

$$\alpha_{\kappa} = 1,3 \cdot A_2 \cdot \left(\frac{T_{\kappa} - T_c}{L_{\min}} \right)^{1/4} \quad (4.7)$$

где:

A_2 – коэффициент, который выбирается из таблицы 4.2.

L_{\min} – меньший размер из горизонтальных размеров корпуса, м.

Таблица 4.2

$T_m, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	60	80	100	120	140	150
A_1	0,291	-	0,295	-	0,300	0,306	0,310	0,315	0,320	-	-
A_2	-	1,40	1,38	1,36	1,34	1,31	1,29	1,27	1,26	1,25	1,245
A_3	1,69	-	1,61	-	1,53	1,45	1,39	1,33	-	-	1,23

Определяем теплоотдачу корпуса излучением по формуле (4.8):

$$\alpha_{\lambda} = \varepsilon \cdot \varphi \cdot f(T_{\kappa}, T_c) \quad (4.8)$$

где:

$f(T_{\kappa}, T_c)$ – функция от температур корпуса и среды. Значения функции представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

$T_{\kappa}, ^\circ\text{C}$	$T_c, ^\circ\text{C}$									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
15	5,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	5,45	5,59	-	-	-	-	-	-	-	-
25	5,59	5,76	5,90	-	-	-	-	-	-	-
30	5,76	5,90	6,05	6,20	-	-	-	-	-	-
35	5,90	6,05	6,20	6,35	6,51	-	-	-	-	-
40	6,06	6,20	6,35	6,51	6,60	6,82	-	-	-	-
45	6,20	6,35	6,51	6,60	6,83	7,00	7,14	-	-	-
50	6,35	6,51	6,60	6,83	7,00	7,17	7,35	7,50	-	-
60	6,70	6,87	7,04	7,9	7,35	7,51	7,69	7,87	8,05	-
70	7,06	7,21	7,39	7,55	7,72	7,86	8,05	8,24	8,42	8,80
80	7,44	7,59	7,75	7,80	8,07	8,26	8,45	8,65	8,83	9,20
90	7,82	7,98	8,13	8,31	8,49	8,67	8,86	9,04	9,25	9,65
100	8,19	8,37	8,53	8,72	8,91	9,09	9,28	9,46	9,66	10,18

Рассчитываем температуру нагретой зоны по формуле (4.9):

$$T_{н.з.} = T_{к} + \frac{P_{потр}}{15 \cdot S_{н.з.} \cdot 0,1 \cdot \alpha_{общ}} \quad (4.9)$$

Исходя из рекомендаций [1] задаём процент перфорации от общей площади корпуса – 20%. В результате этого $T_{н.з.}$ и $T_{к}$ снизится на 20%.

Результаты расчёта температурного режима приведены в таблице 4.4

Таблица 4.4

№ формулы	Обозначение	Значение	Ед. изм.
(4.1)	$S_{к}$	0,1328	м ²
(4.2)	$S_{н.з.}$	0,1252	м ²
(4.3)	$P_{уд}$	263,5542	Вт/м ²
(4.4)	$\Delta T_{к}$	18,8092	°С
(4.5)	$T_{к}$	47,0473	°С
(4.6)	$\alpha_{общ}$	12,4906	Вт/м ² ·°С
(4.7)	$\alpha_{к}$	5,5696	Вт/м ² ·°С
(4.8)	$\alpha_{л}$	6,9210	Вт/м ² ·°С
(4.9)	$T_{н.з.}$	47,3393	°С

Анализируя рабочие диапазоны температур элементной базы УМЗЧ можно заметить, что температура наименее теплостойкого элемента (К544УД2А) составляет 85°С, что значительно выше рассчитанных показателей. Следовательно, тепловой режим разрабатываемого устройства находится в норме, а выбор способа охлаждения прибора сделан верно и необходимость в дополнительной теплозащите отпадает.

5. Расчёт виброзащищённости.

При защите блока от вибрации был применён способ изменения соотношения между собственной частотой конструкций и частотой возмущающей силы.

Сущность способа защиты от вибраций заключается в изменении резонансной частоты конструкции относительно основной и кратных частот источника упругих колебаний. Изменение резонансной частоты конструкции можно осуществить изменением жесткости.

Исходные данные для расчета виброзащищённости приводятся в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Данные	Обознач.	Ед. изм.	Значение
Длина печатной платы	a	м	0,12
Ширина печатной платы	b	м	0,08
Толщина печатной платы	h	м	0,0015
Модуль упругости стеклотекстолита	E	Н/м ²	$3,02 \cdot 10^{10}$
Плотность стеклотекстолита	ρ	кг/м ³	1750
Коэффициент Пуассона	σ	-	0,22
Частота верхней вибрации	$f_{в.в}$	Гц	100

Рассчитываем общую массу элементов, установленных на печатной плате по формуле (5.1):

$$m_{эл} = \sum_{i=1}^n m_{эл_i} \cdot n, \quad (5.1)$$

где:

$m_{эли}$ – масса i -го элемента, кг.

n – количество элементов, шт.


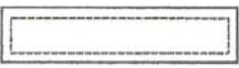
Определяем массу платы по формуле (5.2)


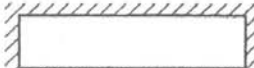
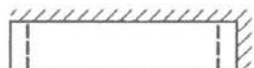
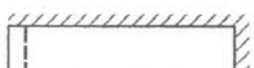
$$m_{пл} = \rho \cdot a \cdot b \cdot h \quad (5.2)$$

Находим коэффициент, зависящий от способа закрепления печатной платы по формуле (5.3). Формула выбирается из таблицы 5.2:

$$\alpha_1 = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,48 \cdot \frac{a^2}{b^2} + 0,19 \cdot \frac{a^4}{b^4}}. \quad (5.3)$$

Таблица 5.2

Способ закрепления платы	Формула α_1
	$22,372 \cdot \sqrt{1 + 0,549 \cdot \frac{a^2}{b^2} + 0,475 \cdot \frac{a^4}{b^4}}$
	$9,87 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right)$

	$22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,48 \cdot \frac{a^2}{b^2} + 0,19 \cdot \frac{a^4}{b^4}}$
	$22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$
	$9,87 \cdot \sqrt{1 + 2,57 \cdot \frac{a^2}{b^2} + 5,14 \cdot \frac{a^4}{b^4}}$
	$15,42 \cdot \sqrt{1 + 1,19 \cdot \frac{a^2}{b^2} + 2,1 \cdot \frac{a^4}{b^4}}$

--- сторона платы свободно опертая;
 //// сторона платы жестко закреплена

Определяем цилиндрическую жёсткость печатной платы по формуле (5.4).

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \sigma^2)} \quad (5.4)$$

Находи поправочный коэффициент по формуле (5.5):

$$K_{ЭРЭ} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_{эл}}{m_{нл}}}} \quad (5.5)$$

Определяем собственную частоту колебаний печатной платы по формуле (5.6).

$$f_0 = \frac{\alpha_1}{2\pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{m_{эл} + m_{нл}}} \cdot K_{ЭРЭ} \quad (5.6)$$

Находим эффективность виброзащиты по формуле (5.7):

$$\mathcal{E} = \left(1 - \frac{f_{с.в.}}{f_0}\right) \cdot 100\% \quad (5.7)$$

Результаты расчёта виброзащщённости приведены в таблице 5.3

Таблица 5.3

№ формулы	Обозначение	Значение	Ед. изм.
(5.1)	$m_{эл}$	0,27	кг
(5.2)	$m_{нл}$	0,0252	кг
(5.3)	α_1	39,0155	-
(5.4)	D	8,9258	Н·м
(5.5)	$K_{ЭРЭ}$	0,2922	-
(5.6)	f_0	692,7886	Гц
(5.7)	\mathcal{E}	85,57	%

Проанализировав произведенные расчеты на эффективность виброзащиты и сопоставив с требованиями технического задания, делаем вывод, что эффектив-

ность виброзащиты достаточна и нет необходимости в применении других виброизоляторов.

6. Расчёт эффективности экранирования.

Экранирование электромагнитного поля основано на использовании явлений многократного отражения электромагнитных волн от поверхности экрана и затухания высокочастотной энергии в материале экрана. Многократное отражение волн обусловлено различием волновых сопротивлений диэлектрика и металла, из которого изготовлен экран. При многократном отражении электромагнитная энергия волны, достигнув экрана, частично затухает в его толще и частично отражается от поверхности экрана. Часть электромагнитной энергии волны достигает внутренней поверхности экрана, частично отражается от нее в направлении внешней поверхности экрана и частично проникает в экранированное пространство. При многократном отражении лишь незначительная часть энергии электромагнитных волн проникает вовнутрь экрана. Затухание энергии электромагнитной волны в толще экрана обусловлено тепловыми потерями на вихревые токи.

В практике конструирования РЭА наибольшее распространение получили три основные конструкции экранов: прямоугольные, цилиндрические, сферические.

В качестве экрана будем использовать прямоугольный экран, изготовленный из меди. Частота внешнего электромагнитного поля 500 кГц.

Для определения эффективности экранирования нужно найти эквивалентную глубину проникновения поля в экран. На рис 6.1. показана зависимость эквивалентной глубины проникновения электромагнитного поля от частоты для различных металлов. Для медного экрана при воздействии на него электромагнитного поля частотой 500кГц эквивалентная глубина проникновения составляет 0,07 мм. Так как толщина экрана должна быть больше эквивалентной глубины проникновения, то задаём толщину экрана 0,1 мм.

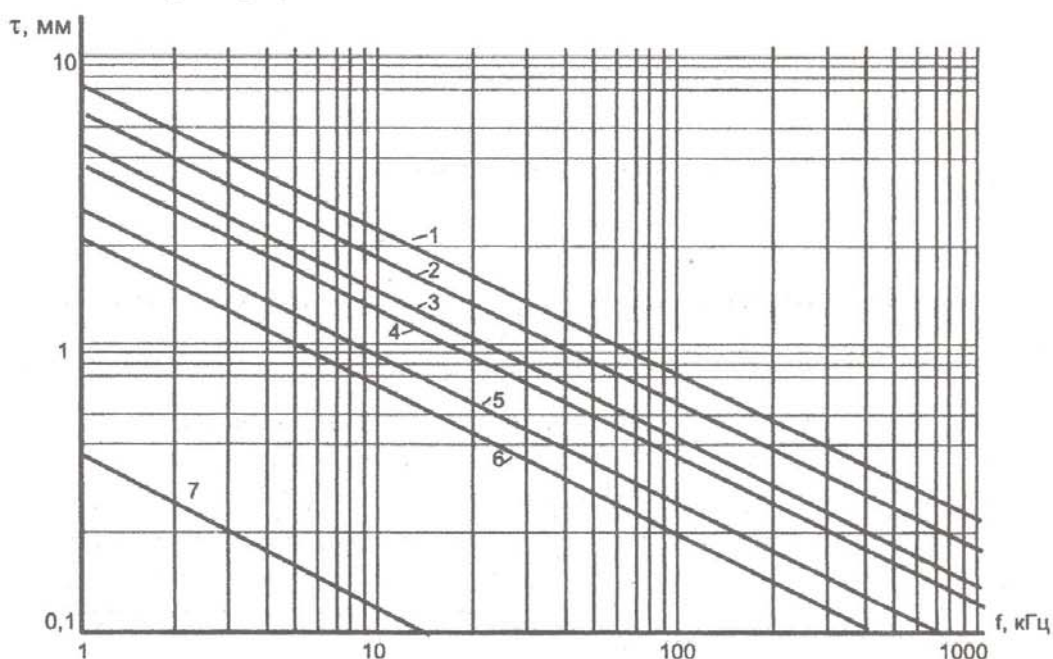


Рис. 6.1 Зависимость эквивалентной глубины проникновения от частоты.
1 – свинец; 2 – олово; 3 – латунь; 4 – алюминий; 5 – цинк; 6 – медь; 7 – железо

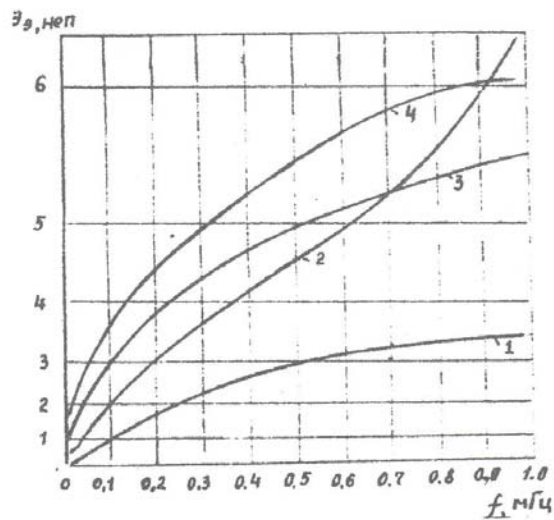


Рис. 6.2 Частотная зависимость эффективности экранирования экранов толщиной 0,1 мм.

1 – свинец; 2 – сталь; 3 – алюминий; 4 – медь

Проанализировав зависимость эффективности экранирования для экранов толщиной 0,1 мм от частоты электромагнитного поля, изображённой на рис. 6.2, приходим к выводу, что эффективность экранирования составляет примерно 5,3 Непера, что вполне удовлетворяет техническому заданию.

7. Расчёт надёжности.

Расчет выполняется для периода нормальной эксплуатации при следующих основных допущениях:

- отказы случайны и независимы;
- учитываются только внезапные отказы;
- имеет место экспоненциальный закон надежности.

Исходные данные для расчета надёжности приводятся в таблице 7.1.

Таблица 7.1

Элементы	Пос. обоз.	Номинал	Кол-во, n	$\lambda_{0j} \cdot 10^{-6},$ 1/ч	$\lambda_{0j} \cdot 10^{-6} \cdot n,$ 1/ч	$\tau_j,$ ч
Катушки инд.	L1	3мкГн	1	0,34	0,34	0,8
Конденсаторы	C1	0,68мкФ	1	0,075	0,075	0,3
	C2	1300пФ	1		0,075	
	C3	0,047мкФ	1		0,075	
	C4, C5	0,22мкФ	2		0,15	
Микросхемы	DA1	K544УД2	1	0,38	0,38	1,3
Предохранители	FU1, FU2	3А	2	0,5	1	0,1
Резисторы	R1, R2	1кОм; 0,125Вт	2	0,45	0,9	0,3
	R3, R5	2кОм; 0,125Вт	2		0,9	
	R4	100кОм; 0,125Вт	1		0,45	
	R6	75Ом; 0,125Вт	1		0,45	
	R7, R8	240Ом; 0,125Вт	2		0,9	
	R9	2кОм; 0,5Вт	1		0,45	
	R10	560Ом; 0,125Вт	1		0,45	
	R11	13кОм; 0,125Вт	1		0,45	
	R12	1,5кОм; 0,125Вт	1		0,45	
	R13	62Ом; 0,125Вт	1		0,45	
	R14	160Ом; 0,125Вт	1		0,45	
	R15	15Ом; 0,125Вт	1		0,45	

	R16, R17	100Ом; 0,125Вт	2		0,9	
	R18	200Ом; 0,125Вт	1		0,45	
	R19, R22	0,051Ом; 0,5Вт	2		0,9	
	R20	0,091Ом; 1Вт	1		0,45	
	R21, R25, R27, R28	0,36Ом; 0,125Вт	4		1,8	
	R23, R30	150Ом; 0,125Вт	2		0,9	
	R24, R29	15кОм; 0,125Вт	2		0,9	
	R26	10Ом; 0,25Вт	1		0,45	
Стабилитроны	VD1, VD2	2С516В	2	0,48	0,96	0,3
Транзисторы	VT1	КТ315Г	1	0,3	0,3	0,4
	VT2	КТ361Г	1		0,3	
	VT3	КТ315В	1		0,3	
	VT4	КТ361Б	1		0,3	
	VT5	КТ315Б	1		0,3	
	VT6, VT10	КТ914А	2		0,6	0,6
	VT7	КТ818А	1		0,3	
	VT8, VT9	КТ904А	2		0,6	
	VT11	2Т908А	1		0,3	
	VT12, VT13, VT14, VT15	КТ932Б	4		1,2	
Пайка	-	-	133	0,01	1,33	0,4

Определяем значение суммарной интенсивности отказов элементов устройства по формуле (7.1).

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{j=1}^k \lambda_{0j} \cdot n_j \quad (7.1)$$

где:

λ_{0j} – среднегрупповое значение интенсивности отказов элементов j -й группы, найденное с использованием справочников, $j = 1, \dots, k$, 1/ч.

n_j – количество элементов в j -й группе, $j = 1, \dots, k$, шт.

k – число сформированных групп однотипных элементов.

Суммарную интенсивность отказов элементов РЭА с учетом электрического режима и условий эксплуатации определяем по формуле (7.2).

$$\lambda_{\Sigma_3} = \lambda_{\Sigma} \cdot K_3 \quad (7.2)$$

где:

K_3 – обобщенный эксплуатационный коэффициент, выбираемый по таблице 7.2 в зависимости от вида РЭА или условий его эксплуатации.

Таблица 7.2

Область и условия применения РЭА	K_3
Лабораторные условия	1,0
Орбитальные спутники	1,5
Стационарное наземное оборудование	2,0
Перевозимое наземное оборудование	5,0
Портативное наземное оборудование	7,0
Самолётная РЭА (кабина пилота)	5,0
Самолётная РЭА (приборный отсек)	7,0
Оборудование ступеней выведения спутников на орбиту	8,0
Боевые ракеты	10,0

С использованием гипотезы об экспоненциальном законе надежности подсчитываем наработку на отказ и вероятность безотказной работы за заданное время по формулам (7.3) и (7.4) соответственно.

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\Sigma_3}} \quad (7.3)$$

$$P_{\Sigma}(t_3) = e^{-\frac{t_3}{T_0}} \quad (7.4)$$

где:

t_3 – заданное время работы, равное 1000 ч.

Определяем вероятность отказа за заданное время работы по формуле (7.5).

$$Q(t_3) = 1 - P_{\Sigma}(t_3) \quad (7.5)$$

Рассчитываем среднее время восстановления по формуле (7.6).

$$T_B \approx \frac{\sum_{j=1}^k n_j \cdot \tau_j}{\sum_{j=1}^k n_j} \quad (7.6)$$

Определяем заданное время по формуле (7.7).

$$\tau_3 = 2 \cdot \tau_{j_{\max}} \quad (7.7)$$

где:

$\tau_{j\max}$ – случайное время восстановления j -го элемента.

Определяем значение вероятности восстановления за заданное время по формуле (7.8):

$$v(\tau_3) = 1 - e^{-\frac{\tau_3}{T_B}} \quad (7.8)$$

Рассчитываем коэффициент готовности по формуле (7.9):

$$K_2 = \frac{T_0}{T_0 + T_B} \quad (7.9)$$

Определяем коэффициент ремонтпригодности, характеризующий степень необходимости ремонта по формуле (7.10).

$$K_p = 1 - K_2 \quad (7.10)$$

Рассчитываем вероятность нормального функционирования за заданное время работы по формуле (7.11).

$$P(t_3)_{н.ф.} = K_2 \cdot P_{\Sigma}(t_3) \quad (7.11)$$

Определяем вероятность безотказной работы с учётом восстановления по формуле (7.12).

$$P(t_3)_{v(\tau_3)} = e^{-\frac{t \cdot (1 - v(\tau_3))}{T_0}} \quad (7.12)$$

Определяем доверительные границы.

$$\frac{1}{2T_n} \chi_{1-\alpha}^2(2n) < \lambda_{\Sigma_3} < \frac{1}{2T_n} \chi_{1+\alpha}^2(2n)$$

n – количество отказов, после которых испытание прекращается. $n = 15$ отказов.

$$T_n = n \cdot t_{зад} \quad (7.13)$$

$$\chi_{\frac{1-\alpha}{2}}^2(2n) = 1,56 \quad \chi_{\frac{1+\alpha}{2}}^2(2n) = 0,84$$

$$\frac{1}{2T_n} \chi_{\frac{1-\alpha}{2}}^2(2n) \quad (7.14)$$

$$\frac{1}{2T_n} \chi_{\frac{1+\alpha}{2}}^2(2n) \quad (7.15)$$

Результаты расчёта надёжности приведены в таблице 7.3

Таблица 7.3

№ формулы	Обозначение	Значение	Ед. изм.
(7.1)	λ_{Σ}	$22,39 \cdot 10^{-6}$	1/ч
(7.2)	λ_{Σ_3}	$44,77 \cdot 10^{-6}$	1/ч
(7.3)	T_0	22336,39	ч
(7.4)	$P_{\Sigma}(t_3)$	0,956	-
(7.5)	$Q(t_3)$	0,044	-
(7.6)	T_B	0,395	ч
(7.7)	τ_3	2,6	ч
(7.8)	$v(t_3)$	0,998622	-

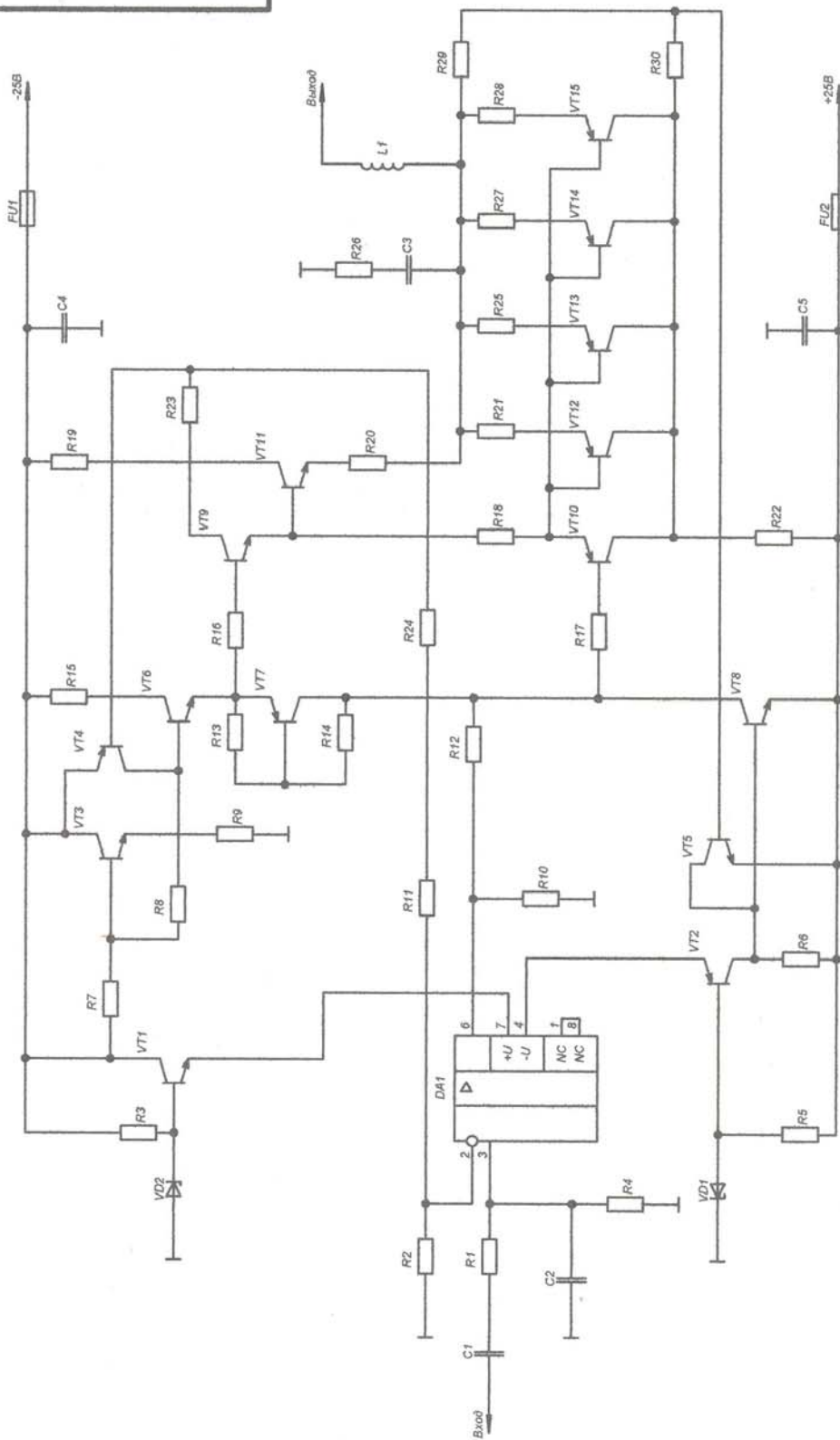
(7.9)	K_e	0,999982	-
(7.10)	K_p	0,000018	-
(7.11)	$P(t_3)_{н.ф.}$	0,9562	-
(7.12)	$P(t_3)_{v(t_3)}$	0,9999	-
(7.13)	T_n	15000	ч
(7.14)	-	$52,0 \cdot 10^{-6}$	1/ч
(7.15)	-	$28,0 \cdot 10^{-6}$	1/ч

Проанализировав произведенные расчеты надёжности и сопоставив с требованиями технического задания делаем вывод, что надёжность достаточна и нет необходимости в применении более надёжных элементов.

Литература

1. Троян Ф.Д. Основы проектирования электронной аппаратуры. – М.: Техно-принт, 2001
2. Троян Ф.Д. Конспект лекций по дисциплине «ТОКТиН»

ПРИЛОЖЕНИЕ



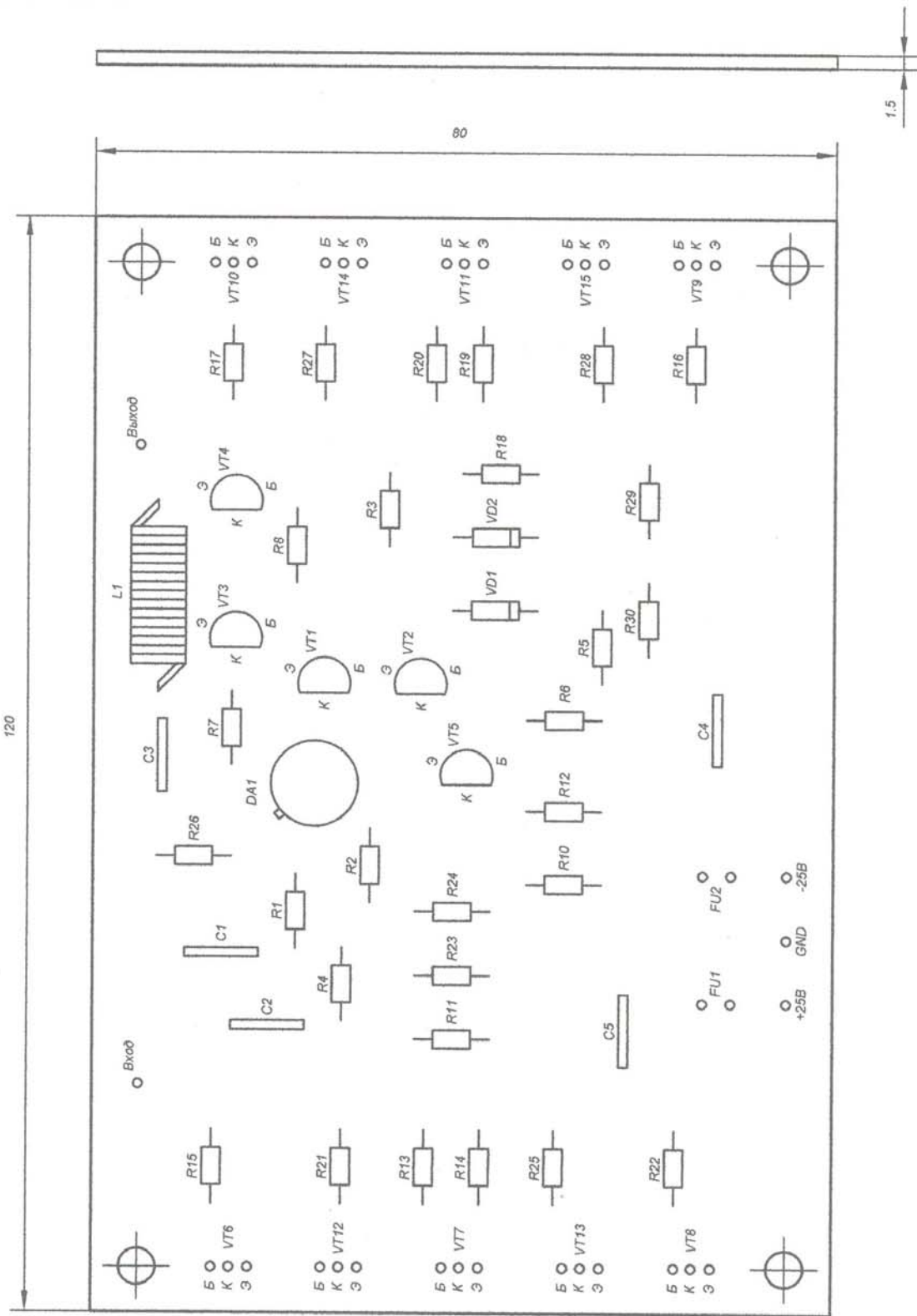
КПРТ521422.001Э3

Широкополосный УМЗЧ с малыми искажениями
 Схема электрическая принципиальная

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Хатько О.В.	<i>[Signature]</i>	
Пров.		Троян Ф.Д.	<i>[Signature]</i>	
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Лит.	Масса	Масшт.
у		1:1
Лист	Листов 1	

БГУИР



КПРТ521422.001СБ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Хатько О.В.	<i>[Signature]</i>	
Пров.		Троян Ф.Д.	<i>[Signature]</i>	
Т.контр.				
Н.контр.				
Уме.				

Широкополосный УМЗЧ с малыми искажениями
Сборочный чертёж

Лит.	Масса	Масшт.
У		2:1
Лист	Листов 1	

БГУИР

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	Конденсаторы ОЖО.460.043ТУ		
C1	КМ5-0,68мкФ±10%	1	
C2	КМ5-1300пФ±10%	1	
C3	КМ5-0,047мкФ±10%	1	
C4,C5	КМ5-0,22мкФ±10%	2	
DA1	Микросхема К544УД2 КО.347.004ТУ17	1	
FU1,FU2	Предохранитель 3А	2	
L1	Катушка индуктивности 3мкГ	1	
	Резисторы ГОСТ7113-88		
R1,R2	МЛТ-0,125-1 кОм±10%	2	
R3,R5	МЛТ-0,125-2 кОм±10%	2	
R4	МЛТ-0,125-100 кОм±10%	1	
R6	МЛТ-0,125-75 Ом±10%	1	
R7,R8	МЛТ-0,125-240 Ом±10%	2	
R9	МЛТ-0,5-2 кОм±10%	1	
R10	МЛТ-0,125-560 Ом±10%	1	
R11	МЛТ-0,125-13 кОм±10%	1	
R12	МЛТ-0,125-1,5 кОм±10%	1	
R13	МЛТ-0,125-62 Ом±10%	1	
R14	МЛТ-0,125-160 Ом±10%	1	
R15	МЛТ-0,125-15 Ом±10%	1	
R16,R17	МЛТ-0,125-100 Ом±10%	2	

КПРТ521422.001ПЭЗ

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Хатько О.В.		
Пров.		Троян Ф.Д.		
Н.контр.				

Широкополосный УМЗЧ с малыми
искажениями
Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
	1	2

БГУИР

