Министерство образования и науки Украины

Факультет Электронные аппараты

Кафедра: Проектирование и эксплуатация электронных аппаратов

## КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

# Пояснительная записка

Частотомер многофункциональный на однокристальном микроконтроллере АТ89С2051

Студент гр. ПЕА-00-1

Кошкарёв В.В.

2004

1. Конструкторский анализ технического задания

1.1 Анализ технического задания

На основе технического задания (ТЗ) произведём анализ многофункционального частотомера на однокристальном микроконтроллере АТ89С2051. Прибор, предназначен для решения большинства радиолюбительских задач по измерению времени и частоты. Устанавливается в помещениях в том месте, где необходимо измерять частоту, может эксплуатироваться в быту. Условия установки и эксплуатации по УХЛ 4.2. Прибор подключается к сети через источник питания +7.5 .. +12 V (предусмотрен соответствующий соединитель), так же предусмотрены два соединителя для подключения ”щупа” измерения частоты, времени и других вспомогательных функций.

Габариты и форма прибора зависят от компоновки всех элементов и не должны превышать размеров указанных в техническом задании (ТЗ) (120х100х50мм). Масса изделия определяется по выбранным элементам и составляет не менее 1кг.

Климатические воздействия определяются по ГОСТ15150-69 УХЛ 4.2, противопоказано прямое попадание влаги.

Предельные отклонения температуры Т0С: –400….+400

Рабочая температура Т0С: +10….+100

Влажность: 98% при 250С

Механические воздействия по группе 1, предусматриваются воздействия при переноске и транспортировки в соответствии с ГОСТ16019-78.

Ударная прочность: Линейное ускорение(g) – 15

Длительность ударного импульса (мс) – 11

Виброустойчивость: Ускорение(g) – 0

Частота (Гц) – 0

Ударная устойчивость: Ускорение(g) – 0

Длительность ударного импульса (мс) - 0

Базовый коэффициент автоматизации – 0,5, базовый коэффициент технологичности – 0,6, предусмотреть возможность применения автоматизации и механизации производства. Программа выпуска изделия – 1500 штук. Обеспечить время безотказной работы более чем 15000часов. Обеспечить ремонтопригодность на уровне замены дискретных электрорадио элементов.

Для удобства пользования регулирующие элементы, индикацию вынести на переднюю панель. Внешние соединители вынести на заднюю панель.

При настройке прибора учитывать, что он питается от сети переменного тока напряжением 220В частотой 50Гц. Соблюдать требования безопасности при работе с электрическим током. Так же учитывать меры безопасности при настройке, установки, эксплуатации микроконтроллера (МК) и генератора.

Обеспечить наименьшую стоимость прибора и конкурентоспособность прибора на рынке Украины и стран СНГ.

1.2 Анализ схемы электрической принципиальной

Основные технические характеристики прибора: частота-0..50МГц, чувствительность 0.2В, период - 1мкс-100с, чувствительность 1В, длительность импульсов обеих полярностей, скважность-1..100000, число импульсов (счетчик) - 0..100000000, напряжение питания +7.5 .. +12 V, потребляемый ток до 100 мА.

Согласно схеме электрической принципиальной ГЮИК.411140.001Э3, на элементах микросхемы DD7 собран кварцевый генератор, вырабатывающий сигнал с частотой 12МГц, которая является образцовой для всех режимов работы прибора, а также служит для внутренней синхронизации микроконтроллера DD8. Подстроечный конденсатор С12 служит для точной установки этой частоты при настройке частотомера (конденсатор С13 подбирают для установки границ подстройки). Для увеличения стабильности частоты генератор питается от отдельного стабилизатора DA2. Кроме того, генератор конструктивно поместить в электропроводящий экран. Напряжение с выхода генератора дополнительно выведено на соединитель ХА2 (вывод5).

В режиме измерения частоты(F), сигнал поступает с вывода 1 соединителя ХА2 на формирователь, собранный на транзисторах VT2, VT3, VT5, где усиливается и ограничивается до ТТЛ-уровня. Элементы DD1.3, DD1.4 образуют управляемый ключ, необходимый для работы алгоритма подсчета частоты. На элементах DD4.2, DD5.1 и DD5.2 собран делитель частоты на 512. Далее, сигнал поступает на вход таймера/счётчика Т1, встроенного в МК(16-разрядов плюс один дополнительный разряд – бит переноса). Измерение частоты происходит следующим образом (предположим, что в начале работы МК сброшен в нулевое значение). Открывая ключи DD1.3, DD1.4 на 1 секунду (временная база, для отсчета которой и нужен высокостабильный кварцевый генератор), МК обеспечивает прохождение входного сигнала на делитель DD4.2, DD5.1 и DD5.2, а далее на внутренней счетчик Т1 и дополнительный бит переноса (в сумме 26 разрядов, чему соответствует число 67108864, определяющее максимальную измеряемую частоту - около 67МГц, которая, кроме того, ограничена применяемым входным формирователем и быстродействием триггера DD4). Таким образом, дискретность измерения частоты составляет 1Гц. По окончании счета временной базы, контроллер закрывает ключ DD1.4, и, управляя ключом DD1.3, определяет содержимое внешнего делителя (содержимое счетчика Т1 и бита переноса контроллер считывает непосредственно). После этого результат отображается на индикаторе. Далее цикл измерения частоты повторяется. При использовании внешнего делителя частоты на 10 вывод 4 соединителя ХА2 соединяется с выводом 2(общий) перемычкой, при этом происходит сдвиг десятичной точки на экране индикатора.

В режиме измерения периода, длительности и скважности импульсов, а также подсчета числа импульсов используется формирователь на транзисторе VT1 и элементах DD1.2, DD1.1. В режиме подсчета количества импульсов входной сигнал (или проинвертированный входной сигнал с выхода DD2.1, в зависимости от выбранной полярности) поступает на мультиплексор DD3, а с его выхода 1Y-на вход внутреннего счетчика Т0 МК, содержимое которого выводится на индикатор. В режиме измерения периода (Т) и длительности импульсов на выход 2Y DD3 поступает входной сигнал, прошедший через триггер DD4.1, входной сигнал с выхода формирователя и инвертированный входной сигнал соответственно. На элементах DD6.1, DD6.2, DD2.2, DD2.4 и DD2.3 собран формирователь одиночных импульсов, перезапускаемый МК (сигнал BL0, вывод 2 DD8). Одиночный импульс с измеряемой длительностью поступает на вход INT0 контроллера, который в этом режиме запускает и далее останавливает внутренний счетчик Т0. На вход Т0 подается сигнал опорной частоты 1МГц, полученный делением сигнала кварцевого генератора на 12 встроенными МК делителями. После остановки счетчика его содержимое выносится на индикатор.

Для питания устройства можно применить любой стандартный маломощный блок питания с выходным напряжением +7,5 – 12В.

Наиболее теплонагруженные элементы это: стабилизаторы DA1, DA2 и микроконтроллер DD8. Эти элементы являются источниками теплового излучения. Источником электромагнитных излучений является генератор, собранный на элементах DD7, BQ1, C12, C13, R21. Генератор поместить в жестяной электропроводящий экран.

Органы управления прибора (кнопки SB1,SB2), индикации (жидкокристаллический индикатор HQ1), XА1, ХА2 - вход и XА3 – выход питания.

Соединение прибора с другими устройствами производится с помощью соединителей. Все корпуса элементов в схеме выбраны унифицированными и стандартизированными для удобства проектирования конструкции.

1.3 Анализ элементной базы

Анализ элементной базы производится сопоставлением эксплуатационных характеристик элементов, с теми данными, которые характеризуют условия работы разрабатываемого изделия по ТЗ. Для выполнения анализа составляют таблицу 1. 1.

### Таблица 1.1 – Эксплуатационные характеристики электрорадио элементов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип элемента | Кол-во,  шт. | Температура, Т0С | Влажность, % | Вибрации | | Удары | | Линейные ускорения | | Интенсив-  ность отказов,  10-6 1/ч |
| Частота  Гц | g | Длитель-  ность, мс | gy | Времяс | g |
| К73-17  К50-35  КТП4-23 | 11  1  1 | -60+125  -40+70  -20+60 | 90 | - | 7,5 | 10 | 12 | 15 | 50 | 0,08  0,3  0,01 |
| С1-4М | 27 | -30+70 | 90 | - | 10 | 15 | 15 | 20 | 35 | 0,02 |
| КД522Б | 4 | -60+120 | 98 | 10-2000 | 5 | 20 | 30 | 20 | 1470 | 0,3 |
| К1533  КР142ЕН5  АТ89С2051 | 7  2  1 | -10+70 | 98 | 5-600 | 4 | 15 | 25 | 15 | 1200 | 0,5 |
| МП11 | 2 | -40+60 | 93 | - | - | - | - | - | - | 0,4 |
| ОНЦВГ5  СР-50-154Ф | 2  1 | -45+50 | 93 | - | - | - | - | - | - | 0,11 |
| HT1611M10 | 1 | -25+60 | 93 | - | - | - | - | - | - | 0,5 |
| РС-20-1 | 1 | -45+100 | 98 | 5-3000 | 10 | 20 | 40 | - | - | 0,005 |
| РК171БА | 1 | -30+65 | 93 | - | - | - | - | - | - | 0,22 |
| КТ3102  КТ3107  КТ363  КТ368 | 1  1  2  1 | -60+120 | 98 | 15-2500 | 5 | 25 | 35 | 15 | 30 | 0,45  0,45  0,35  0,35 |

Рассчитываем среднюю наработку на отказ (Тс):

Тс=1/∑λi·Пi·Кнi (1.1)

где;

λi – интенсивность отказов (1/ч.)

Пi – количество элементов данного типа

Kni=1 – коэффициент нагрузок для заданных условий эксплуатации

Тс=1/(0,08·11+0,3+0,01+0,02·27+0,3·4+0,5·10+0,4·2+0,11·3+0,5+0,005+0,22+0,45·2+0,35·3)·10-6==82406,27(ч.)

По данным таблицы 1. 1. Сделали вывод, что элементы схемы соответствуют климатическим воздействиям, указанным в ТЗ – УХЛ 4. 2 ГОСТ15150-69 и механическим воздействиям – группа 1 ГОСТ16019-78. Подсчитали среднюю наработку на отказ, которая составляет 82406,27ч., больше чем в ТЗ. Можем считать, что элементная база выбрана, верно, и соответствует условиям ТЗ.

1.4 Дополнительные требования к конструкции

1. Предусмотреть на передней панели пазы для крепления индикатора и кнопок.
2. Обеспечить время наработки на отказ прибора – 100000часов.
3. Предусмотреть меры для экранирования генератора на печатной плате
4. Предусмотреть меры по автоматизации и механизации процесса производства прибора.

1.5 Анализ конструкторских аналогов

Для анализа конструкторских аналогов рассмотрим конструкцию спектроанализатора. Собран в унифицированном бесфутлярном каркасе настольно-стоечного типа "Надел". Ш образовано передней и задней панелями, которые скреплены двумя боковинами при помощи угольников; горизонтальная часть Ш отсутствует, все ФУ закреплены на вертикальных частях каркаса. Сигнальный тракт смонтирован в левой части Ш на кроссплате, к которой при помощи разъёмов подключены ФУ, конструктивно оформленный в виде экранированных ПП. Весь сигнальный тракт размещен в коробчатом экране, при этом входной и сетчатый аттенюаторы находятся в индивидуальных экранах. Гетеродин, расположенный в правой части Ш, включает экранированную ПП, конденсатор переменной ёмкости и варьерно-шкальное устройство. Конденсатор может приводиться вручную или автоматически при помощи механического привода, соединенного с самописцем. Передняя панель откидная, что обеспечивает удобный доступ к монтажу и регулируемым элементам. Блок питания расположен на задней панели и отделен экраном от остальной части схемы.

Для частотомера предусмотреть в углах Модуля, отверстия (диаметр 3,2мм) для крепления его к корпусу.

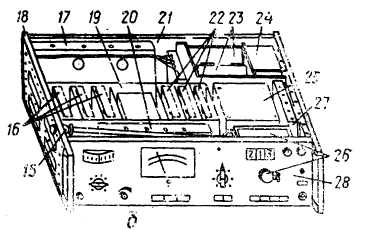


Рисунок 1. 1 – Спектроанализатор

На рисунке обозначены: 15-внешний механический привод, 16-экранированные платы ВЧ тракта, 17-отсчетный аттенюатор, 18-боковина, 19-экран СЧ тракта, 20-входной аттенюатор, 21-задняя панель, 22-плата усилителей, 23-блок питания, 24-силовой трансформатор, 25-конденсатор переменной емкости, 26-верньерно-отсчетное устройство, 27-гетеродин, 28-передняя панель откидная.

# 2. Разработка пространственной конструкции и компоновка

2.1 Разработка пространственной конструкции частотомера

Для разработки пространственной конструкции необходимо знать состав, габаритные размеры и массу всех элементов. Определение габаритных размеров и массы элементов рекомендуется выполнять методом аналитической компоновки.

Определение площадь ПП находим по формуле (2.1):

, (2.1)

где:Si – установочная площадь i-го элемента, мм2;

Кs – коэффициент заполнения площади подложки;

N – число компоновочных элементов;

Кs=0,75 - так как элементы унифицированы и стандартизированы, и позволяют применить автоматизацию производства. Компоновка схемы позволяет применять автоматизированные станки и оборудование. Также применяются элементы третьего поколения и четвёртого поколения.

Подсчитываем площадь каждого элемента (Si) и заносим в таблицу 2.1

Таблица 2.1 – Установочные характеристики конструкционных узлов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип элемента | Число элементов данного типа | Установочная S одного элемента, мм2 | Установочн. S всех элементов  мм2 | Масса одного элемента, г | Масса всех элементов, г |
| К73 –17  К50-35  КТ4-23  С1-4М  КД522Б  КТ3107  КТ3102  КТ363  КТ3107  КР1533ЛА3  КР1533КП12  КР1533ТМ2  КР1533ИЕ19  КР142ЕН5А  РК171БА  РС-20-1  ОНЦВГ-11-5  СР-50-154Ф | 11  2  1  27  4  1  1  2  1  3  1  2  1  2  1  1  2  1 | 15  150  50  18  4  12,6  12,6  12,6  12,6  131,25  168,75  131,25  131,25  40  96  275  300  150 | 165  300  50  486  16  12,6  12,6  25,2  12,6  393,75  168,75  262,5  131,25  80  96  275  600  150 | 2  10  5  2,6  1,5  2  2  2  2  4  4  4  4  3,5  15  5  8  6 | 22  20  5  70,2  6  2  2  4  2  12  4  8  4  7  15  5  16  6 |

##### По формуле (2.1) находим площадь ПП:



Определяем массу модуля:

МЭ=Σmiэ⋅niэ+mпр+mпп (2.2)

где:miэ – масса одного элемента;

niэ – количество элементов;

mпр – масса припоя;

mпп – масса печатной платы;

Мэ=(22+20+5+70,2+16+12+16+7+20+22)+50+20=281(г).

Исходя из рекомендаций ГОСТ10317-79, определённой площади подложки Sn и условий компоновки (безопасность электромагнитного излучения и др.), определяем размеры сторон подложки:

а=95(мм); в=85(мм)

соответственно

S=а⋅в=95⋅85=8075(мм2)> Sn=5083(мм2).

2.2 Внешняя компоновка

Согласно схеме электрической принципиальной ГЮИК.411140.001Э3 и рисунку 2.1. На передней панели размещаются: кнопка "РЕЖИМ" (выбор режима) SB1 крайний слева сверху, под ней кнопка ">0<"(относительное изменение параметра) SB2, за кнопкой SB1 справа расположен ЖКИ индикатор HQ1. Эти элементы крепятся непосредственно на передней панели с помощью клея ВК-9 ОСТ 92 - 0949. Передняя и задняя панели прямоугольной формы.

На задней панели расположен соединитель XА1 – ХА3 с права соединитель питания, за ним соединитель "измерения частоты" и слева соединитель "измерения длительности".

Можно использовать готовый корпус Z-Va (польского производства).

2.3 Внутренняя компоновка

Конструкция состоит из одного модуля печатной платы (ПП), на котором размещен кроме устройств индикации, управления и соединения (рис. 2. 1). На заднем краю платы расположены соединители XА1 – ХА3. Возле них по обе стороны расположены стабилизаторы DA1, DA2. За ними с права в металлическом экране расположен задающий генератор. Возле него слева расположена схема формирователя на транзисторах VT1 – VT5. В передней части платы расположены все цифровые микросхемы и микроконтроллер DD8. А также соединители для подключения индикатора и кнопок. Все элементы на печатной плате расположены согласно схеме электрической принципиальной ГЮИК.411140.001Э3. Крепление ПП к корпусу осуществляется с помощью винтов (М3х1х7), в углах ПП предусмотрены отверстия под крепление.

Между ПП и передней, задней панелями предусмотрен зазор для удобства крепления и соединения навесных элементов.

2.4 Расчёт габаритные размеры модуля частотомера

Соотношение между размерами всего блока (рис. 2. 1), размерами узлов и зон определяется следующими выражениями:

Lz=h+Δ+z1+z2=20+1,5+4+2,5=28(мм),

Ly=ly+Y1+Y2=85+10+10=105(мм), (2.3)

Lx= lx+X1+X2=95+5+5=105(мм),

где;Lz, Ly, Lx – размер прибора по осям x, y, z соответственно

h- Наибольшая высота элемента установленного на плате

Δ – Толщина платы

X1, X2 – размеры краевых полей

Y1 – размер размещения органов управления и индикации

Y2 – размер зоны внутриблочной и межблочной коммутации

z1 – зазор между наибольшим элементом и верхней крышкой

z2 – зазор между ПП и нижней крышкой прибора

Выбираем форму изделия – параллелепипед. Так как эта форма характеризуется простыми и четкими очертаниями поверхностей, лаконична, даёт возможность применить максимальное число унифицированных и стандартизированных деталей. А так же наиболее простая и дешевая. И такая форма выбрана из-за того, что не требуются большие механические нагрузки в соответствии с группой 1 ГОСТ16019-78.

Органы управления SB1, SB2 (схема электрическая принципиальная ГЮИК467750001Э3) и индикатор HQ1 расположены на передней панели.

Соединители XА1 – XА3 размещены на задней панели, крепятся к печатной плате.

Х1

У2

У1

Х2

Lx

Ly

1

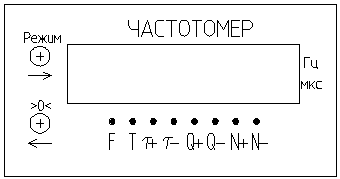
2

3

4

5

6



7

Рис. 2. 1 – Условная компоновочная схема частотомера с указанными краевыми полями.

На рисунке показано: 1 - передняя панель, 2 – печатная плата, 3 – ЖКИ индикатор, 4 – соединители, 5 – задняя панель, 6 – кнопка, 7 - экран.

# 3. Разработка модуля с печатным монтажом

3.1 Выбор материала и способ изготовления частотомера на однокристальном микроконтроллере АТ89С2051

Согласно чертежу ГЮИК758710 001 представлена печатная плата (ПП) частотомера. ПП двусторонняя размером 95х85(мм) толщиной 1,5(мм), изготовлена с точностью h14. Масса печатной платы 20г. Материал печатной платы стеклотекстолит марки СФ1-50Г-2 ГОСТ10316-78. Материал платы выбран из того, что он обеспечивает надежные механические, электроизоляционные и эксплуатационные параметры. Толщина платы выбрана из условий механических воздействий и в соответствии с группой жесткости.

Плата изготовлена химическим методом (травление в хлорном железе FeCl3 ГОСТ4147-65). Дорожки наносим краской ТНПФ ТУ29-02-35-9-70. Плата изготовлена по ГОСТ23732-79, группа жесткости 1, класс точности 2. Отверстия под выводы и крепление элементов выполнены в узлах координатной сетки с шагом 2,5 (мм). В углах платы выполнены отверстия для крепления платы – диаметр 3(мм). Медные проводники выполнены по координатной сетке и ширина проводников 0,75±0,3 (мм). В узких местах допускается занижение проводников и контактных площадок до 0,15 (мм). Расстояние между проводниками не менее 0,3 (мм). Маркировка элементов выполнена белой краской ТУ029-02-859-78 с обеих сторон, шрифт 2, маркировка на чертеже указана условно.

3.2 Разработка модуля частотомера на однокристальном микроконтроллере АТ89С2051

Модуль представляет собой ПП прямоугольной формы с установленными элементами. Все элементы схемы электрической принципиальной ГЮИК.411140.001Э3 установлены на плате, кроме кнопок SB1, SB2 и ЖКИ индикатора HQ1. Эти элементы крепятся к передней панели с помощью клея. Также по схеме электрической принципиальной выполнен и электромонтаж элементов. Все элементы на плату устанавливаются вертикально и крепятся посредством пайки к контактным площадкам припоем ПОС-61 ГОСТ21931-76. Микроконтроллер устанавливается в специальный разъём, припаянный к плате.

Печатная плата крепится к корпусу с помощью четырёх винтовых соединения М3х1х7. Расположение и установку элементов производить по ОСТ4 Г0.010.030-81. Габаритные размеры модуля печатной платы (МПП): длина – 105мм, ширина – 105мм, высота – 28мм. Масса – 300г.

1. Аналитическое обоснование принятых конструктивных решений частотомера

4.1 Расчет частоты собственных колебаний печатной платы (ПП)

Плата закреплена в четырех точках по углам. Размер печатной платы 95х85(мм). Расчет частоты собственных колебаний ПП выполняется по формуле 4.1:

 , (4.1)

, (4.2)

где: D – цилиндрическая жесткость платы

n, m=1 – произвольные целые числа, определяющие основной вид колебаний

Е=2,1⋅1010(Н\м2) – модуль упругости 1го рода материала платы

ρ=1,6⋅103(кг\м3) – удельная плотность материала платы

а=95(мм) – длина платы

b=85(мм) – ширина платы

Δ=1,5(мм) – толщина платы

μ=0,25 – коэффициент Пуансона

Подставляя коэффициенты в формулы 4.1 и 4.2, находим частоту собственных колебаний ПП:





Таким образом, частота собственных колебаний платы составила 76,038(кГц). Определим коэффициент динамичности η на частоте f=1(кГц), η - показывает, во сколько раз увеличится деформация (прогиб) платы при действии синусоидальной вибрационной нагрузки f, по сравнению с деформацией, обусловленной статической нагрузкой (т. е. деформацией за счет силы тяжести элементов расположенных на плате).

, (4.3)

4.2 Оценка прочности и жесткости элементов конструкции при действии статических нагрузок

Статические нагрузки обусловлены непосредственным действием сил тяжести и реакции опор. Для решения задачи выбираем систему координат: OXY – параллельна основанию платы и проходит через середину её толщины, начало координат выбирается в центре платы, OZ – направлено вертикально вниз. Ось OX – параллельна большей стороне а=95(мм), меньшая сторона b=85(мм). Закрепление платы соответствует жесткому закреплению всех сторон платы.

Находим величину удельной статической нагрузки:

, (4.4)

где: miэ, mпл – соответственно массы всех элементов и узлов размещенных на плате, и масса платы (кг)

S – площадь поверхности платы (м2)



Находим изгибающий момент вокруг оси ОУ – Мх, приходящийся на единицу длины стороны b с коэффициентом k1=0,025 – используется для случая жесткого закрепления четырех сторон ПП:

Мх=k1⋅qст⋅b2=0.025⋅280.619⋅0.0852=0.051, (4.5)

Находим изгибающий момент вокруг оси ОХ – Му, приходящийся на единицу длины стороны а с коэффициентом k2=0,022 – используется для случая жесткого закрепления четырех сторон ПП:

Му=k2⋅qст⋅а2=0.022⋅280.619⋅0.0952=0.056, (4.6)

По максимальным значениям Мх и Му определяем, максимальное нормальное напряжение в сечении, перпендикулярном оси ОХ и ОУ в начале координат:

, (4.7)

, (4.8)

Тангенциальные напряжения, действующие в этих сечениях, по величине значительно меньше σхmax и σуmax, и их можно не учитывать.

Рассчитываем максимальную деформацию прогиба платы:

, (4.9)

где: k3=0,017 – коэффициент, зависящий от отношения сторон платы и способа закрепления Е=2,1⋅1010(Н\м2) – модуль упругости 1го рода материала платы



Рассчитали фактические значения напряжений и деформаций. Теперь сравним их с допустимыми значениями. Которые рассчитываются по формуле 4.10:

, (4.10)

где: σВ=3,1⋅108(Н\м2) – временное сопротивление

Кпр=4 – коэффициент запаса прочности для статических нагрузок



Определяем допустимую величину деформации:

[h]=0.25⋅Δ=0.25⋅0.0015=0.000375 (4.11)

Фактическая величина деформации h=0,00032 меньше допустимой [h]=0,000375.

Решим задачу синтеза, т. е. определение необходимой толщины сечения платы. Из условия обеспечения прочности можно использовать формулу 4.12:

, (4.12)

Для нахождения толщины сечения, из условий обеспечения требуемой жесткости, воспользуемся формулой 4.13:

, (4.13)

По результатам расчета определили, что фактические значения прочности и жесткости элементов конструкции при действии статических нагрузок меньше допустимых значений этих нагрузок, и соответствую т выбранной конструкции, и выбранным элементам конструкции.

5.Разработка конструктивной документации с применением САПР

В настоящее время существует множество программ для разработки конструкторской документации, такие как AutoCad, Pcad, Smart Artwork, Or-Cad и другие. В данном курсовом проекте использовались программы Auto-Cad и OrCad так как, на мой взгляд, они наиболее просты в эксплуатации и решают все поставленные задачи. Программа OrCad служит для проектирования печатных плат, работа с которой будет изложена в последующих пунктах, а программа "AutoCad 2000" служит для реализации конструкторских решений.

5.1 Разработка печатной платы в САПР "OrCad 9.2"

В данной программе мы использовали две подпрограммы OrCAD Capture, и OrCad Layot.

5.1.1 Создание нового проекта

Проекты, созданные с помощью программы OrCAD Capture, заносятся в файлы с расширением “.opj”. По терминологии, принятой в программе, проекты называется Project. Которые содержат ссылки на имена всех используемых файлов: файлов отдельных схем (\*.dsn, по принятой терминологии файлы схем называются Design), библиотек, текстовых VHDL-файлов, файлов отчетов о проекте. В файле проекта могут содержаться ссылки на одну или несколько папок, и папки изображаются в окне менеджера проектов, ассоциируемых с файлами принципиальных схем. Папка принципиальной схемы содержит одну или несколько страниц схемы. Файл схемы содержит также Design cahe — кэш проекта, который содержит копии символов компонентов, используемых в схеме. Проект может содержать ссылки на несколько библиотек. Однако он может иметь только одну схему (файл с расширением имени .dsn). Можно создать новый проект и затем создать новые схемы, библиотеки и VHDL-файлы. Для создания нового проекта выполняется команда FiIe>New Project, после чего в открывшемся диалоговом окне на строке Name указывается имя проекта, а на строке Location — имя подкаталога, где его файл должен быть расположен (при этом для просмотра файловой структуры удобно пользоваться кнопкой Browse). Далее в средней части этого окна выбирается тип проекта. Analog or Mixed-Signal Circuit — аналоговые или смешанные аналого-цифровые устройства, моделируемые с помощью программы PSpice (возможна дальнейшая разработка печатной платы с помощью OrCAD Layout). Библиотеки символов, используемых в проекте, указываются под управлением Мастера создания проекта. По команде Design Properties или Schematic Page Properties задаются параметры индивидуальной текущей схемы. В появившемся окне можно выбирать требуемую систему измерений, а также выбрать формат листа либо поставить размеры, которые необходимы.

5.1.2 Создание схемы

Библиотеки программы Capture содержат в себе символы компонентов, источников питания и «земли». Они размещаются на схеме по команде: Place>Part, активизируемой также нажатием на пиктограмму меню инструментов. В диалоговом окне этой команды сначала в списке Libraries выбирается имя одной или нескольких библиотек, содержание которых отображается на панели Part (для выбора нескольких библиотек нажимается и удерживается клавиша [Ctrl]). После этого на панели Part выбирается имя компонента, символ которого должен быть помещен на схему (если выбрано несколько библиотек, то после имени каждого компонента помещается символ / и затем имя библиотеки). В разделе Graphic выбирается обычное (Normal) или эквивалентное изображение логических компонентов в стиле DeMorgan (Convert).

В разделе Packaging указывается номер секции компонента, после чего в расположенном ниже окне выводится изображение выбранной секции компонента с указанием номеров цоколевки его выводов (на строке Parts per Pkg. указывается общее количество секций компонента). Нажатием на кнопку Add Library открывается диалоговое окно для добавления библиотек в список Libraries, мы на данном этапе использовали библиотеку Pspice, так как она наиболее подходит для дальнейшего моделирования платы в Layout. Нажатие на кнопку Remove Library удаляет выбранную библиотеку из списка. Кнопка Part Search предназначена для поиска конкретного компонента в библиотеках из списка Libraries. После нажатия на кнопку [ОК] символ выбранного компонента переносится на схему. Движением курсора компонент перемещается в нужное место схемы и фиксируется нажатием левой кнопки мыши. После этого на схему может быть размещена еще одна копия этого же символа.

Нажатие правой кнопки мыши открывает всплывающее меню, в котором дублируется вызов команд основного меню для вращения (Rotate), зеркального отображения (Mirror), изменения масштаба изображения (Zoom), редактирования параметров компонента (Edit Properties) и ряд других. Завершение размещения на схеме символа выбранного компонента производится после выбора в этом меню команды End Mode или нажатия на клавишу [Esc]. Если, не прерывая режима размещения символов компонентов на схеме во всплывающем меню на выбрать команду Edit Properties, выводится диалоговое окно редактирования параметров текущего символа. В нем имеются следующие поля:

Part Reference — позиционное обозначение компонента. Оно проставляется здесь вручную, если на закладке Miscellaneous команды Options>Preferences не выбран параметр Automatically reference placed parts — автоматическое присваивание позиционных обозначений размещаемым на схеме компонентам.

На панели РСВ Footprint можно выбрать или скорректировать имя корпуса компонента, выбор панели Power Pins Visible указывает на необходимость отображения на схеме выводов «земли» и питания. На панели Primitive выбирается тип компонента: Yes — элементарный (примитивный) компонент; No — компонент, имеющий иерархическую структуру, Default — устанавливается по умолчанию (в соответствием с настройкой конфигурации на закладке Hierarchy команды Options>Design Template. На панели Packaging указывается общее количество однотипных секций компонента и имя (номер) текущей секции (к сожалению, на этой закладке номер секции размещаемого символа компонента изменять нельзя).

По команде Place>No connect или нажатием на кнопку панели инструментов наносятся символы отсутствия соединений No-connect (NC), которые на схеме отображаются в виде символов «X», подсоединенных к выводам компонентов. Выводы, помеченные такими символами, не включаются в отчеты сообщений об ошибках и в списки соединений. Символы NC не могут быть удалены нажатием на клавишу [Delete], для их удаления нужно поверх символа NC разместить еще один такой же символ.

Проводники цепей размещаются по команде Place>Wire, нажатием комбинации клавиш [Shift]+W или нажатием на кнопку панели инструментов. Начало ввода цепи отмечается щелчком левой кнопки мыши, поле чего курсор изменяет свою форму, приобретая вид креста. Цепь прокладывается движениями курсора. Каждый излом проводника фиксируется щелчком левой кнопки мыши. Таким образом, в цепи можно сделать ортогональные изломы под углами, кратными 90°. Ввод проводника под произвольным углом производится при нажатой клавише [Shift]. Ввод текущей цепи завершается, если ее конец совпадает с выводом компонента или любой точкой другой цепи. Принудительное завершение ввода цепи выполняется двойным щелчком левой кнопки мыши, после чего можно провести другой проводник. Режим ввода цепей завершается нажатием клавиши [Esc] или выбором строки End Wire во всплывающем меню, открываемом щелчком правой кнопки мыши.

Далее создаем список цепей. На закладке Layout команды Tools>Create Netlist можно отметить опцию Run ECO, тогда после составления списка соединений он будет автоматически передан в OrCAD Layout. В текущей плате будет выполнены соответствующие изменения (загружены недостающие корпуса компонентов, удалены лишние и скорректированы электрические соединения, т.е. выполнена корректировка печатной платы по данным о принципиальной схеме). Если при этом файл печатной платы с предварительно размещенными компонентами открыт, то будет выведен запрос на подтверждение загрузки файла списка соединений; если же файл печатной платы не открыт, то OrCAD Layout выведет запрос на подтверждение загрузки модифицированного списка соединений после повторного открытия файла печатной платы.

5.2 Создание печатной платы в Layout

5.2.1 Создание нового проекта в OrCad Layout

Для создания новой печатной платы в OrCAD Layout выполняется команда FiloNew и в диалоговых окнах указывается имя файла шаблона печатной платы (\*.tch). Для нашего случая был выбран шаблон metric.tch. Далее в открывшемся окне выбираем имя файла списка цепей (\*.mnl), и имя файла создаваемой печатной платы (\*.тах).

5.2.2 Последовательность действий при создании рисунка печатной платы

После выполнения выше указанных пунктов на экране отображаются элементы схемы и существующие между ними связи. Далее, выставляем шаг координатной сетки с помощью команды Ор-tions> Sistem settings. Для задания размеров платы используем команду Tool > Obstracle > New и по координатам задаем границы платы. После, командой Tool >Component >Select Tool выделяем компоненты и расставляем их так, чтобы возле рядом стоящих компонентов было как можно больше общих связей. После окончания этих действий командой Tool>Net>Select From Spreadsheet задаем ширину печатного проводника. Для трассировки платы используем команду Auto > Autoroute > Bord. После чего получаем готовую трассировку платы.

5.3 Использование программы "AutoCad 2000"

Редактирование полученного из "OrCAD 9.2" изображения заключается в его масштабировании, вычерчивании контура платы, простановке размеров и предельных отклонений, написании технических требований. Для редактирования платы вначале необходимо было сохранить разводку платы с расширением \*.dxf. Для этого использовалась следующая команда File>Export>Layout to DXF. После чего появляется диалоговое окно, в котором выбирается файл для конвертации. Далее открываем "AutoCad 2000" и запускаем наш файл с расширением \*.dxf. После открытия чертежа в DXF-формате его необходимо отмасштабировать, предварительно выбрав масштаб. Масштаб следует выбирать исходя из требуемого масштаба чертежа: если масштаб чертежа 1:1, то масштаб увеличений должен быть 12,7; при масштабе 2:1 - 25,4. Для масштабирования вставленного рисунка использовалась команда SCALE, которая работает следующим образом:

Command: scale

Select objects: Other corner: 1 found - запрос на выбор объектов. Выбор объектов можно производить либо окном, либо прямым указанием на объект;

Select objects:

Base point: запрос на выбор базовой точки;

<Scale factor>/Reference: 25.4 запрос на ввод масштабного коэффициента

Масштабированное изображение необходимо редактировать, так как оно не соответствует требованиям стандартов. Редактирование заключается в переводе всех изображений печатных проводников из линий в полилинии и придании им необходимой ширины. Это редактирование осуществляется по следующему алгоритму: С помощью команды Explode производится разбиение чертежа на отдельные отрезки:

Command: explode

Select objects: Other corner - выбираем объект окном, нажимаем правую кнопку мыши и разбиение произведено. Затем в меню Modify выбираем Object и Polyline, после чего последует запрос на выбор полилинии:

Select polyline - запрос на выбор полилинии. При указании линии вместо полилинии система выведет сообщение и запрос:

Object selected is not a polyline

Do you want to turn it into one? <Y>

После этого предлагается набор действий над полилинией:

Open/Join/Width/Edit vertex/Fit/Spline/Decurve/Ltype gen/Undo/eXit <X>: w

Ответ "w" на запрос означает редактирование ширины полилинии (ширина указывается в миллиметрах);Enter new width for all segments.

Простановка размеров осуществляется в следующей последовательности. В линейке Dimension нажимаем кнопку Linear Dimension (линейный размер), выбираем начальную точку и конечную точку, и устанавливаем размер. Диаметр отверстий устанавливается нажатием кнопки Diameter Dimension, радиус – Radius Dimension. Написание текста осуществляется нажатием кнопки Multiline Text. Появляется окно, в котором набираем текст. Затем нажимаем кнопку [OK], текст появляется в выбранном месте.

6. Разработка технологии изготовления модуля частотомера на однокристальном МК АТ89С2051

6.1 Технологическая характеристика модуля частотомера как объекта автоматизированной сборки и монтажа

Модуль частотомера на однокристальном МК АТ89С2051 удовлетворяет следующим требованиям:

- радиоэлектронный модуль является функционально законченным и его изготовление, а также электрический контроль, можно организовать на специализированном участке;

- все электрорадиоэлементы со штырьковыми выводами располагаются на печатной плате только с одной стороны для обеспечения возможности применения автоматической пайки УАП;

- вокруг электрорадиоэлементов, устанавливаемых автоматически на печатную плату, предусмотрены свободные зоны – зоны работы инструмента установочных головок;

- число вариантов формовки выводов электрорадиоэлементов ограниченно: для элементов с цилиндрическими корпусами и осевыми выводами применяется П-образная формовка и установка на печатной плате без зазора, для конденсаторов и транзисторов применяется I-образная формовка, для элементов в корпусах DIP типа формовка не производится;

- конструкция модуля исключает применение прокладок между элементами и печатной платой, изоляционных трубок на корпусах и выводах элементов;

- конструкция модуля исключает применение дополнительных креплений элементов на печатную плату.

6.2 Анализ типового технологического процесса

Типовой технологический процесс разрабатывается для изготовления в конкретных производственных условиях типового представителя группы изделий, обладающих общими конструктивно-технологическими признаками. К типовому представителю группы изделий относятся изделие, обработка которого требует наибольшего количества основных и вспомогательных операций, характерных для изделий, входящих в эту группу. Типовой технологический процесс может применяться как рабочий технологический процесс или как информационная основа при разработке рабочего технологического процесса. Он уменьшает объём технологической документации без ущерба содержащейся в ней информации, создаёт возможность разработки групповых приспособлений и средств автоматизации, исключает грубых ошибок в нормировании материальных и трудовых затрат.

При разработке рабочего технологического процесса использован типовой технологический процесс, который состоит из следующей последовательности действий:

6.2.1 нарезка заготовок

6.2.2 пробивка базовых отверстий

6.2.3 контроль ОТК

6.2.4 очистка поверхности заготовки

6.2.5 обезжиривание

6.2.6 нанесение сухого фоторезиста

6.2.7 контроль ОТК

6.2.8 совмещеие и экспонирование

6.2.9 проявление фоторезиста

6.2.10 контроль ОТК

6.2.11 дубление

6.2.12 химическое травление фольги

6.2.13 контроль ОТК

6.2.14 снятие фоторезиста

6.2.15 сверление отверстий

6.2.16 контроль ОТК

6.2.17 обезжиривание

6.2.18 сенсибилизация

6.2.19 химическое и гальваническое меднение

6.2.20 защита проводников и контактных площадок

6.2.21 обезжиривание

6.2.22контроль ОТК

6.2.23 электрический контроль

6.2.24 обрезка плат по контуру

6.2.25 контроль ОТК

6.2.26 входной контроль электрорадиоэлементов;

6.2.27 подготовка электрорадиоэлементов к монтажу;

6.2.28 установка элементов на плату;

6.2.29 пайка элементов;

6.2.30 контроль пайки;

6.2.31 установка экрана

6.2.32 пайка экрана

6.2.33 контроль пайки

6.2.34 проверка электрических параметров

6.2.35 выходной контроль

**1**

**2**

**3**

**6**

**8**

**9**

**10**

**11**

**7**

**4**

**5**



1–операции подготовки заготовок (нарезка заготовок, пробивка базовых отверстий, контроль ОТК, очистка поверхности заготовки, обезжиривание); 2-операции нанесения рисунка схемы (нанесение сухого фоторезиста, контроль ОТК, совмещеие и экспонирование, проявление фоторезиста, контроль ОТК, дубление); 3-операции травления фольги (химическое травление фольги, контроль ОТК, снятие фоторезиста); 4-операции сверления отверстий (сверление отверстий, контроль ОТК, обезжиривание); 5-операции защиты проводников (сенсибилизация, химическое и гальваническое меднение, защита проводников и контактных площадок, обезжиривание, контроль ОТК); 6-операции проверки плат ( электрический контроль, обрезка плат по контуру, контроль ОТК); 7-операции подготовки электрорадиоэлементов (входной контроль электрорадиоэлементов, подготовка электрорадиоэлементов к монтажу, установка элементов на плату);

8-операции пайки элементов (пайка элементов, контроль пайки);

9-операции пайки экрана (установка экрана, пайка экрана, контроль пайки);

10-операции проверки электрических параметров ( роверка электрических параметров); 11-операции выходного контроля (выходной контроль);

Рисунок 5.1 – Схема типового технологического процесса

6.3 Расчет показателей технологичности конструкции

Отраслевой стандарт ОСТ 4 ГО.091.219 предусматривает выбор состава базовых показателей. В число выбираемых должны включаться показатели, оказывающие наибольшее влияние на технологичность конструкции блоков.

Основным показателем, служащим для оценки технологичности конструкции, является комплексный показатель технологичности , определяемый с помощью базовых показателей по формуле (5.1)

, (5.1)

где: - значение базового показателя;

 - функция, нормирующая весовую значимость показателя;

 - порядковый номер показателя;

 - общее количество относительных частных показателей.

В качестве базовых показателей технологичности выбираем показатели, приведенные в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Базовые показатели технологичности

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Порядковый номер в ранжировочной последовательности | Коэффициент | Обозначение |  |
| 1 | Использования микросхем и микросборок в блоке |  | 1,000 |
| 2 | Автоматизации и механизации монтажа |  | 1,000 |
| 3 | Механизации подготовки ЭРЭ |  | 0,750 |
| 4 | Механизации контроля и настройки |  | 0,500 |
| 5 | Повторяемости ЭРЭ |  | 0,310 |
| 6 | Применяемости ЭРЭ |  | 0,187 |
| 7 | Прогрессивности формообразования деталей |  | 0,110 |

Для расчета комплексного показателя технологичности необходимо определить базовые показатели, приведенные в таблице 6.1.

Коэффициент использования микросхем и микросборок вычисляется по формуле (6.2):

, (6.2)

где: - общее количество микросхем и микросборок в изделии, шт.;

 - общее количество электрорадиоэлементов, шт.

Подставив значения в формулу (6.2) получаем:



Коэффициент автоматизации и механизации монтажа рассчитывается по формуле (6.3):

, (6.3)

где: - количество монтажных соединений, которые могут осуществляться автоматизированным или механизированным способом;

- общее количество монтажных соединений.

Рассчитаем коэффициент автоматизации и механизации монтажа:

.

Коэффициент механизации подготовки электрорадиоэлементов вычисляем по формуле (6.4):

, (6.4)

где: - количество электрорадиоэлементов, шт., подготовка которых к монтажу может осуществляться механизированным или автоматизированным способом.

Подставив значения в формулу (6.4) получаем:

.

Коэффициент механизации контроля и настройки вычисляем по формуле(6.5):

, (6.5)

где: - количество операций контроля и настройки, которые можно осуществлять механизированным или автоматизированным способом;

 - общее количество операций контроля и настройки.

Вычислим коэффициент механизации контроля и настройки по формуле(6.5):

.

Коэффициент повторяемости электрорадиоэлементов рассчитываем по формуле (6.6):

, (6.6)

где: - общее количество электрорадиоэлементов, шт.;

 - общее количество типоразмеров электрорадиоэлементов в изделии.

Подставив значения в формулу (6.6) получаем:

.

Коэффициент применяемости электрорадиоэлементов рассчитываем по формуле (6.7):

, (6.7)

где: - количество типоразмеров оригинальных электрорадиоэлементов в изделии.

Подставляя значения в формулу (6.7) получаем:

.

Коэффициент прогрессивности формообразования деталей вычисляется по формуле (6.8):

, (6.8)

где: - количество деталей, шт., заготовки которых или сами детали получены прогрессивными методами (штамповкой, прессованием, литьем, пайкой, сваркой, склеиванием и др.);

 - общее количество деталей в изделии, шт.

После подстановки значений в формулу (6.8) получаем:

.

Подставляя значения рассчитанных базовых показателей технологичности в формулу (6.1) получаем:



Уровень технологичности конструкции блока определяется как отношение достигнутого показателя технологичности к значению базового по формуле (6.9):

, (6.9)

где:КБ – базовый показатель технологичности.

.

В соответствии с ОСТ 4 ГО.091.219 полученный нормативный комплексный показатель технологичности подходит для установочной серии.

6.4 Выбор оборудования для производства модуля и расчет технико-экономических показателей поточной линии сборки

Исходными данными для этого расчета является годовая программа выпуска, заданная в ТЗ, 1500 штук. Для выбора оборудования для производства воспользуемся данными, приведенными в [9].

Предположим, что предприятие располагает следующим оборудованием:

- Распаковка ЭРЭ производится вручную на светомонтажном столе СМ-5 - производительность 1000 шт/ч;

- Входной контроль и контроль пайки осуществляется тестером CMS100 производительность 360 шт./ ч.;

- Автомат формовки, обрезки и лужения выводов резисторов, диодов, транзисторов и конденсаторов УФТ 901 - производительность 800 шт. / час;

- Формовка выводов микросхем осуществляется вручную на светомонтажном столе СМ - 5, производительность 1000 шт. / час;

- Установка ЭРЭ производится на АПФ-1, производительность 1200 шт./час;

- Пайка осуществляется на установке УАП-1, производительность 1650паек/час;

-Установка экрана осуществляется вручную на светомонтажном столе СМ - 5, производительность 60 шт. / час;

- Функциональный контроль осуществляется устройством УВК-2, производительность - 80 шт/час.

Для того, чтобы правильно выбрать оборудование, необходимо рассчитать такт выпуска каждого модуля и трудоемкость выполнения каждой операции. Так как будет выполняться ТТП, то необходимо выбрать оборудование так, чтобы трудоемкость каждой операции была приблизительно равна такту выпуска одного модуля.

Программа запуска вычисляется по следующей формуле:

ПЗ=ПВ⋅КЗ=1,03⋅1500=1545(шт.) (6.10)

где КЗ — коэффициент запаса, равный 1.02-1.03.

Такт выпуска одного модуля определим по следующей формуле:

 , (6.11)

где; ГФП – годовой фонд времени



Трудоемкость операции сборки автомата определяется по следующей формуле:

, (6.12)

где; То - трудоемкость выполнения каждой операции для одного элемента;

п - количество элементов, устанавливаемых на плату при данной операции.

, (6.13)

где; Р - производительность оборудования

Коэффициент загрузки оборудования определяется по формуле:

, (6.14)

где; Кв=1 — коэффициент выполнения норм времени;

Ксн.т=0.85 — коэффициент снижения трудоемкости.

n - количество элементов устанавливаемых на плату



Результаты расчета показателей поточной линии сборки показаны в таблице 6.2

Таблица 6.2 – Результаты расчета показателей поточной линии сборки

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Операция | Оборудование | Производительность оборудования, шт/час | Трудоемкость, мин. | Коэффициент загрузки оборудования ηЗО |
| Распаковка ЭРЭ | Светомонтаж-  ный стол  СМ-5 | 1000 | 4,5 | 0,93 |
| Входной контроль | Тестер CMS100 | 360 | 12,3 | 0,92 |
| Формовка выводов | Автомат формовки УФТ901 | 800 | 5,55 | 0,8 |
| Установка ЭРЭ | Автомат формовки АПФ-1 | 1200 | 3,7 | 0,92 |
| Пайка | Установка УАП-1 | 1650 | 2,725 | 0,92 |
| Установка экрана | Светомонтаж-  ный стол  СМ-5 | 60 | 1 | 0,1 |
| Функциональный контроль | Установка УВК-2 | 80 | 56,25 | 0,93 |

Выбранное оборудование и рассчитанные показатели трудоемкости и коэффициента загрузки оборудования удовлетворяют требованиям ТЗ.

6.5 Маршрутное описание ТП

Маршрутное описание ТП представлено в виде маршрутных карт и показано в приложении А.

Заключение

По условия технического задания (ТЗ) была разработана конструкция частотомера на однокристальном микроконтроллере АТ89С2051. При разработке конструкции был проведён анализ: ТЗ, схемы электрической принципиальной (ЭП), элементной базы (ЭБ), анализ конструкторских аналогов. На основе анализа ТЗ, схемы ЭП, ЭБ и анализа конструкторских аналогов предусмотрели дополнительные требования к конструкции Декодера.

При разработке пространственной конструкции были определены установочная площадь элементов, масса элементов. На основе этого были определены площадь, размеры и масса печатной платы. Разработали внутреннюю и внешнюю компоновку декодера, и разработали модуль частотомера. После этого определили габаритные размеры модуля (95х85х28).

Произвели трассировку проводников на печатной плате с помощью САПР, таких как OrCAD и AutoCAD. Так же с помощью этих программ выбрали корпуса элементов и произвели расположение элементов схемы электрической принципиальной на печатной плате.

Составили технологический процесс производства модуля частотомера. Выбрали оборудование для проведения операций технологического процесса. Посчитали показатели технологичности конструкции и на основе их рассчитали уровень технологичности, который составил 1,202. Так же рассчитали технико-экономические показатели поточной линии сборки (коэффициент загрузки оборудования и трудоёмкость)

Считаю, что конструкция Декодера выполнена в соответствии с условиями ТЗ.

Список использованной литературы

* + - 1. Белинский В.Т., Гондюк В.П. “Практическое пособие по учебному конструированию РЭА”, Киев, Высшая школа –1992.- 494с.
      2. Ненашев А.В. “Конструирование РЭА”, М, Высшая школа –1990. - 320с.
      3. Терещук Р.М., Терещук К. М “Полупроводниковые приемно-усилительные устройства”, справочник радиолюбителя, Киев, Высшая школа –1989.- 650с.
      4. Партала О.Н. справочник "Радиокомпоненты и материалы", Москва, Радиосвязь, 1998. – 300с.
      5. Методичні вказівки до комплексного курсового проекту з дисципліни: “Основи конструювання ПЕА”, “Основи технології ЕА ”, ”Комп’ютерні технології конструкторського проектування” для студентів усіх форм навчання спеціальності 7.091.007 “Конструювання і технологія ПЕА” / Упоряд.: І.І. Ключник, С.Д. Новиков, В.А. Палагін. – Харків: ХТУРЕ, 1999.-40с.
      6. Методические указания к лабораторным работам по 1 части дисциплины “Конструирование РЭС” для студентов всех форм обучения специальности “Конструирование и технология РЭС” / Сост.: В.Я. Журавлев, А.М. Сапожников. – Харьков: ХИРЭ, 1992. – 96с.
      7. Яншин А.А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1983. – 312с.
      8. Справочник по интегральным микросхемам. / под ред. Б.В. Тарабарина. – М.: Энергия, 1981. – 816с.
      9. Бушминский И.П., Даутов О.Ш., Достанко А.П. и др. Технология и автоматизация производства РЭА: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1989. – 624с.