

Содержание

1	Информация по курсу	3
1.1	Лабы	3
1.2	Лекции	3
1.3	Литература	3
2	Лекция №1	5
2.1	Введение	5
2.2	Общие определения	5
2.3	Конструктивно-технологические требования	6
2.4	Показатели конструкций	6
2.5	Конструкторские документы	6
2.6	Виды схемы	7
2.7	Типы схем	7
2.8	Деления документов	8
2.9	Виды изделий	8
2.10	Этапы разработки	8
3	Лекция №2	9
3.1	Схема электрическая принципиальная	9
3.1.1	Обозначения	9
3.1.2	Расположение элементов	11
3.1.3	Классы точности	13
3.2	Модульный принцип конструирования	14
3.2.1	Уровни блоков	14
3.2.2	Уровни монтажа	14
3.2.3	Размеры	15
3.3	Евростандарт по печатным платам	15
3.3.1	Обозначения	16
3.3.2	Определения	16
4	Лекция №3	17
4.1	Защита плат от физического воздействия	17
4.1.1	Типы механического воздействия	17
4.1.2	Характеристики аппаратуры	17
4.1.3	Виды реакций конструкции	17
4.1.4	Пути уменьшения отказов от механического воздействия	17
4.1.5	Перегрузки	19
4.1.6	Неамортизированные платы	19
4.1.7	Способы крепления пластин (печатных плат)	19
4.2	Проектирование системы виброизоляции	21
4.2.1	Типы систем	22
4.2.2	Амортизация	22
4.2.3	Жесткость амортизаторов	23
5	Лекция №4	24
5.1	Экранирование	24
5.2	Эффективность экранирования	25
5.2.1	Электрически толстый экран	25
5.2.2	Электрически тонкий экран	25
5.2.3	Перфорированный экран	26

5.2.4	Сетчатый экран	26
5.2.5	Токопроводящая краска	26
5.3	Заключительная часть формул (хз что это такое)	26
6	Лекция №5	26
6.1	Защита электронной аппаратуры от температурных воздействий	26
6.2	Основные параметры	27
6.2.1	Кондукция	28
6.2.2	Тепловое излучение	28
6.2.3	Конвекция	29
6.3	Выбор способа охлаждения электронной аппаратуры	29
6.4	Расчет теплового режима по критериям	29
7	Лекция №6	31
7.1	Вынужденная конвекция	31
7.1.1	Продольный обдув	31
7.1.2	Поперечный обдув	31
7.2	Конвекция в ограниченном пространстве	31
7.3	Давление отличное от нормального	31
7.4	Порядок расчета теплового режима блока в герметичном корпусе	32
8	Лекция №7	33
8.1	Метод расчета теплового режима корпуса	33
8.1.1	Расчет	33
9	Лекция №8	35
9.1	Жидкостное охлаждение	35
9.2	Защита от влаги	35
9.3	Защита от пыли	37
10	Лекция №9	37
10.1	Эргономика	37
10.2	Эргодизайн	38

Информация по курсу

Лабы

Сделать первые две лабы для знакомства.

Затем выбрать схему, сделать:

1. Схему электрическую принципиальную
2. Корпус - выбрать, покрасить
3. Рассчитать систему амортизации для устройства
4. Рассчитать эффективность экранирования - определиться с материалом и его толщиной
5. Рассчитать тепловой режим, решение проблемы с теплом:
 - (а) установка куллера
 - (b) увеличение объема корпуса
6. Рассчитать надежность устройства

Для всех используемых элементов необходимо иметь документацию.

Лекции

В зависимости от настроения будут тесты. Как он будет влиять на экзамен, не знает, но учитываться на 100% не будет. Обязательно будут теоритические вопросы на экзамене.

Литература

1. Савельев М.В - КТОП (его расшифровка) - 2001 год
2. Преснухин, Шахнов - Конструирование электронных вычислительных машин и систем - 1986 год
3. Бауманка под редакцией Шахнова - Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры - 2002
4. Григорьян - конструирование электронных устройств, систем автоматизации и вычислительной техники - 2007 год
5. универ томский (провафлил)

6. ЕСКД

7. Искать на сайте различных вузов, в которых преподается этот предмет

Лекция №1

Введение

Изделие должно работать в различных условиях - различные температуры, помехи и так далее.

Если оно для космической станции, то оно должно соответствовать критериям надежности - резервирование и так далее.

Для потребителя все меняется - в идеале должно сдохнуть после окончания гарантийного срока, ну или через года два.

К любому изделию применяются требования эргономики. Существуют различные санпины, какие-то нормативные документы. Если изделие используется в работе, то условия меняются и они жесткие - размер кнопок, усилие для нажатия, наклон кнопок и так далее. Сами корпуса и их размеры должны удовлетворять функциональному комфорту. Также устройство должно соответствовать человеческим возможностям.

Общие определения

Разработка - это процесс всестороннего исследования, предназначенный для получения заданного результата.

Проектирование - разработка основных показателей и путей их практического осуществления.

Конструкции - под ней понимается совокупность элементов и деталей с различными физическими свойствами и формами, находящейся в во всякой разной взаимосвязи (механическая, тепловая).

При все этом основными исходными документами является ТЗ и схема электрическая принципиальная. ТЗ составляется с учетом стандартов, инструкций, в нем должны быть учтены вопросы безопасности, эргономики. В любом ТЗ основой являются экономические показатели. Кроме этого должны учитываться субъективные данные - квалификация инженеров, возможности предприятия с точки зрения изготовления (можете ли вы произвести плату), возможно ли приобрести комплектующие. Также необходимо получить разрешение предприятия-изготовителя детали на использование детали (в случае больших партий).

Специальные требования - класс точности, общие эксплуатационные тре-

бования, требования по надежности, ремонтпригодность. Любое изделие должно быть безопасным в обращении, экологическая безопасность, включающая в себя излучения устройства, химические элементы (краска)

Также вещь должна иметь минимальные эксплуатационные расходы.

Конструктивно-технологические требования

Технологичность - представляет собой приспособленность изделия к достижению минимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества.

Изделие должно быть технологичным - простая конструкция, унификация всех возможных элементов. Масса и габариты должны быть минимальны, т.к. они играют важную роль с точки зрения логистики и использования материалов.

Выбор материала, модульный принцип конструирования (построения самой аппаратуры). Должно выполняться условие взаимозаменяемости деталей одинакового назначения. Также стоит переиспользовать детали и конструкции от предыдущих устройств.

Максимальная технологичность монтажных и электрических работ. При этом учитывается размер партии и сложность изготовления.

Показатели конструкций

Определение сложности конструкции:

$$C_{evm} = K_1(K_2 * M_E + K_3 * M_C), \text{ где}$$

- M_E - общее число элементов
- M_C - число соединений
- K_* - масштабные весовые коэффициенты, для каждой аппаратуры свои

Конструкторские документы

1. Расчет (все расчеты)
2. Инструкция
3. Документы:
 - (а) прочие

(b) эксплуатационные

(с) ремонтные

Виды схемы

1. электрические
2. гидравлические
3. пневматические
4. газовые
5. кинематические
6. вакуумные
7. оптические
8. энергетические
9. деления
10. комбинированные

Типы схем

1. электрическая принципиальная

- (a) структурная схема - определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи.
- (b) функциональная схема - разъясняет определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или в изделиях в целом
- (с) принципиальная схема - определяет полный состав элементов и связей между ними
- (d) схема соединений - показывает соединения составных частей изделия и определяющая провода, кабеля, жгуты или трубопроводы по которым осуществляются соединения, а так же их места присоединения и ввода
- (е) схема подключения - показывает внешние подключения изделия

- (f) схема общая - определяет составные части комплекса и соединения между собой на месте эксплуатации
- (g) схема расположения - определяет относительное расположение составных частей изделия, а так же при необходимости жгутов/проводов/etc
- (h) схема объединенная (её код = 0)

Деления документов

1. Оригиналы - по ним делаются подлинники, выполнен на любом материале
2. Подлинники - документ на любом материале с подлинными, установленными подписями и предназначенный для многократного воспроизведения копий.
3. Дубликаты - копия подлинника и позволяющая делать из них копии.
4. Копии - для непосредственного использования рабочими

Виды изделий

1. Деталь - единица, над которой не нужно производить сборочных операций
2. Сборочная единица - подлежат соединению на предприятии-изготовителе
3. Комплекс - несколько изделий, не соединенных сборочными операциями
4. Комплект - набор деталей и сборочных единиц, имеющих общее эксплуатационное назначение

Этапы разработки

1. Научно-исследовательская работа - получение научно-обоснованных исходных данных для изготовления технического задания
2. Опытно-конструкторская работа

Лекция №2

Схема электрическая принципиальная

Обозначения

Нумеровать нужно сверху, слева направо.

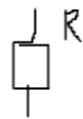
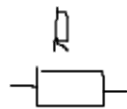
Соединение - не забывать рисовать точку, иначе это не соединение.

Рисовать кондеры двумя способами:

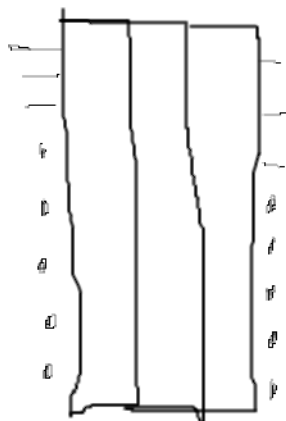


1 способ - полярность указывается дугой, 2 способ - полярность указывается с помощью символа «+».

Подписывать вот так :



Микросхемы рисовать стоит вот так:



Входы стоит обозначать слева, выходы - справа, посередине должно быть написано функциональное назначение микросхемы. Простую логику не нужно рисовать рядом, если получается - хорошо, нет - ну и ладно.

Заземление обозначается вот так:

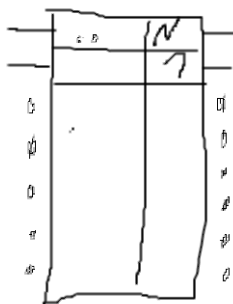


Земля же обозначается так:



Рисуется только так, не боком, никак иначе. Таскать провода от одной земли не стоит, этот значок подразумевает то, что они уже соединены.

Разъемы обозначаются так. Если выходы справа - слева функц.назначение, справа - номер. Если выходы справа, то меняем местами.



При разводке платы нужно планировать расположение элементов индика-

ции, дабы не пришлось разбирать корпус, чтобы посмотреть на эти светодиоды. Тоже самое с разъемами.

Если индикатор/разъем на корпусе, то должен быть предусмотрен шлейф для соединения сей вещи с разъемом на плате.

При использовании подстроечных резисторов, который используется в работе с устройством, то необходимо выводить его на корпус. Если он на плате, то его стоит залить лаком, дабы не съехал. Так же необходимо рассчитывать допуск для него, чтобы можно было подлезть к нему (не стоит прямо рядом ставить кондер, чтоб потом не подлезть).

При использовании радиаторов, особенно больших желательно выносить их за пределы платы (т.е. к плате идут только проводящие элементы).

Если плата довольно большая, то стоит использовать шины дабы уменьшить количество проводников.

Цепи питания микросхем не рисуются (относится к микросхемам малой и средней степени интеграции), они там подразумеваются. Но при разводке не стоит про них забывать. Если организовывается логический 0 или 1 с помощью цепи питания, то их нужно рисовать.

Расположение элементов

Схемы у нас небольшие и решать задачу оптимизации по расположению элементов не стоит. Но все же стоит располагать все более менее оптимально.

По короткой стороне располагаются входные/выходные разъемы, стоит с одной стороны располагать входы, с другой - выходы.

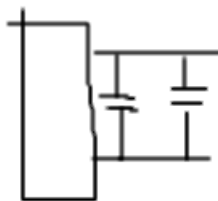
Разъемов и проводников расположенных внутри печатной платы не должно быть (могут быть исключения).

Основной элемент располагать стоит в центре печатной платы и от него по мере связности с ним располагаются другие элементы.

Если есть подтягивающий резистор, то он должен стоять у ножки. Квар-

цевый резонатор стоит у корпуса микросхемы (ближе = лучше). Тоже самое с кондерами, они должны стоять у микросхемы.

Если у ножек микрухи есть несколько кондеров, то на схемы не нужно их располагать так же как и на схеме электрической принципиальной.

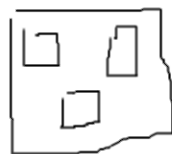


При переключениях микросхемы меняется значение потребляемого тока, поэтому при переключении возникает просадка напряжения (так как блок питания не работает мгновенно) - на линии питания возникнет просадка по напряжению ($5v \rightarrow 3v$), поэтому ставятся кондеры, которые поддерживают нужно напряжение до изменения параметров работы блока питания.

Цепи питания желательно делать широкими проводникам, а пустые места лучше не оставлять, стоит делать из них общий провод для защиты от помех и т.д.

По ГОСТУ элементы должны быть расположены однообразно - поставил один резистор горизонтально, то ставь остальные тоже горизонтально. Это относится и ко всем другим элементам. Но на самом деле это требования мало кто соблюдает.

Микросхемы устанавливаются рядами либо в шахматном порядке вдоль длинной стороны печатной платы, так же ключ должен быть у всех в одной стороне.



При высокочастотных линиях не стоит располагать две штуки рядом, так как между этими линиями существует емкость и индуктивность - все помехи будут переходить от линии к линии, что ведет к влиянию друг на друга. Желательно располагать между такими линиями линию общего провода.

Желательно минимизировать количество параллельных проводников и делать длину параллельных проводников минимальной. Это позволит избежать помех и т.д.

Так же не должно быть линий под углом 45° , так как это дает перекрестную помеху.



Классы точности

Эти классы предъявляют требования к толщине проводников и так далее, мы будем использовать 3 класс точности в качестве основного.

Расстояние между проводниками - 0.25, больше = лучше.

Основные параметры печатных плат:

1. Ширина печатного проводника

- 1 класс - 0.75
- 2 - 0.5

- 3 - 0.25
- 4 - 0.15
- 5 - 0.1

2. Зазор между краями проводящими рисунками (между контактами):

- 1 класс - 0.75
- 2 - 0.5
- 3 - 0.25
- 4 - 0.15
- 5 - 0.1

Модульный принцип конструирования

Данный принцип предусматривает конструктивную и функциональную взаимозаменяемость. Желательно использовать отдельные модули, имеющие законченное функциональное назначение.

Уровни блоков

1. Первый уровень - типовой элемент замены (печатная плата)
2. Блок - конструкция, где на задней стороне (стенке) установлены разъемы для соединения конструкций первого уровня, между собой соединяются с помощью различных вариантов (жгуты/кабели /etc).
3. Стойка - в неё ставятся блоки или рамы
4. Доп.уровни:
 - (а) уровень 0.5 - микросборки (контактная площадка на которые установлены безкорпусные элементы)
 - (b) уровень 2.5 - рамы - в них устанавливается 6-8 блоков

Уровни монтажа

1. Первый уровень - проводной и ...
2. Второй уровень - разъемы, соединенные с помощью пе

3. Третий уровень - соединение блоков или рам в стойки, и стоек между собой (используются жгуты/кабели)
4. Доп. уровни:
 - (а) соединение с помощью пленочного монтажа
 - (b) соединение в рамы

По стандартам Европы:

1. Блоки BNK-1 - это ячейка или кассета для размещения модулей нулевого уровня
2. BNK-2 - блок/блочный каркас для размещения BNK-1
3. BNK-3 - шкаф/стойка/стеллаж/приборный стол (в основном шкафы и стойки)

Размеры

Вертикальные размеры - всегда кратны величине 1U (44,45 мм). Горизонтальные размеры - всегда кратны 1НР (5,80 мм).

В метрических системы размеры кратны:

1. BNK-1 - 2,5 мм
2. BNK-2/3 - 25 мм

Ширина панели - 19 дюймов.

Координатная сетка - шаг 25 мм по всем осям для больших, для мелких - 2,5 и 0,5 мм.

Каркас - направляющие, иногда с усилительными рельсами. Стандартный каркас - 84 направляющих с шагом в 1НР (иногда 3-4).

Евростандарт по печатным платам

Есть рекомендуемые размеры печатных плат - нужны для минимизации излишков после изготовления печатных плат. Можно брать российский, но лучше европейский.

Обозначения

Форм-фактор	Высота, мм	Длина, мм
3U	100	100/160/220/280
4U	145.45	100/160/220/280
5U	188.9	100/160/220/280
6U	233.35	100/160/220/280

Определения

Печатная плата - под ней понимают материал основания, содержащей необходимые отверстия и хотя бы один проводник.

Проводящий рисунок - включается в себя какой-то проводник/контактную площадку/проводящий элемент.

Контактная площадка - часть рисунка предназначенная для соединения.

Монтажное отверстия - часть рисунка для монтажа.

Переходные отверстия - соединяют отдельные слои печатной платы.

Каждая площадка должна иметь гарантированный поясок.

Заметка - толщина платы считается по толщине основы печатной платы.

Типы плат:

1. Фольгированный (убирается медь)
2. Нефольгированный (наносится медь)

Лекция №3

Защита плат от физического воздействия

Типы механического воздействия

1. Удары
2. Вибрации
3. Акустический шум
4. Ускорения

Характеристики аппаратуры

1. Прочность - способность аппаратуры выполнять функции и сохранять параметры после приложения механического воздействия
2. Устойчивость - способность аппаратуры выполнять функции и сохранять параметры в процессе механического воздействия

Гармонические вибрации - основные вибрации, про которые мы будем говорить.

Ударные нагрузки - характеризуются числом ударов или их серий, а также длительностью и формой.

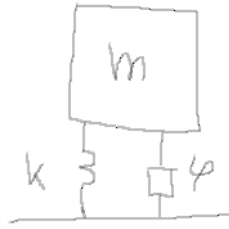
Реакция конструкции - любая форма трансформации энергии механического воздействия.

Виды реакций конструкции

1. Механические напряжения в элементах
2. Перемещение элементов и их соударение
3. Деформация и разрушение конструкции элементов
4. Изменение свойств и параметров конструкции

Пути уменьшения отказов от механического воздействия

1. Виброизоляция с помощью амортизаторов - это фильтр нижних частот, он уменьшает амплитуду колебаний (но они все равно остаются), он дела-



ется таким образом, чтобы собственная частота колебаний была меньше внешней.

2. Обеспечение механической жесткости и прочности конструкции - собственная частота должна быть больше частоты внешних колебаний

Жесткость конструкции - это ... (минимальное - корень из двух, больше лучше). Высокая жесткость - превышает как минимум в три раза.

m - масса. k - элемент жесткости конструкции. r - механическое сопротивление в виде демпфер .

В общем случае конструкция имеет 6 степеней свободы.

Система уравновешена - $F(t) = F_m^{(t)} + F_k^{(t)} + F_r(t) = m * \frac{d^2x}{dt^2} + r * \frac{dx}{dt} + kx$

Это неоднородное дифференциальное уравнение - решаем однородное дифференциальное уравнения, то есть приравниваем все это к нулю.

Затем решаем $x = x_\sigma * e^{-\beta * t} * \sin(w_0 * t + \phi_0)$, где

- x_σ - амплитуда
- $e^{-\beta * t}$ - коэф. демпфирования
- $w_0 = 2 * \pi * f_0 = \sqrt{\frac{k}{m} - \beta^2}$, где $\beta = \frac{r}{2m}$
- ϕ - начальная фаза

Затем находим частное решение , считаем что у нас есть какие-то колебания с какой-то частотой $F(t) = A * \sin(...$

Собственные + внешние колебания - $A_0 * e^{-r * w_0 * t} * \sin(w_0 * t + \phi_0) + A_B * \sin(w * t + \phi)$

w_0 и w должны быть разные.

Итоговая частота - $1/f^2 = \sum \frac{1}{f_i^2}$

Если присутствует удар, по сути это одна степень свободы - $m * \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$. Получаем однородное дифф.уравнение, коэф.демпфирования уходит, остается только жесткость.

$x_{st} = \frac{mg}{k}$ - прогиб элемента под массой блока.

Скорость - первая производная и равна $V = \sqrt{2gh}$

Уравнение будет представлять какой-то статическим прогибом - $x = x_{st} * \cos(w * t) + (V_0/w_0) * \sin(w_0 * t)$

Максимальное смещение - $x_{max} = \sqrt{x_{st}^2 + V_0^2/w_0^2}$

Динамическое смещение - $x_{dyn} = x_{st} + x_{max}$

Перегрузки

Инженеры люди ленивые, поэтому используют понятия перегрузок (1G/2G и т.д.)

Перегрузка при вибрации - $n = \frac{A * f^2}{250}$, где f - герцы, A - миллиметры.

Перегрузка при ударе - $n_y = 0.5 * 10^{-3} * \beta^2 / x$

Перегрузка при вращении - $n_{vrash} = \frac{R * f^2}{250}$, где R - радиус вращения в мм

Неамортизированные платы

Не применяются нигде, кроме лабораторных условий

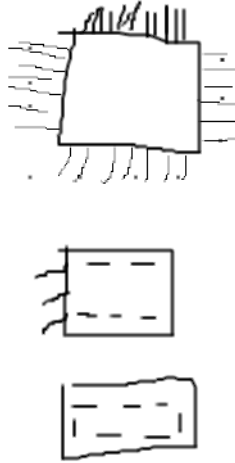
Собственная частота колебаний - $f = \frac{1}{2\pi} * \frac{\alpha}{a^2} * \sqrt{\frac{D_g}{\rho * 10^4}}$

- a - длинна пластины (метры)
- $D = \frac{E * h^2}{12 * (1 - \epsilon^2)}$ - цилиндрическая жесткость пластины
- ρ - плотность материала
- α - коэффициент, зависящий от способа крепления пластины

Способы крепления пластин (печатных плат)

Есть 3 способа крепления:

1. жестко закреплена со всех сторон
2. жестко закреплена с одной стороны и лежит на опоре
3. просто опора



Есть таблицы, можно брать из них и вводить свой поправочный коэффициент на материал -

$$K = \sqrt{\frac{E * \rho_{st}}{E_{st} * \rho}}.$$

Так же поправочный коэффициент на массу - $K_{\omega} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_{el}}{m_{plati}}}}$, где

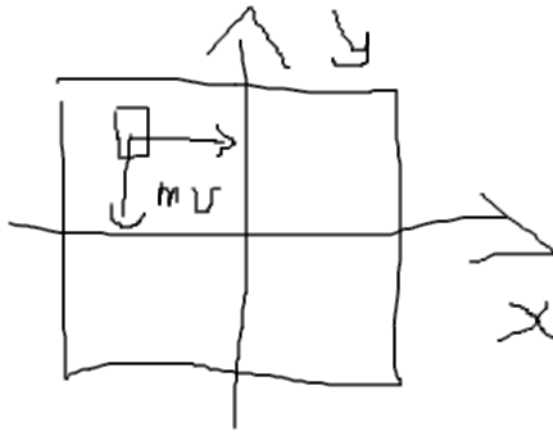
- m_{el} - масса элемента по отношению к массе печатной платы

Это формула для платы с креплением 4 болтами - $f = \frac{\pi}{2} * \frac{1 + (b/a)^2}{b^2} * [n^2 * (\frac{b}{a})^2 + m^2] * \sqrt{\frac{D}{\rho}}$

- b - большая сторона платы
- a - меньшая сторона платы
- n, m - целые положительные числа

Для перегрузки должно выполняться следующие условие - $f_{min} \geq \sqrt[3]{\frac{\gamma f_0 * g * J_{max}}{0.003B}}$,
где

- γ - коэффициент зависящий от частоты (в диапазоне от 50 до 100 - 17.5, от 100 до 400 = 25, от 400 до 700 - 30)



Проектирование системы виброизоляции

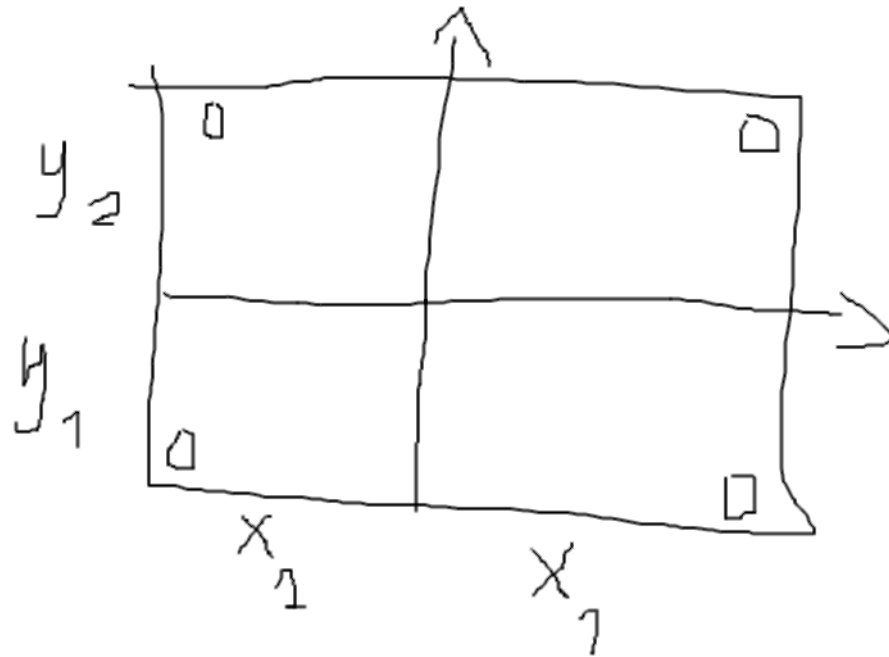
Рассматриваем стационарный случай - вибрация по вертикальной оси.

Исходные данные для этой задачи:

1. Масса блока
2. Вид корпуса
3. Координаты центра тяжести
4. Материал
5. Граничные частоты
6. Амплитуда смещения основания
7. Диапазон рабочих температур
8. Изменение давления
9. Наличие ударных перегрузок
10. Максимальное ускорение
11. Допустимая амплитуда колебания блока, обозначение - $[\zeta_1]$

Считать необходимо все это параллельно, так как один параметр может координально поменять исходные данные.

Координаты центра тяжести не совпадает с геометрическим центром. Для его нахождения проецируем каждый элемент на ось X и Y , из чего мы получаем вектор. После проецирования всех элементов мы найдем центр масс.



Типы систем

1. Статически определенные (встречаются редко) - это система состоящая из 3 амортизаторов (расположены по окружности через 120°), при этом центр окружности совпадает с центром тяжести
2. Статически неопределенные системы - состоит из более чем 3 амортизаторов, появляются дополнительные условия ($n - 3$, появляются доп. уравнения), при этом если амортизаторы выбраны правильно, то колебания не зависят от жесткости

Для жесткости должно выполняться условие - $k \ll m * (2 * \pi * f)^2$

Амплитуда колебаний для блока считается - $\phi = 0.25 * \frac{\Omega}{f^2}$

Для массы блока должно выполняться условие - $250 * \frac{A_v}{[z_1] * f^2}$

Амортизация

Эффективность амортизации - $\Lambda = (1 - \mu) * 100\%$

Ставим амортизаторы по углам, далее определяем статическую нагрузку
Несколько условий:

- Система находится в равновесии - $\Sigma P_i = mg$
- Это условия, которые сущ. для статически определенных систем - $\Sigma P_i * x_i = 0$ и $\Sigma P_i * y_i = 0$

- Дополнительное условия для нашей системы - $\Sigma P_i * x_i * y_i = 0$

Решаем данную систему для каждого амортизатора:

- $P_1 = \frac{m * g * x_2 * y_2}{(x_1 + x_2) * (y_1 + y_2)}$
- $P_2 = \frac{m * g * x_1 * y_2}{(x_1 + x_2) * (y_1 + y_2)}$
- $P_3 = \frac{m * g * x_1 * y_1}{(x_1 + x_2) * (y_1 + y_2)}$
- $P_4 = \frac{m * g * x_2 * y_1}{(x_1 + x_2) * (y_1 + y_2)}$

Теперь выбираем амортизатор, который рассчитан на нашу максимальную нагрузку. Выбирать стоит один тип амортизаторов, зачем нам 4 разных амортизатора. При этом его выбор происходит не только по номинальной нагрузке, но и по температуре работы и частоте работы (та частота, на который амортизатор работает наиболее эффективно), потом уже по красоте (вид и размер).

Жесткость амортизаторов

Жесткость амортизаторов - $K = \Sigma K_i$

Собственная частота колебаний вашего блока (должна быть существенно меньше частоты внешних колебаний) - $f_0 = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{K}{m}}$

Коэффициент динамичности - $\eta = \frac{1}{|1 - (\frac{f_1}{f_0})^2|}$

Вибросмещение блока - $A_{bl1} = \eta * A_{oc1}$

Хз че - $G_1 = 0.004 * A_{bl1} * f_1^2$

Если перегрузка больше заданного значение, то выбор неудачный (слишком большая жесткость)

Так же мы должны определить величину статической деформации амортизатора - $z_i = \frac{p_i}{k_i}$

Толщина прокладки для компенсации статической деформации - $h_1 = Z_i - Z_{imax}$

Лекция №4

Экранирование

Это уравнения Максвелла, которые определяют распространение электромагнитных волн:

- $\text{rot} H = I_{pr} + \frac{dD}{dt}$ - первый закон Максвелла
- $\text{rot} E = -\frac{dB}{dt}$ - смысл заключается в том, что всякое изменение магнитного поля во времени вызывает электрическое поле
- $\text{div} D = p$ - электрическое поле есть электрические заряды
- $\text{div} E = 0$ - в природе отсутствуют магнитные заряды

3 и 4 уравнение можно представить в таком виде:

- $D = \epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon E$
- $B = \nu_a H$

Если мы хотим защититься от электрического поля, то мы должны обязательно заземлить корпус, иначе на корпусе будут возникать электрические заряды, которые будут образовывать вторичное электрическое поле.

Все устройство заземляется исключительно в одной точке.

Если мы защищаем устройство от внешнего магнитного поля, то категорически запрещено заземлять магнитный экран для защиты, потому что при изменении магнитного поля возникнет сильное внутреннее электрическое поле. Полностью защититься от магнитного поля не получится, материалы для защиты слишком мягкие, есть и другие, но они другие.

Теперь наши инженерные формулы:

- $\tan \delta = \frac{\sigma}{w \epsilon_a}$ - Тангенс угла потерь
- $\alpha = 8.68 w \sqrt{\frac{\epsilon_a * \mu_a}{\cos \delta * \sin \delta / 2}}$ - определяет коэффициент затухания
- $\beta = \sqrt{\frac{\epsilon_a * \mu_a}{\cos \delta * \cos \delta / 2}}$ - коэффициент фазы
- $v_f = \frac{1}{\sqrt{\frac{\epsilon_a * \mu_a}{\cos \delta * \sin \delta / 2}}}$
- $\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$ - характеристическое сопротивление волны
- $Z_c = \frac{E_x}{H_x}$

- $tg\beta \gg 1$ - для металлов
- $\alpha = \beta = \sqrt{\pi f \mu_a \sigma}$
- $v_f = w/\beta = 2\sqrt{\frac{\pi f}{\mu_a \sigma}}$
- $\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = 2\sqrt{\frac{\pi}{\mu_a \sigma}}$
- $Z_c = \sqrt{i w \mu_a / \sigma}$
- $\beta_c = 1/\lambda = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_a \sigma}}$ - глубина проникновения
- $\beta_c = 0.03 * \sqrt{\frac{\lambda p}{\mu_r}} = 0.52 \sqrt{\frac{p}{\mu_r * f}}$

Эффективность экранирования

Для электрического - $EFF_E = E_1/E_2$

Для магнитного - $EFF_E = H_1/H_2$

Электрически толстый экран

Электрически толстый экран считается толстым если $d/\delta > 0,8$

Для него справедливо - $EFF_{E(H)} = \sqrt[3]{\frac{\delta}{p}} Z_{E(H)} \sqrt{\frac{\lambda}{R_{EFF}}} e^{2\pi d/m} (1 - \frac{\pi m}{\lambda})$

- δ - глубина проникновения
- p - удельное сопротивление материала экрана
- $Z_{E(H)}$ - волновое сопротивление
- $\sqrt[3]{\frac{\delta}{p}} Z_{E(H)}$ - определяет геометрию экрана
- $\sqrt{\frac{\lambda}{R_{EFF}}}$ - эквивалентный радиус экрана
- d - длина экрана
- m - наибольший размер отверстия или щели

Электрически тонкий экран

Если $d/\delta < 0,8$, то это электрически тонкий экран.

Для него справедливо - $EFF_{E(H)} = 1.25\pi \sqrt[3]{\frac{d}{p}} Z_{E(H)} \sqrt{\frac{\lambda}{R_{EFF}}} (1 - \frac{\pi m}{\lambda})$

Эта формула применима и к металлизированным поверхностям, но в качестве d берут общий расход металла на плотность исходного материала и определяют по площади.

Перфорированный экран

$$EFF_{E(H)} = \sqrt[3]{\frac{\delta}{p} Z_{E(H)}} \sqrt{\frac{\lambda}{R_{EFF}}} e^{2\pi d/m} \left(\frac{a-D}{a}\right)^2 \left(1 - \frac{\pi m}{\lambda}\right)$$

- D - диаметр отверстия
- a - расстояние между центрами отверстий

Сетчатый экран

$$EFF_{E(H)} = \sqrt[3]{\frac{d_{EFF}}{p} Z_{E(H)}} \sqrt{\frac{\lambda}{R_{EFF}}} e^{\pi d_s/s - d_s} \left(1 - \frac{\pi m}{\lambda}\right)$$

- d_{EFF} - толщина сетки
- d_s - толщина проволоки
- s - шаг сетки

Токопроводящая краска

- $EFF_{E(H)} = 1.25\pi \sqrt{\frac{Z_{E(H)}}{R_s}} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{R_{EFF}}} \left(1 - \frac{\pi m}{\lambda}\right)^6$
- $Z_E = \frac{Z_0 \lambda}{2\pi R_{EFF}} Z_H = \frac{2\pi R_{EFF} Z_0}{\lambda}$
- $EFF_{met} = 97 + 5lgD - 20lgf$

Заключительная часть формул (хз что это такое)

- $tg\delta = \sigma/w\varepsilon_a$
- $a = 8.68w \sqrt{\frac{\varepsilon_a * \mu_a}{\cos\delta * \sin\delta/2}}$
- $\beta = \sqrt{\frac{\varepsilon_a * \mu_a}{\cos\delta * \cos\delta/2}}$
- $v_f = \frac{1}{\sqrt{\frac{\varepsilon_a * \mu_a}{\cos\delta * \sin\delta/2}}}$

Лекция №5

Защита электронной аппаратуры от температурных воздействий

Все элементы зависят от температурных воздействиях, допустим полупроводники меняют характеристики под воздействием температур, от неё зависит надежность и работоспособность.

Все элементы и материалы, из которых они изготовлены, существенно зависят от температуры.

Основной диапазон температур- $-40 + 125$.

Нормальные условия - $20 - 25$ градусов.

Изменение даже на 10 градусов ведет к снижению срока службы в два раза. Микросхемы даже в 10 раз, конденсаторы (электролитические в 6 раз) и так далее.

Если разговор идет не о критических температурах, то способы устранения не так страшны - нагревательные контуры в корпусе (для достижение приемлимых значений температур). Наиболее сложный - охлаждение аппаратуры при высокой внешней температуре.

Аппаратура должна быть правильно спроектирована с точки зрения ... , допустим включение стабилитронов (для компенсации просадок), различные мостовые схемы, дифференциальные усилители (разница сигналов же), отрицательная обратная связь.

В цифровых схемах все немного не так, там может быть блок, который мониторит температуру и микросхема вносит коррективы в алгоритм работы.

Залог успеха - правильное размещение элементов (горячие элементы к стенкам), соблюдение геометрических размеров (расстояние между платами не меньше 10мм), расцветка корпуса (при высоких температурах изнутри матовая черная краска внутри, белая снаружи), тепловые отводы, дополнительное охлаждение.

Основные параметры

Q - тепловой поток, это количество тепла переносимое в единицу времени через какую-то поверхность. Это векторная величина, направлен в сторону уменьшения температуры.

В расчетах используют удельные тепловой поток - $q = \frac{Q}{S}$

Уравнение Фурье (основное уравнение переноса тепла) - $\vec{Q} = \lambda grad(T) = -\lambda(\frac{dt}{dx} \vec{i} + \frac{dt}{dy} \vec{j} + \frac{dt}{dz} \vec{k})$

Будем различать три вида переноса тепла:

- Кондукция (или теплопроводность) - это молекулярный перенос теплоты в сплошной среде за счет разности температур (по сути это радиаторы и тепловые шины).
- Тепловое излучение - процесс переноса тепла за счет энергии электромаг-

нитного излучения (оно присутствует всегда, по сути это инфракрасное излучение). Соизмерима по величине с различными видами конвекции.

- Конвекция - перенос тепла при перемещении макроскопических объемов жидкостей или газов из области повышенной температуры в область пониженных температур (воздушное охлаждение).

Итоговый перенос тепла - это сумма всех этих величин.

Кондукция

Рассматриваем использование радиаторов и так далее, может происходить и без радиатора (по воздуху например). Нужно иметь ввиду если используем радиаторы, то мы скорее всего используем какие-либо теплопроводные элементы (термопасты/термопрокладки), но они уменьшают теплопроводность.

Общее количество тепла - $Q = \frac{\Delta T}{R}$

Проводимость тепловая - $G = \frac{1}{R}$

Сопротивление - $R = \frac{l}{\lambda S}$

Размерность - $T = T_c + Q(R_1 + R_2 + \dots)$

Тут действуют законы Киргофа (по аналогии с токами). По сути нашу конструкцию можно представить в виде каких-либо тепловых сопротивлений, соединенных последовательно или параллельно, тут мы можем использовать метод контурных токов и так далее.

Простейший вариант - пластина, пластинчатые радиаторы (должен быть расположен вертикально для нормального протекания воздушных потоков), игольчатые радиаторы (у них площадь меньше). При прикручивании к прибору, радиаторы не должны быть идеально гладкими (при таком перенос тепла существенно уменьшается, должен иметь шероховатость порядка 2.5).

Тепловое излучение

Перенос происходит между двумя телами. В основном сделать тут можно одну вещь - увеличить степень черноты (лучший варианты сажа, но она обсыпается).

$Q_L = \lambda_L S \Delta T$ - количество тепла переносимое за счет лучистого теплообмена. λ_L - коэффициент теплообмена излучения

$$\alpha_L = \varepsilon_{pr} \varphi_{12} f(\Delta T)$$

$$\varepsilon_{pr} = [1 + \varphi_{12}(\frac{1}{\varepsilon_1 - 1}) + \varphi_{21}(\frac{1}{\varepsilon_2 - 1})]^{-1}$$

Тепловое сопротивление излучению - $R_l = \frac{1}{\alpha_l S}$

Это формула для электронных блоков - $Q_l = \sigma_0 * 10^8 [(\frac{T_1}{100})^4 - (\frac{T_2}{100})^4] \varepsilon_{pr12} S_{12}$

$$\sigma_0 = 5.6668 * 10^{-8} \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ К}^4$$

Конвекция

Естественная конвекция - $Q \leq 0.05 \text{ Вт}/\text{см}^2$, если превышает, то необходимо применять принудительные варианты переноса тепла.

Мы будем говорить про герметичные корпуса (в смысле собраны, нет отверстий, есть какие-то щели).

В общем случае тепловой поток описывается выражением - $Q = 4.187 * 10^{-4} h_c S \Delta T$

$h_c = 0.52 * C (55 \Delta T / l)^{0.25}$ - коэффициент конвективного обмена или теплопередачи.

$C = 0.56$ - для вертикально расположенной пластины, $C = 0.52$ - для горизонтально расположенной пластины с верхней стороны, $C = 0.26$ - для горизонтально расположенной пластины с нижней стороны.

Выбор способа охлаждения электронной аппаратуры

Определяющий фактор при выборе охлаждения - $q = \frac{Q_{KH}}{S_T}$

Площадь поверхности (это площадь всего нашего блока) - $S_T = S K_3$, где K_3 - коэффициент заполнения блока.

Разница температур по сравнению с окружающей средой - $\Delta T_c = T_{dop} - T_c$

Минимальный значение удельного теплового потока примерно равно 2. При 1-2 это естественная, выше 2 - естественная + принудительное, 3-4 - принудительное, 4-5 - принудительное воздушное + жидкостное, выше 5 - принудительное жидкостное + испарители, самый максимальный - принудительное испарительное охлаждение.

Расчет теплового режима по критериям

$Q_k = \alpha_K S \Delta T$ - формула (закон) Ньютона для тепловых потоков.

Заморока заключается в том, что - $\alpha_K = f(a, \beta, \lambda, \nu, p, C_p, g, L, T_1, T_2)$.

Поэтому предлагается расчет теплового режима по критериям:

- Критерий Нуссельта - $N_u = \frac{\alpha_k L}{\lambda}$
- Критерий Грасгофа - $\frac{\beta g L^3 (T_1 - T_2)}{\nu^2}$
- Критерий Прандтля - $P_r = \nu / a$

Все эти критерии связаны соотношением - $N_u = C(G_r P_r)_m^n$

$G_r P_r$	C	n
10^{-3}	0.5	0
$10^{-3} - 500$	1.18	1/8
$500 - 2 * 10^7$	0.54	1/4
$2 * 10^7 - 10^{13}$	0.135	1/3

- Верхняя строка - пленочный режим (движения воздуха нет).
- Вторая строка - ламинарное движение воздуха (слабое движение воздуха)
- Третья строка - турбулентное движение.

Усредненная температура - $T_m = \frac{T_1 + T_2}{2}$

Если $(T_1 - T_2) < (\frac{840}{L * 10^{-3}})^3$, то ведем расчет по формуле - $\alpha_k = (1.42 + 1.4 * 10^{-3} T_M) N(\frac{T_1 - T_2}{l})^{1/4}$

Если не выполняется - $\alpha_k = (1.67 + 3.6 * 10^{-3} * T_m) N(T_1 - T_2)^{1/3}$

Поверхность	Опред.размер
шары, горизон. цилиндры	диаметр
вертикальные пластины и цилиндры	высота
Горизонтальные пластины с нагретой поверхностью	max размер пластины

Итог:

- Ищем среднюю температуру T_M
- Находим коэффициенты
- Определяем $G_r P_r C n$
- Находим $N_u \alpha_k$
- Считаем Q_k

Лекция №6

Вынужденная конвекция

$$R_e = \frac{vL}{\nu}$$

Продольный обдув

$$N_u = 0.57 * R_e^{0.5}, \text{ если } R_e < 5 * 10^5$$

$$N_u = 0.32 * \sqrt{R_e^{0.5}}, \text{ если } R_e > 5 * 10^5$$

Поперечный обдув

$$l' - \dots$$

$$\text{Для шара} - l' = 0.5\pi d$$

$$\text{Поперек пластины} - l' = l$$

$$\text{Вдоль пластины} - l' = a + b$$

Точность не больше 20%.

Конвекция в ограниченном пространстве

Появляется выражение «прослойка» - путь протекания воздушного потока.

Расчет ведем по формуле - $P'_k = kS(t_1 - t_2)$

- Для плоской прослойки - $K_{pl} = 0.45 * \sqrt[4]{\frac{t_1 - t_2}{\delta}}$
- Для цилиндрической - $K_c = 0.91 * \frac{\delta}{d_1 \ln(d_1/d_2)} \sqrt[4]{\frac{t_1 - t_2}{\delta}}$
- Для закрытых блоков - $K = N[6.25 - 5.25(1 - \frac{\delta}{\sqrt{l_1 l_2}})^{-5/3}] B \sqrt[4]{\frac{t_1 - t_2}{\delta}}$

N = 1 при вертикальной прослойке, N = 1/3 при горизонтальной

t_m	0	50	100	200
B	0.63	0.58	0.56	0.44

Давление отличное от нормального

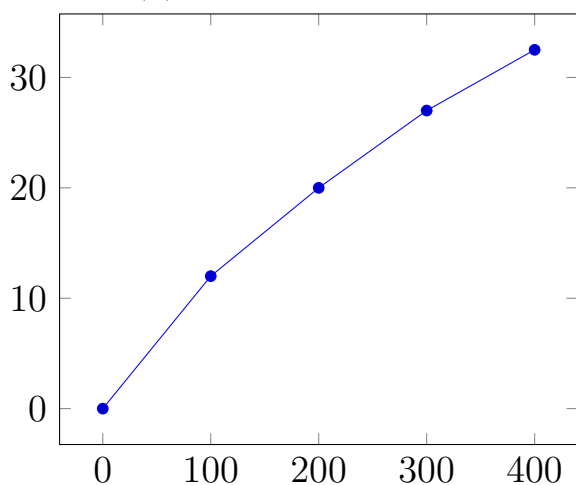
Следующий случай когда давление отличается от нормального ($p \neq p_0$, $10^2 < p < 10^6$ Па), мы должны вносить поправки - $\alpha_k(p) = \alpha_K(\frac{p}{p_0})^{2n}$

Порядок расчета теплового режима блока в герметичном корпусе

Герметичный = не полная герметизация, но по сути отсутствует перфорация.

Пусть корпус имеет форму параллелепипеда.

1. Определяем S поверхности корпуса
2. Определяем S условно нагретой поверхности корпуса
3. Определяем удельную мощность корпуса блока $q = P/S$
4. Определяем удельную мощность нагретой области блока $q = P/S$, S - площадь нагретой области
5. $\Delta t_1 = f(q)$ - определяется графически, является функцией ...



6. $\Delta t_2 = f(q)$
7. Коэффициенты для учета давления $K_{H_1} = K_{H_2} = 1$
8. Перегрев корпуса блока - $\Delta t_k = \Delta t_1 K_{H_1}$
9. Перегрев нагретой зоны - $\Delta t_3 = \Delta t_k + (\Delta t^2 - \Delta t_1) K_{H_2}$
10. Средний перегрев воздуха в блоке - $\Delta t_B = 0.5(\Delta t_k + \Delta t_3)$
11. Удельная мощность нагретого элемента - $q_{el} = \frac{P_{el}}{S_{el}}$
12. Перегрев поверхности элемента - $\Delta t_{el} = \Delta t_3(0.75 + 0.25 \frac{q_{el}}{q_3})$
13. Перегрев окружающей среды - $\Delta t_{es} = \Delta t_B(0.75 + 0.25 \frac{q_{el}}{q_3})$
14. Температура корпуса блока - $T_k = \Delta t_1 + T_c$
15. Температура нагретой зоны - $T_3 = \Delta t_3 + T_c$

16. Средняя температура воздуха в блоке - $T_B = \Delta t_B + T_c$
17. Температура поверхности элемента - $T_{el} = \Delta t_{el} + T_c$
18. Температура окружающей элемент среды - $T_{es} = \Delta t_{es} + T_c$

Лекция №7

Метод расчета теплового режима корпуса

Данный вариант более точный, так как он учитывает перфорацию и несколько дополнительных условий.

Рассматривается упрощенная модель, он представляется в виде одного тела, поверхность считается изотермической, он имеет нагретую зону в виде параллелепипеда.

Делаются следующие допущения:

- коэффициенты ... не зависят от координат (температура берется средняя, распространение тепла не зависит от координат)
- Распространение тепла от элементов по печатной плате происходит аналогично распространению тепла в плоском ребре (плата имеет одинаковую толщину, распространение тепла происходит равномерно)
- Отсутствует перенос тепла к корпусу блока (отсутствует кондукция).

Все элементы на плате рассматриваются в виде цилиндрических поверхностей, с площадью равной реальной.

Расчет

1. $q_k = \frac{P_b}{S}$ - удельная мощность блока
2. Коэффициент перфорации блока:
 - $A = \frac{S_P}{S}$
 - $K_{KP} = 0.06^A$ - при $0 < A \leq 0.125$
 - $K_{KP} = 0.82^A * 0.32^A$ - при $0.125 < A \leq 0.3$
 - $K_{KP} = 0.74^A * 0.46^A$ - при $0.3 < A \leq 0.6$
 - $K_{KP} = 0.6^A * 0.7^A$ - при $0.6 < A \leq 1.0$

3. Определение перегрева корпуса относительно температуры окружающей среды
 - Считаем, что перфорации нет (корпус герметичен, $S = 0$)
 - $\Theta = 0.1472 * q_k - 0.2962 * 10^{-3} q_k^2 + 0.3127 * 10^{-6} q_k^3$ - справедлива если $0 < q_k < 600/m^2$, считается что корпус уже покрашен
4. $K_{H_1} = 0.82 + \frac{1}{0.925 + 4.6 * 10^{-5} H_1}$ при $700 \leq H_1 \leq 1.2 * 10^5$ Па - Коэффициент определяет давление окружающей среды
5. $\Theta = \Theta_{k0} K_{H_1} K_{KP}$ - Вводим поправочный коэффициент (если не знаем, выбираем коэффициент порядка 0.3)
6. $K_3 = \frac{\sum V_i}{V}$ - Определяем коэффициент заполнения блока
7. $q_3 = \frac{P_b}{SK_3}$ - Удельная мощность рассеиваемая нагретой зоной
8. Определение средне-объемного перегрева нагретой зоны
 - $S_p = 0$, давление считается нормальной
 - $\Theta_{30} = 0.139 q_3 - 0.1223 * 10^{-3} q_3^3 + 0.0698 * 10^{-6} q_3^3$ при $0 < q_3 < 800$ ВТ/ m^2
9. $K_{H_2} = 0.8 + \frac{1}{1.25 + 3.8 * 10^{-5} H_2}$ при $700 \leq H_1 \leq 1.2 * 10^5$ Па - Коэффициент, учитывающий давление внутри корпуса блока
10. $\Theta_3 = \Theta_k + (\Theta_{30} - \Theta_{k0} K_{H_2} K_{kp})$ - Средне-объемный перегрев нагретой зоны
11. $\Theta_B = \frac{\Theta_3 + \Theta_k}{2}$ - средне-объемный перегрев воздуха внутри блока
12. $R = \sqrt{\frac{S_{e0}}{\pi}}$ - Эквивалентный радиус элемента
13. Промежуточный параметр m (нужен в дальнейшем)
 - $\lambda_p = 0.372$ ВТ/ m^2 С - для платы с фольгированным текстолитом
 - $m = \sqrt{\frac{2 * (\alpha_k \frac{H_2}{10^5} + \alpha_l)}{\lambda_p \delta_p}}$
14. $K_\alpha = \frac{23.54}{4.317 + lg S_e}$ - Коэффициент учитывающий теплоотдачу с корпуса элемента
15. $B = (\alpha_k \sqrt{\frac{H_2}{10^5}} + \alpha_l) \pi * R^2$ - вспомогательный коэффициент В (определяет расположение элементов на печатной плате). Специфический случай - $B = 0$, когда элементы расположены с двух сторон печатной платы.

16. $\Theta_e = \frac{P_e}{[(K_\alpha - \alpha_L) \sqrt{\frac{H_2}{10^5}} + \alpha_L](S_e - S_{e0}) + [\frac{\delta_3}{\lambda_3 \pi R^2} + (B + M \pi R \lambda_P \delta_P m \frac{K_1(mR)}{K_0(mR)})^{-1}]^{-1}}$ - перегрев корпуса элемента относительно воздуха в блоке

17. $\Theta_e + \Theta_B + t_c$ - Температура корпуса элемента

Лекция №8

Жидкостное охлаждение

Не очень распространен, но в последнее время используется.

Разделяется на естественную (оболочка устройства заполняется диэлектрической жидкостью) и принудительное (вода, которая протекает через трубопроводы + внешний радиатор).

Микроканальное жидкостное охлаждение (применяется для процессоров/МК и так далее), обычно непосредственно интегрируется в сам процессор при производстве, иногда применяется радиатор с микроканалами.

Самый эффективный вариант - испарительно-кондиционное охлаждение (забор тепла при испарение жидкости и конденсация, т.е. уже выделение тепла за пределами).

Термоэлектрические устройства охлаждения (элементы Пельтье) - применяются редко, КПД достаточно низкий, существует проблема с отводом тепла. Так же применяется для нагрева аппаратуры (допустим для запуска при морозе). Могут соединяться в каскаде, но эффективность достаточно малая (1 элемент - 30%, 2 - +12%, 3, - +6% и так далее).

Защита от влаги

Нормальная влажность 70 - 75 %.

Аппаратура не работает в жидкости, так как вода очень активный химический элемент (может происходить гидролиз с изоляцией проводников, как следствие возникают кислоты), может генерировать конденсат, что может привести к печальным последствиям.

Любое покрытие уменьшает теплоотдачу, поэтому не стоит делать покрытие «с запасом». Так же это уменьшает ремонтпригодность платы, так как для замены элемента придется отодрать все это покрытие.

Защита:

- Покрытия менее активными химическими материалами (олово/медь/цинк/серебро)
- Оксидирования - создания окисной пленки (применяется в качестве грунта для покраски)
- Анодирование
- Фосфатирование

Все это применяется в качестве грунта для покраски, дальше используется покрытие лаком/краской. Но при этом нужно иметь ввиду, рано или поздно вода проникнет какую бы защиту вы не применяли.

Основной параметр при защите - толщина покрытия.

$\Gamma = -DgradC$ - Закон Фике - проникновение влаги через какое-либо вещество

- Γ - сколько влаги пройдет через поверхность
- D - ...
- C - концентрация водяных паров

$C = hp$ - Закон Генри - связывает концентрацию водяных паров и парциальное давление.

Наша задача определить, какую толщину покрытия стоит использовать.

При $h \ll h_s$ ведем расчет по формуле $\tau = \frac{\Delta x^2}{D} \ln \frac{P_a - P_i}{2(P_a - P_0)}$

- τ —
- Δx - толщина покрытия
- D - ...
- P_a - парциальное давление водяных паров в воздухе при эксплуатации изделия
- P_i - парциальное давление на поверхности изделия под влагозащитной оболочкой
- P_0 - парциальное давление в момент герметизации

При $h_v \gg h_s S \Delta x$ ведем расчет по формуле $\tau = \frac{hV\Delta x}{h_s DS} \ln \frac{P_a - P_i}{P_a - P_0}$

Защита от пыли

Пыль - смесь твердых частиц малой массы. В зависимости от массы могут распространяться очень далеко, существует везде и проникает везде. Она может притягиваться так как обладает некоторыми электрическими характеристиками, при низкой влажности пыль заряжается и может случиться пробой аппаратуры через пыль.

Делится на:

- Естественная
- Техническая

Основные проблемы:

- Ухудшение контактов
- Ухудшение гидролиза
- Источник возникновения плесени/грибков

Можно бороться одним способом - герметизация корпуса, но это увеличивает стоимость и ухудшается теплоотвод. Вариант лучше - избыточное давление в блоке, за счет этого пыль не будет проникать в корпус. Так же в идеале, помещение с аппаратурой должно быть чистым, но это не всегда возможно.

Лекция №9

Эргономика

Определяется физическими параметрами человека (силовые/скоростные и т.д.) и эстетическими параметрами. В первую очередь обращать внимания на изделия, которые применяются для работы (допустим на заводе).

Эргономика - это ...

Дизайн - это должна быть гармоничная среда и эстетический уровень изделия.

Комфорт - совокупность положительных психо-физиологических ощущений человека в процессе контакта с внешним объектом.

При проектировании нужно учитывать предметную среду (место где она будет установлена) .

Предметно-пространственная среда - подразумевает дополнительные требования к помещениям/освещенности и т.д.

Закон соответствия - средства деятельности должны быть адекватны возможностям человека, осуществляющим эту деятельность.

Всегда есть ограничения:

1. ...
2. Быстродействие - человек не может действовать мгновенно.

Два базовых принципа которые определяют функциональный комфорт:

1. Оптимальное психо-физиологическое состояние человека в процессе активной деятельности, проявляющаяся в виде положительных эмоциональных реакций и удовлетворенности.
2. Эргономический критерий адекватности предметного окружения индивидуальным возможностям и потребностям человека

Эргодизайн

Все вышесказанное объединяется в науку - эргодизайн.

Эргодизайнерские показатели:

1. Гигиенические
 - Освещенность
 - Тепловой баланс
 - Уровень шумов и вибраций
 - Уровень электромагнитных полей
 - Уровень ионизации
 - Токсичность
 - Климатический комфорт
2. Антропометрические
 - Компоновка
 - Достижимость рабочих органов
 - Размер

- Форма - оптимальная форма это квадрат с соотношением 3 к 1
- Соотношение объема и пространства
- Пропорциональность и симметричность конструкций
- Стилль дизайна

3. Физиолого-психологические

- Статические и динамические нагрузки (скоростные и силовые)
- Слуховые
- зрительные
- эмоциональные
- тактильные

Аппаратура делется на:

1. Человек - машина
2. Человек - инструмент

Оптимальный вариант - 3-5 источников информации, иначе время реакции увеличивается.

40 бит/с - максимальное количество информации которое воспринимает человек, нормальная - 6 бит/с, меньше 2 бит/с - плохо.

Аппаратура должна светиться/жужжать/etc, иначе человек думает, что она не работает.

Есть принцип «7 J 2» - человек наилучшим образом запоминает 7 букв и две цифры.

Речевая информация должна использоваться в меньшей степени.

Тепло - 22-24 градуса, холодно - 18-22, все остальное - не комфортные условия. 44+ или < -1 градуса = невыносимые условия.

Углекислый газ, шум тоже влияет на человека. 40-90 дБ - комфортные, < 40 или > 90 - не комфортные, 130 дБ - смерть.

Все кнопки должны быть определенных размеров (не должны быть маленькими/большими, стоит ориентироваться на палец). Не должно быть кнопок, которые нажимаются без усилий - кнопка должна иметь ход (минимальное движение кнопки = 3 мм) в идеале в конце она должна щелкнуть. Опти-

мальный размер кнопки - 13 мм. Если кнопка стоит на уровне крышки/etc, то надо делать выемку в кнопке.

Свет - зеленый = все ок, красный = опасно, желтый = что-то не так.

Для шрифтов есть таблицы, соотношение между шириной и высотой строго регламентировано (1 к 8 соотношение должно быть).