ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Основною метою практичних занять є набуття практичних навичок з аналізу, синтезу, розрахунків, необхідних при конструюванніі Цифр та Аналог ЕП. Тема практичного заняття доводиться до студентів заздалегідь, на попередньому занятті або на лекції. На початку занять проводиться усне або письмове опитування для оцінки якості засвоєння матеріалу попереднього заняття або за заданою теміою В кінці заняття кожен студент отримує індивідуальне завдання з теми практичного заняття для закріплення матеріалу.

Перелік тем, що виносяться на практичні з аняття:

Осінній семестр (7)

1. Фізичні величини / одиниці для параметрів електронних пристроїв, що необхідні для конструювання.
2. Вивчення вимог ЄСК Д – єдиної системи конструкторської та креслярської документацій. Вивчення завдань інженерного проектування електронних виробів..
3. Правила виконання, читання та розробка складальних креслень.
4. Правила виконання, використання та розробка креслень деталей.
5. Теплообмін в РЕА. Розрахунки теплового режиму герметичного блоку.
6. Модулі нульового рівня. Високочастотні котушки індуктивності. Розрахунки одно- та багатошарових котушок.
7. Розрахунок коефіцієнту екранування електростатичного екрану.
8. Модулі нульового рівня Трансформатори. Еквівалентні схеми для сигналів НЧ и ВЧ. Розрахунки *сигнальних* вхідних, узгоджувальних та вихідних. (*Силові* трансф-ри вивчають в курсі «Електроживлення РЕА» по кафедрі РТПС і тому нами не розглядуються).
9. Друковані плати. Розрахунки топології їх виготовлення (див. Тему 7 Лекцій)..
10. Надійність РЕА. Розрахунки надійності за раптовими відмовами.

Весняный семестр (8)

11. Надійність РЕА. Розрахунок надійності пристрою при загальному та роздільному резервуванні..
12. Точність виготовлення РЕА. Розрахунки електричних допусків реальних конструкторських елементів каскаду підсилення – резисторів, конденсаторів тощо.
13. Розрахунок коефіцієнтів навантаження елементів електричної принципової схеми підсилювача.
14. Розрахунок ремонтопридатності пристрою.

15. Розрахунки трьох типів гучномовців акустичних систем (АС) для озвучування приміщень:

1. АС закрирої (ЗАС), ,
2. АС з фазоінвертором (ФІАС),
3. АС з пасивним випромінювачем (АСПВ).

Примеры расчётов на практических занятиях

1 Высокочастотные катушки индуктивности

В тексте и рисунках есть опечатки, требуется совместная с вами, РА,РС,РТ-11, правка от руки в аудитори // SAS/11.10.2014

8.1 Однослойная катушка, 8.2 – Многослойная катушка

Пример 8.1. Рассчитать размеры, число витков, добротность и собственную емкость катушки индуктивности по следующим данным: индуктивность $L=3$ мкГн; диаметр каркаса $D_0=1$ см; $f=15$ МГц, добротность должна быть максимально возможная.

1. Находим оптимальный диаметр провода, учитывая что для однослойной катушки $D_0=D$.

Пусть $l/D=1$, тогда $l=1D_0=1$ см.

По графику (рис. 8.11) находим вспомогательный коэффициент $S=0{,}34$.

По (8.22) находим коэффициент p_1: $p_1^2=(LS^2)/D^3=(3\cdot 0{,}34^2)/1^3=0{,}35$; $p_1=0{,}59$.

По (8 23) определяем коэффициент α_1: $\alpha_1=f_{ср}/p_1^2=(15\cdot 10^6)/0{,}35=4{,}3\cdot 10^7$

По графику (рис. 8.12) находим коэффициент β_1: $\beta_1=0{,}18$.

По (8.24) определяем оптимальный диаметр провода: $d_{опт}=\beta_1/p_1=0{,}18/0{,}59=0{,}306$ мм.

Обмотку выполняем из медного посеребренного неизолированного провода $d=0{,}315$ мм.

2. Число витков катушки.

По графику (рис. 8.6) определяем коэффициент $L_0=6{,}8$,

Технологический пробел. Инф. Не утеряна

//SAS

По (8.16) находим число витков

$$N=\sqrt{\frac{10^3\cdot L}{L_0 D}}=\sqrt{\frac{10^3\cdot 3}{6,8\cdot 1}}=21.$$

Проверяем возможность размещения указанного числа витков на принятой длине обмотки.

По (8.4) находим шаг намотки: $\tau=l/(N-1)=10/(21-1)=$ $=0,5$ мм.

Так как $\tau>d$, обмотку можно разместить на каркасе принятых размеров.

3. Собственная емкость катушки.

По (8.20), $C_0=0,5\cdot 1=0,5$ пФ.

Полагая, что обмотка будет выполняться на гладком каркасе,

По (8.20), $C_0=0,5\cdot 1=0,5$ пФ.

4. Добротность катушки индуктивности.

По (8.31) находим сопротивление провода катушки току высокой частоты:

$$r_f=\frac{0,525\cdot DN\sqrt{f}\cdot 10^{-3}}{d}=\frac{0,525\cdot 1\cdot 21\cdot\sqrt{15}\cdot 10^{-3}}{0,0315}=1,37 \text{ Ом}.$$

По (8.32) находим сопротивление потерь в диэлектрике собственной емкости, полагая, что каркас выполнен из пресс-порошка К-211-2 ($\operatorname{tg}\delta=0,01$); $r_д=250C_{0д}\operatorname{tg}\delta L^2f^3\cdot 10^{-6}=250\cdot 0,21\cdot 0,01\cdot 3^2\cdot 15^3\times$ $\times 10^{-6}=0,016$ Ом; $r_д\ll r_f$.

Следовательно, влияние $r_д$ в данном случае можно не учитывать.

Добротность катушки

$$Q=\frac{\omega L}{r_f}=\frac{2\cdot 3,14\cdot 15\cdot 10^6\cdot 3\cdot 10^{-6}}{1,37}=206.$$

Пример 8.2. Определить размеры, число витков, добротность и собственную емкость катушки индуктивности по следующим данным: индуктивность $L=900$ мГн; диаметр каркаса $D_0=1,2$ см; длина намотки $l=0,5$ см; наружный диаметр $D\leqslant 1,8$ см; $f=330$ кГц (собственная емкость катушки минимальная).

1. Оптимальный диаметр провода обмотки.

Определяем радиальную глубину обмотки, задаваясь $D=1,8$ см. По (8.6) находим $t=(D-D_0)/2=(1,8-1,2)/2=0,3$ см.

Отношения $l/D=0,5/1,8=0,276$ и $t/D=0,3/1,8=0,166$.

По графику (рис. 8.11) находим вспомогательный коэффициент $S=0,8$.

По (8.22) получаем коэффициент p_1: $p_1^2=(LS^2)/D^3=(900\cdot 0,8^2)/$ $/1,8^3=100$; $p_1=10$.

По (8.23) находим коэффициент $\alpha_1=\frac{f_{ср}}{p_1^2}=\frac{330\,000}{100}=$ $=3,3\cdot 10^3$.

По графику (рис. 8.12) находим $\beta_1=1,3$.

По (8.24), $d_{опт}=\beta_1/p_1=1,3/10=0,13$.

Обмотку будем выполнять проводом ПЭВ-1 ($d=0,125$ мм; $d_{из}=$ $=0,15$ мм).

По (8.8) определим угол φ_{max}, который образует провод с тор-

цом катушки:

$$\operatorname{tg}\varphi_{max}=\frac{pl}{\pi D_0}=\frac{2\cdot 0,5}{3,14\cdot 1,2}=0,265.$$

$\varphi_{max}=15°$; $\sin\varphi_{max}=0,259$.

Такое значение φ_{max} для провода ПЭВ-1 является допустимым.

По (8.10) найдем угол запаздывания (опережения):

$$\operatorname{tg}\beta\geqslant\frac{2d_{из}}{D_0\sin\varphi}=\frac{2\cdot 0,015}{1,2\cdot 0,259}=0,097;$$

$\beta\geqslant 5,55°$, примем $\beta=6°$.

По (8.11) находим число циклов (для обмотки с запаздыванием):

$$N_ц=N\left(1-\frac{\beta}{360}\right)=247\left(1-\frac{1}{360}\right)=243.$$

По (8.12) определяем радиальную толщину обмотки:

$$t=\frac{N_ц\beta pd_{из}}{180}=\frac{243\cdot 6\cdot 2\cdot 0,15}{180}=2,43\text{ мм}.$$

2. Находим фактическое значение наружного диаметра катушки: $D=D_0+2t=1,2+2\cdot 0,243\cong 1,68$ см.

Так как полученное в результате расчета значение D отличается от того, которым задавались в начале расчета, производим проверку индуктивности.

Примечание. Уточнение $d_{опт}$ можно не производить, так как малые отклонения d от оптимального значения практически не влияют на добротность катушки.

Отношения $l/D=0,5/1,68\cong 0,3$; $t/D=0,24/1,68=0,14$.

По графику (рис. 8.6) находим $L_0=8,8$.

По (8.15) определяем индуктивность: $L=L_0DN^2\cdot 10^{-3}=8,8\cdot 1,68\times\times 247^2\cdot 10^{-3}=901,7$ мкГн.

Так как отличие расчетной величины L от заданного значения не превышает 0,2 %, то дальнейшего уточнения числа витков не требуется

3 В соответствии с данными, приведенными в § 8.3, примем собственную емкость катушки $C_0=8$ пФ.

4 Добротность катушки.

По (8.8) определяем значение $\varphi_{ср}$, для чего D_0 заменяем $D_{ср}$

$$\varphi_{ср}=\frac{pl}{\pi D_{ср}}=\frac{2\cdot 05}{3,14\cdot 1,44}=0,22.$$

По (8.29) определяем сопротивление провода катушки индуктивности постоянному току:

$$r_0'=\frac{7,3D_{ср}N\cdot 10^{-6}}{\cos\varphi_{ср}d^2}=\frac{7,3\cdot 1,44\cdot 247\cdot 10^{-6}}{0,975\cdot 0,013^2}=15,8\text{ Ом}.$$

По (8.28) определяем вспомогательный параметр

$$z=0,1d\sqrt{f}=0,1\cdot 0,013\sqrt{0,33\cdot 10^6}=0,75.$$

По табл. 8.3 находим значения коэффициентов: $F(z)=1$; $G(z)=0,005$.

По графику (рис. 8.13) находим коэффициент $k_3=13$.

По (8.27) определяем сопротивление провода катушки току высокой частоты:

$$r_f = r_0'\left[F(z) + \left(\frac{k_3 Nd}{2D}\right)^2 G(z)\right] = 15{,}8\left[1 + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{13\cdot 247\cdot 0{,}13}{2\cdot 1{,}68}\right)^2 \cdot 0{,}005\right] = 28 \text{ Ом}.$$

Добротность катушки

$$Q = \frac{\omega L}{r_f} = \frac{6{,}28\cdot 0{,}33\cdot 10^6\cdot 900\cdot 10^{-6}}{28} = 67.$$

Примечание. Произведя вычисления по (8.32), можно показать, что потери в диэлектрике $r_д \ll r_f$ и на величину Q практически не влияют.

2. Расчёт амортизатора

Пример 16.1. Выбрать типоразмер амортизатора для блока по следующим данным.

Намеченные из конструктивных соображений места установки амортизаторов показаны на рис. 16.4, *б*: $a_1=140$ мм, $a_2=160$ мм, $b_1=90$ мм, $b_2=110$ мм. Масса блока $m_0=11$ кг. Диапазон вибраций $f=25\div 200$ Гц. Блок будет эксплуатироваться на самолете при температуре от +60 до —60 °С.

1. По (16.7) находим нагрузку на каждый амортизатор:

$$P_1 = \frac{m_0 g a_2 b_2}{(a_1 + a_2)(b_1 + b_2)} = 11\cdot 9{,}81\cdot 160\cdot 110/(140 + 160)(90 + 110) =$$

$$= 31{,}6 \text{ Н};$$

$$P_2 = 11\cdot 9{,}81\cdot 140\cdot 110/(140 + 160)(90 + 110) = 27{,}5 \text{ Н};$$

$$P_3 = 11\cdot 9{,}81\cdot 140\cdot 90/(140 + 160)(90 + 110) = 22{,}6 \text{ Н};$$

$$P_4 = 11\cdot 9{,}81\cdot 160\cdot 90/(140 + 160)(90 + 110) = 25{,}7 \text{ Н}.$$

Исходя из условий эксплуатации, выбираем амортизатор типа АПНМ.

Диапазон нагрузок для амортизаторов $P=22{,}6\div 31{,}6$ Н.

По табл. 16.1 выбираем амортизатор АПНМ-3, предназначенный для работы при нагрузках от 20 до 35 Н.

Для этого амортизатора собственная резонансная частота при номинальной нагрузке $f_0=13\div 17$ Гц.

Проверяем условие по формуле (16.3) $f/f_0=25/(13\div 17)=$ $=(1{,}92\div 1{,}46)>1{,}41$.

Так как условие (16.3) выполняется для низшей частоты диапазона вибраций, то амортизатор будет обеспечивать виброизоляцию во всем заданном диапазоне частот.

Размеры амортизатора АПНМ-3 приведены в табл. 16.2.

Таблица 16.1

Основные параметры амортизаторов

Тип АП			Тип АД			Тип АПНМ		
Типоразмер	Нагрузка P_{max}, Н	f_0, Гц при $P_{ном}$	Типоразмер	Нагрузка $P_{ном}$, Н	f_0, Гц при $P_{ном}$	Типоразмер	Нагрузка $P_{ном}$, Н	f_0, Гц при $P_{ном}$
АП-2-0,45	4,4		АД-0,6	3—6		АПНМ-1	5—9	
АП-2-0,9	8,8		АД-1,0	6—10		АПНМ-2	9—20	
АП-2-1,35	13,2	12,5	АД-1,5	10—15		АПНМ-3	20—35	
АП-2-1,8	17,6		АД-3,0	15—30	7—9	АПНМ-4	35—60	13—17
АП-2-2,25	22		АД-5,0	30—50		АПНМ-5	60—90	
АП-2-2,7	26,5		АД-7,0	50—70		АПНМ-6	90—150	
АП2-3,6	35		АД-10	70—100				
АП2-4,5	44		АД-15	100—150				

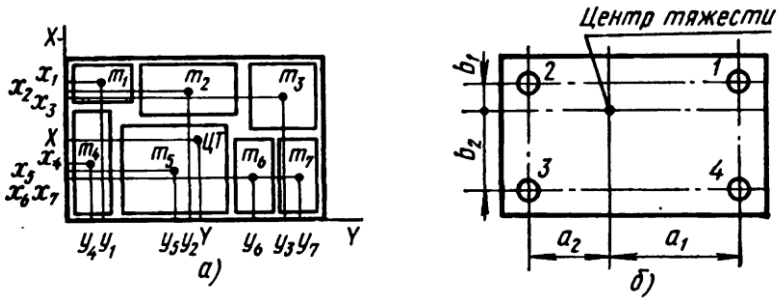

Рис. 16.4. К расчетам для выбора амортизаторов

Таблица 16.2

Амортизаторы АПНМ

Типоразмер	Размеры, мм (см. рис. 16.7)					
	H	*h*	*A*	*B*	*D*	*d*
АПНМ-1	49	34,8	38	29	38	4,2
АПНМ-2	59	43,2	44	35	40	4,2
АПНМ-3	59	43,2	44	35	40	4,2
АПНМ-4	67	47,9	52	41	47	5,2
АПНМ-5	67	47,9	52	41	47	5,2
АПНМ-6	77	56,2	59	47	55	7

ные деформации. Жесткость амортизаторов выбирают такой, чтобы в сочетании с массой амортизируемого изделия они образовывали колебательную систему с низкой резонансной частотой, т. е. чтобы выполнялось условие $f \gg f_0$. Тогда в соответствии с формулой (16.1) и рис. 16.2 $\gamma \ll 1$, т. е. амплитуда колебаний аппарата меньше амплитуды колебаний основания. Коэффициент γ называют *коэффициентом виброизоляции.*

Из (16.1) следует, что $\gamma < 1$, если

$$f/f_0 > 1{,}41. \qquad (16.3)$$

Чем больше отношение f/f_0, тем меньше значение γ и тем лучше виброизоляция.

Учитывая, что фактическое значение f_0 может отличаться от расчетного, а также то, что при $f/f_0 = 1{,}41$ $\gamma = 1$, на практике обычно выбирают $f/f_0 > 2{,}5$.

3. Расчёт вибропрочности печатной платы

http://mylektsii.ru/3-23774.html

Существуют четыре вида *механических нагрузок на конструкцию РЭС:*

- *вибрации;*

- удары;

- линейные и центробежные ускорения;

- шум и акустические удары.

Источниками этих воздействий могут быть различные силовые установки, быстровращающиеся разблокированные массы, акустические шумы, ударная волна, качка и многое другое.

Они приводят к помехам в канале передачи информации, к паразитной модуляции в каналах связи, к снижению точности работы аппаратуры. В особых случаях – к механическим разрушениям элементов конструкции РЭС.

Для обеспечения необходимой надежности и стабильности характеристик РЭС при интенсивных механических воздействиях применяется ряд способов.

Здесь принципиально возможны следующие:

- использование наиболее устойчивых к механическим воздействиям ЭРЭ и узлов;

- повышение прочности, и, как следствие, массы элементов конструкции;

- защита РЭС от источников механических воздействий, достигаемая установкой амортизаторов. Может быть общей, когда изолируется все изделие, или локальной, когда амортизируются определенные части изделия или элементы;

- устранение или уменьшение до допустимого уровня резонансных явлений, несущих РЭА. Достигается выведением спектра собственных частот колебаний элементов конструкции за границу диапазона частот возмущающего воздействия или увеличением демпфирующих свойств;

- **применение активной виброзащиты** в виде автоматических систем с внешним источником энергии.

Необходимо уточнить, что задача обеспечения надежности РЭА при механических воздействиях тесно связана с другими задачами конструирования, такими как обеспечение массогабаритных показателей изделия согласно ТЗ, обеспечение теплового режима, ремонтопригодности и других. К тому же в данном случае применение активных методов **виброзащиты, амортизаторов не приемлемо**, так как существуют жесткие ограничения по массе, габаритам и частным эксплуатационным показателям.

При конструировании модуля МСС могут быть применены следующие меры:

- использование наиболее устойчивых к механическим воздействиям ЭРЭ, повышение прочности конструктивных элементов;

- устранение или уменьшение до допустимого уровня резонансных явлений в конструкции.

Вопрос применения наиболее устойчивых к механическим воздействиям ЭРЭ был решен при разработке электронной схемы изделия путем применения комплектующих изделий с уровнем приемки 5.

Наиболее опасным при вибрационных воздействиях является резонанс вынужденных и собственных колебаний механической системы конструкции, при котором разрушающие амплитуды могут возрастать в десятки раз.

*Следовательно, для проверки **виброустойчивости** всего изделия в целом необходимо произвести расчет собственной резонансной частоты **наименее вибропрочного элемента** – платы ЛКЦ (прибора ТА297). Данный узел имеет размеры 140×160 мм.*

Исходные данные, которые требуются при расчете собственной частоты платы:

· Способ закрепления платы в блоке:

Крепление платы к основанию осуществляется в 4 точках. Плата непосредственно фиксируется в модуле свинчиванием с остальными платами, составляющими модуль, по 4-м углам винтами с шайбами. Центр платы фиксируется шпилькой, соединенной с корпусом модуля сверху и снизу.

· Геометрические размеры платы:

A = 0,160 м; B = 0,140 м; h = 0,002 м.

· Необходимые данные:

материал платы – фольгированный стеклотекстолит;

- модуль упругости: $E = 3 \cdot 10^{10} \left[\frac{H}{м}\right]$;

- плотность стеклотекстолита $\rho_{пл} = 2{,}18 \cdot 10^3 \left[\frac{кг}{м^3}\right]$;

Блок испытывается на вибростенде на частотах 80 – 320 Гц с ускорением 1 – 2g.

Частота собственных колебаний для данного ЭРЭ определяется либо расчетом, либо по графику частоты собственных колебаний. С целью упрощения расчета воспользуемся **графиками частот собственных колебаний**, тогда для различных групп ЭРЭ она составит:

- для резисторов МЛТ-0,125 – 2 кГц,

- для резисторов МЛТ-0,25 – 2 кГц,

- для неэлектролитических конденсаторов – 3 кГц,

- для электролитических конденсаторов – 5 кГц,

- для транзистора – 2 кГц.

-для сборок резисторных – 3кГц

-для микросхем – 2кГц

- сборки транзисторные -3 кГц

Собственная частота колебания печатной платы рассчитывается по формуле:

$f_0 = 1{,}57\left(T + \frac{1}{B^2}\right)\sqrt{\frac{D}{m}}$,	(2.2.4.1)

где, *T* – коэффициент, зависящий от количества винтовых соединений:

$T = \frac{1}{a^2} = \frac{1}{0{,}0256} = 39{,}063$	(2.2.4.2)

D – цилиндрическая жесткость, определяется по формуле:

$D = 0{,}09 \cdot E \cdot h^3$,	(2.2.4.3)

$$D = 0{,}09 \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot 2^3 \cdot 10^{-9} = 21{,}6 \ \left[Па \cdot м^3\right]$$

m – плотность распределения массы ЭРЭ по площади печатной платы, определяемая по формуле:

$m = \frac{M_\Sigma}{S_{пп}}$,	(2.2.4.4)

где $S_{пп}$ – площадь печатной платы:

$S_{пп} = A \cdot B$,	(2.2.4.5)

$$S_{пп} = 0{,}16 \cdot 0{,}14 = 0{,}0224 \ \left[м^2\right];$$

M_Σ – суммарная масса печатной платы и всех радиоэлементов:

$M_{\Sigma} = M_{пп} + M_{ЭРЭ}$,	(2.2.4.6)

где $M_{пп}$ – масса печатной платы:

$M_{пп} = \rho_{пп} \cdot S_{пп} \cdot h$,	(2.2.4.7)

$$M_{пп} = 2{,}18 \cdot 10^3 \cdot 0{,}0224 \cdot 0{,}002 = 0{,}0976 \ [кг] ;$$

$M_{ЭРЭ}$ – масса всех радиоэлементов, которая для данной платы составляет 0,0178 кг.

Тогда $M_{\Sigma} = 0{,}0976 + 0{,}0178 = 0{,}1154 \ [кг]$.

$$m = \frac{0{,}1154}{0{,}0224} = 5.15 \ \left[\frac{кг}{м^2}\right] .$$

Собственная частота колебаний печатной платы будет равна:

$$f_0 = 1{,}57\left(93{,}063 + \frac{1}{0{,}14^2}\right)\sqrt{\frac{21{,}6}{5{,}15}} = 463{,}273 \ [Гц] .$$

Собственная частота колебаний печатной платы **превышает заданную частоту** вынужденных колебаний. Критерием оценки вибропрочности конструкции является неравенство:

$n \geq \sqrt{2}$,	(2.2.4.8)

где, n – запас по частоте, определяемый по формуле:

$n = \frac{f_0}{f_{вын}}$.	(2.2.4.9)

где $f_{вын}$ – это вынужденная частота колебаний системы, из ТЗ она равна 320 Гц.

Тогда запас по частоте равен:

$$n = \frac{463,273}{320} = 1,447$$

Условие $n \geq \sqrt{2}$, т. е. $1,447 = \sqrt{2}$ выполняется, следовательно необходимая вибропрочность модуля ПУ обеспечивается.

Вывод: Вибропрочность платы лежит в установленных пределах, поэтому целесообразность конструирования подтверждается.