

➤ ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИРТУАЛИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ И ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ АСОНИКА

(Окончание. Начало см. CADmaster, № 2/2020, с. 62-67)

4.3. *Комментарий к работе ВКБ по рис. 3.* Согласование происходит через А между:

- Сх и Рсх по электрической схеме (расчет схемы);
- Сх и А-СБД по вопросам электрических параметров ЭКБ;
- Рпу и А-СБД по вопросам геометрических, теплофизических, физико-механических и других параметров ЭКБ;
- Рн и А-СБД по вопросам надежности параметров ЭКБ;
- Рк и А-СБД по вопросам допустимых электрических, тепловых, механиче-

ских и других параметров ЭКБ для заполнения КРР;

- Сх и К по электрической схеме (создание конструкции);
- Рпл и К по вопросам создания окончательного варианта конструкции ПУ;
- Ртн и К по вопросам обеспечения стойкости конструкции к тепловым и другим воздействиям;
- Рмн и К по вопросам обеспечения стойкости конструкции к механическим воздействиям.

По этой схеме могут быть реализованы две модели ВКБ.

4.4. *Модель 1.* ВКБ действует в рамках локальной сети одного предприятия. В этом случае роль администратора выполняет PDM-система. За человеком остаются функции настройки и обеспечения нормальной бесперебойной работы PDM-системы, а также формирования полного отчета по результатам автоматизированного проектирования.

4.5. *Модель 2.* ВКБ действует через интернет. Работниками ВКБ являются представители различных предприятий и организаций, расположенных в различных городах. Требуется разработка управляющей программы через интернет.

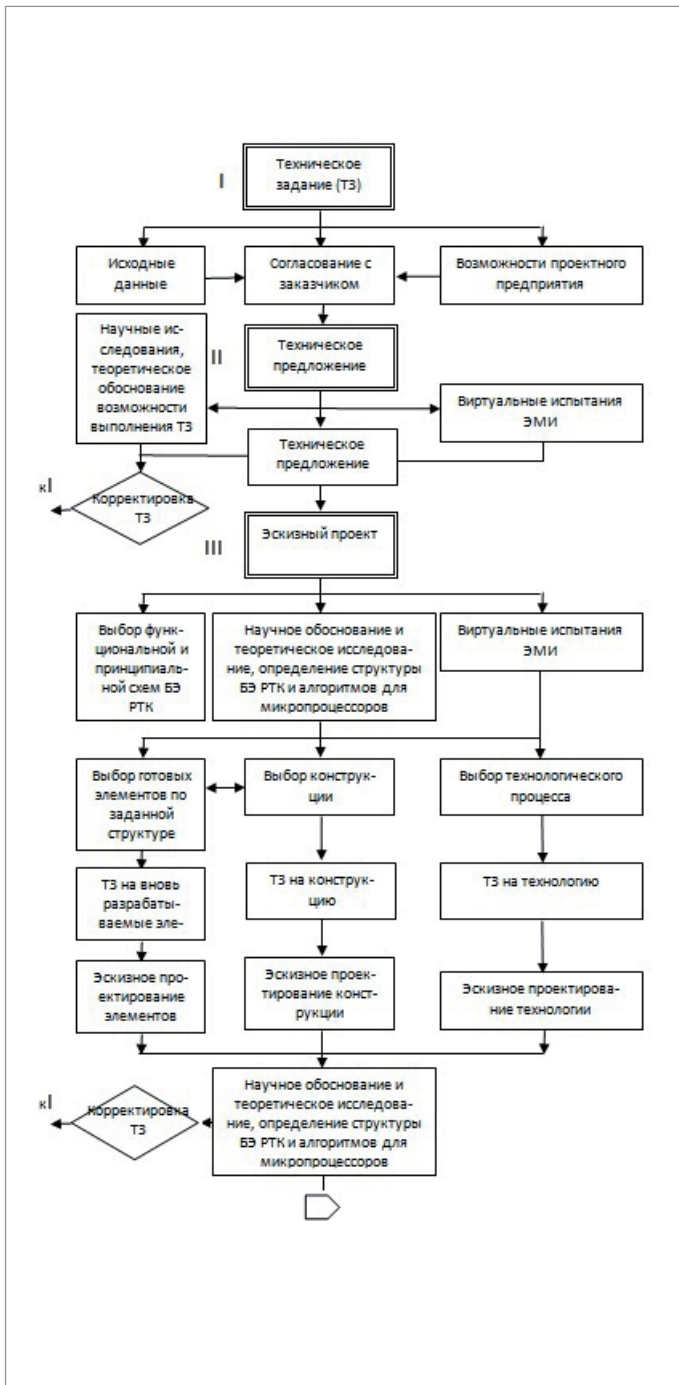


Рис. 3а. Структурная схема этапов проектирования ЭКБ и ЭА (начало)

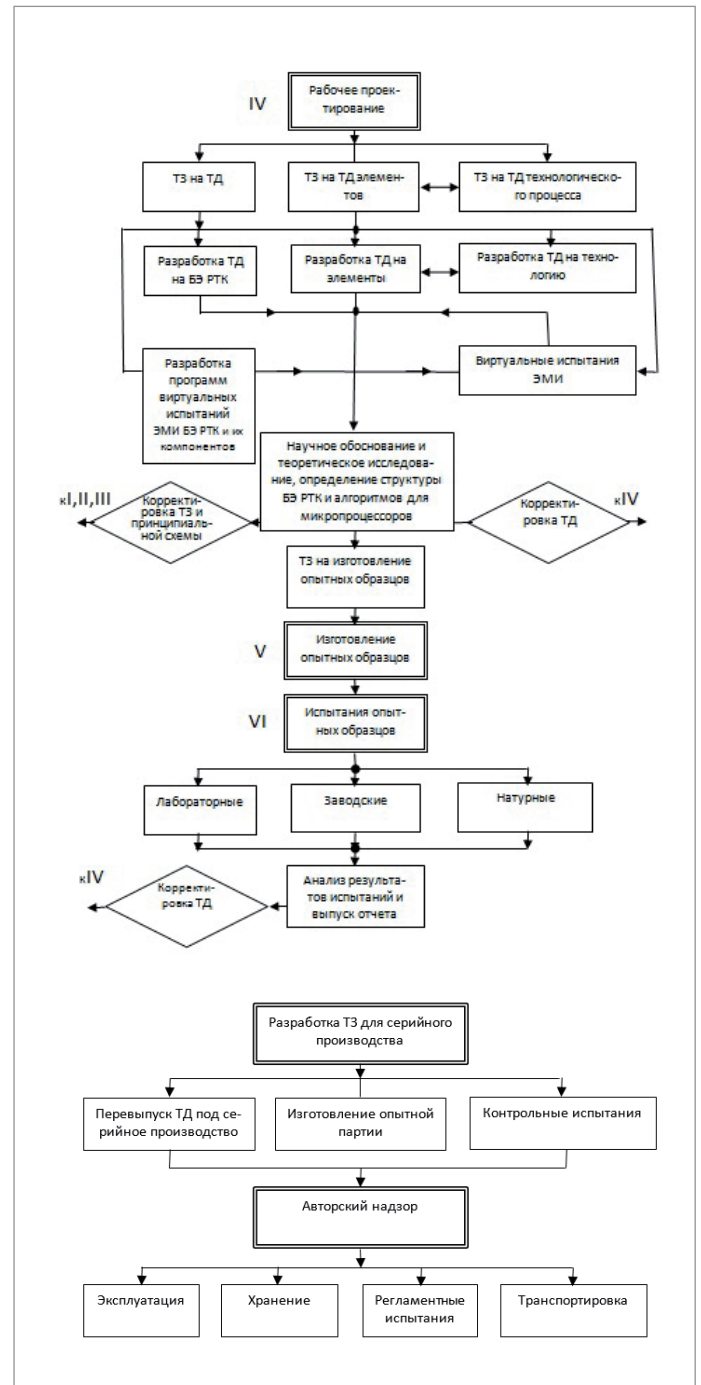


Рис. 3б. Структурная схема этапов проектирования ЭКБ и ЭА (окончание)

5. Этапы проектирования ЭКБ и ЭА с виртуализацией испытаний

На рис. 3 приведена общая схема этапов проектирования ЭКБ и ЭА.

6. Методика создания карт рабочих режимов ЭРИ на основе моделирования ЭКБ и ЭА на ВВФ

6.1. После проверки правильности применения ЭКБ в ЭА получают данные о результатах оценки номенклатуры, усло-

вий эксплуатации, электрических и температурных режимов работы ЭКБ. Эти данные в виде численных значений параметров, характеризующих фактические и требуемые по нормативно-технической документации (НТД) на ЭКБ условия их эксплуатации и режимы работы, оформляют в виде карт рабочих режимов (КРР).

6.2. Комплект КРР на сборочную единицу высшей ступени, в которую входят

сборочные единицы низших ступеней, включает в себя:

- титульный лист (формы 1 и 1а);
- содержание (формы 2 и 2а);
- перечень комплектов карт сборочных единиц низшей ступени (форма 3);
- карту оценки номенклатуры примененной ЭКБ и сведений о соответствии условий их эксплуатации и показателей надежности требованиям НТД (форма 4);



- карты ЭКБ, примененной при механических воздействиях, не соответствующей требованиям НТД на них (форма 5);

- карты режимов работы ЭКБ, входящих непосредственно в состав комплекта КРР (формы 6-87), например, соединители, тумблеры и т.п.

6.3. В комплект КРР на сборочную единицу низшей ступени, не имеющей в своем составе другой сборочной единицы (например, ячейка, типовой элемент замены и т.п.), входят:

- титульный лист (форма 1а);

- содержание (форма 2а);

- карта оценки номенклатуры примененной ЭКБ и сведения о соответствии условий их эксплуатации и показателей надежности требованиям НТД (форма 4);

- карты ЭКБ, примененной при механических воздействиях, не соответствующей требованиям НТД на них (форма 5);

- карты режимов работы ЭКБ, входящей в состав сборочной единицы (формы 6-87).

6.4. По согласованию с представителем заказчика допускается не включать формы 4 и 5 в комплект карт сборочных единиц низших ступеней. В этом случае при заполнении указанных форм для сборочной единицы высшей ступени в них необходимо включить всю ЭКБ, входящую в сборочные единицы низших ступеней.

6.5. Комплект КРР в окончательном виде представляется разработчиком ЭА на стадии разработки рабочей документации (по результатам испытаний опытного образца). Возможно составление КРР на более ранних стадиях разработки ЭА путем проведения расчетов по схемам или по результатам инструментальных измерений на макетах с последующей их корректировкой (по результатам измерений в опытном образце).

6.6. Для упрощения и ускорения процесса заполнения карт рабочих режимов ЭКБ необходимо использовать программное обеспечение, в дальнейшем называемое "подсистема". В подсистему должны быть заложены все возможные формы карт рабочих режимов последней редакции (2000 года).

6.7. Подсистема должна иметь базу данных, содержащую информацию о предельных значениях параметров ЭКБ, взятых из НТД. После задания пользователем перечня ЭКБ программа будет автоматически заносить информацию для

каждого элемента из базы данных в карты режимов в колонки *По НТД*. При этом в процессе верстки карты автоматически осуществляется сравнение значений параметров *В схеме*, которые получаются в результате моделирования в специализированных подсистемах, со значениями *По НТД* (кроме формы 4 "Карта оценки номенклатуры ЭКБ и сведений о соответствии условий их эксплуатации и показателей надежности требованиям НТД"). Значения *В схеме* выделяются красным цветом, если они превышают соответствующие значения *По НТД*. В базу данных могут вводиться числовые значения параметров как в виде констант, так и в виде табличных, графических и функциональных зависимостей параметров *По НТД* от параметров

Применение моделирования электронной компонентной базы (ЭКБ) и электронной аппаратуры (ЭА) на ранних этапах проектирования позволяет значительно уменьшить или полностью устранить их отказы на этапе натурных испытаний. Тем самым значительно сокращается количество натурных испытаний, возможных итераций при доработке схем и конструкций, снижаются затраты на разработку ЭКБ и ЭА при одновременном повышении качества и надежности, в том числе в критических режимах работы

В схеме (например, от температуры окружающей среды).

6.8. Результаты работы подсистемы — заполненные карты режимов ЭКБ — автоматически конвертируются программой в текстовый процессор Word, где они могут быть отредактированы и распечатаны в форматах А3 и А4.

6.9. Перечень ЭКБ, для которой нужно получить карты рабочих режимов, может быть введен как вручную пользователем, так и путем конвертирования из выходных файлов системы проектирования печатных плат.

6.10. Кроме того, конвертация перечней ЭКБ из любой системы должна осуществляться в рамках интегрированной информационной среды предприятия

(PDM-системы) через промежуточный текстовый файл. Возможен экспорт параметров ЭКБ в автоматизированную подсистему анализа показателей безотказности ЭКБ и ЭА.

6.11. Подсистема может использоваться как на одном рабочем месте, так и в сетевом варианте, когда на сервере установлена база данных, а на рабочих местах — управляющая программа. При этом редактировать базу данных может только ее администратор.

6.12. Справочная часть БД разрабатываемой подсистемы предназначена для хранения информации об ЭКБ и материалах конструкций, которая необходима для проведения моделирования физических процессов при комплексных внешних воздействиях. Поэтому справочная часть БД должна содержать:

- параметры материалов конструкций;

- параметры моделей ЭКБ для тепловых и механических процессов;

- предельно допустимые значения ускорений и температур ЭКБ, а также максимальные допустимые напряжения материалов, на основе которых может быть принято проектное решение;

- параметры выводов ЭКБ для разных вариантов установки ЭКБ на печатную плату для расчета усталостных характеристик;

- информацию об условном графическом изображении ЭКБ на плоскости и в пространстве для придания реалистичности отображения ПУ;

- полные условные записи ЭКБ для быстрого поиска ЭКБ.

7. Идентификация параметров

При подготовке исходных данных для математического моделирования физических процессов в ЭКБ и ЭА могут возникнуть проблемы, связанные с отсутствием значений некоторых параметров. Известные физико-механические параметры математических моделей ЭКБ и ЭА необходимо определять методом идентификации параметров, что обеспечивает высокую степень точности. Результаты, основанные на экспериментальных данных и полученные при проведении натурных испытаний, позволяют проводить наиболее точное моделирование физических процессов при воздействии различных дестабилизирующих факторов.

Приложение

ПРИМЕР РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ АСОНИКА

На рис. П.1-П.13 и в таблицах П.1-П.4 представлены некоторые результаты моделирования ЭКБ и ЭА, полученные с помощью системы АСОНИКА. На рис. П.1 отображена топологическая модель тепловых процессов (МТП) блока ЭА при вынужденной конвекции, созданная в подсистеме АСОНИКА-Т.

В таблице П1 представлены результаты моделирования тепловых процессов блока ЭА при вынужденной конвекции, полученные в подсистеме АСОНИКА-Т. На рис. П.2 показаны поля перемещений в конструкции блока ЭА на резонансной частоте 180 Гц. Аналогично можно вывести поля ускорений и напряжений.

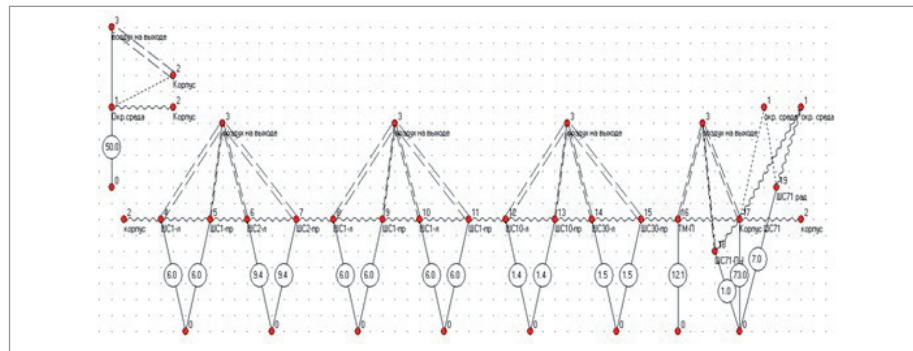


Рис. П.1. Топологическая МТП блока ЭА при вынужденной конвекции

Таблица П.1. Результаты расчета блока ЭА при скорости 0,53 м/с (два вентилятора PAPST-8414NH)

№ узла	Имя узла	Температура, °С
1	Окр. среда	50
2	Корпус	54,4
3	Воздух на выходе	53,5
4	ШС1-левый	62,6
5	ШС1-правый	65,7
6	ШС2-л	69,7
7	ШС2-пр	69,8
8	ШС1-л	66,4
9	ШС1-пр	65,3
10	ШС1-л	64,7
11	ШС1-пр	63,3
12	ШС10-л	58,2
13	ШС10-пр	57,2
14	ШС30-л	58,3
15	ШС30-пр	63
16	ТМ-П	79,2
17	Корпус ШС71	96,7
18	ШС71-ПУ	75,4
19	ШС71 рад	126,6

Информация о системе АСОНИКА

Автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры (АСОНИКА) (www.asonika-online.ru) начала создаваться в 1979 году. Это первая российская автоматизированная система моделирования, которая рекомендуется специальными руководящими документами Министерства обороны РФ для замены испытаний ЭКБ и ЭА на ранних этапах проектирования, что позволяет создавать конкурентоспособные ЭКБ и ЭА в минимальные сроки и с минимальными затратами.

В настоящее время система АСОНИКА состоит из 13 подсистем:

- анализа и обеспечения тепловых характеристик ЭКБ и ЭА – АСОНИКА-Т;
- анализа типовых конструкций блоков ЭКБ и ЭА на механические воздействия – АСОНИКА-М;
- анализа типовых конструкций шкафов и стоек ЭКБ и ЭА на механические воздействия – АСОНИКА-М-ШКАФ;
- анализа и обеспечения стойкости произвольных объемных конструкций ЭКБ и ЭА, созданных в САД-системах 3D-моделирования и других системах в форматах IGES и STEP, к механическим воздействиям – АСОНИКА-М-3D;
- идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей ЭКБ и ЭА – АСОНИКА-ИД;
- анализа и обеспечения стойкости к механическим воздействиям конструкций ЭА, установленных на виброизоляторах, – АСОНИКА-В;
- анализа конструкций печатных узлов ЭА на тепловые и механические воздействия – АСОНИКА-ТМ;
- автоматизированного заполнения карт рабочих режимов ЭКБ – АСОНИКА-Р;
- анализа показателей надежности ЭКБ и ЭА с учетом реальных режимов работы ЭРИ – АСОНИКА-Б;
- анализа усталостной прочности конструкций печатных плат и ЭКБ при механических воздействиях – АСОНИКА-УСТ;
- анализа и обеспечения электромагнитной совместимости ЭА – АСОНИКА-ЭМС;
- справочной базы данных ЭКБ и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим, электромагнитным, усталостным и надежностным параметрам – АСОНИКА-БД;
- системы управления моделированием ЭКБ и ЭА при проектировании – АСОНИКА-УМ.

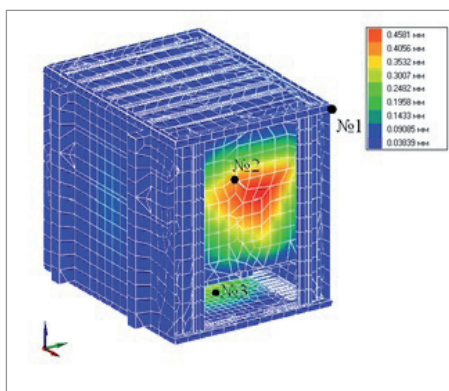


Рис. П.2. Поле перемещений блока ЭА (частота 180 Гц)

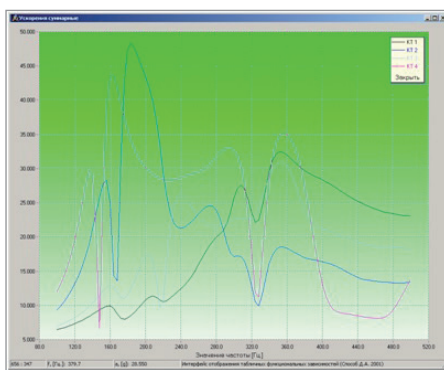


Рис. П.3. Графики ускорений в контрольных точках блока ЭА

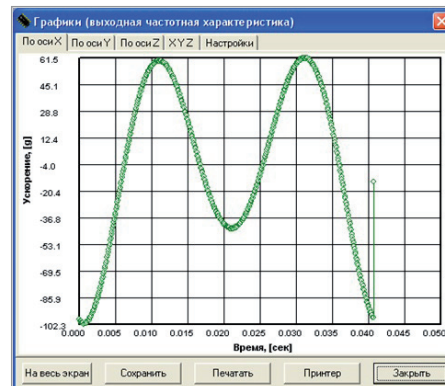
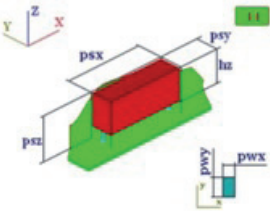


Рис. П.4. Зависимость ускорения блока ЭА от времени при воздействии механического удара многократного действия по оси X

Таблица П.2. Пример параметров ЭРИ

RC1206FR - 079K88L		
Полная условная запись		
Вид в пространстве:		
	Параметр	Значение
	psx	Размер посадочного места по оси X, мм 3,1 +/- 0,1
	psy	Размер посадочного места по оси Y, мм 1,6 +/- 0,1
	psz	Размер посадочного места по оси Z, мм 0,55 +/- 0,1
	m	Масса элемента, г 0,862
	pwx	Размер сечения выводов по оси X, мм 0,4 +/- 0,2
	pwu	Размер сечения выводов по оси Y, мм 1,6 +/- 0,1
	gop	Плотность материала выводов, кг/м ³ 7310
	lampp	Кэфф. теплопроводности материала, Вт/(К·м) 66,8
		Рабочая температура, °C 55...+125
		Рабочее напряжение, В 200
		Относительная влажность воздуха при +35°C 80
		Максимальное ускорение гармонической вибрации в диапазоне 1-2500 Гц, g 20
		Максимальное ускорение одиночного удара, g 1000
		Максимальное ускорение многократного удара, g 20
		Максимальное ускорение линейного ускорения, g 10
		Акустические шумы в диапазоне частот 50-10000 Гц при уровне звукового давления, дБ 145
		Допустимое отклонение +/- 1 %
		Сопротивление, кОм 9,88
		Мощность, Вт 0,25
		Материал выводов олово

На рис. П.3 представлены графики ускорений в контрольных точках блока ЭА. Рис. П.2 и П.3 отображают результаты моделирования механических процессов, полученные в АСОНИКА-М.

На рис. П.4 представлена зависимость ускорения блока ЭА от времени при воздействии механического удара многократного действия по оси X. Можно вывести аналогичные зависимости при воздействии гармонической вибрации и одиночного удара по каждой из осей. Рис. П.4 отображает результаты моделирования системы виброизоляции, полученные в АСОНИКА-В.

В таблице П.2 показан пример параметров ЭРИ в справочной базе данных АСОНИКА-БД.

На рис. П.5 представлена модель электрических процессов модуля питания.

На рис. П.6 отображен один из графиков электрических параметров одного из элементов с учетом переходного процесса. Это пример результатов расчета электрических процессов в модуле питания.

На рис. П.7-П.8 приведены результаты моделирования ПУ на воздействие гармонической вибрации. Можно также вывести аналогичные результаты моделирования ПУ на воздействие одиночного и многократного удара: зависимость ускорения одиночного и однократного удара от времени в контрольной точке (в центре платы), поля максимальных ускорений при воздействии одиночного и многократного ударов на плоскости и в объеме, а также карты механических режимов ЭКБ при воздействии одиночного и многократного ударов. Аналогичные результаты можно получить и на воздействие акустического шума. Карта механических режимов ЭКБ при воздействии гармонической вибрации представлена в таблице П.3.

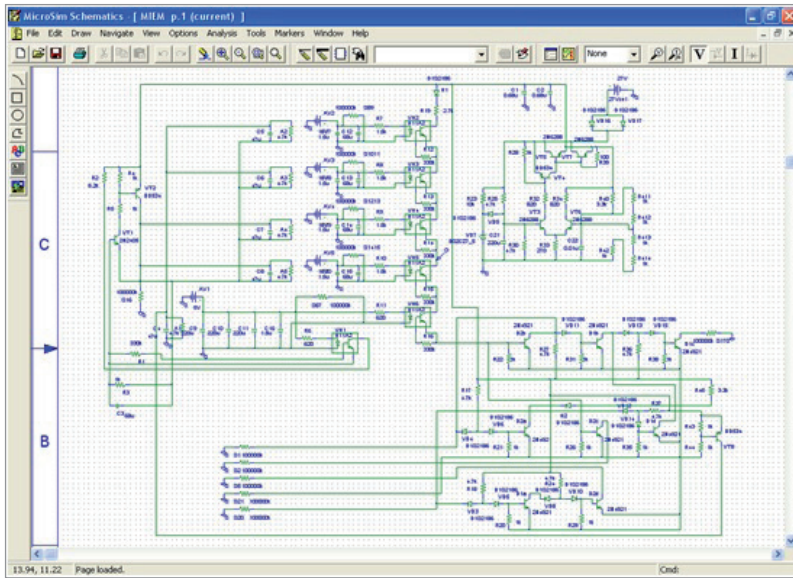


Рис. П.5. Модель электрических процессов модуля питания

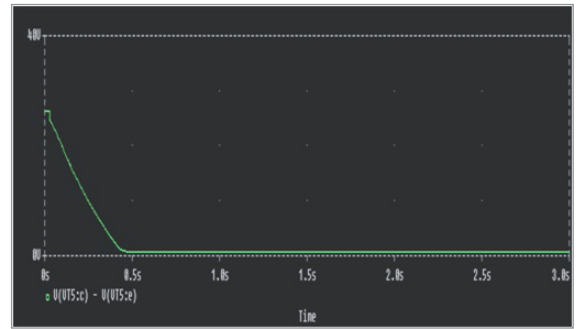


Рис. П.6. График электрических параметров одного из элементов с учетом переходного процесса

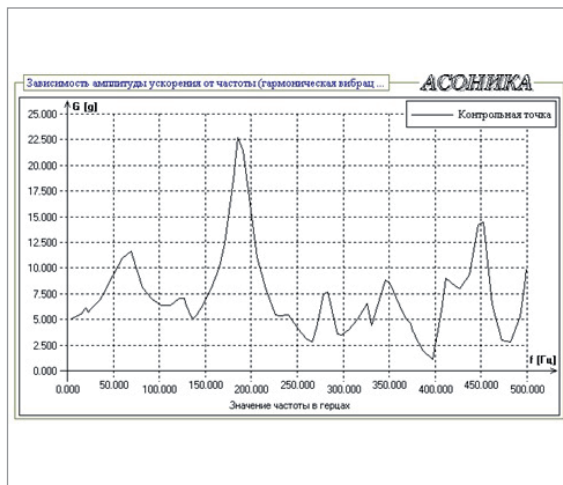


Рис. П.7. Зависимость амплитуды ускорения гармонической вибрации от частоты в контрольной точке (в центре платы)

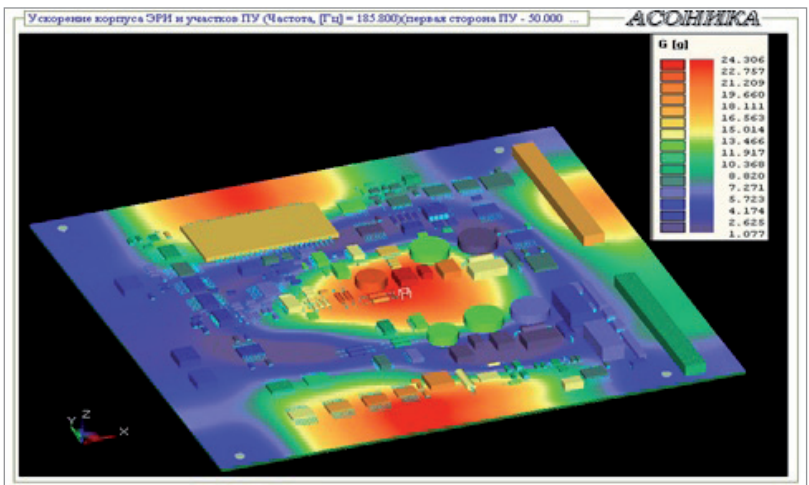


Рис. П.8. Поле виброускорений при воздействии гармонической вибрации на резонансной частоте 186 Гц

Таблица П.3. Карта механических режимов работы ЭКБ при гармонической вибрации для ПУ ЭА (фрагмент)

КАРТА МЕХАНИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭКБ							
(при гармонической вибрации)							
№ п/п	Обозначение ЭКБ	Сторона	Ускорение ЭКБ			Коэффициент механической нагрузки, [отн. ед.]	Перегрузка, [g]
			Частота, [Гц]	Максимальное расчетное, [g]	Максимальное допустимое по ТУ, [g]		
1	C1	1	499.500	8.064	40.000	0.202	
2	C10	1	499.500	12.525	40.000	0.313	
3	C11	1	452.000	17.256	40.000	0.431	
4	C16	1	345.800	24.178	40.000	0.604	
5	C17	1	499.500	8.064	40.000	0.202	
.....							
264	R89	2	412.000	14.780	40.000	0.370	

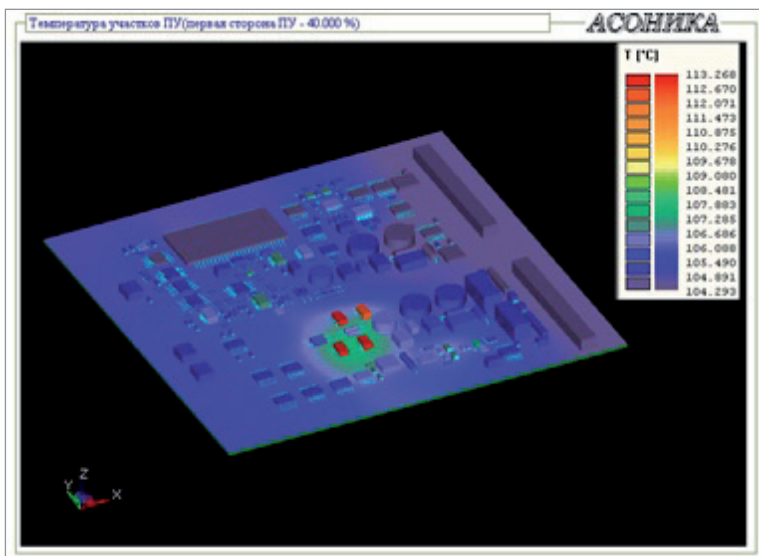


Рис. П.9. Поле температур для ПУ ЭА

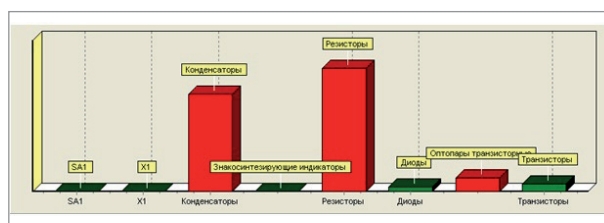


Рис. П.10. Интенсивности отказов компонентов первого уровня в изделии "Устройство вторичного электропитания ЭА" (предварительный расчет)

Карта рабочих режимов транзисторов и транзисторных сборок Форма 58

Позиционное обозначение		VT1 2T693AC AEЯP-432140.064TU		VT2 2T693AC AEЯP-432140.064TU		VT3 2T693AC AEЯP-432140.064TU	
Наименование изделия		в схеме		по НД		в схеме	
Статический режим	напряжение, В	коллектор-эмиттер	1	27	100	27	100
		коллектор-база	2	27	100	27	100
	ток, А	эмиттер-база	3	2	5	2	5
		коллектора	4	1	2.5	1	2.5
		базы	5	0.07	0.1	0.07	0.1
Динамический режим	напряжение, В	коллектор-эмиттер	6				
		коллектор-база	7				
	ток, А	эмиттер-база	8				
		коллектора	9	3	3	3	3
		базы	10	1	1.6	1	1.6
Длительность импульса, мкс	11	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002
Частота следования, Гц	12						
Сопротивление в цепи базы, Ом	13						
Режим при включении и выключении	напряжение коллектор-эмиттер, В	коллектор-эмиттер	14				
		максимальный ток коллектора, А	15				
	длительность фронта (спада), мкс	16					
Средняя мощность, Вт	17	0.044	0.14	0.044	0.14	0.044	0.14
Импульсная мощность, Вт	18						
Температура окружающей среды (корпуса), °C	19	71.22	125	71.39	125	70.10	125
Коэффициент нагрузки	20	2.70E-01(1)	0.7	2.70E-01(1)	0.7	2.70E-01(1)	0.7
Примечание	21						

Рис. П.11. Карта рабочих режимов (форма 58)

Таблица П.4. Карта тепловых режимов работы ЭКБ при стационарном тепловом воздействии для ПУ ЭА (фрагмент)

№ п/п	Обозначение ЭКБ	Сторона	Температура ЭКБ		Коэффициент тепловой нагрузки, [отн. ед.]	Перегрев, [°C]
			Расчетная, [°C]	Максимальная допустимая по ТУ, [°C]		
1	C1	1	105.046	100.000	1.050	5.046
2	C10	1	104.714	100.000	1.047	4.714
3	C11	1	105.581	100.000	1.056	5.581
4	C16	1	104.855	100.000	1.049	4.855
5	C17	1	105.048	100.000	1.050	5.048
51	D1	1	104.712	100.000	1.047	4.712
52	D10	1	105.466	85.000	1.241	20.466
53	D11	1	106.199	100.000	1.062	6.199
54	D12	1	112.471	85.000	1.323	27.471
55	D13	1	113.016	85.000	1.330	28.016
91	L1	1	104.790	100.000	1.048	4.790
92	L2	1	104.931	100.000	1.049	4.931
93	L3	1	104.925	100.000	1.049	4.925
94	L4	1	105.378	100.000	1.054	5.378
95	L5	1	104.644	100.000	1.046	4.644
96	L6	1	104.982	100.000	1.050	4.982
97	R1	1	105.578	100.000	1.056	5.578
98	R10	1	106.503	100.000	1.065	6.503

Эти результаты моделирования ПУ на механические воздействия получены с помощью АСОНИКА-ТМ.

На рис. П.9 приведены полученные тепловые характеристики ПУ (воздух внутри блока при естественной конвекции 100,2 °C). Карта тепловых режимов ЭКБ представлена в таблице П.4. Данные результаты теплового моделирования для ПУ получены с помощью АСОНИКА-ТМ.

С помощью подсистемы АСОНИКА-Б был проведен расчет показателей надежности (рис. П.10).

Уточненный расчет эксплуатационной интенсивности отказов ЭКБ проводился на основании температур ЭКБ, полученных в результате моделирования тепловых процессов с использованием АСОНИКА-ТМ.

На рис. П.11 приведен пример карты рабочих режимов (форма 58) для транзисторов, созданной с помощью АСОНИКА-Р.

*Александр Шалумов,
д.т.н., профессор,
академик Международной академии
информатизации,
лауреат премии Правительства РФ
в области науки и техники,
генеральный директор
ООО "НИИ "АСОНИКА",
председатель технического комитета
по стандартизации ТК 165
"Системы автоматизированного
проектирования электроники"*

E-mail: als@asonika-online.ru