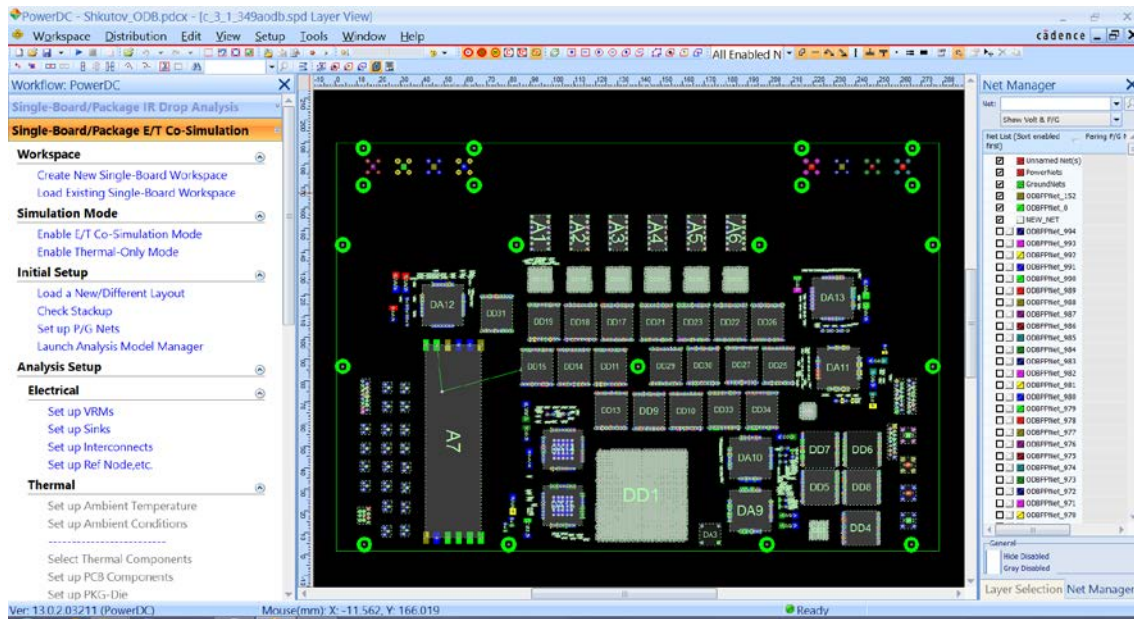


Моделирование тепловых режимов печатного узла.

Цель работы - промоделировать тепловое распределение печатного узла, содержащего несколько микросхем с высоким потреблением, и работающего в безвоздушном пространстве. Задача осложняется наличием компонентов в корпусах BGA (с шариковыми выводами), что требует дополнительных усилий по охлаждению со стороны крышки микросхем BGA, где выделяется основная часть тепла.

Предварительное размещение компонентов показано на рис.1. Проект разработан в САПР Mentor Expedition, экспортирован в формат ODB++ и импортирован в систему тепловых расчетов Cadence Sigrity PowerDC.

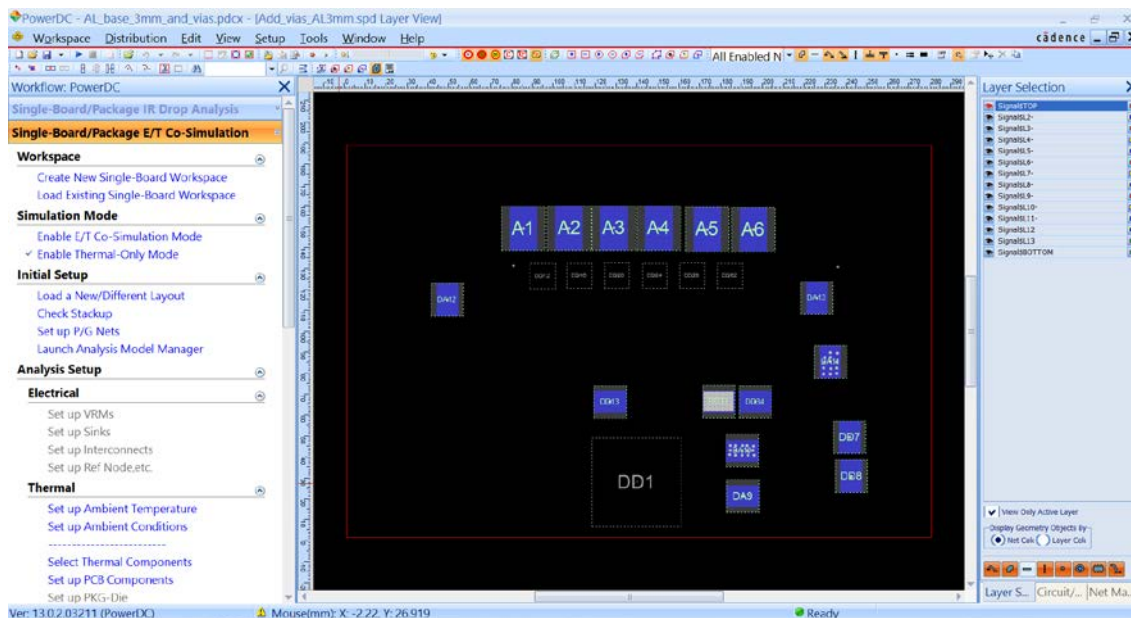


Выделяемая мощность на основных компонентах приведена на рисунке ниже. Наиболее потребляющим компонентом является ПЛИС (24 Вт), также имеются несколько микросхем с тепловыделением 2 Вт и 1.5 Вт. Наша задача будет состоять в определении оптимальной схемы охлаждения данных микросхем, оптимизации расположения греющихся микросхем, определении параметров и количества тепловых переходных отверстий под микросхемами, и параметров радиатора.

Cnt Name	Model Name	Tags	X(mm)	Y(mm)	Rotation	Property	Dissipation	MaxDieTemp...
DA9	PR_UR0V_0W3		191.2704mm	20.6686mm	0.000000	Material	1.5W	
DA10	PR_UR0V_0W3		190.9753mm	42.3598mm	0.000000	Material	1.5W	
DA11	PR_UR0V_0W3		233.0806mm	84.8528mm	0.000000	Material	1.5W	
DA12	PR_UR0V_0W3		49.8594mm	114.4787mm	0.000000	Material	1.5W	
DA13	PR_UR0V_0W3		226.6052mm	115.2601mm	0.000000	Material	1.5W	
A1	OPT_MOD		86.2929mm	148.521mm	0.000000	Material	1W	
A2	OPT_MOD		108.1955mm	148.6708mm	0.000000	Material	1W	
A3	OPT_MOD		129.652mm	148.6952mm	0.000000	Material	1W	
A4	OPT_MOD		151.1176mm	148.6739mm	0.000000	Material	1W	
A5	OPT_MOD		174.2919mm	148.0866mm	0.000000	Material	1W	
A6	OPT_MOD		196.1753mm	148.0361mm	0.000000	Material	1W	
DD7	PR_UR0V_0W3		242.2977mm	48.8222mm	0.000000	Material	1W	
DD8	PR_UR0V_0W3		243.145mm	30.235mm	0.000000	Material	1W	
DD13	PR_UR0V_0W3		127.675mm	65.7275mm	0.000000	Material	1W	
DD33	PR_UR0V_0W3		179.7125mm	65.8mm	0.000000	Material	1W	
DD34	PR_UR0V_0W3		197.155mm	65.775mm	0.000000	Material	1W	
DD12	SERIALIZER		95.5295mm	125.8033mm	0.000000	Material	2W	
DD16	SERIALIZER		112.9978mm	125.9719mm	0.000000	Material	2W	
DD20	SERIALIZER		131.04mm	126.0162mm	0.000000	Material	2W	
DD24	SERIALIZER		148.9859mm	125.9592mm	0.000000	Material	2W	
DD28	SERIALIZER		167.06mm	126.024mm	0.000000	Material	2W	
DD32	SERIALIZER		185.0149mm	125.9887mm	0.000000	Material	2W	
DA1	PR_UR0V_0W3		140.8222mm	122.6555mm	0.000000	Material	24W	85.000000
AL1	NewEmptyCktDef		194.9628mm	25.65351mm	0.000000	Material		
AL11	NewEmptyCktDef		248.3804mm	77.20698mm	0.000000	Material		
AL12	NewEmptyCktDef		194.9628mm	76.65351mm	0.000000	Material		
AL13	NewEmptyCktDef		245.9628mm	25.65351mm	0.000000	Material		

Для упрощения работы мы исключили несущественные микросхемы, а также упростили конфигурацию греющихся микросхем, оставив только теплоотводящие площадки под корпусом. Компоненты в корпусе BGA мы решили перенести на сторону Bottom, чтобы снимать тепло с крышек этих микросхем непосредственно на радиатор, находящийся со стороны Bottom. В порядке эксперимента, для сопоставления результатов, мы разместили переходные отверстия для теплоотвода только под некоторыми микросхемами, чтобы оценить степень дополнительного охлаждения за счет наличия переходных отверстий.

Результирующая система, полученная в программе Sigrity PowerDC, показана на рисунке.

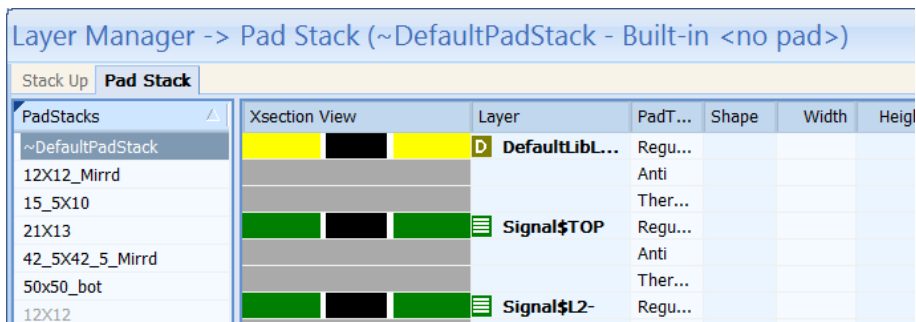


Стек слоев печатной платы был получен из исходного проекта. Он показан на рис. Это 14-слойная плата на материале FR4 High Tg, слои, содержащие полигоны, выделены желтым. Второй слой и предпоследний слой платы выполнены из толстой меди 105 мкм для дополнительного рассеяния тепла, а остальные слои - из меди 35 мкм. Система Sigrity учитывает реальную толщину меди в слоях печатной платы, конфигурацию полигонов, свойства металлов и диэлектриков, и позволяет просимулировать распределение тепла в плате и подобрать оптимальную конфигурацию слоев и материалов.

Layer #	Color	Layer Icon	Layer Name	Thickness...	Material	Conductivity...	Fill-in Dielectric	Permittivity	Loss Tangent	Shape Name	Trace Width...	Trapezoidal Angle(°)	Roughness(mm)	RLGC	Do
1			SignalLayer_1	0.035	copper		FR4			SignalLayer...	0.1	90	0		1.5
			Mediumdie...	0.2	FR4	0									
2			PlaneLayer_2	0.105	copper		FR4			PlaneLayer...					1.5
			Mediumdie...	0.2	FR4	0									
3			SignalLayer_3	0.035	copper		FR4			SignalLayer...	0.1	90	0		1.5
			Mediumdie...	0.1	FR4	0									
4			PlaneLayer_4	0.035	copper		FR4			PlaneLayer...					1.5
			Mediumdie...	0.1	FR4	0									
5			SignalLayer_5	0.035	copper		FR4			SignalLayer...	0.1	90	0		1.5
			Mediumdie...	0.1	FR4	0									
6			PlaneLayer_6	0.035	copper		FR4			PlaneLayer...					1.5
			Mediumdie...	0.1	FR4	0									
7			SignalLayer_7	0.035	copper		FR4			SignalLayer...	0.1	90	0		1.5
			Mediumdie...	0.1	FR4	0									
8			PlaneLayer_8	0.035	copper		FR4			PlaneLayer...					1.5
			Mediumdie...	0.1	FR4	0									
9			SignalLayer_9	0.035	copper		FR4			SignalLayer...	0.1	90	0		1.5
			Mediumdie...	0.1	FR4	0									
10			PlaneLayer_10	0.035	copper		FR4			PlaneLayer...					1.5
			Mediumdie...	0.1	FR4	0									
11			PlaneLayer_11	0.035	copper		FR4			PlaneLayer...					1.5
			Mediumdie...	0.1	FR4	0									
12			SignalLayer_12	0.035	copper		FR4			SignalLayer...	0.1	90	0		1.5
			Mediumdie...	0.2	FR4	0									
13			PlaneLayer_13	0.105	copper		FR4			PlaneLayer...					1.5
			Mediumdie...	0.2	FR4	0									
14			SignalLayer_14	0.035	copper		FR4			SignalLayer...	0.1	90	0		1.5

Total Thickness: 2.3300e+000 mm

Система Sigrity позволяет учесть конфигурацию переходных отверстий и толщину медной металлизации. Мы задали переходное отверстие диаметром 0.3 мм и толщину медной металлизации 0.025 мм. Конфигурация переходного отверстия показана на рисунках.



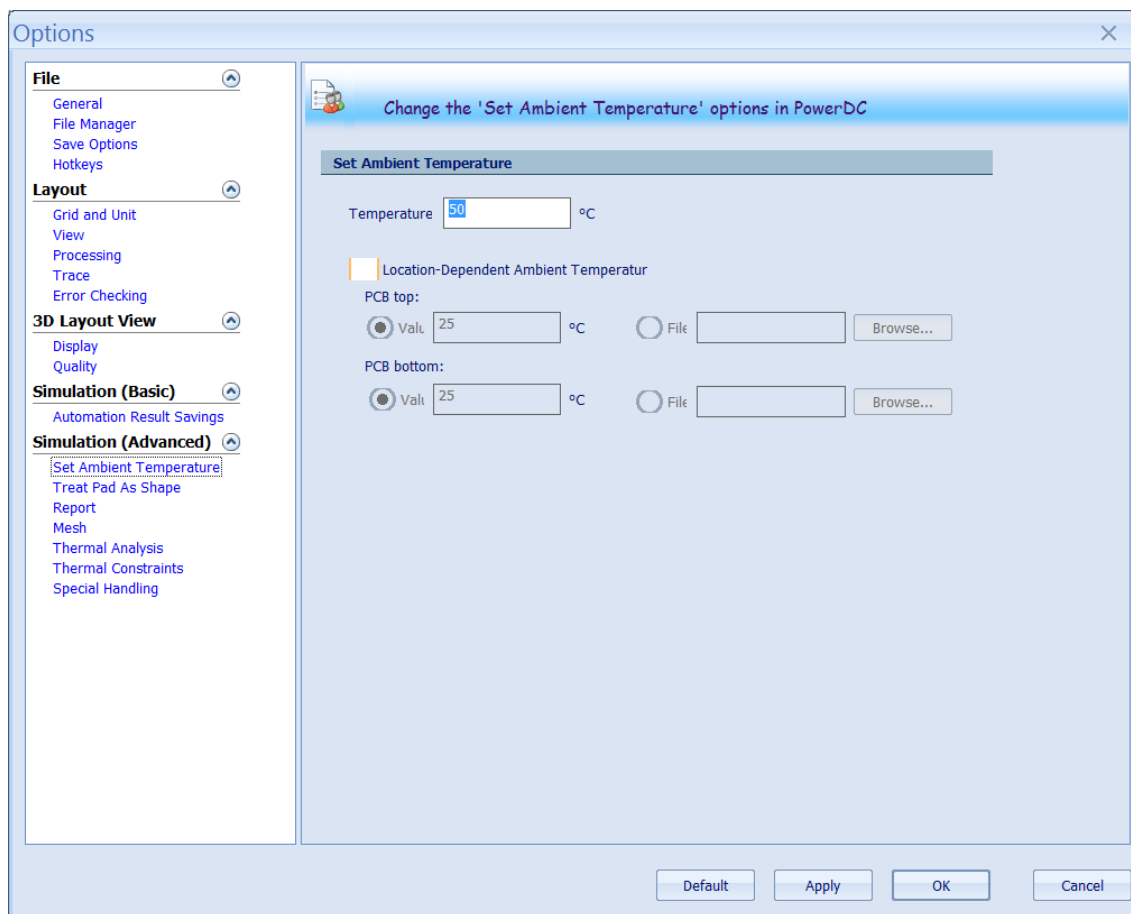
Сечение отверстия.

Outer diameter:	<input type="text" value="0.3"/>	mm
Plating thickness:	<input type="text" value="0.025"/>	mm
Conductivity:	<input type="text"/>	S/m <input type="checkbox"/> Use default conductivity
Select material:	<input type="text" value="copper"/>	

Параметры отверстия.

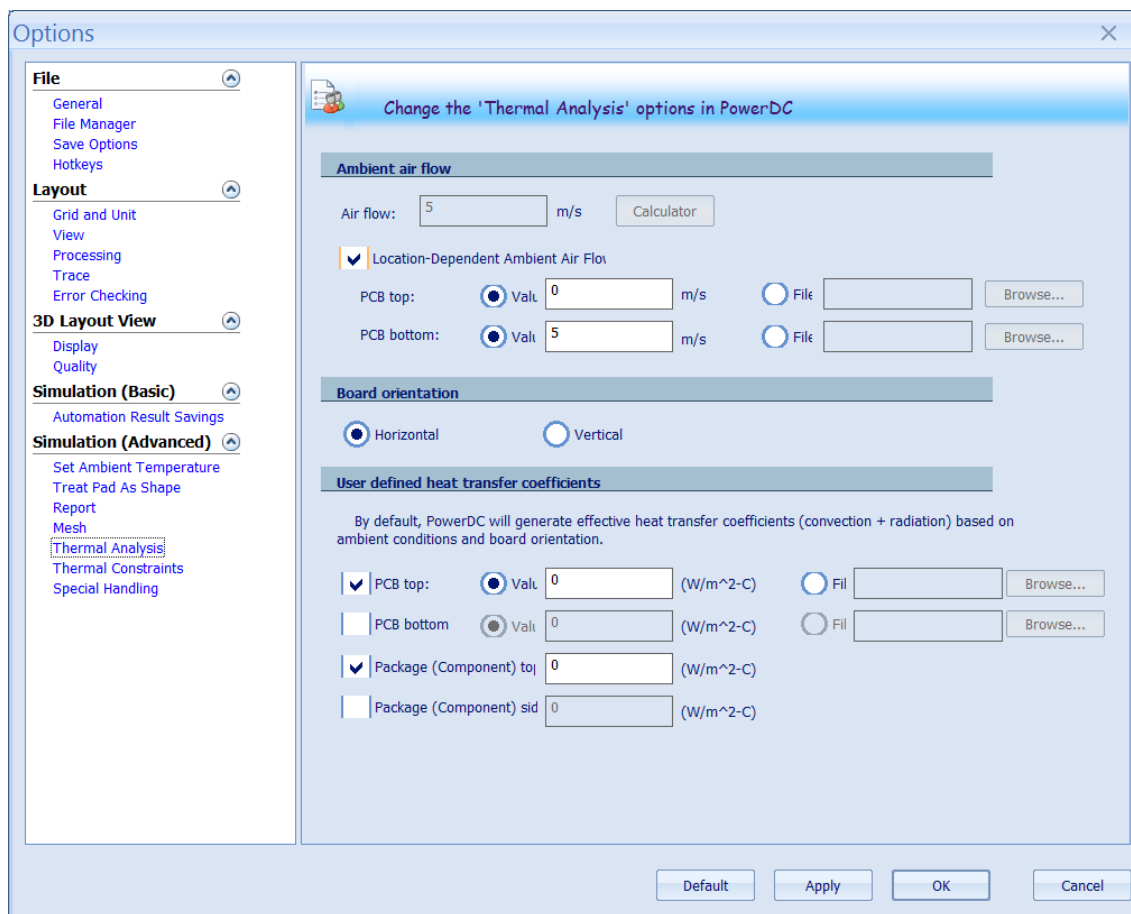
Затем мы задали окружающие условия. Температура окружающей среды 50С.

Заметим, что т.к. плата работает в вакууме, в принципе не так важны условия окружающей среды, но важно обеспечить расчеты при теплоотводе только через радиатор. Излучением будем пренебрегать, нас интересует только теплоотвод через плату и радиатор.



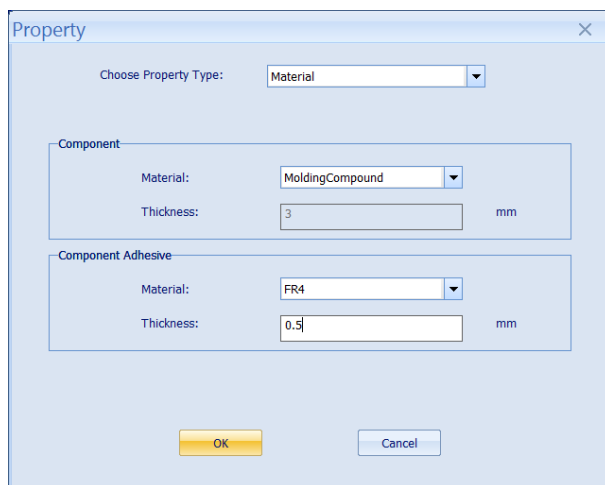
Чтобы симитировать отвод тепла с нижнего радиатора на тепловой аккумулятор или бортовую массивную панель, сделаем обдув нижней стороны со скоростью 5 м/с, что достаточно эффективно охладит радиатор на нижней стороне.

Чтобы промоделировать работу платы в вакууме, зададим коэффициент теплопередачи со стороны Тор равным 0.



Далее следует этап описания тепловых компонентов и радиатора.

Компонент DD1 (BGA) задан как выполненный из материала Molding Compound (имеется в виду материал, которым заполнен корпус компонента, и через который передается тепло на его крышку), и имеющий прокладку из FR4 (имеется в виду печатная плата Flip Chip, на которой установлен кристалл).

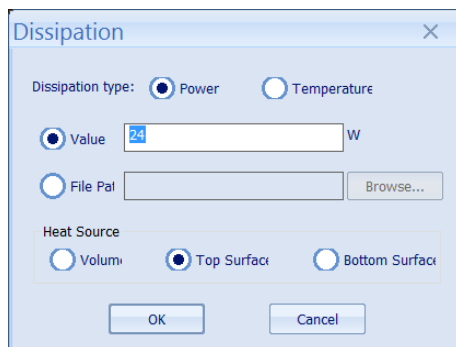


The screenshot shows a 'Property' dialog box with the following settings:

- Choose Property Type: Material
- Component:
 - Material: MoldingCompound
 - Thickness: 3 mm
- Component Adhesive:
 - Material: FR4
 - Thickness: 0.5 mm

Buttons: OK, Cancel

Тепловыделение для DD1 задано 24 Вт, с выделением со стороны крышки (Top surface).



The screenshot shows a 'Dissipation' dialog box with the following settings:

- Dissipation type: Power Temperature
- Value: 24 W
- File Path: [Empty] Browse...
- Heat Source:
 - Volume
 - Top Surface
 - Bottom Surface

Buttons: OK, Cancel

Мы устанавливаем радиатор на нижней стороне платы, на компоненты в корпусах BGA, чтобы обеспечить им теплоотвод с крышки микросхемы. Кроме того, по всей остальной поверхности платы мы хотим обеспечить контакт с поверхностью радиатора, для отвода тепла с микросхем, находящихся на верхнем слое платы, через переходные отверстия.

Толщину пластины радиатора возьмем 3 мм, укажем, что этот радиатор подсоединен к нашим микросхемам через прокладку толщиной 0.1 мм (теплопроводная паста).

Ограничением системы является то, что радиатор может иметь только плоское основание, подключенное к крышкам микросхем, а в нашем случае его основание более сложное, с фрезерованными проточками под микросхемы, и подключен он и к микросхемам, и к плате.

Для того, чтобы учесть в симуляции дополнительное подключение этого радиатора непосредственно к поверхности платы, разместим под ним прямоугольные теплопроводящие пластины соответствующей толщины (3 мм). Они будут имитировать тело радиатора в промежутках между BGA-микросхемами, для этого мы также "подключим" их к основному радиатору.

Heat Sink

Heat sink type: Finger Fin Plate

Enabler

Unit: mm

Heat sink

Material: aluminum

Length: 280.000 Width: 180.000

Base thickness: 3.000 Pitch: 8.000

Fin Thickness: 2.000 Fin Height: 50.000

Adhesive

Material: HeatSinkAttach

Thickness: 0.100

Ambient conditions

Air flow 5 m/s Calculator

Heat transfer coefficient: 0 W/m²-C

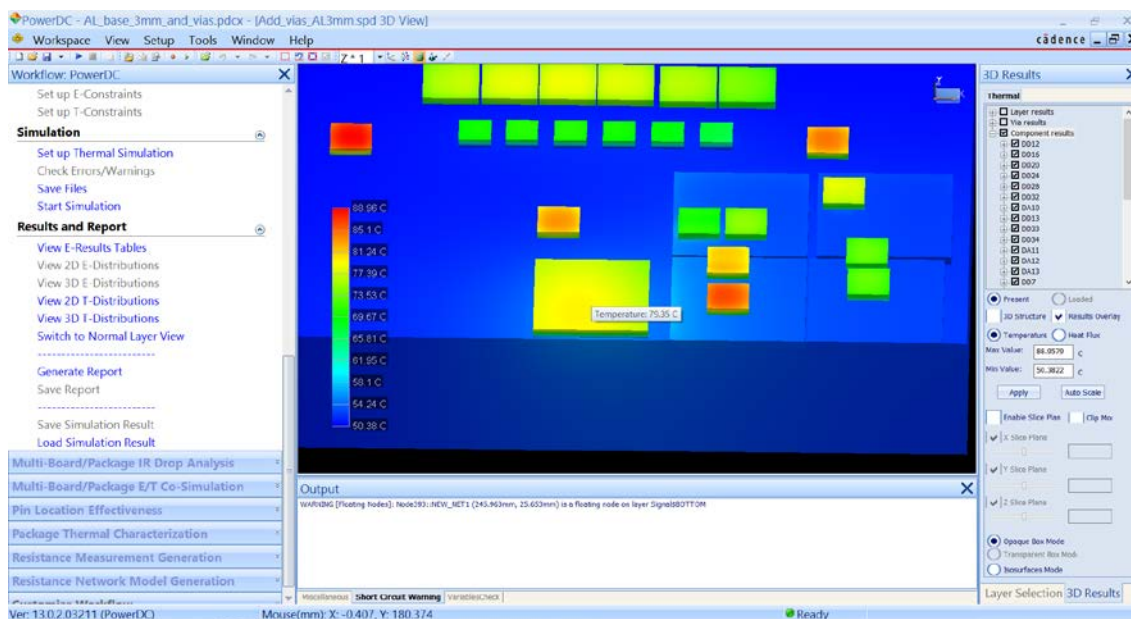
Heat sink temperature

Base: 22 C Fin: 22 C

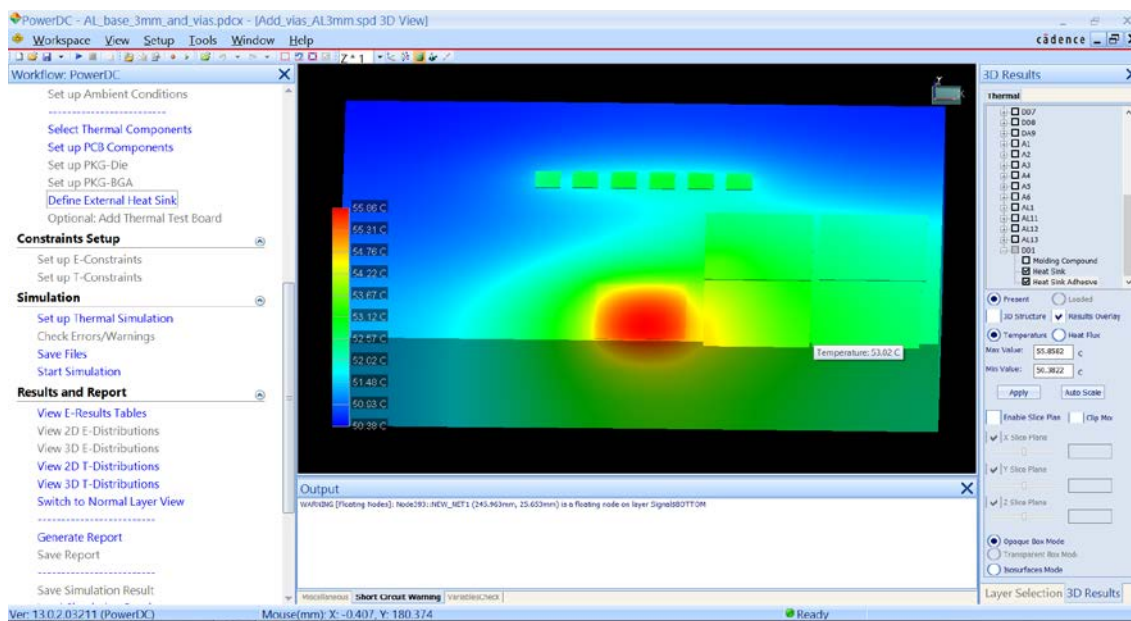
OK Cancel

Результат моделирования показаны на рисунке ниже. Система Sigrity позволяет отдельно посмотреть температуру любой точки на верхней или нижней поверхности микросхемы, слоя меди, слоя диэлектрика, радиатора, или переходного отверстия.

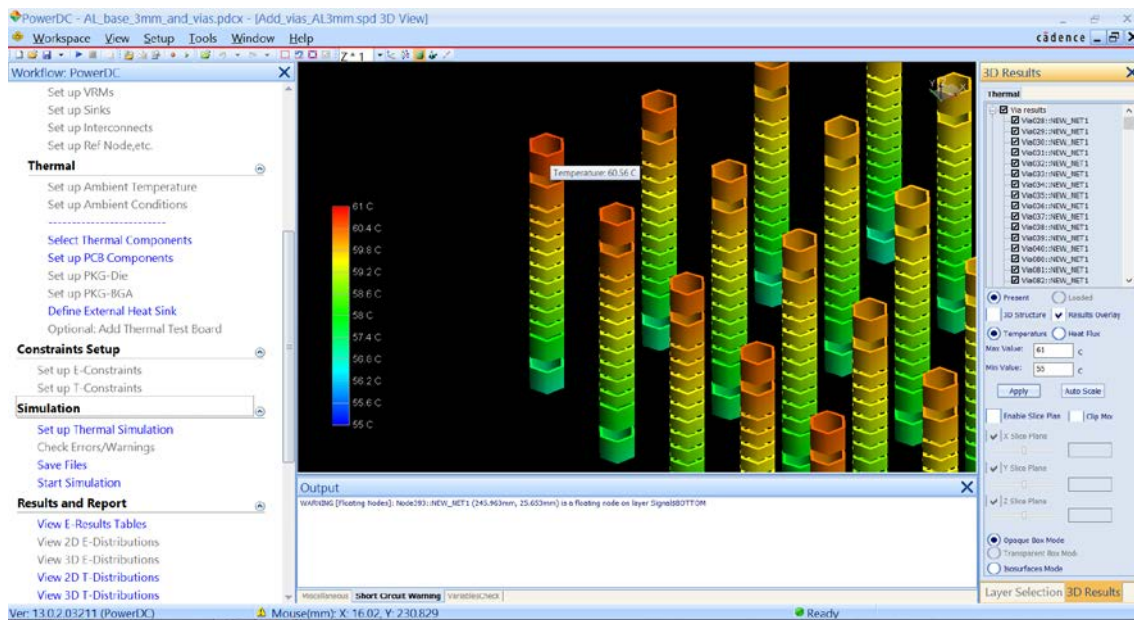
На рисунке виден радиатор, компоненты на слое Bottom, компоненты на слое Top и теплопередающие квадратные пластины, пристыкованные к радиатору (добавленные для имитации фрезерованных пазов в радиаторе).



Распределение температур на компонентах.



Распределение температур на радиаторе и прокладках.



Распределение температур на тепловых переходных отверстиях.

Выводы, которые можно получить из результатов моделирования.

1. Переходные отверстия, размещенные под корпусом микросхемы, и контактирующие с нижним радиатором через прокладку, позволяют снизить температуру корпуса ИС дополнительно на несколько градусов (в нашем случае - до 5 градусов при мощности 1.5...2 Вт), по сравнению с вариантом "без отверстий". Это существенно, т.к. при температуре радиатора 50С микросхемы на Тор нагреваются без применения отверстий до 85...88 градусов, а с применением отверстий - максимум до 81С.

2. Микросхему VGA DD1 и др. удастся с помощью радиатора охладить до температуры 78 градусов (при температуре радиатора 50С). Это важно, т.к. ее максимально допустимая температура составляет 85С, а нам нужен некоторый запас.

3. Алюминиевая пластина толщиной 3 мм слабо распределяет тепло по всему телу радиатора, и это означает, что основное тепло будет передаваться в тепловой аккумулятор, находящийся под радиатором, локально, не распределяясь равномерно по всему его объему. Увеличение толщины алюминия до 6 мм в промежутках между микросхемами дает некоторое улучшение картины распределения тепловых потоков.

4. Моделирование применения теплового аккумулятора с помощью обдува оказалось не очень хорошей идеей, т.к. направленный поток воздуха смещает тепловое распределение в соответствующую сторону (по направлению обдува). Предпочтительным может оказаться имитация теплового аккумулятора с помощью длинных лепестков Ш-образного радиатора, находящихся в неподвижном воздухе, или же просто указание коэффициента теплопередачи.

5. С помощью серии стационарных симуляций, проведенных при заданной температуре нижнего радиатора (50С, 51С, 52С, 53С, 54С, 55С) можно получить псевдо-динамическое моделирование работы системы с учетом наличия теплового аккумулятора, который увеличивает температуру по мере накопления энергии, и изменяет коэффициент теплопередачи. Зная, какое тепло может поглотить тепловой аккумулятор за определенный промежуток времени, и зная, какое тепло выделяет наша плата за этот промежуток времени, мы можем рассчитать, каким временным точкам соответствуют температуры 50...55С, и соответствующим образом интерполировать результаты.

6. Можно более точно промоделировать тепловое распределение, если указать, что теплопередача с ИС на слое Тор идет с нижней плоскости (с теплоотводящего вывода), но для этого надо проверить, что действительно у них всех имеется теплоотводящий вывод.

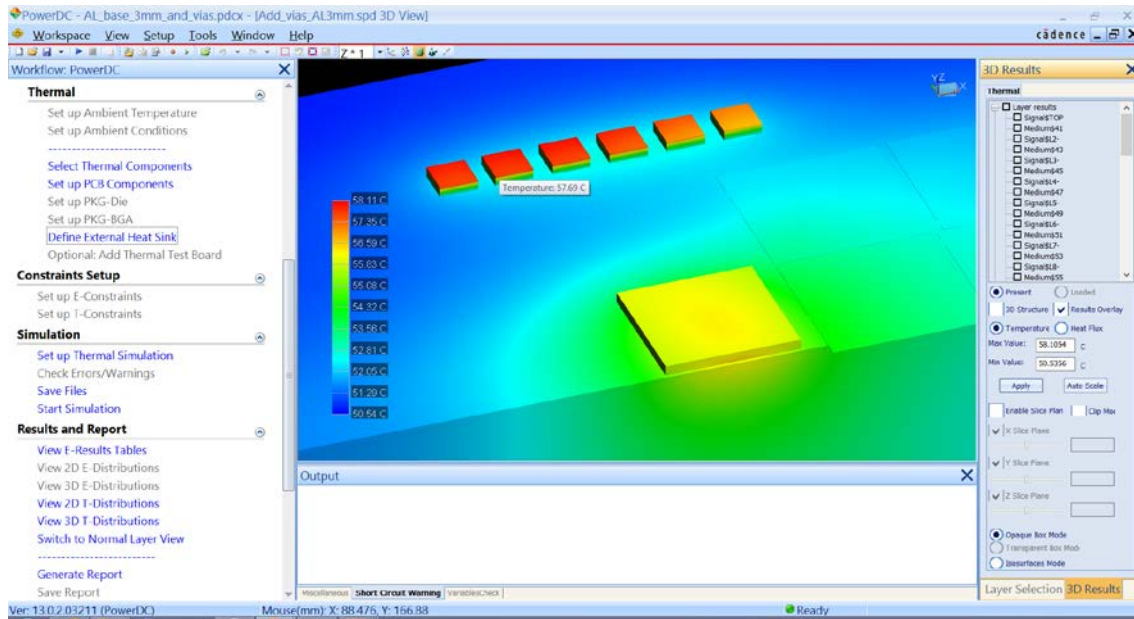
7. Предположительно, при достижении радиатором температуры 55С (имеется в виду температура теплового аккумулятора, на который передается тепло с радиатора) будет исчерпан резерв по нагреву наиболее потребляющих микросхем, и их температура достигнет 85С, что является недопустимым и может привести к отказу ИС.

Поменяем настройки:

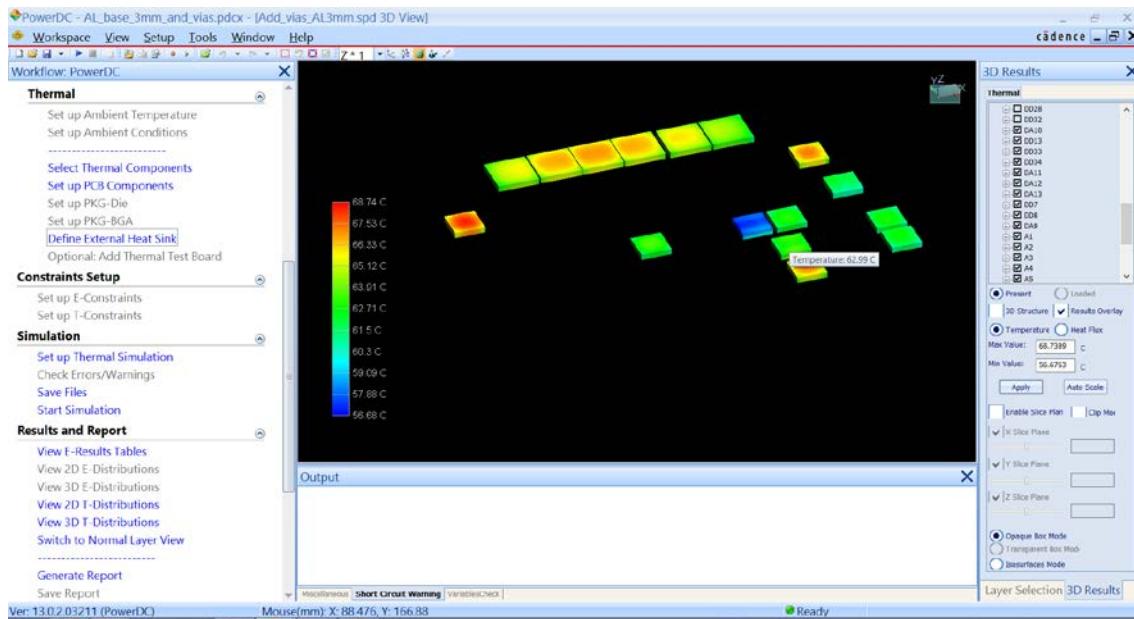
Микросхему DD1 и другие BGA сделаем с выделением со стороны крышки.

Остальные ИС сделаем с тепловыделением со стороны основания ИС.

Проведем повторную симуляцию и получим следующее распределение температур на BGA стороны Bot и радиаторе:



Получено следующее распределение температур на стороне Top:



Результаты моделирования существенно отличаются от полученных ранее, в лучшую сторону. Мы видим, что максимальный нагрев компонентов BGA составляет 58C (при температуре радиатора 50C), а максимальный нагрев компонентов на Top, при наличии массива отверстий, составляет 63C.

Проведем серию симуляций для температуры радиатора 52.5 и 55, 57.5 и 60C, чтобы проимитировать последовательный нагрев теплового аккумулятора в динамическом процессе.

Температура радиатора 52.5 - Максимум температуры ИС 65C.

Температура радиатора 55C - Максимум температуры ИС 68.5C.

Температура радиатора 57.5C - Максимум температуры ИС 71C.

Температура радиатора 60C - Максимум температуры ИС 73.6C.

Выводы:

Таким образом, типовой перепад температур между нижней поверхностью радиатора и верхней поверхностью ИС на стороне Top составляет 13.5С.

Время перерасчета каждой симуляции - 5 мин.

В системе Sigrity есть возможность посмотреть тепловые потоки, что можно использовать для оценки того, как будет перераспределяться тепло по радиатору и тепловому аккумулятору, т.к. основной источник тепла - ПЛИС DD1 мощностью 24 Вт, и элемент А7 мощностью 25 Вт (не участвовал в симуляции, т.к. наша основная задача была в моделировании процессов на печатной плате, а элемент А7 предполагается устанавливать напрямую на радиатор, через большой вырез в плате.

При необходимости можно промоделировать систему с учетом наличия А7.

Наше предположение таково:

Для того, чтобы замедлить быстрый сток тепла на сота-панель, целесообразно было бы отделить зону, где находится ПЛИС DD1 и элемент А7, от зоны соединения радиатора с сота-панелью. Тогда сток тепла шел бы с DD1 и А7 на тепловой аккумулятор, а уже с теплового аккумулятора через отдельное соединение на сота-панель.