

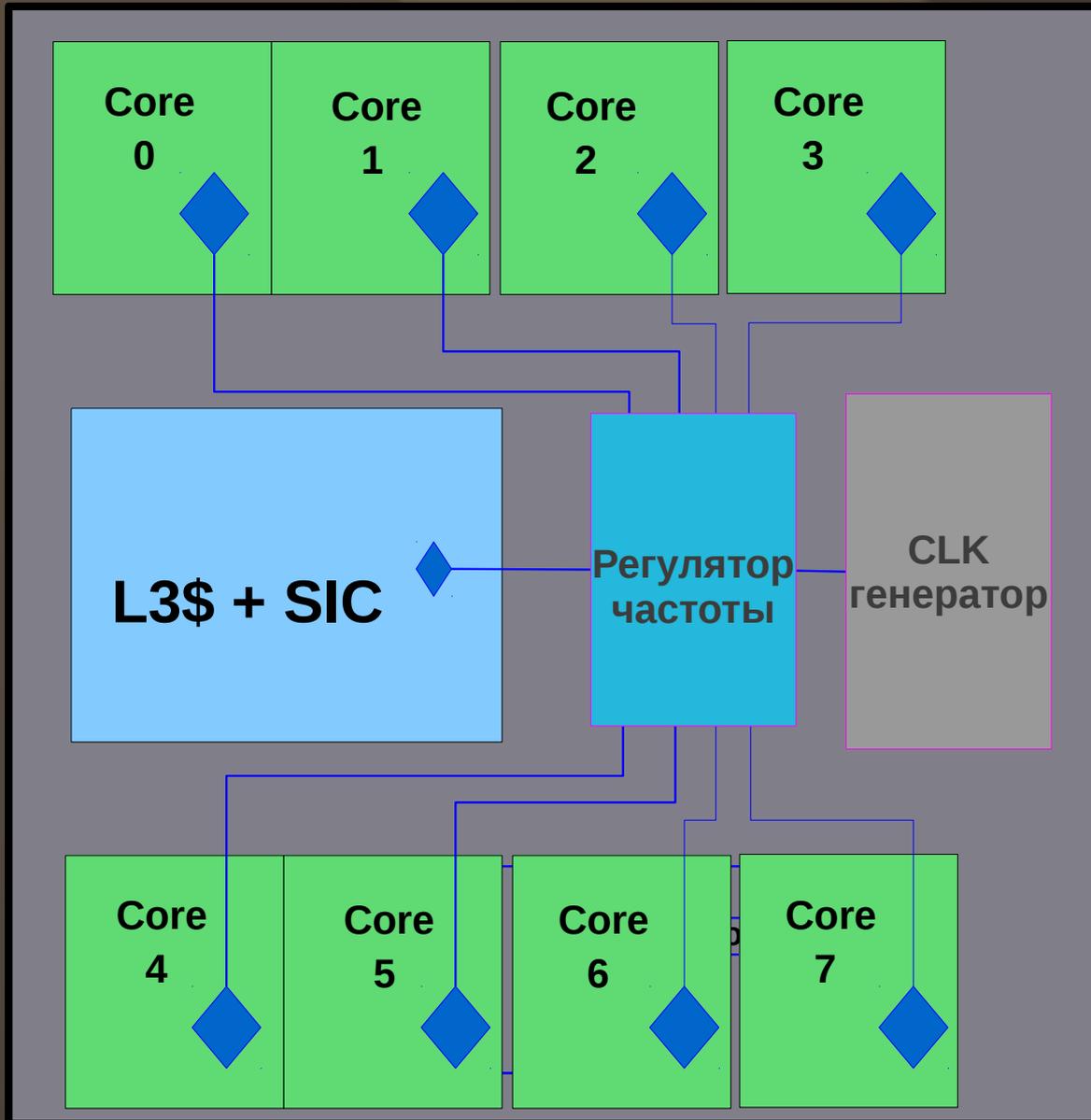
Московский физико-технический институт (государственный университет)
Факультет радиотехники и кибернетики
Кафедра информатики и вычислительной техники

Выпускная квалификационная работа бакалавра

***Разработка тестового окружения для
верификации системы управления
тепловым режимом многоядерного
микропроцессора***

Студент: Ахлынин В.В. , группа 913
Научный руководитель: Костенко В.О.

МП Эльбрус-4С+



- 8 ядер
- L3 кэш 16МБ
- Тактовая частота > 1 ГГц
- Система термоконтроля:
 1. Термодатчики на основных блоках процессора (ядра, L3\$ + SIC)
 2. Регулятор частоты — контроллер, анализирующий температуру, подаваемую с термодатчиков и снижающий частоту процессора при перегреве

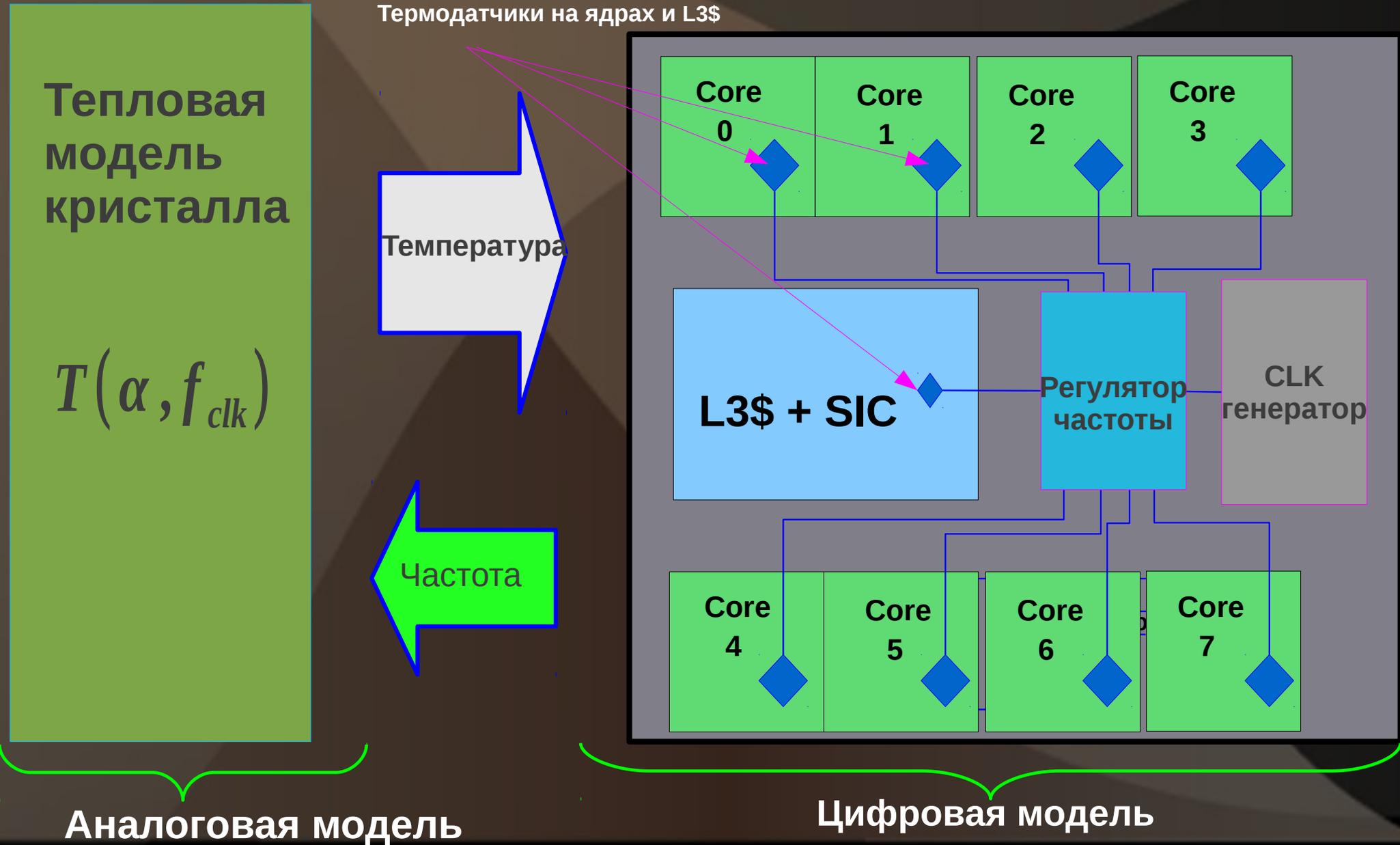
Постановка задачи

Разработать тестовое окружение для verilog-модели МП Эльбрус4С+ с целью верификации системы теплового контроля

Тестовое окружение должно:

1. Включать в себя простейшую тепловую модель кристалла
2. Позволять одновременно моделировать verilog-описание системы термоконтроля и тепловую модель кристалла

Создание тестового окружения



Создание тестового окружения

Выбор средств реализации

Задача

Обеспечить взаимодействие цифровой и аналоговой моделей

Решение

Среда для моделирования цифровых устройств — Modelsim — позволяет взаимодействовать с внешними объектами при помощи средств скриптового языка TCL



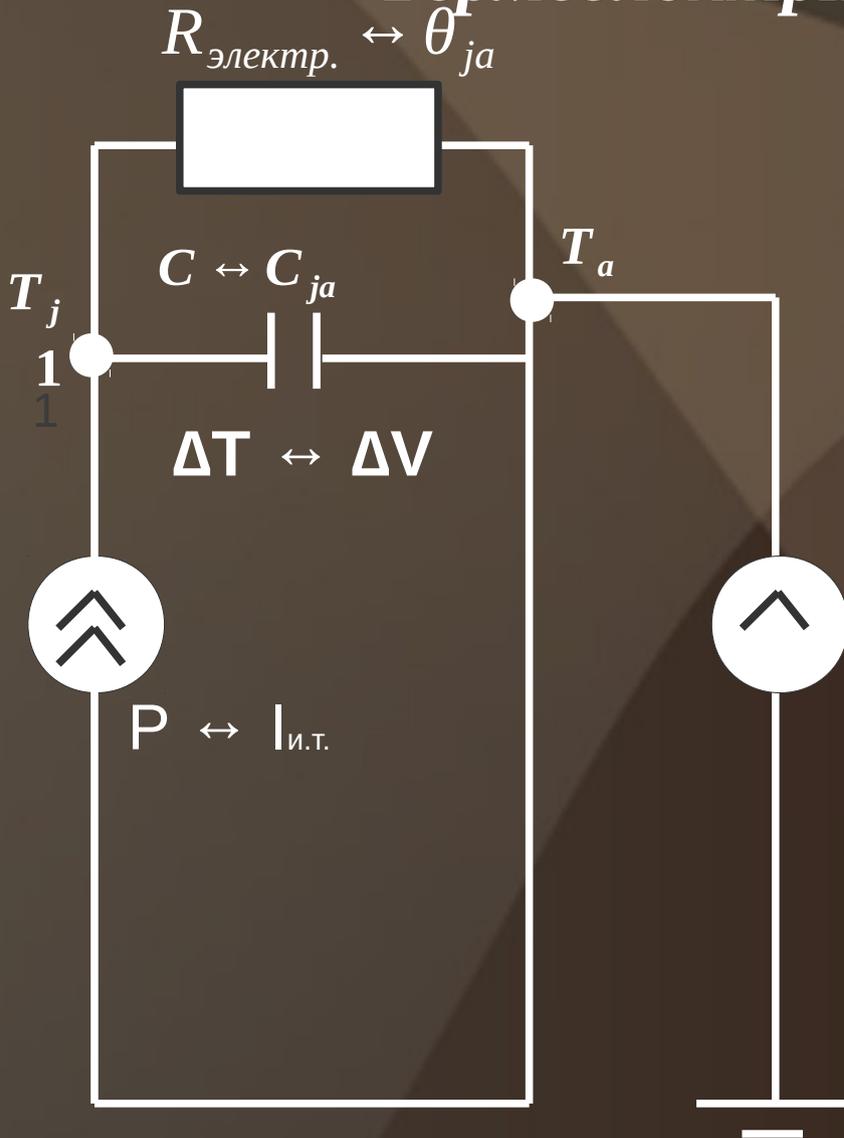
Использовать для аналоговой части среду моделирования, поддерживающую TCL

В качестве такого средства моделирования была выбрана Scilab/Scicos — свободно распространяемое ПО, схожее с Matlab/Simulink

В качестве тепловой модели кристалла на основании термоэлектрической аналогии была выбрана электрическая схема RC-цепи.

Тепловая модель кристалла

Термоэлектрическая аналогия (Ом, Фурье)



Моделирование тепловых процессов можно заменить моделированием аналогичной электросхемы

Тепловые параметры кристалла	Электрические параметры RC-цепи
Температура : T_j $\Delta T_j = T_{j2} - T_{j1}$	Напряжение : V $\Delta V = V_2 - V_1$
Тепловое сопротивление: θ_{ja}	Электрическое сопротивление: R
Теплоемкость : C_{ja}	Емкость : C
Мощность рассеяния: P	Сила тока внешнего источника: $I_{\text{и.т.}}$
Уравнение теплопроводности: $\frac{\partial T_j}{\partial t} = \frac{-T_j}{\theta_{ja} \times C_{ja}} + \frac{P}{C_{ja}}$	Уравнение для напряжения в точке 1 RC-цепи: $\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{-V}{R \times C} + \frac{I_{\text{и.т.}}}{C}$
Переходный процесс:	
$T_j(t) = T_{j2} - (T_{j2} - T_{j1}) \times \exp\left(\frac{-t}{\theta_{ja} \times C_{ja}}\right)$	
$V(t) = V_2 - (V_2 - V_1) \times \exp\left(\frac{-t}{R \times C}\right)$	

Тепловая модель кристалла

Расчет температуры кристалла

Рассеиваемая мощность :

$$P = P_{stat} + P_{dyn};$$

Установившийся режим :

$$T_j = T_a + \Delta T_{stat} + b \times \alpha \times f_{clk};$$

T_j — температура транзисторных структур (junction),

T_a — температура окружающей среды (ambient),

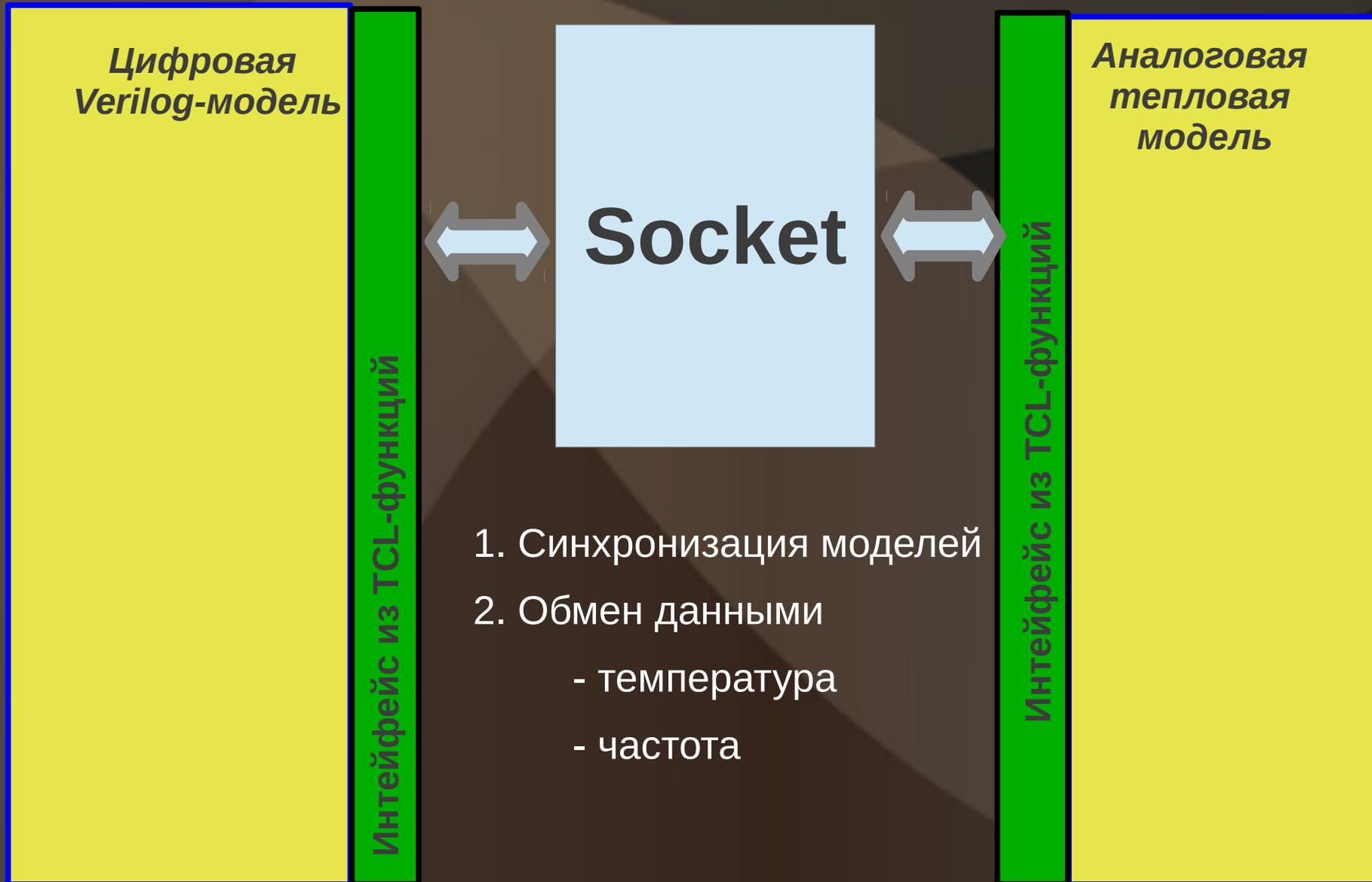
$$\Delta T_{stat} = P_{stat} \times \theta_{ja}$$

$$b = C_{load} \times V_{dd}^2 \times \theta_{ja}$$

α — switching activity — коэффициент активности переключений

θ_{ja} — тепловое сопротивление между транзисторными структурами и окружающей средой

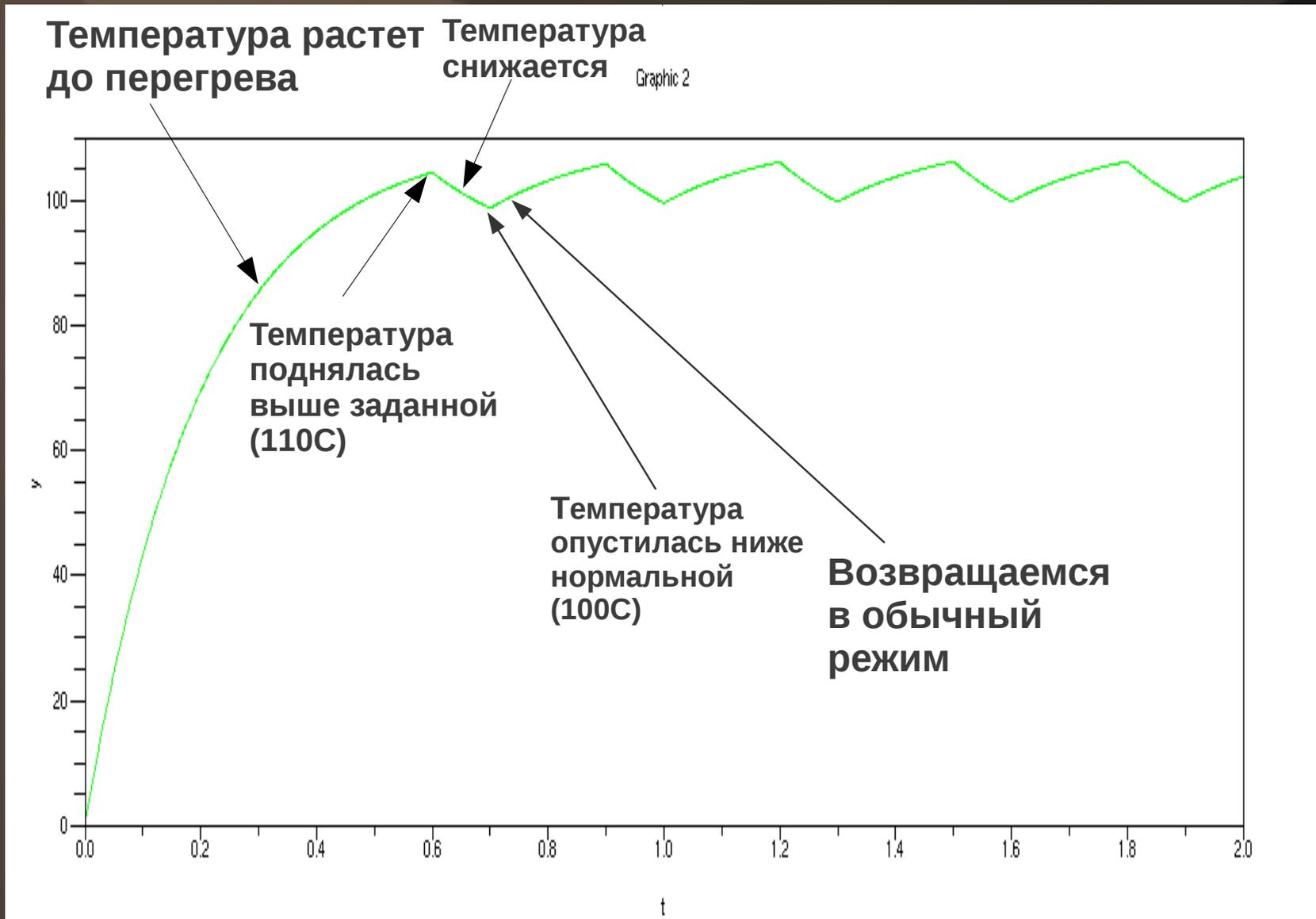
Взаимодействие моделей



Алгоритм работы



Зависимость температуры кристалла от времени



Результаты

Разработано тестовое окружение для verilog-модели МП Эльбрус-4С+ с целью верификации системы теплового контроля, которое

- включает упрощенную аналоговую тепловую модель процессора в системе моделирования Scilab/Scicos
- позволяет одновременно моделировать verilog-описание системы термоконтроля и тепловую модель кристалла