

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

С.А. Евдокимова¹, Ву Юньлун¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

В работе рассмотрены тенденции развития зарубежных микропроцессоров для компьютеров. Отдельное внимание уделено серии высокопроизводительных процессоров Loongson, производимых в Китае. Приведены показатели надежности процессоров и модели для расчетов эксплуатационной интенсивности отказов.

Ключевые слова: микропроцессор, электронные радио изделия (ЭРИ), микросхемы, надежность, интенсивность отказов.

ON THE QUESTION OF EVALUATING THE RELIABILITY OF MICROPROCESSORS

S.A. Evdokimova¹, Wu Yunlong¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The paper considers the trends in the development of foreign microprocessors for computers. Special attention is paid to a series of high-performance Loongson processors manufactured in China. The reliability indicators of processors and models for calculating the operational failure rate are given.

Keywords: microprocessor, electronic radio products (ERP), microcircuits, reliability, failure rate.

Микропроцессор (CPU) – самая важная часть компьютера, состоящая из арифметического блока и контроллера. Сегодня, благодаря более совершенным технологиям производства в CPU интегрируется все больше и больше электронных компонентов. Десятки тысяч или даже миллионы микротранзисторов образуют внутреннюю часть CPU.

В настоящее время можно выделить две очевидные тенденции в развитии зарубежных высокопроизводительных микропроцессоров.

Во-первых, компании, разрабатываемые высокопроизводительные процессоры, все больше концентрируются на рынке, который включает только несколько компаний. Во-вторых, постоянное улучшение производительности однопроцессорных систем наталкивалось на очевидные препятствия с точки зрения основной частоты, структуры и энергопотребления. Поэтому микропроцессорные компании представили многоядерные микропроцессоры.

AMD и Intel – два соперника на мировом рынке процессоров.

Столкнувшись с ограничениями, связанными с высоким энергопотреблением процессора, Intel и AMD обратили свое внимание на многоядерные процессоры. Многоядерные процессоры могут обеспечить немедленную и экономичную технологию для решения современных проблем проектирования процессоров, чтобы снизить повышенное потребление тепла и энергии по мере того, как тактовая частота одноядерных процессоров продолжает расти.

Институт вычислительных технологий Китайской академии наук, финансируемый программой China 863 и Проектом инноваций в области знаний Китайской академии наук, занимается разработкой серии высокопроизводительных универсальных процессоров Loongson и последовательно занимается разработкой высокопроизводительных процессоров общего назначения. Завершена разработка 32-битных процессоров Loongson 1, 64-битных Loongson 2 и усовершенствованных процессоров Loongson 2 (именуемых Loongson 2E).

Loongson 2E совместим с системой инструкций MIPS III и использует динамическую супер-скалярную супер-конвейерную структуру с четырьмя передачами для реализации расширенного прогнозирования передачи, переименования регистров, динамического планирования и других механизмов доступа к динамическому хранилищу. Компоненты Loongson 2E с плавающей запятой могут поддерживать операции мультимедиа со структурой SIMD и операции с плавающей запятой двойной одинарной точности. Loongson 2E прошел аттестацию, организованную Китайской академией наук в сентябре 2006 г., и группа экспертов по оценке согласилась, что: «Высокопроизводительный процессор общего назначения Loongson 2E достиг международного продвинутого уровня в однопроцессорной конструкции, и это ведущий уровень в отечественной разработке CPU общего назначения».

В настоящее время Институт вычислительных технологий разработал многоядерный процессор Loongson-3. Loongson-3 имеет масштабируемую кон-

струкцию, количество ядер процессора может быть легко увеличено с нескольких до десятков, и будет использоваться технология супер-виртуальных машин, позволяющая запускать несколько приложений с набором команд одновременно. Кроме того, для традиционной проблемы использования многопроцессорных ядер для ускорения однопоточной обработки Loongson 3 также будет использоваться параллельную виртуальную машину, которая объединяет программное и аппаратное обеспечение для ее решения. Перед лицом огромного потенциального рынка Китая, Godson еще предстоит пройти долгий путь. В настоящее время Godson необходимо найти разумную рыночную позицию, полностью использовать технические преимущества своих продуктов и увеличить продвижение приложений.

Микропроцессор должен являться высоконадежным интегральным устройством. Под надежностью понимается свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортировки [1, 2].

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, ремонтпригодность, восстанавливаемость, долговечность, сохраняемость, готовности или определенные сочетания этих свойств [3-5].

Для микропроцессоров показателями надежности являются [6-9]:

- интенсивность отказов;
- средний ресурс до списания;
- средний срок сохраняемости.

Значения эксплуатационной интенсивности отказов большинства групп ЭРТ рассчитываются по математическим моделям [10-13]:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} \cdot \prod_{i=1}^n K_i;$$

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б.с.г.}} \cdot \prod_{i=1}^n K_i;$$

где $\lambda_{\text{б}}$ ($\lambda_{\text{б.с.г.}}$) – базовая интенсивность отказов типа (группы) ЭРИ, рассчитанная по результатам испытаний ЭРИ на безотказность, долговечность;

K_i – коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов в зависимости от различных факторов;

n – число учитываемых факторов.

Коэффициенты, входящие в математические модели прогнозирования интенсивности отказов ЭРИ, делятся на две группы:

1. общая группа для моделей большинства типов изделий, характеризует режимы и условия их эксплуатации, уровень качества производства ЭРИ. Общими коэффициентами моделей являются:

– K_p – коэффициент режима – величина электрической нагрузки и температура окружающей среды (корпуса изделия). Служит для пересчета базовой интенсивности отказов к фактическим режимам применения ЭРИ в аппаратуре;

– $K_{пр}$ – коэффициент приемки – степень жесткости требований к контролю качества и правила приемки изделий. Отражает два уровня качества изготовления изделий – общего военного применения и повышенной надежности;

– $K_э$ – коэффициент эксплуатации – учитывает степень жесткости условий эксплуатации и показывает, во сколько раз интенсивность отказов ЭРИ в аппаратуре конкретного класса выше при всех прочих равных условиях, чем в наземной стационарной аппаратуре;

– $K_{ии}$ – коэффициент влияния ионизирующих излучений – учитывает влияние воздействующих ионизирующих излучений естественного и искусственного происхождения на надежности ЭРИ.

2. Данная группа включается в модели конкретных классов ЭРИ и характеризует зависимость интенсивности их отказов в заданных условиях эксплуатации от конструкционных, функциональных и технологических особенностей ЭРИ. Например, коэффициентами интегральных схем (ИС) являются:

– $K_{с.т.}$ – сложность ИС и температура окружающей среды;

– K_V – величина напряжения питания для КМОП-микросхем;

– $K_{корп}$ – тип корпуса ИС.

Суммарная интенсивность отказов аппаратуры рассчитывается по формуле:

$$\Lambda_{рЭА} = K_a \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \lambda_{эij};$$

где $\Lambda_{рЭА}$ – интенсивность отказов аппаратуры;

K_a – коэффициент качества производства аппаратуры;

$\lambda_{эij}$ – интенсивность отказов i -го типа изделий j -ой группы;

n – количество изделий j -ой группы;

m – количество групп изделий.

В качестве примера расчета прогнозируемых показателей надежности микросхем приведем расчет показателей надежности микросхемы 1921BK028, выполненный в работе [12].

В соответствии с [12] общая модель надежности ИС имеет вид:

$$\lambda_{ИС} = K_{np} \times (\lambda_1 + \lambda_2),$$

где $\lambda_{ИС}$ – интенсивность отказов ИС при 25 °С (1/ч);

K_{np} – коэффициент вида приемки, характеризующий систему отбраковочных испытаний. Для системы отбраковочных испытаний с ЭТТ $K_{np} = 0,2$;

λ_1 – интенсивность отказов конструктивных элементов;

λ_2 – интенсивность отказов элементов кристалла и межэлементных соединений.

Интенсивность отказов конструктивных элементов определяется по формуле [1]:

$$\lambda_1 = \alpha_k \times \lambda_k + \alpha_{кр} \times \lambda_{кр} + n \times \alpha_c \times \lambda_c,$$

где λ_k – интенсивность отказов корпуса, $\lambda_k = 0,37 \times 10^{-7}$ (1/ч);

α_k – коэффициент, характеризующий различие корпусов разрабатываемых ИС и аналога, $\alpha_k = 1$;

$\lambda_{кр}$ – интенсивность отказов соединения кристалла с основанием корпуса, $\lambda_{кр} = 0,01 \times 10^{-7}$ (1/ч);

$\alpha_{кр}$ – коэффициент, зависящий от площади кристалла разрабатываемой ИС в мм². Площадь кристалла ИС $S_{кр} = 7,06 \times 7,03 = 49,63$ мм². Тогда $\alpha_{кр} = 2,9$;

λ_c – интенсивность отказов одного соединения, $\lambda_c = 0,0014 \times 10^{-7}$ (1/ч);

α_c – коэффициент, характеризующий конструктивные различия сварных соединений разрабатываемых ИС и аналога. Для $S_c = 3,14 \times 0,027^2 \times 800 = 1,831$ мм² $\alpha_c = 0,8$.

Таким образом, модель для оценки надежности интегральных схем на основе температуры кристалла и окружающей среды имеет определенное эталонное значение для качества и гарантии микропроцессоров.

Список литературы

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2016. – 30 с.
2. Методы контроля надежности при разработке микросхем / К.В. Зольников, С.А. Евдокимова, Т.В. Скворцова, А.Е. Гриднев // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 39-45.

3. Юдина, Н.Ю. Анализ факторов, оказывающих влияние на надежность структурных элементов сложных вычислительных систем / Н.Ю. Юдина, А.Н. Ковалев // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 86-93.
4. Электронная компонентная база космического назначения / В.К. Зольников, А.Ю. Кулай, В.П. Крюков [и др.] // Информационно-сенсорные системы в теплофизических исследованиях : сборник научных трудов. – Тамбов, 2018. – С. 215-218.
5. Скляр, В.А. Проектирование и испытания микросхем для систем сбора и обработки информации / В.А. Скляр, А.В. Ачкасов, К.В. Зольников // Радиотехника. – 2014. – № 6. – С. 94-98.
6. Жаднов, В.В. Модель отказов электронных компонентов для расчета надежности / В.В. Жаднов // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 353-361.
7. Расчет показателей стойкости работы цифровых микросхем в САПР / В.К. Зольников, В.В. Лавлинский, Ю.А. Чевычелов [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4, № 4 (16). – С. 291-301.
8. Мишанов, Р.О. Выбор электрических параметров интегральных микросхем специального назначения для проведения индивидуального прогнозирования показателей качества и надежности / Р.О. Мишанов, М.Н. Пиганов, В.П. Перевертов // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 2 (22). – С. 43-54.
9. Уткин, Д.М. Оценка надежности программно-технических комплексов специального назначения / Д.М. Уткин, В.К. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 2. – С.78-84.
10. Жаднов, В.В. О «совершенствовании» математической модели расчета надежности КМОП СБИС с учетом ЭСР / В.В. Жаднов // Технологии электромагнитной совместимости. – 2016. – № 4 (59). – С. 49-52.
11. Результаты оценки надежности микросхемы 1921ВК035 / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, Е.В. Грошева, А.И. Яньков // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 42-46.
12. Результаты оценки надежности микросхемы 1921ВК028 / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, Е.В. Грошева, А.И. Яньков // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 37-41.
13. Новикова, Т.П. Разработка алгоритма решения задач управления последовательностью испытаний электронной компонентной базы / Т.П. Новикова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 8. – С. 85-87.