

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Я. Г. Тетенькина на тему «Методы и средства измерения тепловых параметров цифровых интегральных схем с использованием температурной зависимости времени задержки распространения сигнала», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения)

1. Актуальность темы диссертации

Температура активной области цифровых интегральных схем (ЦИС) во многом определяет их функциональную и физическую надежность. Тепловые параметры ЦИС, определяющие температуру активной области изделия при выделении в нем электрической мощности, зависят от качества изготовления ЦИС и могут иметь значительный разброс. Поэтому одним из широко применяемых средств диагностики качества ЦИС является измерение их тепловых параметров ТП. Способы измерения температуры активной области ЦИС с помощью инфракрасной техники и термоиндикаторов трудоемки и используются, в основном, в исследовательских целях. В условиях массового производства используются косвенные методы измерения тепловых параметров ЦИС с преобразованием изменения температуры в изменение электрического температурочувствительного параметра (ТЧП) изделия. В стандартных способах измерения тепловых параметров изделие из режима нагрева постоянной электрической мощностью переключается в режим измерения ТЧП. Из-за возникающих при этом электрических и тепловых переходных процессов и наличия аддитивных помех, погрешность способа превышает 10-15%. Таким образом, тема диссертации Я. Г. Тетенькина, в которой решаются задачи расширения функциональных возможностей и повышения точности измерения тепловых параметров ЦИС, является в настоящее время актуальной.

2. Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 157 наименований. Общий объём диссертации 144 страницы, из них 137 страниц основного текста, включая 74 рисунка и 5 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследования, сформулирована цель работы и задачи, которые необходимо решить.

В первой главе отмечается сильное влияние температуры на интенсивность отказов ЦИС, рассмотрены линейные одномерные и распределенные тепловые модели ЦИС, проведен анализ и отмечены недостатки и ограничения существующих косвенных методов и средств измерения ТП ЦИС, определены пути совершенствования указанных методов и средств.

Во второй главе представлены результаты теоретического анализа и экспериментального исследования зависимости времени задержки распространения сигнала ЦИС с различной базовой технологией (КМОП, ТТЛ, ЭСЛ и др.) от параметров режима и температуры. Отмечается, что этот параметр у КМОП ЦИС по температурной чувствительности не уступает традиционным электрическим параметрам и может быть использован в качестве ТЧП при измерении тепловых характеристик. Показано, что основная проблема, ограничивающая его применение в качестве ТЧП, связана со сложностью измерения малых временных интервалов.

Третья глава посвящена синтезу и исследованию новых способов и устройств измерения тепловых параметров ЦИС с использованием температурной зависимости времени задержки распространения сигнала. Предложен ряд способов и устройств измерения переходной тепловой характеристики (ПТХ) ЦИС с логическими элементами типа инверторов по изменению частоты кольцевого генератора, построенного на этих элементах. Для ЦИС с триггерными элементами предложены способы измерения тепловых характеристик с формированием последовательности импульсов с длительностью пропорциональной времени задержки распространения сигнала. Разработан алгоритм расчета тепловых параметров по ПТХ по корням ее второй производной в полулогарифмическом масштабе по времени. Рассмотрены варианты реализации алгоритма с использованием численного дифференцирования экспериментальной ПТХ и аналитического дифференцирования аппроксимирующего полинома.

В четвертой главе представлены результаты разработки и исследования метрологических характеристик аппаратно-программного комплекса с микропроцессорным управлением для измерения ПТХ и расчета тепловых параметров ЦИС. Описаны функциональные возможности управляющей программы прибора. Произведена оценка погрешности измерения тепловых параметров ЦИС с использованием экспериментального образца разработанного комплекса.

В пятой главе приведены результаты измерений ТП нескольких выборок ЦИС как малой, так и высокой степени интеграции (ПЛИС) в различных условиях: естественной конвекции, принудительной конвекции и при охлаждении корпуса ЦИС с помощью массивного радиатора. Особое внимание было уделено анализу повторяемости результатов испытаний ЦИС и точности аппроксимации ПТХ, которая определяет точность и достоверность построения тепловых схем ЦИС.

Путем сравнения результатов измерения тепловых параметров ЦИС на разработанном приборе и с помощью известного измерителя теплового импеданса полупроводниковых приборов показана адекватность предложенного способа. При этом отмечается ряд преимуществ разработанных средств.

3. Научно-технический уровень и научная ценность диссертации

Научная ценность работы заключается в том, что автором впервые показана возможность использования для измерения ПТХ ЦИС температурной зависимости времени задержки распространения сигнала, что позволило устранить источники погрешностей измерения, присущие известным способам, дало возможность в 7-8 раз увеличить точность и разрешающую способность измерения в области малых времен.

Разработан и исследован способ измерения ПТХ по изменению частоты кольцевого генератора, построенного на логических элементах ЦИС. Показано, что путем умножения частоты разрешающую способность этого способа можно увеличить в число раз, равное коэффициенту умножения.

Предложен способ измерения теплового импеданса ЦИС с использованием импульсной модуляции частоты генерации кольцевого генератора, исключающий погрешности известных способов при использовании электрических ТЧП, обусловленные падением напряжения на внутренних шинах питания ЦИС.

Научное и практическое значение представляют алгоритмы определения параметров линейной тепловой схемы ЦИС по корням второй производной ПТХ в полулогарифмическом масштабе по времени. Показано, что погрешность опреде-

ления параметров отдельных звеньев тепловой цепи ЦИС быстро уменьшается с увеличением отношения тепловых постоянных времени соседних RC-звеньев тепловой цепи и при отношении более 8 не превышает 7–10 %. Следует отметить, что предложенный алгоритм применим для анализа ПТХ не только ЦИС, но и других полупроводниковых изделий планарной конструкции.

Предложены способы измерения ПТХ ЦИС с логическими элементами любого типа, путем формирования последовательности импульсов с длительностью, пропорциональной времени задержки распространения сигнала и преобразования этих импульсных последовательностей в напряжение.

4. Практическая ценность работы

Разработаны новые способы и устройства измерения ПТХ ЦИС как малой, так и высокой степени интеграции для задач диагностического контроля качества сборки ЦИС, имеющие лучшие функциональные возможности и точность по сравнению с известными средствами.

Разработан и изготовлен автоматизированный аппаратно-программный измерительный комплекс, который может быть использован как предприятиями – производителями для диагностики качества ЦИС, так и исследовательским лабораториям для измерения и анализа тепловых характеристик ЦИС.

Разработано программное обеспечение измерительного комплекса, которое может служить основой при разработке управляющих программ для микропроцессорных измерительных приборов аналогичного назначения.

5. Оформление материалов диссертации

Диссертация написана квалифицированно, литературно-техническим языком, снабжена достаточным количеством иллюстративного и табличного материала, оформление диссертации в целом соответствует требованиям стандарта.

6. Достоверность и апробация результатов

Достоверность экспериментальных результатов обеспечивается соблюдением требований стандартов на методы контроля параметров ЦИС и статистической обработкой экспериментальных данных. Достоверность подтверждается повторяемостью результатов при многократных измерениях, совпадением результатов измерений с теоретическими расчетами и результатами численного моделирования, практической реализацией исследуемых методов и средств. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на ряде научно-технических конференций, достаточно полно отражены в 18 публикациях, из которых 3 статьи в изданиях из Перечня ВАК и 7 авторских свидетельств и патентов.

Автореферат в целом полно и правильно отражает содержание работы.

Основное содержание и полученные результаты диссертации соответствуют заявленной специальности - 05.11.01- Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения).

7. Замечания по диссертации

- В первой главе диссертации недостаточно внимания уделено анализу метрологических характеристик известных средств измерения тепловых параметров ЦИС, нечетко сформулированы недостатки существующих измерителей.

- Во второй и третьей главах диссертации, посвященных исследованию аппаратных средств и способов снижения погрешностей измерения тепловых параметров ЦИС, не представлены численные сравнения тех же параметров, полученных существующими стандартными способами.

- Автором предложены два варианта алгоритма расчета тепловых параметров ЦИС по ПТХ: с использованием численного дифференцирования и полиномиальной регрессии, однако не приведены рекомендации и не указаны особенности практического применения того или иного варианта.

- В тексте работы имеются ошибки и опечатки (стр.1, стр.12, стр. 82, стр.143), использование англоязычных надписей на рисунках (рис.1.1, рис. 2.9).

Указанные недостатки однако, не ставят под сомнение основные защищаемые положения диссертационной работы.

8. Заключение

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что диссертационная работа Я. Г. Тетенькина выполнена на высоком научно-техническом и методическом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предложено решение актуальной задачи повышения точности и расширения функциональных возможностей методов и средств измерения тепловых параметров цифровых интегральных схем, имеющей важное значение для развития средств диагностического контроля качества ЦИС.

Считаю, что диссертация Я. Г. Тетенькина по актуальности, научному уровню и практическому значению выполненных исследований и технических разработок отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Тетенькин Я. Г. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 «Приборы и методы измерения по видам измерений (электрические измерения)».

**Официальный оппонент, доктор
технических наук, профессор,
профессор кафедры «Конструирование
и технология электронных систем и устройств»
Самарского университета**

/М. Н. Пиганов/



Пиганов Михаил Николаевич, д.т.н., специальность 05.27.01, профессор
443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе, д.34.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), кафедра «Конструирование и технология электронных систем и устройств»

e-mail: kipres@ssau.ru

Тел. раб. 8(846)334-74-43, 8(846)267-45-39, 8(846) 335-18-26

моб. 8(917)152-32-92

web-сайт: ssau.ru.