

## ДОПУСКОВЫЙ КОНТРОЛЬ РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЛАТ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

© 2006 Ю.Н. Антонов

Ульяновский государственный технический университет

Исследовано применение нечетких моделей данных для выполнения допускового контроля пленочных резисторов и идентификации плат гибридных интегральных схем. На основе результатов исследования разработана автоматизированная система контроля, с помощью которой можно в условиях серийного производства контролировать пленочные резисторы и оценивать состояние плат гибридных ИС.

### Введение

Для обеспечения высокого процента выхода годных гибридных интегральных схем (ИС) в технологический процесс (ТП) производства включают контрольные операции: пооперационные, визуальные, тестовые.

Частью пооперационного контроля является допусковой контроль пленочных резистивных элементов (РЭ), с помощью которого обеспечивается проверка соответствия технологического значения сопротивления расчетному значению (номиналу)[1]. Повышение эффективности системы допускового контроля РЭ связано с решением задач:

- 1) выбора модели данных для определения состояния РЭ;
- 2) описания условий и правил для интерпретации численных значений отклонения сопротивления РЭ и состояния плат гибридных ИС качественными признаками;
- 3) создания автоматизированных систем контроля с возможностью настройки допусков (расчетного и технологического), в зависимости от видов взаимозаменяемости и назначения гибридных ИС.

Методологической основой решения вышеуказанных задач является теория нечетких множеств. В качестве модели обработки неопределенности используется интервальная математика.

### Обоснование необходимости применения нечеткой модели данных для допускового контроля

Анализ деятельности зарубежных фирм по повышению качества электронных компонентов показывает, что многие из них либо перешли, либо переходят на методологию качества  $6\sigma$  (шести сигма) [2].

В соответствии с этой методологией брак в производстве гибридных ИС не должен превышать 3 - 4 дефектных изделия на 1000000 изделий. Метод  $6\sigma$  является пятиступенчатым и включает:

- определение правильности проекта;
- анализ основных факторов, влияющих на качество изделий и ТП;
- измерение параметров изделия и параметров ТП;
- улучшение операций ТП и оптимизация производительности;
- управление путем удержания достигнутого.

Методология  $6\sigma$  предъявляет высокие требования к эргодичности и стационарности ТП и для ее применения особенно важна оперативность допускового контроля РЭ и идентификация гибридных ИС.

Поскольку вероятностные модели для оценки качества гибридных ИС, из-за трудностей с выборками, не всегда адекватно отражают реальную производственную ситуацию, то для допускового контроля РЭ в настоящее время начинают использоваться ме-

тоды, учитывающие неопределенность в данных и объединяющие вероятностный подход (расчет и уточнение допусков) и теорию нечетких множеств. В основе такого объединения - совмещение абсолютной числовой шкалы измерений с лингвистической шкалой качественных признаков.

В отличие от случайности, связанной с неопределенностью, касающейся принадлежности или непринадлежности объекта к четкому множеству, понятие “нечеткость” относится к классам, в которых могут быть различные градации значений функции принадлежности объекта.

Для задания функции принадлежности используются как прямые, так и косвенные методы. В первом случае, правила определения значений функции принадлежности могут быть заданы таблицей, формулой или графиком.

Во втором случае, значения функции принадлежности выбираются экспертом таким образом, чтобы удовлетворять заранее сформулированным условиям.

В зависимости от характера функций принадлежности различают следующие функции: линейную, нелинейную (квадратичную, кубическую, параболическую и т.д.), тангенциальную, синусоидальную и др. На практике часто применяют кусочно-линейные функции принадлежности[3].

При создании нечеткой модели данных системы допускового контроля определяются термы лингвистических переменных, соответствующих значениям функции принадлежности, и условия, в соответствии с которыми все РЭ разбиваются, в зависимости от их состояния, на классы[4].

Например, лингвистическая переменная “Состояние РЭ” может включать термы, определяемые в соответствии с условиями:

- в допуске – если для РЭ отклонение сопротивления не выходит за границы допуска на номинал (расчетного допуска);
- условно в допуске -- если для РЭ отклонение сопротивления выходит за границы допуска на номинал и может быть подогнано;
- не в допуске -- если для РЭ отклонение сопротивления выходит за границы допуска

на номинал и не может быть подогнано.

В свою очередь, лингвистическая переменная “состояние платы гибридной ИС” может включать термы, вычисляемые по правилам:

- годная – если для каждого РЭ платы отклонение сопротивления не выходит за границы допуска на номинал;

- условно годная -- если существуют некоторые РЭ платы, отклонение сопротивления которых не выходит за границы допуска на номинал, и существуют некоторые РЭ, отклонение сопротивления которых выходит за границы допуска на номинал и может быть подогнано;

- брак -- если существует такой РЭ на плате, отклонение сопротивления которого выходит за границы технологического допуска и не может быть подогнано.

Совокупность лингвистических переменных и их термов определяет семантическое пространство системы допускового контроля и зависит, прежде всего, от назначения гибридных ИС.

Поскольку все объекты подложки (РЭ и платы гибридных ИС) обладают параметрами, характеризующими конфигурацию и их физическое состояние, то успешность контроля определяется, прежде всего, структурой информации об этих объектах.

Для размещения объектов подложки в памяти системы допускового контроля реализована многоуровневая база данных. Настройка значений параметров объектов топологии в базе данных реализуется с помощью знаний экспертов (табл. 1-3).

Например, для вычисления принадлежности РЭ к одному из нечетких подмножеств “В допуске”, “Условно в допуске” и “Не в допуске” используются параметры: сопротивление, расчетный допуск, технологический допуск.

Применение нечетких моделей позволяет разбивать все РЭ каждой платы в процессе допускового контроля на классы, исходя из требуемых состояний плат гибридных ИС, и выбирать управляющие воздействия для изменения состояния РЭ.

Таблица 1. Подложка с платами гибридных ИС

№	Параметр	Значение
1	Число плат	48
2	Количество плат гибридных ИС по $X$	12
3	Шаг между платами по $X$ , мм	5

Таблица 2. Плата гибридной ИС

№	Параметр	Значение
1	Тип платы	058
2	Координаты границ платы по $X$ , мм	2.020
3	Координаты границ платы по $Y$ , мм	1.200

Таблица 3. Резистор платы

№	Параметр	Значение
1	Номер резистора	1
2	Диапазон измерения, Ом	1000
3	Сопротивление, Ом	400
4	Расчетный допуск, %	5.00
5	Технологический допуск, %	40.00

### Правила оценки состояния РЭ и платы гибридной ИС

Как предмет исследования подложка с платами гибридных ИС представляется многоуровневой иерархической структурой, на которой находятся  $L$  плат гибридных ИС, а каждая из плат может включать до  $K$  РЭ. Для решения задачи допускового контроля РЭ и идентификации плат гибридных ИС используется метод анализа иерархий (МАИ) [5].

Особенностью применения МАИ является то, что на каждом уровне иерархии подложки с платами гибридных ИС имеются четкие упорядоченные множества элементов, состояния которых нечеткое (качественное) и определяется функцией принадлежности.

Для определения степени принадлежности РЭ и плат гибридных ИС представим

топологию подложки как трехуровневую структуру “подложка с платами гибридных ИС” – “плата гибридной ИС” – резистивные элементы платы гибридной ИС”:

- 1) подложка с платами гибридных ИС  $D:D^1$
- 2) плата гибридной ИС  $P: P^1 P^2 P^3 \dots P^L$
- 3) РЭ платы гибридной ИС  $R: R^1 R^2 R^3 \dots R^K$ ,

где  $L, K$  – соответственно номера плат и РЭ.

Между уровнями плат гибридных ИС и РЭ существует бинарное нечеткое отношение принадлежности:

$$O:R^k P^l \rightarrow [0,1], \quad (1)$$

определяемое матрицей  $\mathbf{B}$ .

Нечеткая модель для допускового контроля РЭ и идентификации платы гибридной ИС может быть создана в два этапа:

1) определяются условия, выделяющие нечеткое анализируемое значение;

2) задаются нечеткие переменные для входных/выходных параметров и нечеткие правила для описания всех возможных состояний РЭ и плат.

С помощью элемента матрицы  $mm^R_{LK}$  определяется принадлежность РЭ  $R^K$  нечеткому множеству с состоянием, описываемым одним из значений лингвистической переменной “В допуске”, “Условно в допуске” и “Не в допуске”. Для вычисления степени принадлежности РЭ  $R^K$  с текущим измеренным значением отклонения  $\Delta R^K_L$  сопротивления от расчетного (нормативного) значения  $R^K_{PL}$  используется функция принадлежности:

$$\mu^R_{LK} = 1 - \Delta R^K_L / R^K_{PL}. \quad (3)$$

Выражение (3) представляет собой диапазон (шкалу) изменения функции принадлежности РЭ  $mm^R_{LK}$ .

Степень принадлежности  $\mu^L(R)^{PL}$  платы гибридной ИС нечеткому множеству вычисляется с помощью операции пересечения II типа (алгебраического произведения) степеней принадлежности всех РЭ в соответствии с выражением:

$$\mu^L(R) = \prod_1^K \mu^R_{LK} \rightarrow [0,1]. \quad (4)$$

Идентификация состояния РЭ платы гибридной ИС осуществляется с помощью правил нечеткого логического вывода на основе модели Mamdani[6,7]. Лингвистическая переменная  $Y_{LK}$  описывающая состояние  $K$ -го РЭ, может принимать одно из двух значений “В допуске” и “Не в допуске” на основе условий:

$$(\mu^R_{LK} > (1 - D^P_{LK})) \Rightarrow Y^R_{LK} = "В \_ допуске "; \quad (5)$$

$$(\mu^R_{LK} > 1) \vee (\mu^R_{LK} > (1 - D^T_{LK})) \Rightarrow Y^R_{LK} = "Не \_ в \_ допуске" \quad (6)$$

где  $D^P_{LK}$  – допуск на номинальное значение сопротивления  $K$ -го резистивного элемента  $L$ - платы;

$D^T_{LK}$  – допуск на технологическое зна-

чение сопротивления  $K$ -го резистивного элемента  $L$ - платы.

Состояние РЭ “Условно в допуске” определяется с помощью условия:

$$((\mu^R_{LK} < (1 - D^P_{LK})) \wedge (\mu^R_{LK} > (1 - D^T_{LK})) \Rightarrow Y^R_{LK} = "Условно \_ в \_ допуске" \quad (7)$$

Состояние платы гибридной ИС также характеризуется одним из трех значений лингвистической переменной: “Годная”, “Условно годная”, “Брак” и определяется с помощью правил:

$$\forall (K) Y^R_{LK} = "В \_ допуске" \Rightarrow Y^P_L = "Годная"; \quad (8)$$

$$\exists (K) Y^R_{LK} = "Не \_ в \_ допуске" \Rightarrow Y^P_L = "Брак"; \quad (9)$$

$$(\exists (K) Y^R_{LK} = "Условно \_ в \_ допуске") \vee (\exists (K) Y^P_L = "Не \_ в \_ допуске") \Rightarrow Y^P_L = "Условно \_ годная"; \quad (10)$$

Допусковый контроль РЭ на основе нечеткого подхода следует применять, когда информация, полученная с помощью статистических методов, не соответствует требованиям по достоверности или ее получение затруднено из-за высокой стоимости или продолжительности контроля.

В этом случае, применение производственных автоматизированных систем контроля, алгоритм функционирования которых реализован на принципах нечеткой логики и экспертных методах, становится наиболее целесообразным.

### Автоматизация допускового контроля РЭ

Одним из вариантов реализации автоматизированного допускового контроля является применение приспособления ИП № 83-020-89 (г. Челябинск) для контроля РЭ плат гибридных ИС [8]. Недостаточная производительность данного оборудования затрудняет его применение в условиях серийного производства.

Анализ возможности применения для допускового контроля зондового оборудования ОАО “НИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ” (г. Саратов) показал, что оно так-



Рис. 1. Автоматизированная система допускового контроля:

же не может быть использовано в условиях серийного производства, поскольку не имеет подвижного координатного стола, что делает невозможным автоматизированную обработку подложек с регулярным размещением одинаковых плат гибридных ИС, изготовленных по групповой технологии [9].

Поэтому, на базе установки лазерной подгонки АМЦ 06204 [10] разработана автоматизированная система допускового контроля РЭ и идентификации состояния плат гибридных ИС (рис. 1, 2).

**Принцип работы.** На координатный стол (5) устанавливается подложка с платами гибридных ИС. С помощью зондовой головки (4) и блока коммутации осуществляется подключение выводов РЭ к измерителю (1) для определения отклонения сопротивления РЭ от номинального значения. Для смены положения подложки с платами гибридных ИС для нового измерения осуществляется ее перемещение с помощью привода (2). Величина номинального значения сопро-

тивления резистора, допуски, номера контактов зондов хранятся в базе данных и используются в процессе измерения.

**Программное обеспечение.** С помощью программного обеспечения выполняется тестирование устройств, вводятся данные по топологии, осуществляется допусковый контроль РЭ и идентификация гибридных ИС.

С помощью тестов осуществляется проверка шагового привода, точности координатного стола, измерителя, коммутатора зондов.

Программное обеспечение ввода данных позволяет: формировать структуру баз данных подложек; выполнять ввод и настройку данных под конкретную структуру подложки; отображать топологию подложки с платами и резисторами на мониторе для контроля правильности указания координат. Координатные данные вводятся вручную или автоматически. В ручном режиме координаты снимаются с чертежа и с помощью клавиатуры ЭВМ вводятся в базу данных. В автоматизированном режиме, перемещая координатный стол с помощью дигитайзера пульта управления от точки к точке, скалываются координаты со счетчиков  $X, Y$  шаговых приводов и заносятся в базу данных. Программное обеспечение ввода данных позволяет формировать библиотеку баз данных подложек широкой номенклатуры.

Программа измерения выполняет функции: выбор описания конкретной подложки из библиотеки баз данных, расчет координат узловых точек (контактирования), подъем координатного стола под зондовую головку, перемещение (позиционирование) стола в плоскости  $XU$ , определение отклоне-

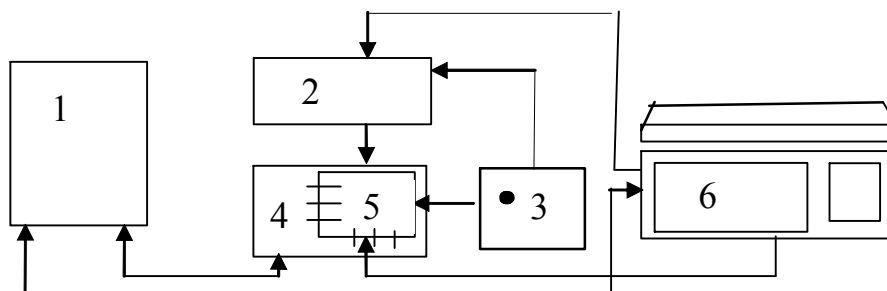


Рис. 2. Схема автоматизированной системы допускового контроля:  
1 - измеритель; 2- привод координатного стола; 3 - пульт ручного управления столом; 4-зондовая головка и устройство коммутации;  
5 - координатный стол с подложкой; 6- компьютер

ния сопротивления РЭ от номинала, идентификацию РЭ и плат гибридных ИС, накопление данных по обработке и выдачу их на печать.

Информация, полученная в процессе допускового контроля, может быть использована в дальнейшем для корректирования режимов работы технологического оборудования и оптимизации технологического процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инишаков А.Н., Инишаков С.А., Морозов М.В.* ДОПАН – система допускового анализа для проектирования интегральных схем// Электронная промышленность. 1995. №8.
2. *Питер С. Пэнди, Роберт П. Ньюмен, Роланд Р. Кэвенег.* Курс на Шесть Сигм. Как General Electric, Motorola и другие ведущие компании мира совершенствуют свое мастерство. М: Лори, 2002.
3. *Тарасик В.П., Рынкевич С.А.* Интеллектуальные системы управления транспортными средствами. Минск.:УП “Технопринт”, 2004.
4. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: М.: Мир, 1976.
5. *Saaty T.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. Радио и связь. 1993.
6. *Mamdani E. H*// Int. J. Man-Machine Studies. 1976. Vol. 8.
7. *Y. Antonov.* The Fuzzy Approach to an Estimation of Condition of Film Resistors and Hybrid Integrated Circuits. ICEP 2006. International Conference on Electronics Packaging. Formerly IEMT/IMC Symposium. April 19-21, 2006. Tokyo, Japan.
8. <http://www.shop.csti.ru/documentdetails.aspx?documentid=83-020-89&db=konstr>. Конструкторская документация. Многозондовое приспособление для контроля пленочных резисторов ИП № 83-020-89. ЦНТИ. 2002. Челябинск.
9. [www.cime.ru/s24.htm](http://www.cime.ru/s24.htm). Система контроля микросхем и электронных компонентов “ВОЛНА”.
10. *Антонов Ю.Н., Вершинин К.И., Николаев В.М.* Программное обеспечение автоматизированной установки лазерной подгонки резисторов// Приборы и системы управления. 1991. № 8.

#### TOLERANCE CONTROL OF RESISTIVE ELEMENTS AND IDENTIFICATION OF HYBRID INTEGRATED CIRCUITS' BOARDS USING FUZZY EXPERT SYSTEM

© 2006 Y.N. Antonov

Ulyanovsk State Technical University

Application of the fuzzy data models for performance of tolerance control of film resistors and identification of hybrid integrated circuits' boards was researched. On the basis of research results the automated control system was developed. Using this system makes it possible to control film resistors and to estimate condition of hybrid IC's boards' in condition of batch production .