

УДК 621.3.047.77-026.13(045)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ К ВНУТРЕННИМ ДЕФЕКТАМ

А.И. БЕЛОУС, А.В. ПРИБЫЛЬСКИЙ

ОАО «ИНТЕГРАЛ»

Казинца И.П., 121А, Минск, 220108, Беларусь

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 14 мая 2012

Важнейшей проблемой обеспечения эксплуатационной надежности современной радиоэлектронной аппаратуры является проблема обнаружения в процессе производства интегральных схем, имеющих скрытые (неявные) дефекты. Такие дефекты не выявляются обычными видами контроля, заложенными в нормативной технической документации.

*Ключевые слова:* скрытый дефект, эксплуатационная надежность, интегральная схема, отбраковка, выходной контроль.

### Введение

Использование в технологическом процессе дополнительных этапов отбраковки, термотренировки, испытаний интегральных схем и дополнительных операций измерения электрофизических параметров позволяет существенно снизить интенсивность отказов аппаратуры. Однако в силу известных тенденций развития микроэлектроники (повышение степени интеграции, уменьшение вертикальных и горизонтальных геометрических размеров активных элементов и токоведущих слоев) современные интегральные схемы становятся все более чувствительны к наличию скрытых производственных дефектов. Известные методы отбраковки не позволяют эффективно выявлять интегральные схемы со скрытыми дефектами кристалла из-за сложности учета влияния внешних воздействий на внутренние элементы на этапах выходного контроля.

### Теоретический анализ возможности обнаружения скрытых дефектов

Теоретическую основу неразрушающего метода диагностического контроля составляют исследования физических характеристик вещества и обнаружение несовершенства его структуры. Эти методы базируются на результатах анализа механизмов отказов и исследованиях кинетики физико-химических процессов, приводящих к отказам.

В общем случае выходную характеристику интегральной схемы по  $r$ -му выходному параметру  $Y_r$  можно представить в виде [1, 2]:

$$Y_r = \Phi(q_1, \dots, q_L, E_1, \dots, E_N), \quad (1)$$

где  $q_\ell$  ( $\ell = 1 \dots L$ ) – внутренний параметр полупроводникового прибора;  $E_k$  ( $k = 1 \dots N$ ) – параметр внешнего воздействия.

Под внешним воздействием ( $E_k$ ) понимается воздействие окружающей среды (температура, радиация, влажность), изменение характеристик входных сигналов и напряжений источ-

ников питания, изменение величины электрической нагрузки. Внутренними параметрами будем считать электрические параметры элементов, составляющих интегральную схему.

Воспользовавшись разложением в ряд Тейлора с точностью до первых членов, получим:

$$\Delta Y_r = \sum [d\varphi(q_i, E_k) \cdot \Delta E_k] / \Delta E_k. \quad (2)$$

Коэффициенты (коэффициенты чувствительности), стоящие перед абсолютными величинами  $\Delta E_k$  характеризуют степень влияния отклонений соответствующего параметра  $E_k$  на изменение  $\Delta Y_r$   $r$ -го выходного параметра  $Y_r$ . Если все дефекты кристалла свести к утечкам между какими-либо узлами схемы, то можно представить дефект в виде паразитного внутрисхемного резистора утечки, значение которого может изменяться от нуля до  $\infty$ . Так множество внутренних параметров интегральной схемы  $q$  можно выразить через параметры дефектов схемы  $R_{ij}$ :

$$q = f(R_{ij}), \quad (3)$$

где  $R_{ij}$  – эквивалентное сопротивление канала тока утечки между  $i$  и  $j$  узлами схемы.

Чувствительность выходных параметров интегральной схемы к различным дефектам связана с изменением значений внутренних параметров. Очевидно, что чем больше значение коэффициента чувствительности, тем сильнее дефект влияет на выходные параметры схемы и тем легче выявить дефектную схему.

Для определения коэффициентов чувствительности выходных параметров к дефектам необходимо:

– провести классификацию «скрытых» дефектов с точки зрения их влияния на выходные характеристики, чтобы найти метод отбраковки схем с наиболее распространенными дефектами;

– смоделировать механизм влияния дефекта на выходные характеристики схемы и определить режимы или метод измерений, провоцирующий усиление такого влияния.

### Методика определения коэффициентов чувствительности выходных параметров

Влияние дефектов, приводящих к возникновению токов утечки между двумя любыми узлами интегральной схемы, можно представить в виде паразитного внутрисхемного «резистора утечки» [3, 4].

Определения коэффициентов чувствительности проведем на простом примере базового вентиля серии K1533, представленной на рис. 1.

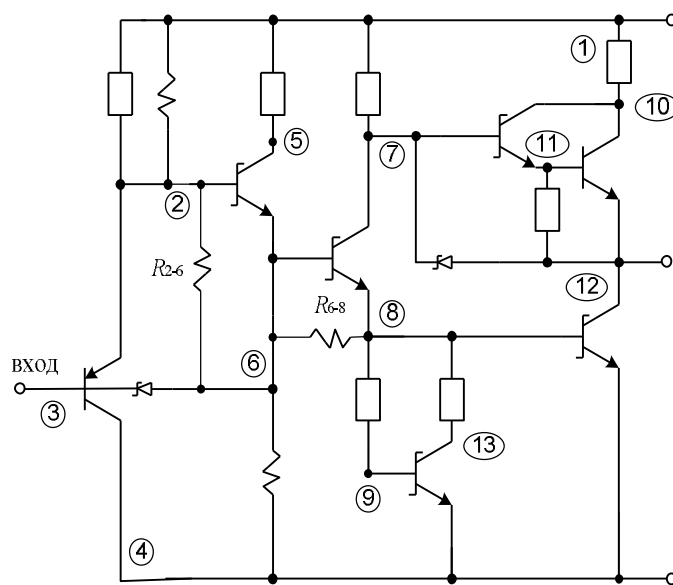


Рис. 1. Базовый вентиль серии 1533

В таком вентиле выделим 13 схемных узлов. Каждый дефект типа «утечка» будем представлять в виде эквивалентного резистора. В такой ячейке, содержащей 13 узлов, теоретически можно включить  $C_{13}^2 = 78$  различных резисторов утечки  $R_{ij}$ , где  $i$  и  $j$  номера узлов схемы, между которыми может существовать утечка. Данный подход предполагает наличие в схеме одновременно только одного дефекта типа «утечка», что подтверждается результатами анализа отказавших интегральных схем. Количественная оценка степени влияния различных дефектов на выходные параметры схемы проведена на основе расчета коэффициентов чувствительности, показывающих относительное изменение параметра при относительном изменении величины эквивалентного резистора утечки:

$$K_{ij} = \left[ \frac{\Delta N(\Delta R_{ij})}{\Delta R_{ij}} \right] \dots \left[ \frac{R_{ij}}{N(R_{ij})} \right], \quad (4)$$

где  $R_{ij}$  – величина резистора утечки, включенного между  $i$ -м и  $j$ -ым узлами схемы;  $\Delta N(\Delta R_{ij})$  – приращение выходного параметра  $N(R_{ij})$ , обусловленное изменением  $R_{ij}$  на величину  $\Delta R_{ij}$ .

Для анализа влияния температуры на чувствительность выходных параметров интегральной схемы к наличию дефектов проводилось определение максимальных коэффициентов чувствительности по выбранному типу утечки при снижении (увеличении) температуры окружающей среды и изменении напряжения питания. На рис. 2, 3 приведены зависимости величин  $K_{ij}$  от температуры и напряжения питания для наиболее критичных точек схемы.

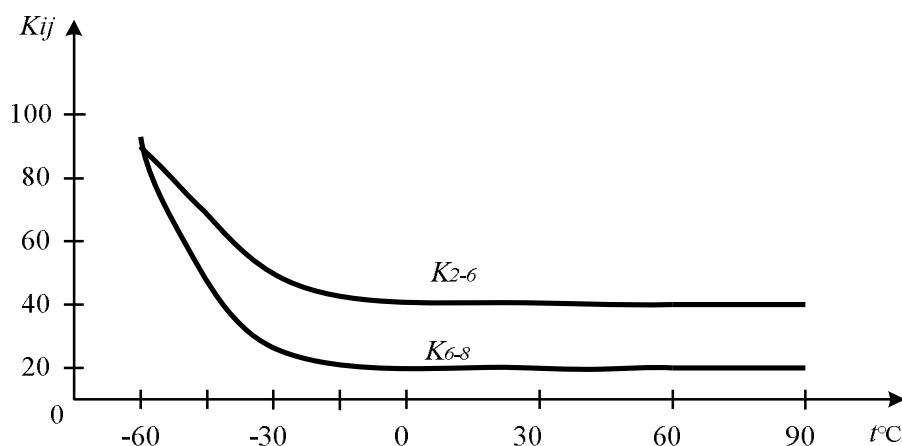


Рис. 2. Зависимость величин  $K_{2-6}$  и  $K_{6-8}$  от температуры

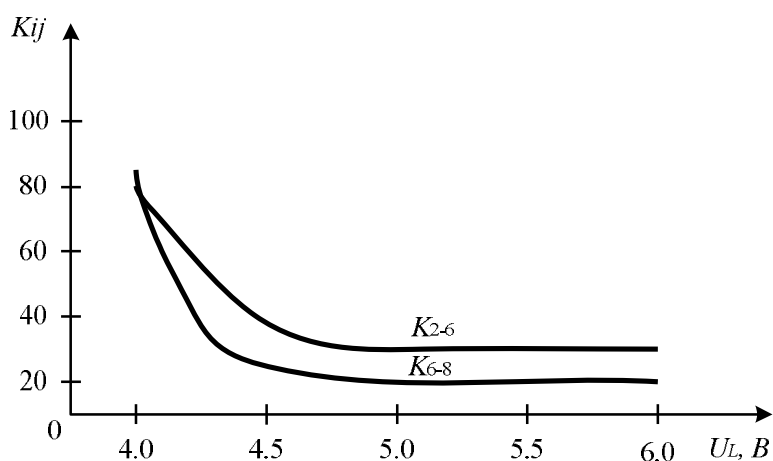


Рис. 3. Зависимость величин  $K_{2-6}$  и  $K_{6-8}$  от выходного напряжения  $U_L$

## Заключение

Таким образом, полученные экспериментально зависимости коэффициентов чувствительности от температуры и выходного напряжения низкого уровня подтверждают возрастание чувствительности к наличию скрытых дефектов при снижении температуры и напряжения питания. Отмечено отсутствие увеличения коэффициентов чувствительности при высоких температурах (рис. 2) и повышенном напряжении питания (рис. 3). Это является предпосылкой для возможного исключения контроля параметров при повышенной температуре и повышенном напряжении питания. Дополнительно следует отметить эффективность выявления интегральных схем со скрытыми дефектами (из-за повышения коэффициентов чувствительности) при контроле схем в условиях, выходящих за пределы, установленные в технической документации.

## IDENTIFICATION OF SENSITIVITY FACTORS OF IC OUTPUT PARAMETERS TO INTERNAL DEFECTS

A.I. BELOUS, A.V. PRYBYLSKI

### Abstract

The crucial problem of ensuring operational reliability of modern radio electronic equipment is the problem of detecting the integrated circuits with latent (not obvious) defects in the course of production. Such defects shall not be revealed through standard checking procedures specified in standard normative technical documentation.

### Список литературы

1. *Мурога С.* Системное проектирование сверхбольших интегральных схем. М., 1985.
2. *Красников Г.Я., Зайцев Н.А.* Физико-технологические основы обеспечения качества СБИС. М., 1998.
3. *Степковский А.Л.* Методы логического и логико-временного анализа цифровых КМОП СБИС. М., 2007.
4. *Никитин В.А.* Схемотехника интегральных схем ТТЛ, ТТЛШ и КМОП. М., 2010.