

*А.П. Диденко, Т.В. Гордяскина*  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА MULTISIM 10.0.1

Ключевые слова: Техническая диагностика, надежность, дефект, интегральная микросхема.

В работе рассматривается методика технического прогнозирования состояния ИМС и техническая диагностика ИМС в программном пакете Multisim 10.0.1.

Современная радиоэлектронная аппаратура выполняется на цифровой элементной базе, что позволяет наиболее эффективно производить обработку радиосигналов. Возникающие в аппаратуре дефекты могут привести к нарушению режима функционирования или отказу системы, заключающемуся в нарушении работоспособности изделия. Причинами отказов ИМС могут быть ошибки, допущенные при конструировании или разработке технологического процесса изготовления, дефекты процесса производства, нарушения нормальной эксплуатации и хранения, а также естественные процессы старения. Основными причинами отказов являются дефекты, вносимые в процессе производства (~90%) и в результате нарушений правил эксплуатации (~10%).

В группе дефектов, возникающих в процессе производства, примерно 50% составляют некачественные соединения, в том числе пленочные, проволочные, контактные (на границе проводников, выполненных из различных материалов или различающихся конструктивно) и др. Наиболее часто дефекты образуются в местах контактных соединений в результате, например, некачественно проведенных технологических операций термокомпрессии, пайки или сварки. Роль подобных дефектов возрастает по мере повышения степени интеграции и увеличения размеров кристаллов полупроводниковых БИС и СБИС.

По характеру изменения одного или нескольких параметров ИМС в результате отказов последние разделяются на внезапные и постепенные. Причинами внезапных отказов являются, например, нарушения контактных соединений, пробой диэлектрической пленки в МДП – структуре и пр. Причины постепенных отказов заключаются в протекании физико-химических процессов, изменяющих свойства материалов, контактных соединений, р-п-переходов. Например, проникновение влаги в корпус микросхемы вызывает изменение состояния поверхности полупроводникового кристалла и приводит к повышению токов утечки. К подобным процессам относится также электромиграция ионов на поверхности кристалла, приводящая к возникновению коротких замыканий и других нарушений. [1]

Иногда в ИМС наблюдаются отказы перемежающегося характера, т. е. многократно возникающие и исчезающие. Причинами их могут быть, например, посторонние частицы, попавшие в полость корпуса изделия.

Техническая диагностика ИМС проводится в двух направлениях:

– *Техническое прогнозирование состояния ИМС.* Предсказание технического состояния ИМС, в котором она окажется в некоторый будущий момент времени. Задачи технического прогнозирования решаются при организации технического обслуживания (ТО) радиоэлектронных систем.

– *Техническая диагностика ИМС* (определение состояния схемы в данный момент времени).

Техническое прогнозирование состояния ИМС – способность ИМС безотказно и эффективно функционировать в течение некоторого заданного временного интервала, характеризуется показателями надежности, отражающими определенные свойства

изделия. В отличие от любых физических величин надежность не может быть непосредственно измерена, а может быть только количественно оценена или предсказана. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств. При расчёте показателей надёжности устройств необходимо располагать справочными данными о показателях надёжности элементов.

Основное расчетное соотношение для вероятности безотказной работы устройства получают в предположении, что элементы электрической схемы радиоэлектронного устройства (РЭУ) с точки зрения надёжности соединены последовательно. Эта модель надёжности РЭУ иллюстрируется рис. 1 и означает, что отказ РЭУ в целом происходит при отказе хотя бы одного из элементов.

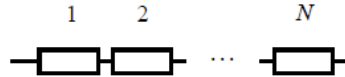


Рис. 1. Схема (модель) соединения элементов в РЭУ с точки зрения надёжности

где  $N$  – количество элементов в РЭУ.

С учётом принятой модели надёжности РЭУ и гипотезы об экспоненциальном законе надёжности элементов вероятность безотказной работы РЭУ  $P_{\Sigma}(t_3)$  за заданное время  $t_3$  находят, используя выражение

$$P_{\Sigma}(t_3) = e^{-\lambda_1 t_3} \cdot e^{-\lambda_2 t_3} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_N t_3} = e^{-t_3 \sum_{i=1}^N \lambda_i}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество элементов в устройстве;

$\lambda_i = \lambda_i$  – параметр экспоненциального распределения для  $i$ -го элемента, численно равный интенсивности отказов этого элемента,  $i = 1, \dots, N$ .

Статистически интенсивность отказов  $\lambda$  определяется как доля изделий, которые отказывают в единицу времени после момента времени  $t$  при условии, что эта доля относится к числу изделий, которые исправны в момент времени  $t$ :

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(t)\Delta t} = \frac{\Delta n}{N(t)\Delta t}, \quad (2)$$

где  $n(t)$  и  $n(t + \Delta t)$  число изделий, отказавших к моментам  $t$  и  $t + \Delta t$ .

Справочные значения  $\lambda$ , современных элементов занимают диапазон примерно  $10^{-10} \dots 10^{-5}$  1/ч. При производстве ИМС необходимо прогнозировать эксплуатационную безотказность элементов. Значения эксплуатационной интенсивности отказов  $\lambda_{\Sigma}$  большинства групп элементов (компонентов) рассчитываются по математической модели

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_B \prod_{i=1}^m K_i, \quad (3)$$

где  $\lambda_B$  – базовая интенсивность отказов элементов данной группы;

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

$m$  – число учитываемых факторов.

Студенты Волжского государственного университета водного транспорта специальности 25.05.03-65 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» в процессе обучения должны приобретать компетенции, выраженные в знании основных законов электричества и теории радио и электроники; способности к решению задач по созданию теоретических моделей, позволяющих прогнозировать изменение свойств объектов профессиональной деятельности; умения выявлять отказы и проводить ремонт на уровне прибора/модуля; умения устанавливать и устранять условия, приводящие к возникновению неисправностей.

В дисциплине «Надежность и техническая диагностика» в практической работе студентам в соответствии с вариантом, предлагается рассчитать вероятность безотказной работы ИМС на примере простейших логических элементов («И», «ИЛИ», «НЕ», «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ», «искл. ИЛИ»).

Рассмотрим пример расчета вероятности безотказной работы ИМС на примере ИМС 74AS08M логического элемента «И».

$\lambda_{\text{Э}}$  – эксплуатационная интенсивность отказов определяется в соответствии с моделью прогнозирования [2]:

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{Б}} \cdot K_t \cdot K_{\text{ИС}} \cdot K_{\text{корп}} \cdot K_V \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{П}}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{\text{Б}}$  – базовая интенсивность отказов элементов данной группы (или конкретного типа), отвечающая температуре окружающей среды +25 °С и номинальной электрической нагрузке, т. е. значению коэффициента электрической нагрузки  $K_n=1$  определяется в соответствии с моделью прогнозирования:

$$\lambda_{\text{Б}} = 0,023 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{ч}}.$$

$K_t$  – коэффициент, зависящий от температуры корпуса элемента (компонента), определяется в соответствии с моделью прогнозирования:

$$K_t = e^{(B(t_{\text{окр}}-25))}, \quad (5)$$

где  $B$  – постоянный коэффициент ( $B=0,021$ ).

$$K_t = e^{(0,021 \cdot (20-25))} = e^{-0,150} = 0,90032.$$

$K_{\text{ИС}}$  – коэффициент, учитывающий количество элементов в ИМС или бит (для ИМС памяти), определяется в соответствии с моделью прогнозирования:

$$K_{\text{ИС}} = A \cdot N^S, \quad (6)$$

где  $N$  – количество элементов в ИМС или бит ( $N=4$  логических элемента «И» в ИМС);  $A$ ,  $S$  – постоянные коэффициенты модели для логических элементов ( $A=0,336$ ;  $S=0,288$ ).

$$K_{\text{ИС}} = 0,336 \cdot 4^{0,288} = 0,50080.$$

$K_{\text{корп}}$  – коэффициент, учитывающий тип корпуса (полимерный корпус), определяется в соответствии с моделью прогнозирования:

$$K_{\text{корп}} = 3.$$

$K_V$  – коэффициент, учитывающий напряжение питания для ИМС (напряжение питания ИМС до 10В):

$$K_V = 1.$$

$K_{\Sigma}$  – коэффициент эксплуатации, зависящий от жёсткости условий эксплуатации РЭУ (стационарная аппаратура, эксплуатируемая в лабораторных условиях, капитальных жилых помещениях, помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями)

$$K_{\Sigma} = 1.$$

$K_{П}$  – коэффициент приёмки, учитывающий степень жёсткости требований к контролю качества и правила приёмки элементов в условиях производства (проверка ОТК предприятия)

$$K_{П} = 5,5.$$

В соответствии с выражением (4)  $\lambda_{\Sigma}$ :

$$\lambda_{\Sigma} = 0,023 \cdot 10^{-6} \cdot 0,90032 \cdot 0,50080 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5,5 = 0,17111 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$$

Вероятность безотказной работы ИМС  $P_{\Sigma}(t_3)$  за заданное время  $t_3 = 1$  году (8760 часов)

$$P_{\Sigma}(t = 1 год) = e^{-\lambda \cdot t_3} = e^{-\lambda \cdot 8760} = 0,998499;$$

Анализируя полученное значение вероятности безотказной работы ИМС, можно сделать вывод: за год эксплуатации выйдет из строя не более 0,15% от всех ИМС, введенных в эксплуатацию.

К основным причинам выхода ИМС из строя в рабочей схеме, можно отнести следующие дефекты: обрыв контакта элемента, короткое замыкание контактов, утечка энергии между контактами элемента

Поиск неисправностей (возможных дефектов) проводится с применением стандартных методов: визуального осмотра радиотехнической системы, механических воздействий, измерений технических параметров системы (последовательный контроль схемы в выбранных точках, замена элементов, электрическое воздействие на отдельные элементы схемы и т.д.).

Исследование влияния дефектов элементов на функционирование цифровых устройств, выполненных на интегральных микросхемах (ИМС) проводится в программном пакете Multisim 10.0.1.

В лабораторной работе студентам в соответствии с вариантом, предлагается исследовать простейшие логические элементы («И», «ИЛИ», «НЕ», «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ», «искл. ИЛИ»). Логические элементы – устройства, предназначенные для обработки информации в цифровой форме (последовательности сигналов высокого – «1» и низкого – «0» уровней в двоичной логике).

Рассмотрим пример выполнения лабораторной работы по исследованию функционирования логического элемента «И» (конъюнкция, логическое умножение).

1. Привести условно-графическое обозначение логического элемента и таблицу истинности (рис. 2).

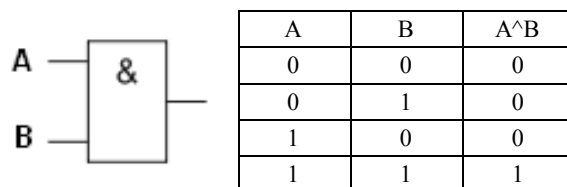




Рис. 2. Условно-графическое обозначение и таблица истинности логического элемента «И»

2. Провести проверку функционирования логического элемента «И» в программном пакете Multisim на базе ИМС 74AS08M (из группы элементов Place TTL ).

[3] Пример схемы исследования логического элемента «И» приведен на рис. 3.

Источники сигналов логической единицы (U2) – ИМС 74AS04N выбраны из группы Place TTL. Индикаторы – светодиоды (X1, X2, X3) выбраны из группы элементов Place Indicator  PROBE\_DIG\_RED. Мультиметры включены в положение вольтметра, измеряющего постоянное напряжение.

Результаты исследований функционирования идеального логического элемента занесены в таблицу 1.

3. Исследовать функционирование ИМС при возникновении дефектов. Настройка типа дефекта ИМС осуществляется в свойствах ИМС, пример настройки дефекта «обрыв входного контакта» приведен на рис. 4.

3.1. Исследование влияния дефекта «обрыв входного контакта» на работу ИМС [4]. Подаются логические единицы на оба входа (соответствующим замыканием ключей J1, J2), если один из контактов оборван, то на выходе будет логический ноль. При этом входные мультиметры показывают напряжение 5В (индикатор светится красным цветом), а на выходе напряжение равно нулю (индикатор белого цвета).

3.2. Исследование влияния дефекта «Короткое замыкание» на работу ИМС. Подаются логическая единица и ноль на входы ИМС (соответствующим замыканием ключей J1, J2). При коротком замыкании входов элемента подача на один из входов логической единицы автоматически приводит к подаче этой единицы и на второй вход (где подан логический 0), при этом на выходе элемента формируется сигнал логического нуля.

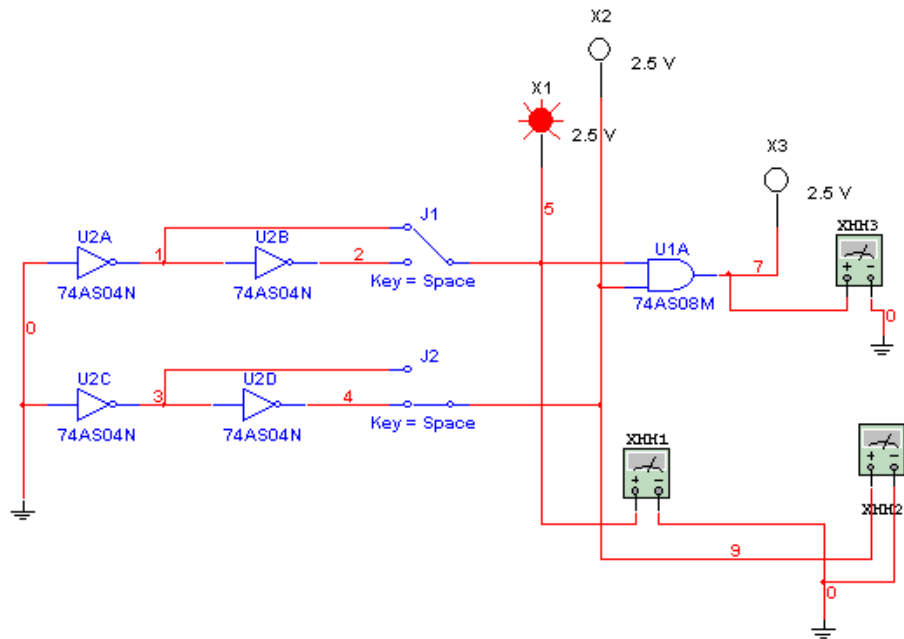


Рис. 3. Пример схемы исследования логического элемента «И»

Таблица 1

Вход 1			Вход 2			Выход		
Лог. уровень	U, В	Сост. индикатора	Лог. уровень	U, В	Сост. индикатора	Лог. уровень	U, В	Сост. индикатора
0	0		0	0		0	0	
0	0		1	5		0	0	
1	5		0	0		0	0	
1	5		1	5		1	5	

Входные мультиметры ХММ1 и ХММ2 показывают напряжение примерно по 2,5 В, напряжение на выходном мультиметре равно 0В.

3.3. Исследование влияния дефекта «Утечка» на работу ИМС. Утечка энергии между входами элемента «И» соответствуют параллельному подключению между входами резистора, чем меньше номинал резистора, тем больше утечка. При  $R \rightarrow 0$  утечка аналогична короткому замыканию участка цепи. Проверить наличие утечки можно подачей на входы элемента разных логических сигналов 0 и 1 (замыканием ключей J1, J2). При небольших утечках энергии (Рутечки ед Ом) изменений в работе схемы не наблюдается. При большой утечке энергии (Рутечки ед. мкОм) показания входных мультиметров фиксируют напряжения не 0 и 5 В, а отклонения (например  $0В \rightarrow 0,049В$ ;  $5В \rightarrow 4,951В$ ), напряжение на выходном мультиметре 0В.

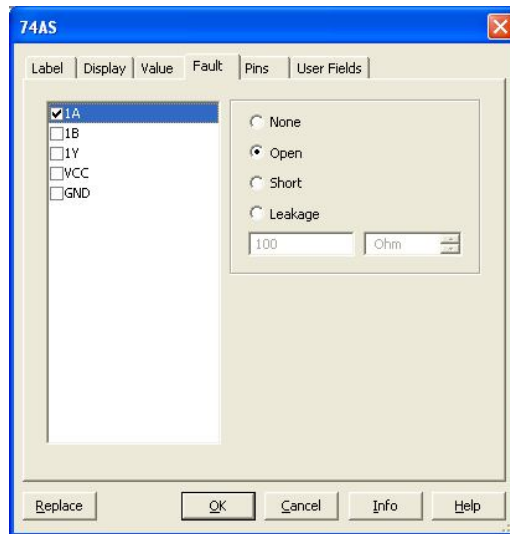


Рис. 4. Пример настройки дефекта «обрыв входного контакта ИМС»

3.4. Исследование влияния дефектов цепи питания (Ucc и GND) на работу схемы. Дефекты «обрыв контакта», «короткое замыкание» не влияют на работоспособность ИМС в Multisim (ИМС функционирует в соответствии с таблицей истинности). Дефект «утечка энергии» в цепи питания блокирует процесс моделирования работы ИМС (выдается ошибка моделирования). В реальной ИМС дефект в цепи питания вызывает отказ ИМС.

Влияние дефектов на работоспособность других ИМС исследуется аналогично. Студентам предлагается самостоятельно написать методику исследования работоспо-

способности ИМС в соответствии с вариантом работы. Своевременное выявление дефектов (сбоев) и неисправностей (отказов) цифровых ИМС является одним из условий надёжной работы электронного оборудования. Предложенная методика прогнозирования безотказной работы и технической диагностики дефектов ИМС в рабочей схеме позволяет студентам приобрести практические навыки диагностики цифровых радиоэлектронных систем.

**Список литературы:**

- [1] Романова М.П. Сборка и монтаж интегральных микросхем: учебное пособие / М.П. Романова. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 95 с.
- [2] Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие / С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян; под ред. С. М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с.
- [3] Бесперстов Э.А. Исследование логических схем с использованием программного комплекса Multisim: лабораторный практикум / Э.А. Бесперстов; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2006. – 64 с.
- [4] MSM9-E-1790 Rev. 1 (C) 2005 Electronics Workbench Corporation. All rights reserved. Published November 2005. Printed in Canada.

*Д.А. Лебедев, С.В. Перевезенцев, К.Д. Чижов*  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

## **РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА «УКВ РАДИОСТАНЦИЙ»**

Ключевые слова: судовые УКВ радиостанции, радиосвязь на транспорте, тренажерные комплексы.

В статье приводится назначение и краткое описание программного тренажерного комплекса имитирующего работу судовых радиостанций УКВ диапазона.

На кафедре радиоэлектроники в рамках кружка технического творчества студентами 5 курса специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» был разработан компьютерный тренажерный комплекс имитирующий работу наиболее распространенных судовых УКВ радиостанций. Данный комплекс планируется использовать для проведения лабораторных и практических работ по дисциплинам «Радиосвязь и радиообмен», «Радионавигация и радиосвязь на морском транспорте» и при профессиональной подготовки радиоспециалистов, на курсах повышения квалификации.

Данные занятия проводятся в лаборатории систем связи где имеются действующие физические модели радиостанций (вид радиостанций представлен на рисунке 1). К сожалению в виду высокой стоимости оборудования оснащение лаборатории большим количеством комплектов радиостанций на данный момент не представляется возможным. С этой целью решения данной проблемы перед кружком технического творчества была поставлена задача – создания компьютерных (виртуальных) моделей имеющихся в лаборатории радиостанций. В течении двух лет студентами под руководством преподавателя велась работа по созданию компьютерного тренажерного комплекса. Созданный тренажерный комплекс был оформлен в виде дипломной работы студентов Лебедева О.И. и Чижова К.Д.