

УДК 621.372.2

Нгуен Ван Туан, И. А. Иванов, А. С. Увайсова, Фам Лэ Куок Хань

Формирование базы катастрофических неисправностей электронных средств в статическом режиме

Одним из методов диагностики аналоговых схем является метод справочника неисправностей. Суть этого метода заключается в том, что выбранные тестовые воздействия подаются на вход схемы, после чего анализируется ее реакция в контрольных точках. На основе полученных результатов составляется справочник неисправностей электронного средства.

Ключевые слова: справочник, неисправность, входные воздействия, линейный участок, моделирование

Об авторах

Туан Нгуен Ван – аспирант 2-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Иванов Илья Александрович – доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА. *E-mail:* ivanov_i_a@mail.ru. Москва, Проспект Вернадского, 78.

Увайсова Аида Сайгидовна – аспирант 4-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Хань Фам Лэ Куок – аспирант 4-го года обучения кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств РТУ МИРЭА.

Современные темпы развития науки и техники приводят к усложнению устройств и систем. Особое внимание инженеры уделяют обнаружению неисправностей в схеме. Метод справочников неисправностей в статическом режиме широко используется при диагностике аналоговых схем. Проектировщику даны электрическая схема, перечень диагностируемых элементов и для формирования справочника неисправностей необходимо сформировать тестовые воздействия для выявления дефектов в схеме. Для анализа работы электрической схемы и моделирования неисправностей используется программа *Multisim*.

Основа метода справочника неисправностей

Неисправность является численной характеристикой дефекта электронного средства и обусловлена выходом значения внутреннего параметра элемента схемы за установленные границы допуска.

В зависимости от величины отклонения параметра от допустимых значений различают катастрофические и параметрические неисправности. Обычно под катастрофическими имеют в виду неисправности, при которых параметр отклонился более чем на 50% от

верхней или нижней границы допуска. «Незначительные» отклонения параметра за пределы допуска относят к параметрическим неисправностям.

Эффективным методом диагностирования катастрофических неисправностей в электрических цепях является метод справочников характерных дефектов. Метод относится к классу методов априорного моделирования и заключается в имитационном математическом моделировании заранее выбранных типовых дефектов.

Одной из ключевых задач при реализации метода справочников неисправностей является задача подбора необходимых тестовых сигналов, обеспечивающих достаточную различимость дефектов. В данной статье рассмотрен процесс формирования диагностических тестов при анализе схемы по постоянному напряжению. В статическом режиме выходной характеристикой является напряжение по постоянному току в доступном для измерения узле схемы.

В статическом режиме «вход-выходная» характеристика представляет собой нелинейную зависимость вида $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$, содержащая существенно нелинейные участки и участки, которые могут считаться квазилинейными. Связь входных и выходных значений осуществляется через внутренние параметры схемы, которые при математическом описании

сворачиваются в коэффициент, характеризующий угол наклона функции в точке.

Вход-выходная функция может быть записана системой уравнений:

$$\begin{cases} U_{\text{вых}_1} = k_1 \cdot U_{\text{вх}_1} \\ U_{\text{вых}_2} = k_2 \cdot U_{\text{вх}_2} \\ \dots \\ U_{\text{вых}_n} = k_n \cdot U_{\text{вх}_n} \end{cases} \quad (1)$$

Значение k зависит от внутренних параметров элементов и топологии схемы, т.е. $k = f(Q, L)$, где Q – внутренние параметры; L – топология схемы.

Следовательно, необходимо выбрать входные воздействия для решения системы уравнений (1).

Система уравнений будет иметь решение, если в её состав входят линейно-независимые уравнения.

Во всех точках отдельных квазилинейных участков (рис. 1) функции значения k будут одинаковыми. Описывающие данный участок уравнения будут линейнозависимыми, из чего следует, что необходимо и достаточно использовать только одно уравнение на этом участке.

Процедура выбора тестовых воздействий U_t предполагает выполнение следующим шагов:

- на каждом линейном участке выбирается по одному тестовому воздействию;
- в зависимости от погрешностей генератора входных воздействий и прибора измерений выбираются входные напряжения.

Алгоритм формирования справочника неисправностей

Алгоритм формирования справочника неисправностей приведен на рис. 2.

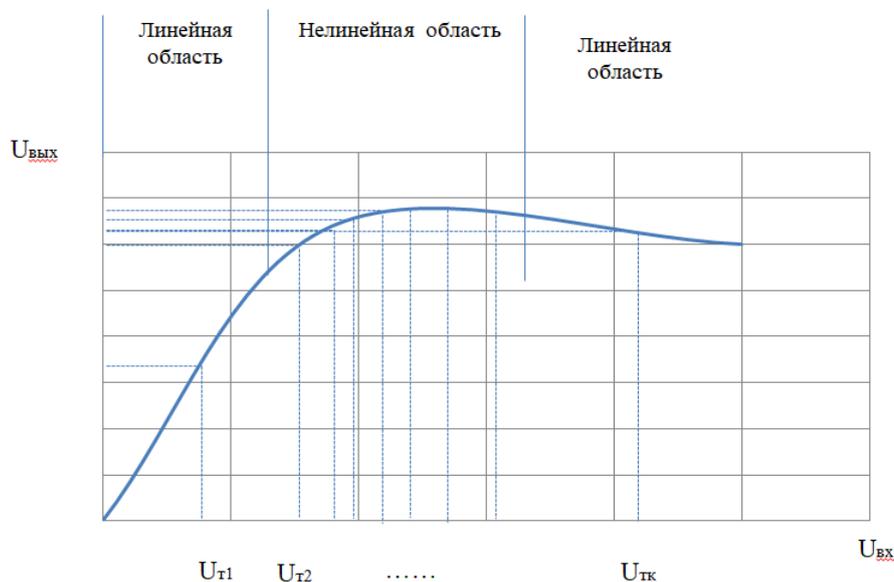


Рис. 1. График функции выходных характеристик $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$

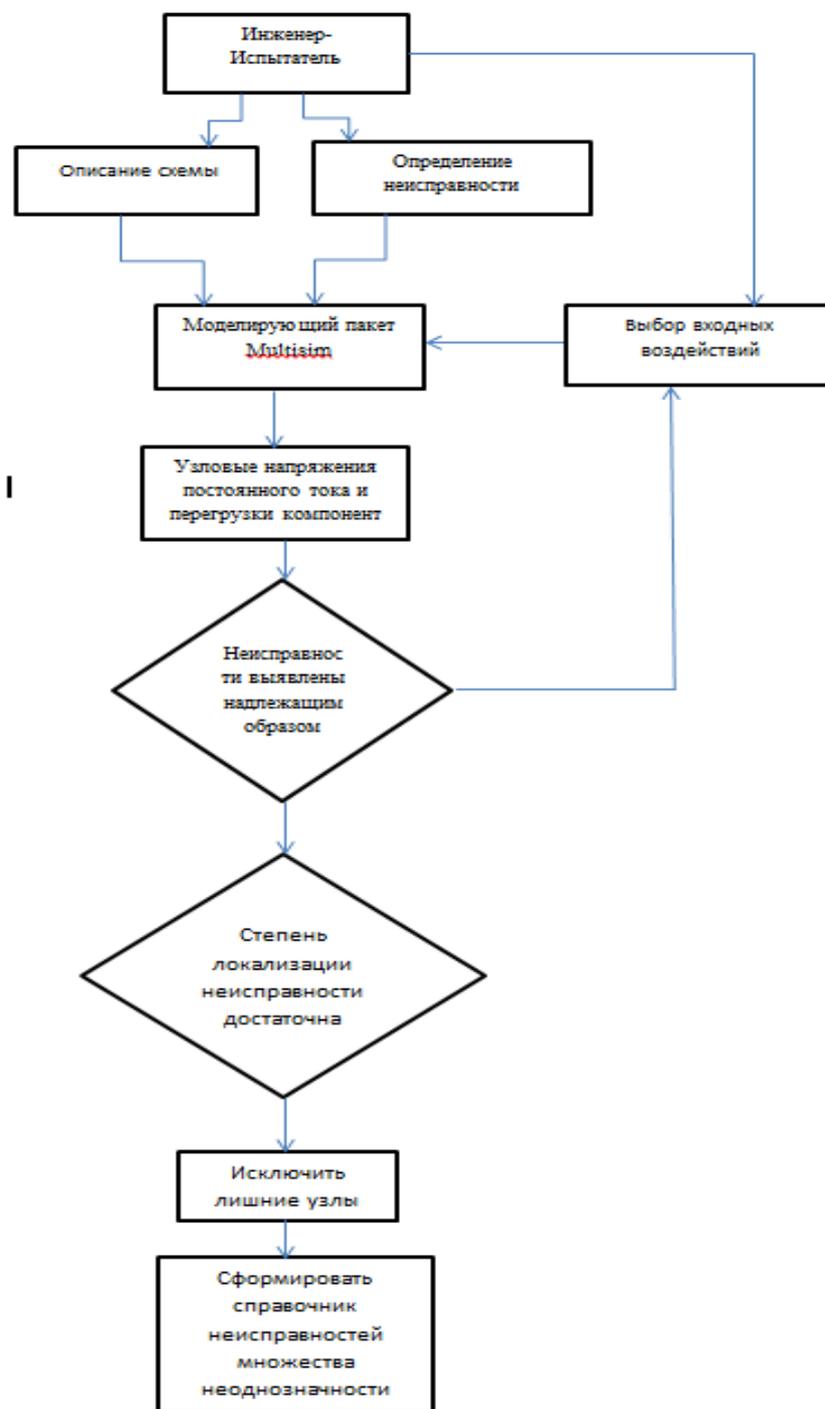


Рис. 2. Структурная схема метода моделирования по постоянному току для формирования справочника неисправностей

Шаг 1: испытатель-инженер задает описание схемы, определенный набор неисправностей и входные воздействия.

Шаг 2: проводится вычислительный эксперимент с использованием ПО Multisim (или другого, аналогичного) с заранее внесен-

ными в схему неисправностями. В результате получаем вектор выходных напряжений постоянного тока.

Шаг 3: анализ целесообразности задаваемого в качестве теста входного воздействия

для обнаружения неисправности f по формуле (2):

$$d_f = \sum_{j=1}^n (V_j^0 - V_j^f)^2, \quad (2)$$

V_j^0 – напряжение постоянного тока в j -м узле (номинальное);

V_j^f – напряжение в j -м узле при наличии неисправности;

N – число узлов измерения;

f – индекс возможных неисправностей.

Шаг 4: формируется множество неоднозначно определяемых неисправностей для каждого узла измерений с использованием различных входных воздействий.

Шаг 5: оперируя множествами неоднозначности, определяются уровень локализации и избыточные узлы измерения.

Шаг 6: формируется справочник неисправностей с использованием приведенного множества узлов измерения напряжений. Указываются группы неоднозначно определяемых неисправностей и вызываемые неисправностями вторичные перегрузки.

Формирование справочника неисправностей двухкаскадного усилителя

Схемы усилителей широко используются в технике. Схема усилителя может быть простой или сложной. В качестве примера используется схема двухкаскадного усилителя ЗЧ.

В схеме двухкаскадного усилителя ЗЧ выделяют компоненты с номинальными значениями (табл. 1).

Таблица 1. Состав ЭРЭ схемы и их номинальные значения

ЭРЭ	Номинальные значения	ЭРЭ	Номинальные значения
R1	10к Ом	VT2	2N2712
R2	10к Ом	C1	47мкФ
R3	3к Ом	C2	47мкФ
R4	300 Ом	C3	47мкФ
VT1	2N4125	–	–

Моделирование схемы двухкаскадного усилителя проводится с помощью программного обеспечения *Multisim* (рис. 3), которое позволяет проводить основные виды анализа как в режиме постоянного тока, так в частотной области.

Для проведения анализа работы схемы усилителя в статическом режиме должен быть снят конденсатор C1 во входной цепи усилителя, поскольку он мешает работе усилителя в статическом режиме. Также не следует проводить анализ неисправностей схемы в других конденсаторах.

Наиболее часто в аналоговых электрических схемах встречаются электрические дефекты типа «обрыв» и «короткое замыкание».

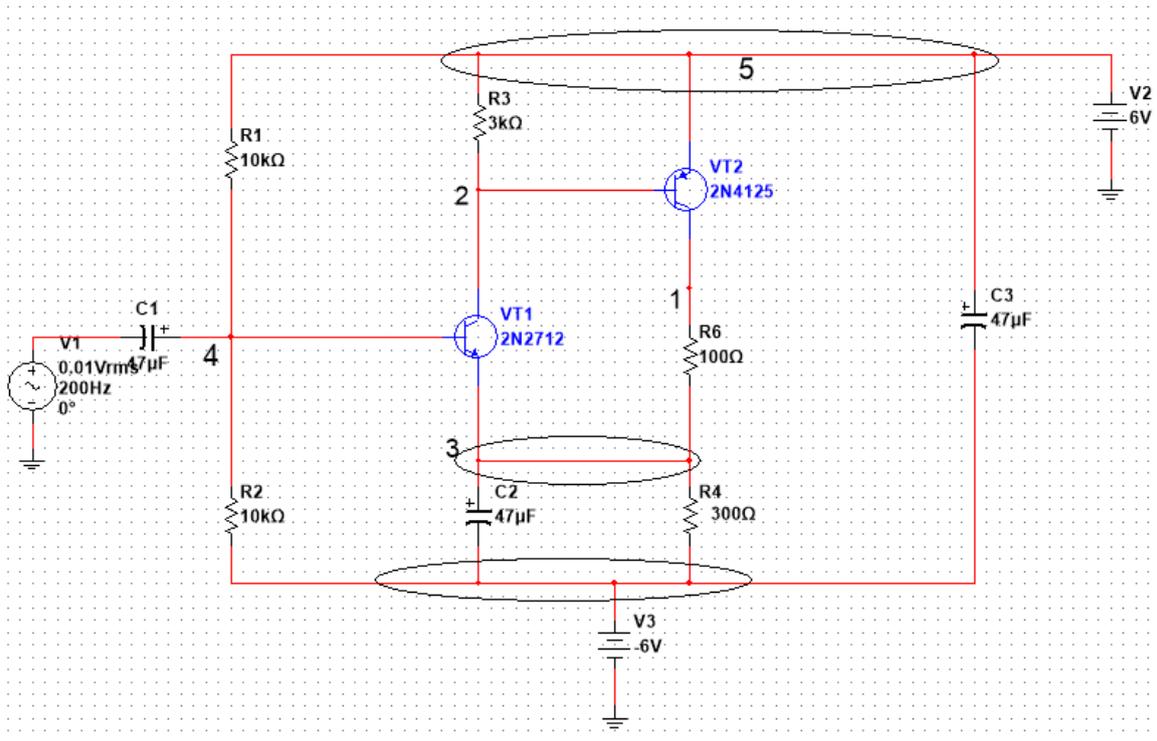


Рис. 3. Разработка схемы двухкаскадного усилителя в среде *Multisim*

Для моделирования «обрыва» (рис. 4) резистора необходимо последовательно к нему подключить резистор наибольшего сопротивления ($R_{добавочное}$).

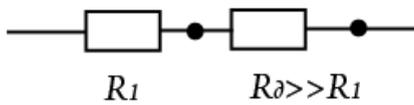


Рис. 4. Моделирование «обрыва»

Для моделирования «короткого замыкания» (рис. 5) резистора необходимо параллельно к нему подключить резистор наименьшего сопротивления ($R_{добавочное}$).

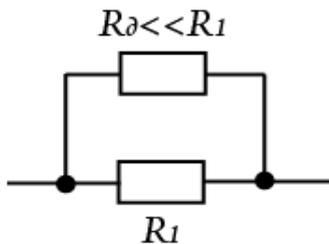


Рис. 5. Моделирование «короткого замыкания»

Для моделирования «короткого замыкания» и «обрыва» в транзисторе используем модифицируемую модель транзистора (рис. 5 и табл. 1). Значения сопротивлений, заданные в рабочем режиме в качестве номинальных, равны $R_1 = R_2 = R_3 = 0.01$ Ом и $R_4 = R_5 = R_6 = 100$ МОм.

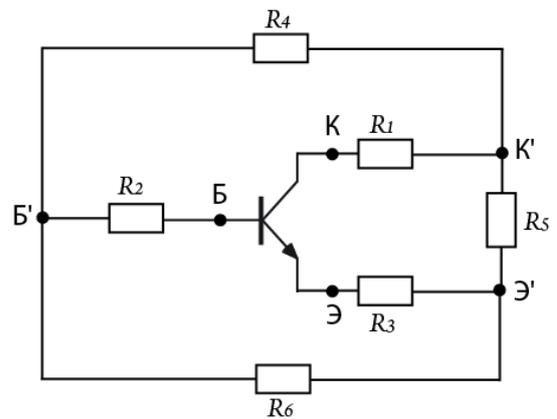


Рис. 6. Эквивалентная схема транзистора для моделирования катастрофических неисправностей

Таблица 2. Значение добавочных резисторов в модели транзистора

Вид неисправности	Значения параметра
Цепь коллектора – «обрыв»	$R_1 = 100 \text{ МОм}$
Цепь базы – «обрыв»	$R_2 = 100 \text{ МОм}$
Цепь эмиттера – «обрыв»	$R_3 = 100 \text{ МОм}$
Переход коллектор – база – «пробой»	$R_4 = 0,01 \text{ Ом}$
Переход коллектор – эмиттер – «пробой»	$R_5 = 0,01 \text{ Ом}$
Переход эмиттер – база – «пробой»	$R_6 = 0,01 \text{ Ом}$

Таблица 3. Справочник неисправностей

Элементы/ Неисправности		Точка 1			Точка 2			Точка 3		
		1V	4V	6V	1V	4V	6V	1V	4V	6V
R1	Обрыв	2.08	2.56	0.89	5.21	5.13	5.14	0.41	3.35	5.07
	Кор. замыкание	2.08	2.56	0.89	5.21	5.13	5.14	0.41	3.35	5.07
R2	Обрыв	2.08	2.56	0.89	5.21	5.13	5.14	0.41	3.35	5.07
	Кор. замыкание	2.08	2.56	0.89	5.21	5.13	5.14	0.41	3.55	5.07
R3	Обрыв	2.11	2.56	0.89	5.21	5.13	5.14	0.43	3.35	5.07
	Кор. замыкание	0.00	2.56	0.00	6.00	6.00	6.00	0.31	3.29	5.29
R4	Обрыв	0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	6.00	2.28		
	Кор. замыкание	11.67								
VT1	Обрыв в цепи базы	0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	6.00	6.00		
	Обрыв в цепи коллектора	0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	6.00	0.10	2.99	4.92
	Обрыв в цепи эмиттера	0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	6.00	3.1		
	Пробой перехода эмиттер–база	0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	6.00	1.00		
	Пробой перехода коллектор–база	2.98	2.57	0.00						
	Пробой перехода коллектор–эмиттер	1.06								
VT2	Обрыв в цепи базы	0.00	0.00	0.00	0.18	3.06	4.98	0.12	3.00	4.93
	Обрыв в цепи коллектора	5.68								
	Обрыв в цепи эмиттера	0.00	0.00	0.00	0.18	3.06	4.98	0.12	3.00	4.93
	Пробой перехода эмиттер–база	0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	6.00	0.31	3.29	5.29
	Пробой перехода коллектор–база	2.80								
	Пробой перехода коллектор–эмиттер	3.00	2.65	2.65						

Выводы

Применение метода справочников для анализа схем с малым количеством компонентов является достаточно эффективным способом технического диагностирования. Он прост в реализации, особенно в совокупности с САПР, применяемыми для моделирования, например, ПО *Multisim* может применяться

как для анализа работы схемы, так и для моделирования катастрофических неисправностей, которые могут возникнуть в элементах.

Используя данный метод, можно обнаружить различные виды неисправностей в печатном узле, но нужно учитывать тот факт, что есть некоторые ошибки, дающие такие же выходные реакции. В дальнейшем исследова-

нии предполагается комбинировать рассмотренный метод с другими диагностическими процедурами, в частности, применить аппарат искусственной нейронной сети для более точной идентификации возможных неисправностей.

Библиографический список

1. Автоматизированный поиск неисправностей / под ред. А.Р. Мозгалева. Л.: Энергия, 1968. 264 с.
2. Диагностика неисправностей в аналоговых схемах // Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. М.: Мир, 1985. № 8. С. 21–25.
3. Справочная книга радиолюбителя конструктора / под ред. Н.И. Чистякова. М.: Радио и связь, 1990. 336 с.
4. Титце У., Шенк У. Полупроводниковая схемотехника. М.: Мир, 1982. 512 с.
5. Увайсов Р.И. Метод диагностирования дефектов бортовых радиотехнических устройств / Дисс. на соиск. степ. к.т.н. М.: МИЭМ, 2008.
6. Хацкевич О.П., Бугорский В.А. Формирование тестов для диагностирования аналоговых электронных схем // Материалы научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ. М.: МИЭМ, 2009. С. 242–243.
7. Хацкевич О.П., Масленникова Я.Л., Бугорский В.А., Увайсов Р.И. Метод диагностирования дефектов конструкций РЭА // Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий: материалы научно-практической конференции. М.: МИЭМ, 2008. С. 138–139.
8. Хернтер М.Е. Multisim 7. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. М.: ДМК Пресс, 2006. 488 с.

*Поступила в редакцию
27.11.2020*