

ИЗБРАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ «ПРОБЛЕМЫ
РАЗРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОННЫХ
СИСТЕМ» ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

УДК 004.4

О ПОСТРОЕНИИ НЕЙРОМОРФНЫХ СПРАВОЧНИКОВ
НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДЛЯ АНАЛОГОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

© 2019 г. С. Г. Мосин*

Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008 Россия

*E-mail: smosin@ieee.org

Поступила в редакцию 30.11.2018 г.

После доработки 03.04.2019 г.

Принята к публикации 12.04.2019 г.

Методы машинного обучения активно используются для построения нейроморфных справочников неисправностей, которые обеспечивают диагностику неисправностей аналоговых и смешанных интегральных схем в ассоциативном режиме. Многие проблемы обучения нейронной сети, связанные с большим объемом исходных данных, могут быть решены путем уменьшения размеров обучающих наборов и использования в них только существенных характеристик. В статье представлен маршрут формирования НСН, предложен метод, основанный на вычислении энтропии, для выбора существенных характеристик обучающего набора, разработан соответствующий алгоритм. Приведены результаты экспериментальных исследований для аналогового фильтра, которые демонстрируют высокую эффективность предлагаемого метода: снижение времени обучения нейронной сети в 192 раза, покрытие полученным НСН до 95.0% катастрофических и до 84.81% параметрических неисправностей при диагностике.

Ключевые слова: диагностика неисправностей, нейроморфный справочник неисправностей, аналоговые ИС, энтропия, машинное обучение, автоматизация проектирования

DOI: 10.1134/S0544126919050089

1. ВВЕДЕНИЕ

Диагностика неисправностей аналоговых и смешанных интегральных схем остается важным этапом производственного цикла, обеспечивающим высокое качество и надежность изделий микроэлектроники [1, 2]. Рост функциональной и структурной сложности современных аналоговых и смешанных ИС определяет для них увеличение сложности диагностики неисправностей. Методы, основанные на моделировании неисправностей, в отличие от методов, основанных на контроле соответствия спецификации, обеспечивают решение не только задачи тестирования, но и диагностики неисправностей [3]. Моделирование поведения исправной схемы и схемы с возможными неисправностями с использованием

соответствующих моделей требует серьезных вычислительных и временных затрат [4]. В результате моделирования накапливаются большие объемы информации о поведении схемы.

Интенсивный рост производительности современных вычислительных систем определяет бурное развитие приложений, основанных на методах машинного обучения (МО) и интеллектуального анализа данных, в том числе для задачи диагностики неисправностей в аналоговых и смешанных ИС [5–8]. Использование МО позволило перейти от традиционных справочников неисправностей в виде параметрических таблиц к нейросетевым, работающим в ассоциативном режиме. В этом случае существенно снижается время обнаружения и диагностики потенциальной неисправности, но появляются традиционные проблемы, связанные с обучением нейронной сети [6–12]:

- выбор архитектуры нейронной сети (вид НС, количество слоев и нейронов, используемая передаточная функция и др.);
- выбор обучающих наборов;
- снижение размерности обучающих наборов и др.

В данной работе предложен основанный на вычислении энтропии метод снижения размер-

Сокращения: НСН – нейроморфный справочник неисправностей (NFD – Neuromorphic Fault Dictionary); ИС – интегральная схема (IC – Integrated Circuit); СН – справочник неисправностей (FD – Fault Dictionary); МО – машинное обучение (ML – Machine Learning); FC – Fault Coverage (покрываемость неисправностей); AG – Ambiguity Group (двойственная группа); FL – Fault List (список неисправностей); ВП – Вейвлет-преобразование (WT – Wavelet-transformation), ОЦ – обрыв цепи (OC – Open Circuit Effect); КЗ – короткое замыкание (SC – Short Circuit Effect); НС – нейронная сеть.