

УДК 004.032.26 + 004.891.3

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ СПЕЦИАЛЬНО ОБУЧЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*Коваленко И.А., Ковалев А.М., Лобанов Е.В., Зинченко Ю.Е.  
Донецкий национальный технический университет, Украина*

*В статье рассматривается понятие идентификации параметров, методы и подходы параметрической идентификации применительно к аналоговым устройствам, возможности реализации данных методов на базе специально обученных нейронных сетей. Также освещены вопросы обучения нейронных сетей, моделирования параметров нейросетей и аналоговых устройств с целью их дальнейшего исследования.*

### Введение

В настоящее время наблюдается все большее внедрение технических и вычислительных средств и устройств в повседневную жизнь человека. Современные схемы зачастую характеризуются повышенной сложностью и дороговизной, что предъявляет особые требования к их проектированию, производству и эксплуатации. На данном этапе развития науки существует проблема перехода от классических подходов реализации электронных устройств к нестандартным, таких, например, как нейронные сети, требующим от специалистов знаний в различных отраслях современной инженерной деятельности.

**Целью** данной статьи является анализ и попытка совмещения некоторых существующих методов разработки и построения схем и устройств, позволяющих повысить их надежность и сроки эксплуатации. Среди множества задач также следует выделить попытку разработки собственного подхода к диагностике и отладке электроники.

Несмотря на то, что большая часть выпускаемой ныне аппаратуры является цифровой, при общем процентном сокращении доли аналоговых устройств, в абсолютных показателях их количество увеличивается, что свидетельствует об **актуальности** поднимаемых вопросов.

Разработка электронных устройств включает в себя несколько больших этапов, таких как проектирование, моделирование, отладка, реализация схем, их производство и тестирование, а также внедрение, эксплуатация и контроль. Также, в случае отказа, в данный список следует включить диагностику, что подразумевает собой определение наличия неисправности, локализация и устранение ошибок. На каждом из вышеперечисленных этапов необходимо учитывать множество факторов и величин, определять и контролировать огромное количество параметров и протекающих процессов. В связи с этим появляется необходимость автоматизации процессов разработки аппаратных средств, основой для которой являются различные физические, математические и программные модели.

Наибольшую популярность получил пакет схемотехнического проектирования

PSPICE, входящий в состав таких программных средств, как Cadence OrCAD и MicroCAP. Математические модели полупроводниковых приборов, разработанные для PSPICE, фактически являются стандартом. Зарубежные фирмы-изготовители полупроводниковых элементов, как правило, поставляют библиотеки SPICE-моделей производимых ими приборов. В библиотеках обычно заданы типичные средние значения параметров без указания разброса, а для высокочастотных транзисторов зачастую отсутствуют параметры по постоянному току. Для отечественных полупроводниковых приборов ни в справочной литературе, ни в справочных листках заводов-изготовителей не содержится достаточной информации для реализации их полных моделей. Необходимость проводить идентификацию параметров модели возникает в следующих случаях:

- при отсутствии библиотеки моделей используемых элементов;
- для повышения точности моделирования с целью получить модели конкретных элементов, а не усредненные параметры;
- для моделирования флуктуаций параметров и определения допусков на отклонение параметров от номинального.

В рамках данной статьи рассматривается необходимость идентификации параметров, возникающая при наличии неисправности в схеме или устройстве и невозможности ее быстрого поиска и устранения привычными методами [1].

### **Идентификация параметров и ее методы**

В процессе тестирования и диагностики электронных устройств возникает задача определения наличия неисправностей в схемах и сокращения работоспособных устройств, признанных негодными тестовой программой. С целью построения контролепригодной аппаратуры используются так называемые системы автоматизированного проектирования, которые позволяют предварительно промоделировать разрабатываемые устройства или хотя бы их участки, а также более детально изучить характер их работы. Однако предварительное моделирование позволяет решить только часть проблем. Это объясняется тем, что такие программные средства основаны на использовании математических моделей, которые, хоть и построены на основе реальных законов и явлений, но все же не могут полностью отражать физическую суть, а могут только максимально приблизиться к ней. В роли другой проблемы выступает огромное количество моделируемых параметров, каждый из которых требует низкой погрешности вычислений, а вследствие этого, большого количества памяти и ресурсов. При всем этом довольно частой является ситуация, когда тестируемая схема представляет собой так называемый «черный ящик», структура которого неизвестна, но о функциях которого можно судить по реакциям на внешнее воздействие. В данной ситуации возможность моделирования схем в случае отказа исключается и требуется поиск иных методов диагностики.

В последнее время большой популярностью пользуется метод встроенного самоконтроля, который подразумевает внедрение в схемы дополнительных проверочных цепей еще на стадии производства, что могло бы помочь последующему поиску неисправностей путем определения основных параметров в контрольных

точках. Однако данная техника не покрывает большинства вероятных причин отказов, а в случае повышения эффективности требует дополнительных затрат оборудования.

Еще одна идея диагностирования заключается в сравнении реакций тестируемой схемы с эталонным работоспособным устройством, что позволяет сделать вывод об исправности аппаратуры. Недостатком данной идеи является отсутствие полностью идентичных схем с одинаковыми значениями параметров элементов, наличие отклонений от номинальных значений даже у элементов одной серии, требующим также высокой точности вычислений. В данном случае могут возникать так называемые «параметрические» неисправности, которые, однако, не приводят к отказу устройств.

С развитием искусственного интеллекта нашли применение в науке и нейронные сети. Один из методов диагностики неполадок основан на сборе информации и данных о реакциях тестируемого устройства на внешнее воздействие. Суть данного метода заключается в том, чтобы собрать такое необходимое количество информации о различных отклонениях параметров тех или других элементов схемы, чтобы в последующем определять неисправный элемент путем решения задачи классификации нейронными сетями. Основными преимуществами нейронных сетей являются их способность к обучению, возможность быстрой адаптации и относительно простого перепрограммирования сети исходя из предъявляемых требований и поставленных задач.

### **Обучение и применение нейронных сетей, ориентированных на задачу идентификации параметров**

Важнейшим свойством нейронных сетей является их способность обучаться на основе данных окружающей среды и в результате обучения повышать свою производительность. Повышение производительности происходит со временем согласно определенным правилам. Обучение нейронной сети происходит посредством интерактивного процесса корректировки синаптических весов и порогов. В идеальном случае нейронная сеть получает знания об окружающей среде на каждой итерации процесса обучения.

Обучение – это процесс, в котором свободные параметры нейронной сети настраиваются с помощью моделирования среды, в которую эта сеть встроена. Тип обучения определяется способом подстройки этих параметров.

Это определение процесса обучения нейронной сети предусматривает следующую последовательность событий:

- 1) В нейронную сеть поступают стимулы из внешней среды.
- 2) В результате первого пункта меняются свободные параметры нейронной сети.
- 3) После изменения внутренней структуры нейронная сеть отвечает на нарушения уже иным образом.

Вышеуказанный список четких правил обучения нейронной сети называется алгоритмом обучения. Не существует универсального алгоритма обучения, подходящего для всех архитектур нейронных сетей. Существует лишь набор средств, представленный множеством алгоритмов обучения, каждый из которых имеет свои преимущества. Алгоритмы обучения отличаются друг от друга способом настройки синаптических весов нейронов. Еще одной отличительной характеристикой является

способ связи нейронной сети, которая обучается, с внешним миром. В этом контексте говорят о парадигме обучения, связанной с моделью окружающей среды, в которой функционирует данная нейронная сеть.

В рамках данной статьи рассматривается нейронная сеть, ориентированная на решение задачи классификации. В процессе обучения такой сети следует использовать алгоритм обратного распространения ошибки в виду простоты его реализации. На рис. 1 показана блочная диаграмма, иллюстрирующая данный метод [2]. Принцип такого подхода состоит в том, что для каждого входного вектора из обучающего множества существует необходимое значение выходного вектора называемого целевым. Вместе они называются обучающей парой. Обычно сеть обучается с использованием нескольких учебных пар. Далее происходит предъявление выходного вектора, вычисление выходов сети и сравнение с соответствующим целевым вектором. После этого веса изменяются в соответствии с алгоритмом, стремящимся минимизировать ошибку. Векторы обучающего множества предъявляются последовательно, после чего вычисляются ошибки и веса подстраиваются для каждого вектора до тех пор, пока ошибка по всему учебному массиву не достигнет приемлемого уровня.

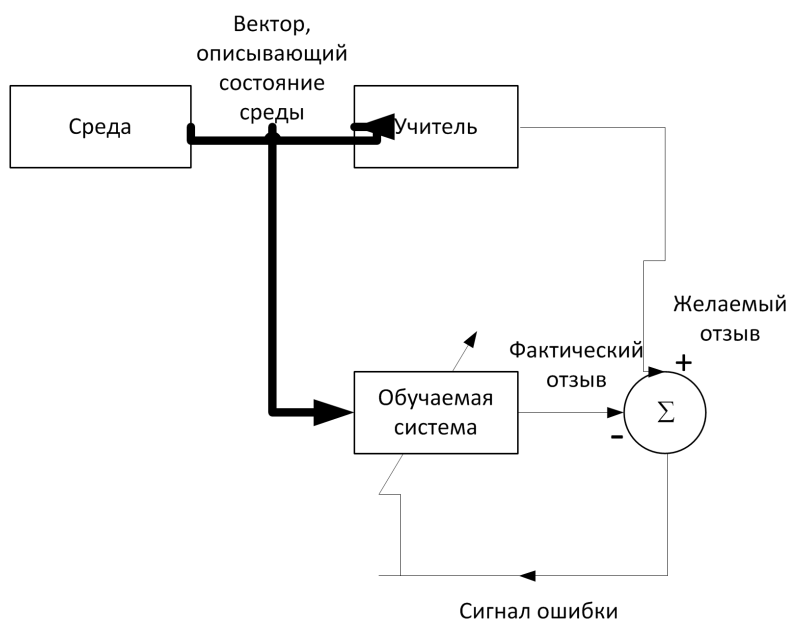


Рисунок 1. Блочная диаграмма обучения с учителем

Для обучения такой сети-классификатора необходимо промоделировать тестируемую схему. Далее постепенно менять параметры одного ее элемента, затем другого и т. д. На входы нейронной сети подаются выходные значения схемы при различных отклонениях параметров того или иного элемента. Целевыми векторами являются именно те элементы, параметры которых меняются. После того, как все последовательности векторов, представляющих собой все варианты отклонений параметров элементов, поданы на нейросеть, она уже является обученной и может классифицировать элементы, т. е. определять, какой из них неисправен. После этого можно подавать на нейронную сеть значения выходов реальных схем, и она сможет определять неисправные элементы.

Для реализации такой системы можно использовать персептрон или LVQ-сеть.

Классифицировать простые схемы может и персептрон, а для тестирования более сложных устройств с большим количеством элементов целесообразнее использовать LVQ-сеть, так как она предназначена именно для классификации векторов.

Разработку и обучение нейронной сети удобно выполнять в среде MATLAB, так как в MATLAB имеется специальный набор инструментов для синтеза и анализа нейронных сетей — Neural Network Toolbox. Моделирование нейронной сети выполняется в среде Simulink.

### **Моделирование отклонений параметров элементов тестируемой схемы**

Для обучения нейронной сети определению неисправного элемента тестируемой схемы, необходимо на входы моделируемой схемы подать множество выходных значений схемы при различных отклонениях параметров элементов. Для генерации подобных отклонений разрабатывается программный модуль, который перед моделированием тестируемой схемы генерирует отклонения для элементов.

Целью диагностики является реальный объект, поэтому разрабатываемый программный модуль должен генерировать катастрофические (hard fault), мягкие параметрические (soft fault) и несущественные параметрические (redundant fault) неисправности. К катастрофическим неисправностям относятся все изменения схемы, которые приводят к полному отказу системы (замыкания, обрывы и т.д.). В случае мягкой параметрической неисправности параметры некоторого элемента выходят из допустимого диапазона, но схема продолжает функционировать. Несущественная параметрическая неисправность возникает при небольшом отклонении параметра элемента от номинала, при этом схема функционирует нормально и все ее характеристики лежат в границах спецификации.

Модуль генерации отклонений параметров элементов должен выполнять перебор возможно допустимых параметров для каждого элемента, при этом отклонения генерируются случайно, но в допустимых диапазонах. Кроме того, в одном случае не может быть сгенерировано более одной катастрофической или мягкой параметрической неисправности. Неисправности моделируются в основном как замыкания, обрывы и изменение значений параметров компонент. В этой ситуации важно оценить степень существенности отклонения параметров от допустимых значений и установить допустимые диапазоны.

После цикла подачи выходных параметров моделируемой схемы со всеми вариантами отклонений параметров элементов на вход нейронной сети, обучение завершается и при последующей подаче на вход выходных значений реальных схем, нейронная сеть может классифицировать элементы [3].

### **Выводы**

Разработка современной электронной аппаратуры требует высокой точности, а также больших затрат времени и материальных средств. В процессе проектирования и эксплуатации возникает задача контроля и идентификации всего множества параметров, принимающих участие в протекающих процессах. С целью решения задач диагностики одним из наиболее эффективных методов является применение средств искусственного



интеллекта, преимуществом которых является их способность к обучению. Для наиболее полного покрытия всего диапазона неисправностей, а также успешного обучения сети необходимо предварительное моделирование хотя бы части параметров аналоговых устройств, а также целенаправленная настройка параметров нейросети с целью ориентации ее на решение задач идентификации и классификации.

### Список литературы

- [1] В.Н. Петров, М.Н. Петров. Идентификация параметров моделей полупроводниковых диодов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://admin.novsu.ac.ru/uni/vestnik.nsf/all/17D6C3598D611B4BC325675B004926F7/\\$file/23.pdf](http://admin.novsu.ac.ru/uni/vestnik.nsf/all/17D6C3598D611B4BC325675B004926F7/$file/23.pdf)
- [2] Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., Испр.: Пер. с англ. - М.: ООО «И.Д. Вильямс », 2006. - 1104с.
- [3] Пис Р.А. Обнаружение неисправностей в аналоговых схемах. Москва: Техносфера, 2007. - 192с.