

Библиотека БГУИР

Библиотека БГУИР

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации.

Достигнутый уровень качества полупроводниковых приборов (ППП), в частности биполярных транзисторов (БТ), во многих случаях не позволяет обеспечить требования к надежности радиоэлектронных устройств (РЭУ) в целом. Это относится, прежде всего, к аппаратуре военной и космической техники, а также к РЭУ, отказ которых может вызвать заметные экономические и технические потери, экологические проблемы.

Методы обеспечения надежности ППП в составе РЭУ развиваются в различных направлениях. Заслуживает внимания входной контроль ППП, выполняемый на предприятиях, занимающихся сборкой РЭУ. Он позволяет исключить из дальнейших технологических операций ППП, не отвечающие требованиям технических условий (ТУ), однако не выявляет приборы, имеющие скрытые дефекты. Лучшие результаты даёт индивидуальное прогнозирование. С его помощью можно отбраковать потенциально ненадёжные экземпляры.

Особый интерес представляют методы индивидуального прогнозирования по информативным параметрам (кратко – признакам, параметрам-признакам), базирующиеся на распознавании образов. Они позволяют разделить партию ППП по уровню их надёжности (работоспособности) на заданный будущий момент времени $t=t_{\text{пр}}$ на класс работоспособных (K_1) и неработоспособных (K_2) экземпляров. Для принятия решения о классе экземпляра на момент времени $t=t_{\text{пр}}$ необходимо располагать прогнозирующим правилом. Его получают предварительными исследованиями интересующего типа ППП, используя определенные методы испытания приборов на длительную наработку.

Большинство известных методов индивидуального прогнозирования по параметрам-признакам малоприспособны для практического использования в условиях производства, особенно на предприятиях, изготавливающих РЭУ. Поэтому для промышленных предприятий, и в первую очередь для тех, которые выполняют сборку РЭУ, объективно существовала необходимость разработки простых и оперативных методов с точки зрения процедуры прогнозирования. Некоторым выходом из положения явился метод пороговой логики - МПЛ, процедура применения которого вообще не требует вычислений, а предполагает лишь операции измерения параметров-признаков и сравнения их с предварительно найденными пороговыми значениями. Однако индивидуальное прогнозирование методом пороговой логики имеет ряд недостатков и ограничений и нуждается в улучшении. Поэтому совершенствование этого метода и разработка новых методов на его основе является актуальным как для предприятий, выполняющих сборку РЭУ (ПО «Горизонт», Новополоцкий завод «Измеритель», Минский приборостроительный завод и др.), так и для предприятий, изготавливающих ППП (ПО «Интеграл»). Внедрение и использование этих методов повысит надёжность и качество отечественных ППП и РЭУ на их основе.

Связь работы с крупными научными программами, темами.

Работа выполнялась в развитие республиканских программ по электронике и микроэлектронике, государственным темам, выполняемым учреждением образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»: ГБ НИР 91-2030 (№ гос. регистрации 01920005570), ГБ НИР 96-2030, ГБЦ 99-3073 (грант аспирантов, выделяемый Министерством образования Республики Беларусь, № гос. регистрации 19992308). Работы выполнялись в период с 1994 по 2001 гг.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – усовершенствование метода пороговой логики (как метода индивидуального прогнозирования, выбранного для исследований) в применении к прогнозированию работоспособности биполярных транзисторов, и разработка на его основе более эффективно метода. Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Для метода индивидуального прогнозирования, основанного на принципах пороговой логики, предложить такой способ определения пороговых уровней (x_{i0}) информативных параметров, который обеспечивал бы меньшие ошибки прогнозирования, нежели известные способы.

2. Используя экспериментальные исследования биполярных транзисторов, систематизировать закономерности информативных параметров, а именно: их вероятностные связи с уровнем работоспособности (классом уровня надёжности). На основе этого разработать новый метод прогнозирования, который использовал бы принципы пороговой логики, но за счёт троичного преобразования был пригоден для информативных параметров с разными их закономерностями и давал бы лучшие результаты прогнозирования (меньшие ошибки прогнозирования) в сравнении с базовым методом пороговой логики.

3. Разработать новую модификацию метода пороговой логики, которая сохраняла бы простоту базового метода, но в отличие от него позволяла бы использовать для прогнозирования информативные параметры с разными закономерностями.

4. С помощью экспериментальных исследований, а также моделированием обучающих экспериментов на ЭВМ подтвердить эффективность предлагаемого нового метода прогнозирования и усовершенствований для существующего метода (метода пороговой логики).

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являлись биполярные транзисторы, предметом исследования – закономерности информативных параметров транзисторов, а также методы индивидуального прогнозирования их работоспособности, основанные на принципах пороговой логики.

Гипотеза. Научным предположением для совершенствования метода индивидуального прогнозирования является то, что параметры БТ, имеющие эффект «вложенности» классов (разновидность вероятностной связи параметров-признаков БТ с уровнем их работоспособности), могут быть достаточно

информативными и ценными для решения задач прогнозирования. А учесть такие параметры, решая задачу индивидуального прогнозирования методом пороговой логики, можно с помощью их троичного преобразования.

Рабочей гипотезой, используемой для совершенствования базового метода пороговой логики (как метода индивидуального прогнозирования) путем нахождения более оптимальных порогов, необходимых для преобразования информативных параметров в двоичное число (ноль или единицу), является следующее научное предположение: оптимальное значение порога должно обеспечивать получение максимального количества информации об уровне работоспособности каждого экземпляра, подлежащего прогнозированию.

Методология и методы проведения исследования. Последовательность выполнения работы такова: на основе экспериментальных исследований систематизировать вероятностные связи параметров-признаков биполярных транзисторов с уровнем их работоспособности и учитывая это усовершенствовать метод индивидуального прогнозирования (метод пороговой логики), по возможности предложить несложный, но более эффективный метод, пригодный для использования параметров-признаков с разными их закономерностями.

При проведении работы использованы следующие методы:

- планирование ускоренных испытаний БТ на надёжность;
- методы экстраполяции функций;
- вероятностно-статистические методы оценки параметров;
- корреляционный анализ;
- положения теории информации;
- математическое моделирование параметров на ЭВМ (разработано автором применительно к параметрам-признакам БТ);
- численный алгоритм генерирования на ЭВМ коррелированных параметров с любыми законами их распределения (предложен автором).

Научная новизна и значимость полученных результатов.

1. Систематизированы закономерности информативных параметров биполярных транзисторов - вероятностные связи с уровнем работоспособности (классом) транзисторов на будущие моменты времени; показано, что параметры с эффектом «вложенности» класса K_1 в класс K_2 могут быть очень информативными и пригодными для использования в качестве признаков.

2. Обеспечено дальнейшее развитие метода пороговой логики применительно к индивидуальному прогнозированию работоспособности ППП: предложен новый способ выбора пороговых уровней (x_{i0}), необходимых для преобразования признаков в двоичный код: ноль или единицу. Способ основан на использовании информационной меры Шеннона. Лучшим считается такое значение x_{i0} , которое дает максимальное количество информации о степени работоспособности (классе) ППП. Экспериментально и моделированием на ЭВМ показано, что применение предложенного способа для биполярных

транзисторов в случае использования четырёх признаков примерно с одинаковой их информативностью снижает ошибки прогнозирования на 10...15%.

3. Разработан новый метод индивидуального прогнозирования, основанный на принципах пороговой логики, но предполагающий, в отличие от базового метода пороговой логики, преобразование признаков в троичный код и принятию решения о работоспособности экземпляра на будущий момент времени по набору троичных чисел. Метод пригоден для использования признаков с разными их закономерностями и снижает ошибки прогнозирования в сравнении с базовым методом пороговой логики примерно на 20...25%.

Показана нецелесообразность разработки методов прогнозирования, использующих преобразование признаков в четверичный, пятеричный и т.д. коды, ибо сложность процедуры прогнозирования в этих случаях сильно возрастает, а ошибки прогнозирования уменьшаются крайне незначительно в сравнении с троичным преобразованием.

4. Разработана новая модификация метода пороговой логики, позволяющая, в отличие от базового метода пороговой логики, кроме признаков со смещением центров классов – средних значений признаков в классах, использовать также признаки с эффектом «вложенности» классов. Модификация основана на разбиении диапазона изменения признака с эффектом «вложенности» классов на три зоны и присвоения каждой из них двоичного числа нуль или единица. На примере реального обучающего эксперимента показана возможность прогнозирования работоспособности биполярных транзисторов с помощью предложенной модификации метода пороговой логики, а также с использованием параметров-признаков, имеющих эффект «вложенности» классов.

5. Для разработанных нового метода прогнозирования и новой модификации метода пороговой логики, требующих при преобразовании признака в код два пороговых уровня, предложен оригинальный способ их определения. Способ основан на решении методом случайного поиска (как правило на ЭВМ) многопараметрической задачи оптимизации.

6. Разработан математический аппарат моделирования на ЭВМ параметров-признаков, имеющих эффект «вложенности» классов. Предложен численный алгоритм моделирования на ЭВМ коррелированных параметров-признаков с любыми законами их распределения.

Научная значимость основных результатов, полученных в работе, состоит в том, что они могут рассматриваться как основа для разработки теории статистического прогнозирования надёжности изделий электронной техники с использованием преобразования информативных параметров в дискретный код.

Практическая (экономическая) значимость полученных результатов.

Практическая значимость полученных результатов состоит в следующем:

- разработанный новый метод прогнозирования, основанный на принципах пороговой логики с использованием троичного преобразования

информативных параметров, сохранив оперативность базового метода пороговой логики, обеспечивает меньшие ошибки прогнозирования в сравнении с ним;

- использование на практике усовершенствований, предложенных для базового метода пороговой логики, также обеспечивает снижение ошибок прогнозирования в случае применения этого метода.

Практическое применение полученных результатов.

С использованием результатов диссертации разработана и внедрена на государственном предприятии Минский завод "Транзистор" методика индивидуального прогнозирования работоспособности биполярных транзисторов. Экономический эффект для предприятия обусловлен тем, что даётся более точный ответ на вопрос о надёжности транзисторов на продолжительность работы, указываемой в ТУ в качестве наработки, а формируемые выборки приборов повышенного уровня надёжности реализуются заинтересованным потребителем по более высоким отпускным ценам. Потребители транзисторов также получат экономический эффект, так как аппаратура, изготовленная с использованием отобранных транзисторов, будет более надёжной, следовательно, будут меньше затраты, обусловленные возможными её отказами.

Результаты работы использованы при написании отчетов по трем НИР и могут быть широко использованы в составе методики прогнозирования работоспособности транзисторов как на предприятиях-изготовителях ППП, так и на предприятиях, изготавливающих аппаратуру. На основе результатов, полученных в диссертации, могут также вноситься дополнения и изменения в уже внедрённые методики, что снизит ошибки прогнозирования.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- систематизация закономерностей информативных параметров (параметров-признаков) биполярных транзисторов в виде вероятностных связей параметров-признаков транзисторов в момент $t=0$ с их работоспособностью (классом уровня надёжности) на заданный будущий момент времени;
- новый способ выбора в методе пороговой логики пороговых уровней признаков, основанный на использовании информационной меры Шеннона;
- новый метод прогнозирования, основанный на принципах пороговой логики с использованием преобразования параметров-признаков транзисторов в троичный код;
- новая модификация метода пороговой логики, основанная на разбиении диапазона изменения параметра-признака с эффектом «вложенности» классов на три зоны, но с присвоением каждой из них двоичного числа (нуля или единицы);
- способ определения пороговых уровней признаков в методах, требующих два пороговых уровня для каждого признака при преобразовании их в троичный или двоичный код.

Личный вклад соискателя. Автором лично выполнена систематизация закономерностей информативных параметров (признаков) биполярных транзисторов в виде вероятностных связей параметров-признаков транзисторов с уровнем их работоспособности (классом уровня надёжности);

лично разработаны:

новый метод прогнозирования, основанный на принципах пороговой логики с преобразованием информативных параметров ППП в троичный код;

новая модификация метода пороговой логики, основанная на разбиении диапазона изменения параметра-признака ППП с эффектом «вложенности» классов на три зоны, но с присвоением каждой из них двоичного числа (нуля или единицы);

способ определения пороговых уровней признаков в методах, требующих два пороговых уровня для каждого признака при их преобразовании в код.

Способ выбора в базовом методе пороговой логики пороговых уровней признаков с использованием информационной меры Шеннона разработан и исследован при участии аспиранта Д.В. Зорина. Однако применительно к новому методу прогнозирования, основанному на преобразовании информативных параметров транзисторов в троичный код и требующему два пороговых уровня для каждого признака, указанный способ адаптирован лично автором.

Методика индивидуального прогнозирования работоспособности биполярных транзисторов, основанная на использовании метода пороговой логики, разработана совместно с аспирантом Д.В. Зориным.

Экспериментальные исследования биполярных транзисторов были выполнены совместно с аспирантами Д.В. Зориным и А.И. Щербой.

Подготовка вычислительного эксперимента, выполняемого на ЭВМ, была проведена при участии аспирантов А.В. Карнаушенко и Д.В. Зорина.

Апробация результатов диссертации.

Результаты, включенные в диссертацию, докладывались на следующих конференциях, семинарах и сессиях: LI научная сессия, посвященная Дню радио (г. Москва, 1996 г.); Российская научная конференция «Системные методы теории чувствительности, надёжности, качества и математического моделирования в информационных технологиях проектирования и производства» (г. Сочи, 1996 г.); 2-nd International Conference "Computer Methods and Inverse Problems in Nondestructive Testing and Diagnostics" (Minsk, 1998); XXXIII, XXXIV, XXXV и XXXVI НТК аспирантов и студентов БГУИР (г. Минск, 1996, 1998, 2000, 2001 гг.); НТК «Современные проблемы радиотехники, электроники и связи» (г. Минск, 1995 г.); III, IV и V Международные НТК «Современные средства связи» (Нарочь, Беларусь, 1998, 1999, 2000, 2001 гг.); Первая международная НТК студентов, аспирантов и молодых специалистов «Техника и технология связи» (г. Минск, 1999 г.); Международный научно-технический семинар «Современные проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств» (г. Новополоцк, Беларусь, 2000 г.).

Опубликованность результатов.

По теме диссертации опубликовано 12 статей в научно-технических журналах, одна статья в сборнике научных трудов, два материала конференции и семинара и три тезиса докладов научных конференций и сессии. Общее количество опубликованных материалов – 47 страниц.

Структура и объём диссертации.

Диссертация содержит перечень условных обозначений, введение, общую характеристику работы, пять глав, заключение, список использованных источников и три приложения. Полный объём диссертации составляет 139 страниц, в том числе: 42 иллюстрации занимают 14 страниц, 32 таблицы – 20 страниц, список использованных источников (92 наименования) - 7 страниц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** даётся пояснение процедуры оценки надёжности (работоспособности) биполярных транзисторов, и ППП вообще, методами индивидуального прогнозирования, основанными на использовании информативных параметров - признаков. Указываются проблемы, с которыми столкнулись промышленные предприятия при применении методов индивидуального прогнозирования. Отмечается, почему метод пороговой логики как метод индивидуального прогнозирования, усовершенствованию которого уделено внимание в работе, оказался привлекательным для промышленных предприятий.

В **первой главе** на основе обзора литературы и анализа научно-технической информации показана целесообразность индивидуального прогнозирования работоспособности ППП вообще и биполярных транзисторов в частности. Показана эффективность этого способа определения работоспособности по сравнению с входным контролем, выполняемым изготовителями аппаратуры.

Выбран и обоснован метод индивидуального прогнозирования, усовершенствованию которого уделяется внимание в работе. В качестве такого метода выбран **метод пороговой логики**. Отличительной его особенностью является преобразование информативных параметров ППП, измеренных в момент времени $t=0$, в двоичные числа (ноль или единицу) и принятие решения о работоспособности прибора на заданный будущий момент времени $t_{пр}$ по набору нулей и единиц с использованием простой логической таблицы.

Показано, что в методе пороговой логики, как методе индивидуального прогнозирования, есть нерешенные вопросы, что ограничивает использование метода на практике и не позволяет свести к минимуму ошибки прогнозирования по сравнению с теоретически возможными. С учётом этого сформулированы задачи, решение которых снимет некоторые вопросы. Перечень основных задач, решаемых в диссертационной работе, приведен в разделе «Общая характеристика работы» автореферата.

Определена общая концепция проведения исследований, включающая комплекс теоретических и экспериментальных исследований, а также исследований, выполняемых с помощью вычислительного эксперимента, основанного на имитационном (статистическом) моделировании на ЭВМ информативных параметров и уровня работоспособности биполярных транзисторов.

Во второй главе сделан критический анализ существующих способов выбора пороговых уровней (x_{i0}), используемых в базовом методе пороговой логики для преобразования параметров-признаков, измеренных у экземпляра (ППП) в момент времени $t=0$, в двоичный код: единицу или нуль. Сформулированы теоретические предпосылки и разработан математический аппарат нового способа выбора значений x_{i0} . Способ основан на использовании информационной меры Шеннона. Лучшим считается такое значение x_{i0} , которое дает максимальное количество информации $I(x_{i0})$ о степени работоспособности (классе) ППП. В качестве критерия выбора x_{i0} предложено брать максимум информации

$$I(x_{i0}) = \max. \quad (1)$$

Для определения информации $I(x_{i0})$ использовано выражение

$$I(x_{i0}) = H(K_S) - H(K_S/x_{i0}), \quad (2)$$

где $H(K_S)$ - энтропия (степень неопределенности) класса экземпляра до контроля признака x_i и его преобразования в двоичный код z_i с учетом выбранного значения x_{i0} ;

$H(K_S/x_{i0})$ - условная энтропия класса экземпляра после контроля признака x_i и преобразования его в двоичный код z_i с учетом выбранного значения x_{i0} .

С применением основных положений теории информации получены следующие расчётные выражения для определения величин $H(K_S)$ и $H(K_S/x_{i0})$:

$$H(K_S) = - \sum_{s=1}^2 P(K_S) \log P(K_S); \quad (3)$$

$$H(K_S/x_{i0}) = - \sum_{l=1}^2 p(z_l = \xi_l) \sum_{s=1}^2 P(K_S/z_l = \xi_l) \log P(K_S/z_l = \xi_l), \quad (4)$$

где $P(K_S)$ - априорная вероятность класса K_S ; $s=1,2$;

$p(z_l = \xi_l)$ - априорная вероятность того, что с учетом выбранного значения x_{i0} двоичный сигнал z_l примет значение, равное ξ_l ; $l=1,2$; $\xi_1=1$; $\xi_2=0$;

$P(K_S/z_l = \xi_l)$ - условная вероятность того, что экземпляр принадлежит к классу K_S при условии, что с учетом выбранного значения x_{i0} двоичный сигнал z_l примет значение, равное ξ_l ; $s=1,2$; $\xi_1=1$; $\xi_2=0$.

Оценка всех вероятностей, используемых в формулах (3), (4), может быть сделана по данным обучающего эксперимента и результатам преобразования признака x_i в двоичный сигнал с учетом выбранного значения x_{i0} .

С использованием моделирования на ЭВМ признаков и работоспособности (класса надёжности) биполярных транзисторов показано, что предложенный способ дает лучшие результаты прогнозирования, нежели существующие способы: в случае использования четырёх признаков примерно с одинаковой их информативностью ошибки прогнозирования уменьшались почти на 10...15%.

В третьей главе формулируются основные задачи экспериментальных исследований: определение закономерности связей информативных параметров (параметров-признаков), измеренных в момент времени $t=0$, с уровнем работоспособности приборов – классом уровня надёжности на будущий момент времени $t=t_{пр}$; подтверждение эффективности предлагаемых усовершенствований для метода пороговой логики. Приводится пояснение методики экспериментальных исследований и разработанной для их проведения установки.

Путем анализа и обобщения результатов, полученных применительно к биполярным транзисторам разных типов, установлено, что для параметров-признаков имеют место следующие закономерности:

- четкое смещение центров классов, т.е. средних значений признака, подсчитанных отдельно для классов работоспособных (K_1) и неработоспособных (K_2) экземпляров, и наличие какой-то зоны перекрытия классов (рис.1);

- лучшему уровню работоспособности (классу K_1) в среднем соответствуют значения, близкие к какому-то типовому (среднему) значению параметра-признака, а худшему уровню работоспособности (классу K_2) – как значения заметно удаленные влево или вправо от среднего, так и значения, близкие к нему. Для таких параметров-признаков (x_i) характерен эффект "вложенности" классов, что с использованием плотностей распределения x_i в

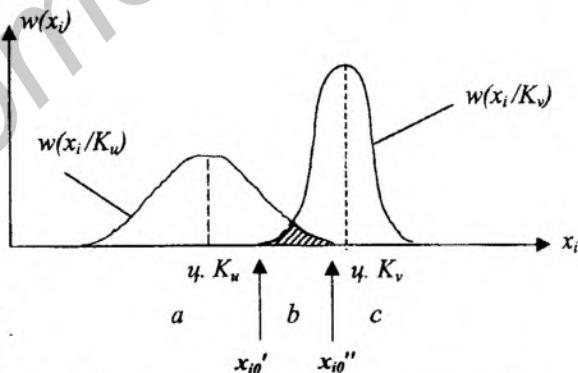


Рис.1. Плотность распределения признака с четким смещением центров классов: μ_{K_u} – центр класса K_u ; μ_{K_v} – центр класса K_v ; $u, v=1, 2$; $u \neq v$; x_{i0}' и x_{i0}'' – пороговые уровни признака x_i ; a, b, c – кодированное обозначение зон разбиения признака

классе K_1 – $w(x_i/K_1)$ и классе K_2 – $w(x_i/K_2)$ иллюстрируется рис.2. Замечено, что, как правило, класс K_1 "вложен" (находится внутри) в класс K_2 .

С использованием информационной меры Шеннона показано, что параметры-признаки биполярных транзисторов, имеющие эффект "вложенности" классов, могут быть очень информативными.

Установлено, что распределения параметров-признаков транзисторов для всей выборки и отдельно для экземпляров классов K_1 и K_2 первой закономерности и класса K_1 второй закономерности могут быть описаны "колоколообразной" кривой, напоминающей кривую Гаусса (нормальный закон распределения). Применение статистических критериев свидетельствует о том, что распределения параметров-признаков в классах

во многих случаях плохо аппроксимируются нормальными законами. Поэтому при моделировании на ЭВМ признаков и исследовании эффективности индивидуального прогнозирования с их использованием (см. гл.5) приняты во внимание два предельных случая: нормальный закон распределения признаков - как лучший случай; равномерный закон - как худший случай.

В четвертой главе описывается разработанный автором работы новый метод индивидуального прогнозирования работоспособности транзисторов, позволяющий использовать для прогнозирования признаки с разными их закономерностями: со смещением центров классов, с эффектом "вложенности" классов. Метод основан на принципах пороговой логики и предполагает разбиение диапазона изменения признака на три зоны с присвоением каждой из них своего кодированного значения a , b или c (троичное преобразование признаков). Для разбиения на три зоны необходимо иметь два пороговых уровня. В случае признаков с четким смещением центров классов K_1 и K_2 пороговые уровни x_0' и x_0'' могут назначаться в соответствии с рис. 1, для признаков с эффектом "вложенности" классов - в соответствии с рис.2.

Приводится разработанный автором логико-математический аппарат этого метода. Для преобразования признаков в кодированные сигналы a , b , c используются следующие выражения:

$$\left. \begin{aligned} \tau_i^j &= a, \text{ если } x_i^j < x_0'; \\ \tau_i^j &= b, \text{ если } x_0' \leq x_i^j \leq x_0''; \\ \tau_i^j &= c, \text{ если } x_i^j > x_0'', \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

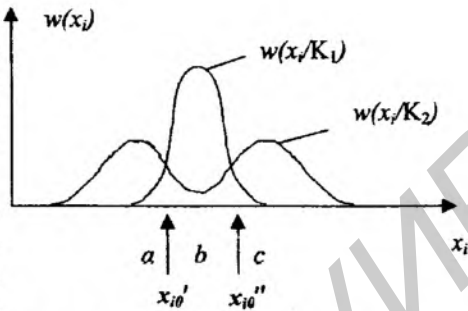


Рис. 2. Плотности распределения признака x_i для случая эффекта "вложенности" класса K_1 в класс K_2 ; x_{i0}' и x_{i0}'' - пороговые уровни признака x_i ; a , b , c - кодированное обозначение зон, на которые разбит диапазон изменения признака

где τ_i^j - троичный сигнал (троичный код), соответствующий i -му признаку j -го экземпляра;
 x_i^j - значение i -го признака j -го экземпляра;
 a, b, c - символы, используемые для обозначения троичных сигналов.

В соответствии с принципами пороговой логики прогнозирующее правило предложено получать в виде

$$R^{(j)} = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i=1}^k \alpha[\tau_i^j] \geq T; \\ 0, & \text{если } \sum_{i=1}^k \alpha[\tau_i^j] < T, \end{cases} \quad (6)$$

где $R^{(j)}$ - выходной двоичный сигнал (пороговая функция), как и в базовом методе пороговой логики, равный единице для экземпляров класса K_1 и нулю - для экземпляров класса K_2 ;

$\alpha[\tau_i^j]$ - вес троичного сигнала τ_i i -го признака, взятый с учетом значения τ_i , полученного для j -го экземпляра с использованием выражений (5).

k - общее число троичных входов (входных троичных сигналов), равное количеству признаков, используемых для прогнозирования;

T - порог разделения классов, конечное вещественное число.

С использованием правила (6) решение о классе экземпляра, по сути, принимается по набору троичных чисел.

Показано, что разработанный новый метод прогнозирования более эффективен по сравнению с методом, использующим двоичное преобразование признаков - базовым методом пороговой логики. Например, применительно к исследуемым выборкам транзисторов типов 2Т608И, КТ872А и КТ646А риск изготовителя при использовании троичного преобразования признаков в среднем был в 2 раза меньше, нежели в случае двоичного преобразования при одном и том же заданном допустимом риске потребителя.

Троичное преобразование признаков, выполняемое в предложенном методе индивидуального прогнозирования, позволяет использовать признаки с разными их закономерностями, даёт лучшие результаты прогнозирования, однако усложняет процедуру прогнозирования в сравнении с базовым методом пороговой логики. Поэтому актуальным являлась разработка такой модификации метода пороговой логики, которая, с одной стороны, позволяла бы использовать признаки с разными закономерностями, а с другой - сохраняла бы простоту базового метода пороговой логики. Результатом решения этой задачи явилась разработанная автором новая модификация метода пороговой логики. В ней для признаков, имеющих смещение центров классов, используют преобразование в двоичные сигналы, как и в базовом методе пороговой логики. Для признаков с эффектом вложенности классов выполняют разбиение на три зоны

(см. рис.2), но преобразование в двоичные числа. Для этого предлагается использовать условия

$$\begin{cases} z_i^{(j)}=1, \text{ если } x_{i0}' \leq x_i^{(j)} \leq x_{i0}''; \\ z_i^{(j)}=0, \text{ если } x_i^{(j)} < x_{i0}' \text{ или } x_i^{(j)} > x_{i0}'', \end{cases} \quad (7)$$

где $z_i^{(j)}$ - двоичный сигнал, соответствующий i -му признаку j -го экземпляра;
 $x_i^{(j)}$ - измеренное (в момент $t = 0$) значение i -го признака j -го экземпляра;
 x_{i0}', x_{i0}'' - пороговые уровни i -го признака.

Для нового метода прогнозирования и новой модификации метода пороговой логики предложен способ определения пороговых уровней признаков в случае двух порогов (x_{i0}' и x_{i0}''). Способ основан на том, что эти значения выбираются как результат решения задачи оптимизации, используя метод случайного поиска, реализуемый, как правило, на ЭВМ. Информационный подход, разработанный применительно к базовому методу пороговой логики для определения одного порогового уровня по каждому признаку, распространен на случай выбора двух пороговых уровней по каждому признаку.

На примере реального обучающего эксперимента показана возможность использования параметров-признаков, имеющих эффект «вложенности» классов, для прогнозирования работоспособности транзисторов с помощью предложенной модификации метода пороговой логики.

В пятой главе представлены результаты исследования моделированием на ЭВМ эффективности предлагаемых усовершенствований для базового метода пороговой логики, его модификации и нового метода, основанного на троичном преобразовании признаков. Задача такого эксперимента – дать окончательный ответ на вопрос об эффективности усовершенствований, предлагаемых автором в методах индивидуального прогнозирования работоспособности транзисторов, исключив влияние на выводы ограниченного объема выборки (числа транзисторов, используемых в обучающих экспериментах).

Условия моделирования на ЭВМ параметров-признаков биполярных транзисторов и уровня их работоспособности (класса экземпляров) выбраны на основе выполненных экспериментальных исследований (см. гл. 3). Поскольку размерность параметров-признаков транзисторов различна и численные диапазоны изменения не одинаковы, то использовались нормированные значения параметров. Моделирование параметров-признаков выполнялось с учетом закономерности их связей с уровнем работоспособности транзисторов, установленных экспериментально, а также вероятностных характеристик в классах K_1 и K_2 и уровня информативности, наблюдаемых для параметров-признаков в экспериментах, проводимых с транзисторами. Для параметров-признаков со смещением центров классов рассматривалось два предельных случая: нормальный закон распределения – как лучший случай, и закон равной вероятности – как худший случай с точки зрения ошибок прогнозирования.

При выполнении вычислительного эксперимента рассматривалось моделирование коррелированных параметров-признаков, в том числе и с законами распределения, отличными от нормального. В последнем случае использовался оригинальный численный алгоритм, предложенный автором.

С учетом выбранных условий моделирования параметров-признаков выполнен вычислительный эксперимент, позволивший дать ответы на интересные вопросы.

Доказано, что использование предложенного автором нового метода индивидуального прогнозирования работоспособности ППП, основанного на троичном преобразовании признаков, даже в случае параметров-признаков со смещением центров классов даёт явно лучшие результаты, чем при двоичном преобразовании. Например, при заданном риске потребителя p_{21} риск изготовителя p_{12} почти в 2 раза меньше, нежели для базового метода пороговой логики, использующего двоичное преобразование признаков (рис.3).

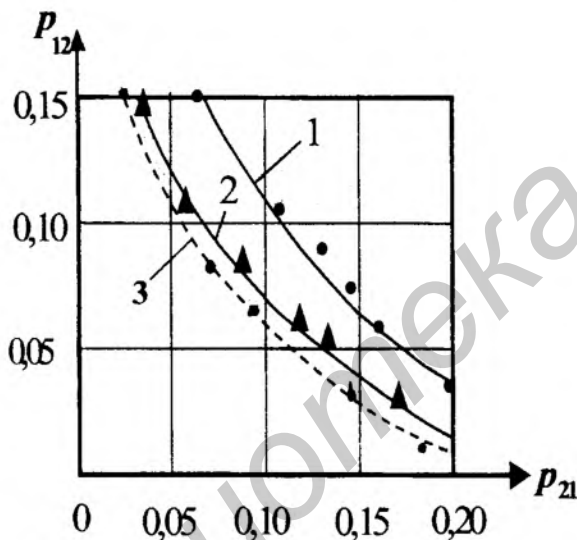


Рис. 3. Зависимость $p_{12}=f(p_{21})$, законы распределения признаков – нормальные: p_{21} – риск потребителя; p_{12} – риск изготовителя; 1 – двоичное преобразование; 2 – троичное преобразование; 3 – m -преобразование ($m=30$)

наблюдается резкое снижение вероятности принятия правильных решений в сравнении со случаем, когда признаки независимы.

В приложениях даётся пояснение параметров биполярных транзисторов, исследуемых на информативность, приводятся значения коэффициентов их вариации, подсчитанные с использованием экземпляров всей выборки, а также надёжных и ненадёжных экземпляров; помещены структурная схема алгоритма выполнения на ЭВМ вычислительного эксперимента, таблицы с результатами экспериментов и документы о внедрении результатов исследования.

Показано, что переход на m -преобразование признаков ($m=4, 5, \dots$) крайне незначительно уменьшает ошибки прогнозирования. Например, при переходе от троичного преобразования к m -преобразованию (при $m=30$) эффект снижения ошибок прогнозирования почти в 10 раз ниже, нежели при переходе от двоичного к троичному преобразованию (см. рис.2). Сложность же процедуры прогнозирования возрастает существенно даже при $m=4$.

Установлено, что в новом методе прогнозирования нежелательно использовать признаки с коэффициентами парной корреляции $|r| \geq 0,5 \dots 0,6$, ибо в таких случаях на-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан новый, более эффективный, нежели существующие, способ определения порогов (x_{i0}), необходимых для преобразования признаков в двоичный код в методе прогнозирования, использующем принципы пороговой логики. Он основан на определении информационной меры Шеннона. Лучшим считается такое значение порога x_{i0} , которое дает максимальное количество информации о степени работоспособности (классе) приборов. Показано, что при использовании для прогнозирования четырёх признаков способ позволяет снизить ошибки прогнозирования на 10...15% [1-3,5,7,15,18].

2. Систематизированы закономерности информативных параметров (признаков) биполярных транзисторов – характер вероятностных связей параметров-признаков транзисторов с уровнем их надёжности (классом уровня надёжности). Установлено, что информативными могут быть параметры, для которых имеет место эффект "вложенности" класса надёжных экземпляров (K_1) в класс ненадёжных (K_2) [4,8].

3. Разработан и исследован новый метод индивидуального прогнозирования надёжности биполярных транзисторов, основанный на преобразовании признаков в троичный код. В отличие от базового метода пороговой логики, он позволяет использовать для выполнения прогнозирования признаки с разными их закономерностями и снижает ошибки прогнозирования примерно на 20-25% (при использовании четырех признаков) [6,7,10,11].

4. Предложена новая модификация метода пороговой логики, сохраняющая простоту базового метода, но позволяющая, в отличие от него, использовать для прогнозирования надёжности биполярных транзисторов признаки с эффектом «вложенности» классов. Отличительной особенностью модификации является разбиение диапазона изменения информативных параметров с эффектом «вложенности» классов на три зоны, но присвоение каждой из них двоичного числа (нуля или единицы). Это повышает эффективность прогнозирования и создаёт лучшие предпосылки для индивидуального прогнозирования в условиях промышленных предприятий и научно-исследовательских лабораторий [2,10,15,18].

5. Для случаев прогнозирования с использованием по каждому признаку двух пороговых уровней (x_{i0}' и x_{i0}'') предложен и разработан эффективный способ определения их значений. Способ основан на том, что пороговые уровни x_{i0}' и x_{i0}'' определяются как результат решения методом случайного поиска (как правило, на ЭВМ) многопараметрической задачи оптимизации [2,9,10,15].

6. На основе экспериментальных исследований биполярных транзисторов разработан математический аппарат моделирования их параметров-признаков [12,14,16,17]. Для моделирования на ЭВМ коррелированных параметров-признаков предложен численный алгоритм, позволяющий получать коррелированные параметры с любыми законами их распределения [13].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи

1. Боровиков С.М., Зорин Д.В., Стасюк Д.М. Информационный подход к определению пороговых уровней признаков в методе индивидуального прогнозирования // Информатика – Машиностроение. – 1998. – №2(20). – С. 56-57.
2. Боровиков С.М., Стасюк Д.М. Прогнозирование работоспособности полупроводниковых приборов методом пороговой логики // Радиотехника и электроника: Республ. межвуз. сб. науч. тр.- Мн.: ОЖИ и ОП ИГН НАН Беларуси.- 2000. – Вып. 25.- С. 185-188.
3. Боровиков С.М., Стасюк Д.М., Зорин Д.В. Алгоритм принятия решения об уровне надежности транзисторов на основе использования прогнозирования // Изв. Белорус. инженер. акад. – 1998. – №2(6)/2. – С.113-115.
4. Стасюк Д.М. Закономерности информативных параметров, используемых для индивидуального прогнозирования работоспособности биполярных транзисторов // Изв. Белорус. инженер. акад.-1998.- №2(6)/2. – С.209-210.
5. Боровиков С.М., Зорин Д.В., Стасюк Д.М., Катунин А.Н. Способ определения пороговых уровней информативных параметров в задачах индивидуального прогнозирования // Изв. Белорус. инженер. акад.- 1998. – №2 (6)/2. – С. 204-207.
6. Стасюк Д.М. Метод оценки работоспособности биполярных транзисторов на основе использования прогнозирующего правила // Веснік сувязі. – 1999. – №1. С.136-137.
7. Боровиков С.М., Щерба А.И., Стасюк Д.М., Зорин Д.В. Результаты ускоренных испытаний транзисторов КТ872А на долговечность // Изв. Белорус. инженер. акад. – 1999.- №1(7)/2. – С.80-82.
8. Боровиков С.М., Стасюк Д.В. Экспериментальное определение закономерностей информативных параметров полупроводниковых приборов // Изв. Белорус. инженер. акад. – 1999.- №1(7)/2. – С.138-140.
9. Стасюк Д.М. Способ определения пороговых уровней признаков в методе индивидуального прогнозирования работоспособности транзисторов // Изв. Белорус. инженер. акад. – 1999.- №1(7)/2. – С.133-134.
10. Стасюк Д.М. Модификация метода индивидуального прогнозирования работоспособности полупроводниковых приборов // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2000.- №1(9)/2. – С.96-98.
11. Боровиков С.М., Стасюк Д.М., Зорин Д.В. Метод обоснования объема выборки для обучающих экспериментов в задачах индивидуального прогнозирования работоспособности полупроводниковых приборов // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2000.- №1(9)/2. – С.104-106.
12. Боровиков С.М. Стасюк Д.М. Карнаушенко А.В. Зорин Д.В. Разработка принципов моделирования информативных параметров полупроводниковых приборов в обучающих экспериментах // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2000.- №1(9)/2. – С. 99-101.

13. Боровиков С.М., Карнаушенко А.В., Стасюк Д.М., Зорин Д.В. Моделирование информативных параметров полупроводниковых приборов // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2001. – №1(11)/3. – С. 228-230.

Материалы конференции, семинара

14. Karnaushenko A., Stasyuk D., Zorin D., Alefirenko V., S.Borovikov, Chekavy A. Computer simulation of training experiments for estimation of engineering products reliability // 2-nd International Conference on Computer Methods and Inverse Problems in Nondestructive Testing and Diagnostics. – Berichtsland 64, Berlin, 1998. – P. 359-361.

15. Боровиков С.М. Стасюк. Д.М. Использование информативных параметров с эффектом вложенности классов для прогнозирования работоспособности полупроводниковых приборов // Современные проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Сб. матер. междунаод. науч.-техн. семинара. – Новополоцк: ПГУ, 2000. – С. 246-249.

Тезисы докладов научных конференций, сессии

16. Стасюк Д.М. О выборе параметров для моделирования на ПЭВМ обучающихся экземпляров // Современные проблемы радиотехники, электроники и связи: Тез. докл. науч.-техн. конф., Минск 4-5 мая 1995 / БГУИР. – Минск, 1995. – С. 247-248.

17. Боровиков С.М., Стасюк Д.М., Зорин Д.В. Эффективность методов индивидуального прогнозирования в управлении качеством радиоаппаратуры // LI научная сессия, посвященная Дню радио: Тез. докл. Ч.I. - М.: НТО РЭС им. А.С. Попова, 1996. – С.107.

18. Боровиков С.М., Щерба А.И., Стасюк Д.М., Зорин Д.В. Внедрение прикладных НИР в учебный процесс по курсу «Теоретические основы конструирования, технологии и надежности» // Научно-методические проблемы совершенствования подготовки специалистов: Тез. докл. научн.-метод. конф., 30 марта – 1 апреля 1999. – Минск: БГУИР, 1999. - С. 21.



РЭЗЮМЭ

Стасюк Дзмітрый Міхайлавіч

Прагназіраванне надзейнасці біпалярных транзістараў з выкарыстаннем прынцыпаў парогавай логікі метадам траічнага пераўтварэння інфарматыўных параметраў

Ключавыя словы: біпалярныя транзістары, надзейнасць, працаздольнасць, індывідуальнае прагназіраванне, інфарматыўныя параметры, метады парогавай логікі, траічнае пераўтварэнне.

Аб'ект і прадмет даследавання – біпалярныя транзістары і метады індывідуальнага прагназіравання іх працаздольнасці. Мэта работы – удасканаленне метада прагназіравання, асновага на прынцыпах парогавай логікі. Эфектыўнасць прапануемых удасканалванняў вызначалася з дапамогай эксперыментальных даследаванняў і прагназіравання працаздольнасці транзістараў розных тыпаў. Крытэрыі ацэнкі эфектыўнасці – верагоднасць прыняцця памылковых рашэнняў, рызыкі спажыва і вытворцы. Абагульненні і вывады рабіліся з улікам вылічальнага эксперыменту, які ўключаў мадэліраванне на ЭВМ інфарматыўных параметраў і працаздольнасці вялікай выбаркі транзістараў.

Для метаду парогавай логікі распрацаваны новы спосаб знаходжання парогавых узраўняў, неабходных для пераўтварэння інфарматыўных параметраў у дваічны код. Спосаб заснаваны на выкарыстанні інфармацыйнай меры Шэнона.

Сістэматызаваны верагодныя сувязі (заканмернасці) інфарматыўных параметраў транзістараў з узроўнем іх працаздольнасці. Прапанаваны метады, які дазваляе ў адрозненні ад базавага метаду парогавай логікі выкарыстоўваць для выканання прагназіравання інфарматыўныя параметры з рознымі заканамернасцямі. Ён заснаваны на пераўтварэнні інфарматыўных параметраў у траічны код і прыняцці рашэння аб працаздольнасці транзістара па наборы траічных лічбаў. Паказана, што метады дае лепшыя вынікі прагназіравання ў параўнанні з базавым метадам парогавай логікі, хоць і з'яўляецца больш складаным.

Прапанавана мадыфікацыя метада парогавай логікі, якая захоўвае прастату базавага метаду і падыходзіць для інфарматыўных параметраў з рознымі заканамернасцямі. Паказана, што новая мадыфікацыя па эфектыўнасці прагназіравання практычна не саступае метаду, які выкарыстоўвае пераўтварэнне інфарматыўных параметраў у траічны код.

На аснове прапанаваных удасканалванняў метаду парогавай логікі распрацавана і ўкаранёна метадыка індывідуальнага прагназіравання працаздольнасці біпалярных транзістараў.

Библиотека БГУИР

Библиотека БГУИР

Библиотека БГУИР
