

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь, доцент, кандидат технических наук, доцент

Требования к надежности электронной аппаратуры, в том числе функционирующей в системах телекоммуникаций, могут быть обеспечены использованием элементов повышенного уровня безотказности в составе электронных устройств. Одним из способов получения таких элементов является их отбор из партии (выборки) однотипных элементов, используя методы индивидуального прогнозирования по информативным параметрам [1]. Под информативным будем понимать такой электрический параметр изделия электронной техники, в том числе полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, значения которого в начальный момент времени несут информацию о надежности изделия в будущие моменты времени, т.е. для заданной наработки. Само прогнозирование выполняют по модели прогнозирования, которую получают, используя результаты предварительных исследований, представляющих собой обучающий эксперимент с изделиями интересующего типа. Суть таких экспериментов рассматривается в [1, с. 66-67]. Основу модели прогнозирования составляет прогнозирующая функция, определяемая для каждого нового однотипного

экземпляра при прогнозировании его надежности. В практике возникает вопрос, какому методу прогнозирования и, следовательно, методу получения прогнозирующей функции отдать предпочтение.

Методы прогнозирования, исследуемые на эффективность в данной работе:

1. Метод статистических решений в предположении нормальных законов распределения информативных параметров в классах надежных (обозначен через K_1) и потенциально ненадежных (обозначен через K_2) элементов для интересующей заданной наработки. При этом предполагается, что информативные параметры элементов в каждом классе уровня надежности (K_1 и K_2) являются независимыми. С методом можно ознакомиться в [1, с. 82-84].

2. Метод потенциальных функций. Суть метода описана в [1, с. 84-86]. Метод считается одним из самых эффективных с точки зрения получения вероятности правильного распознавания класса надежности экземпляров (класс K_1 или K_2) для заданной наработки.

3. Метод пороговой логики, предполагающий преобразование информативных параметров в двоичный код («единица» или «ноль») с принятием решения о классе уровня надежности экземпляра (K_1 или K_2) по набору для этого экземпляра двоичных чисел. Метод описан в [1-3].

4. Метод пороговой логики, предполагающий преобразование информативных параметров в троичный код («единица», «ноль» или «неопределенность»). С сутью этой модификации метода пороговой логики можно ознакомиться в [4].

Количественные характеристики, используемые для оценки эффективности методов прогнозирования:

- вероятность правильных прогнозов $P_{\text{прав}}$ класса надежности элементов для заданной наработки;
- вероятность ошибочных прогнозов $P_{\text{ош}}$ класса надежности элементов для заданной наработки;
- вероятность правильных прогнозов надежных экземпляров, $P(K_1)$;
- вероятность правильных прогнозов потенциально ненадежных экземпляров, $P(K_2)$;
- риски изготовителя $P_{\text{изг}}$ и потребителя $P_{\text{потр}}$, соответствующие максимальному значению вероятности принятия по результатам прогнозирования правильных прогнозов (вероятности $P_{\text{прав}}$).

Рассматриваемые нечисловые характеристики:

- необходимость вычисления значения прогнозирующей функции для каждого прогнозируемого однотипного экземпляра, не принимавшего участия в обучающем эксперименте;
- степень сложности автоматизации метода, используемого для получения и применения модели прогнозирования.

В таблице 1, как пример оценки эффективности моделей прогнозирования, приведены значения вероятностей правильных прогнозов $P_{\text{прав}}$ для экземпляров обучающей и контрольной выборок. Вероятности получены для полевых транзисторов типа КП744А в случае использования в качестве информативных следующих электрических параметров:

- а) порогового напряжения затвор–исток, $U_{\text{зи.пор}}$;
- б) емкости затвор–сток, $C_{\text{зс}}$;
- в) емкости затвор–исток, $C_{\text{зи}}$.

Объем обучающей выборки составлял 172, контрольной – 152 экземпляра. Наработка транзисторов для нормальных условий, пересчитанная с учетом коэффициента ускорения испытаний – 80 тыс. ч, для которой 79 экземпляров оказались представителями класса K_1 , а 93 экземпляра – представителями класса K_2 . В качестве критерия надежности рассматривалось соответствие сопротивления сток–исток полевого транзистора в открытом состоянии (параметр $R_{\text{СИ.отк}}$) норме, приводимой в технической документации ($R_{\text{СИ.отк}} \leq 0,27 \text{ Ом}$).

Таблица 1 – Показатели эффективности методов прогнозирования надежности транзисторов КП744А

Метод получения прогнозирующей функции	Особенность метода (его разновидности) и прогнозирующей функции	Порог разделения классов	Вероятность правильных прогнозов класса надежности, $P_{\text{прав}}$	
			обучающая выборка	контрольная выборка
Метод статистических решений	Гипотеза о нормальном распределении информативных параметров в классах K_1 и K_2 , логарифм отношения правдоподобия	0	0,913	0,908
Метод потенциальных функций	Использование суммарного потенциала, наводимого на прогнозируемый экземпляр всеми экземплярами обучающей выборки	0	0,930	0,928
Метод пороговой логики	Преобразование информативных параметров в двоичный код (1 или 0), использование близости к классу K_1	1,704	0,878	0,875
Метод пороговой логики	Преобразование информативных параметров в двоичный код (1 или 0), использование частной информации о классах K_1 и K_2	0 бит	0,884	0,882

Метод пороговой логики	Преобразование информативных параметров в троичный код (1, 0, R – неопределенность), использование близости к классу K_1	1,428	0,924	0,914
Метод пороговой логики	Преобразование информативных параметров в троичный код (1, 0, R – неопределенность), использование частной информации о классах K_1 и K_2	0 бит	0,924	0,921

Из результатов, приведенных в таблице 1, видно, что модификация метода пороговой логики на основе преобразования информативных параметров в троичный код (с использованием для прогнозируемого экземпляра частной информации о его принадлежности к классам K_1 и K_2) по вероятности правильных прогнозов незначительно уступает лишь методу потенциальных функций. Однако модель прогнозирования в этой модификации метода пороговой логики может быть представлена набором троичного кода и соответствием каждому набору определенного класса надежности экземпляра по прогнозу, что в отличие от метода потенциальных функций, вообще не требует проведения математических вычислений по определению прогнозирующей функции для каждого нового прогнозируемого однотипного экземпляра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Боровиков С. М. Статистическое прогнозирование для отбраковки потенциально ненадежных изделий электронной техники / С. М. Боровиков. – М. : Новое знание, 2013. – 343 с.
2. Метод прогнозирования надежности изделий электронной техники / С. М. Боровиков [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2006. – Т. 50, № 4. – С. 105–109
3. Прогнозирование надежности изделий электронной техники методом пороговой логики / С. М. Боровиков [и др.] // Доклады БГУИР. – 2006. – № 2(14). – С. 49–56.
4. Боровиков С. М. Статистическое имитационное моделирование в исследовании эффективности моделей прогнозирования надежности изделий по информативным параметрам / С. М. Боровиков // BIG DATA и анализ высокого уровня: Сб. науч. статей X Международ. науч.-практ. конф. / Минск (13 марта 2024 г.). – Ч. 2. – Минск, 2024. – С. 122–131.