

Полученные модели могут быть использованы для систем автоматизированного проектирования, ориентированных на разработку современной элементарной базы с учётом квантово-размерных эффектов.

Библиографический список

1. Физика наносистем: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: В.Г. Литвинов, Н.Б. Рыбин, Н.В. Рыбина, А.В. Ермачихин, Д.С. Кусакин. Рязань, 2015. 24 с.
2. Демиховский В. Я., Вугальтер Г. А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос, 2000. – 248 с.
3. Электрические методы исследования разрывов энергетических зон в полупроводниковых микро- и наногетероструктурах: учеб. пособие / В.Г. Литвинов, О.А. Милованова, Н.Б. Рыбин. Рязан. гос. радиотехн. ун-т.-Рязань, 2013. – 52 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОКА КОЛЛЕКТОРА В КАЧЕСТВЕ ИМИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е.В. Калита

Научный руководитель – Боровиков С.М., канд-т техн. наук, доцент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Одним из способов обеспечения высокой надёжности транзисторов большой мощности при их работе в составе электронной аппаратуры длительного функционирования является отбор экземпляров, отвечающих требованию надёжности по постепенным отказам. Отбор экземпляров, отвечающих требованию по надёжности, можно выполнить методом имитационных воздействий [1]. Для практического применения этого метода необходимо с помощью предварительных исследований выборки транзисторов интересующего типа получить имитационную модель, показывающую какой заданной наработке t соответствует имитационный уровень $F_{\text{им}}$ фактора, выбранного в качестве имитационного воздействия F :

$$F_{\text{им}} = f(t), \quad (1)$$

где f – символ функциональной связи.

Для прогнозирования возможного постепенного отказа и отбора экземпляров, отвечающих требованию по надёжности, вначале по модели (1) необходимо определить имитационное значение $F_{\text{им}}$ фактора F для заданной наработки t . После этого у контролируемого (прогнозируемого) экземпляра измеряют значение интересующего функционального электрического параметра P при уровне имитационного фактора $F_{\text{им}}$. Результат измерения рассматривают в качестве прогноза параметра P для заданной наработки t .

В работе [2] было показано, что использование температуры в качестве имитационного воздействия имеет очевидные недостатки и ограничения. В работе обосновывается возможность использования в качестве

имитационных факторов параметров электрической нагрузки биполярных транзисторов: тока коллектора или обратного напряжения коллектор-эмиттер. При этом следует различать понятия «рабочие ток и напряжение» и «имитационные их уровни». Имитационные уровни используют для получения информации о том, какое прогнозное значение будет иметь функциональный электрический параметр для заданной длительной наработки при длительной работе транзистора в электрической схеме (в выбранном электрическом режиме). Возможность использования тока коллектора в качестве имитационного воздействия показана на примере биполярных транзисторов большой мощности типа КТ872А. В данном примере ток коллектора рассматривался в качестве имитационного воздействия. Решение о соответствии транзисторов требованию по постепенным отказам принималось по функциональному электрическому параметру $U_{КЭнас}$ – напряжению насыщения коллектор-эмиттер.

Для получения модели (1) экспериментально с помощью предварительных исследований выборки транзисторов объёмом 100 экземпляров (её называют обучающей выборкой) были получены зависимости параметра $U_{КЭнас}$ от импульсного тока коллектора I_K и от наработки t . Зависимость параметра $U_{КЭнас}$ от тока коллектора I_K приняла вид

$$U_{КЭнас} = 21,4 \cdot (I_K)^{1,63} + 67, \text{ мВ}, \quad (2)$$

где ток коллектора I_K должен подставляться в амперах.

Для получения зависимости параметра $U_{КЭнас}$ от наработки t в выбранном рабочем электрическом режиме были проведены ускоренные форсированные испытания экземпляров обучающей выборки. Выполняя обработку результатов ускоренных испытаний, получена зависимость

$$U_{КЭнас} = 2,19 \cdot \sqrt{t} + 605, \text{ мВ}, \quad (3)$$

где наработка t должна подставляться в часах.

Модель (3) описывает изменение параметра $U_{КЭнас}$ применительно к рабочему электрическому режиму транзисторов, указанному в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры рабочего режима транзисторов типа КТ872А

Параметр, величина	Значение
1. Постоянная мощность, рассеиваемая коллектором P , Вт	30
2. Напряжение коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$, В	150
3. Средний ток коллектора I_K , А	0,2
4. Максимальная температура окружающей среды (корпуса транзистора) $T_{ср}$, °С	+55
5. Интересующая длительная наработка t , ч	15 000

Используя зависимости (2) и (3), получена имитационная модель:

$$I_{Ким} = (0,102\sqrt{t} + 25,14)^{0,6135}, \text{ А}. \quad (4)$$

Имитационная модель (4) может быть использована для индивидуального прогнозирования значения параметра $U_{КЭнас}$ и, следовательно, возможных постепенных отказов для заданной наработки t .

Наработка t должна подставляться в модель (4) в часах. Например, для заданной наработки $t = 20\ 000$ ч по модели (4) находим $I_{\text{Ким}} = 9,55$ А. Предположим, что измерение параметра $U_{\text{КЭнас}}$ у конкретного экземпляра при этом импульсном токе коллектора дало результат $U_{\text{КЭнас}} = 936$ мВ. Сравнивая это значение с нормой (не более 1000 мВ), делаем вывод, что данный экземпляр для наработки 20 000 ч будет отвечать требованию надёжности по постепенным отказам.

Библиографический список

1. Боровиков, С. М. Статистическое прогнозирование для отбраковки потенциально ненадёжных изделий электронной техники: монография / С. М. Боровиков. - М.: Новое знание, 2013. — 343 с.
2. Калита, Е. В. Выбор имитационных факторов для моделирования постепенных отказов биполярных транзисторов большой мощности / Калита Е. В., Бересневич А. И., Боровиков С. М. // Современные средства связи : материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Минск, 21–22 октября 2021 г. / Белорусская государственная академия связи ; редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. - Минск, 2021. - С. 247–248.

ЗАВИСИМОСТЬ ДЕВИАЦИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГЕРКОНА ОТ РЕЖИМА КОММУТАЦИИ

Д.С. Логинов, И.Ф. Шерова

Научный руководитель – Холомина Т.А., д-р физ.-мат. наук, профессор

**Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина**

Герметизированные контакты (герконы), применяемые для коммутации устройств радиоэлектроники, обеспечивают электрическое соединение компонентов, при этом контакты-пластинки, изготовленные из сильномагнитных материалов, в магнитном поле притягиваются и замыкаются.

Для обеспечения стабильной работы герконов, которые также называют магнитоуправляемыми контактами, ранее нами был предложен метод прогнозирования их надёжности по результатам измерения спектральной плотности мощности (СПМ) низкочастотного (НЧ) шума с помощью разработанного измерительно-аналитического комплекса [1-3].

Целью настоящей работы явилось определение величины девиации (разброса) сопротивления магнитоуправляемых контактов при многократной коммутации с использованием магнита.

При исследовании металлических контактов методами шумовой спектроскопии очень важно знать сопротивление контактов, являющееся важнейшей характеристикой их качества, для получения корректных статистических данных и отбраковки компонентов. Кроме того, поскольку