

за счет высокого теплового контраста теплообменника, обнаружение которого будет обусловлено не только температурой его поверхности, но значительной площадью.

Разработан теплообменный аппарат контактного типа, понижение температуры хладагента в котором реализуется за счет его охлаждения термоэлектрическими модулями Пельтье. Исследуемый макетный образец такого теплообменного аппарата рассчитан на работу с 10 л хладагента, который из него подавался насосом в трубопровод теплового экрана, выполненный на основе дюралюминия. Тепловой экран непосредственно контактировал источником ИК-излучения нагретого до температуры 150°C. Установлено, что при скорости движения хладагента 0,1 м/с и начальной его температуре 17°C температура жидкости на выходе теплообменного аппарата составила 23°C после 2 ч функционирования системы охлаждения. Показано, что увеличение времени функционирования системы не приводит к дальнейшему повышению температуры хладагента на выходе теплообменного аппарата. Для получения необходимого значения температуры жидкости на выходе теплообменного аппарата необходимо увеличить холодопроизводительность системы его охлаждения.

## **МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СИСТЕМЫ АРИОН**

**С.М. БОРОВИКОВ, Е.Н. ШНЕЙДЕРОВ,  
В.Е. МАТЮШКОВ, И.Н. ЦЫРЕЛЬЧУК, Р.П. ГРИШЕЛЬ**

Оценка показателей надёжности электронных устройств на этапе проектирования аппаратуры является актуальной задачей. Она даёт ответ на вопрос о целесообразности дальнейших затрат, необходимых на отработку технологии и производство устройств.

В недалёком прошлом проектные и промышленные предприятия Республики Беларусь испытывали трудности при расчёте показателей надёжности электронных устройств из-за неполноты данных о показателях надёжности элементов производства стран СНГ, ограниченности данных об элементах зарубежного производства, входящих в состав электронных устройств, а также из-за отсутствия адаптированной к этим случаям системы автоматизированного расчёта показателей надёжности устройств. Поэтому актуальным являлось создание отечественной системы автоматизированного расчёта, которая, с одной стороны — позволило бы существенно сократить время для поиска справочной информации о надёжности элементов и время решения задачи по оценке надёжности электронных устройств в целом, с другой стороны — повысила бы престиж республики как страны, являющейся одним из лидеров широкого внедрения информационных технологий в проектирование электронной аппаратуры. Такая система была разработана в БГУИР в рамках выполнения инновационного проекта ГКНТ и получила название системы АРИОН.

Система АРИОН (аббревиатура наименования «система автоматизированного расчёта и обеспечения надёжности электронных устройств») была разработана как белорусский вариант подобных российских систем АСОНИКА, АСРН, зарубежных систем RELEX, Cadence Reliability, ALD Group, Item Toolkit, Blocksim и др., представляет собой высокотехнологичный программный комплекс для ЭВМ, предназначенный для автоматизированного расчёта показателей надёжности электронных устройств, имеет некоторые функции, не реализованные в зарубежных системах.

Рассматриваются предпосылки, положенные в основу разработки методики прогнозирования надёжности электронных устройств. Методика использована при создании системы АРИОН, предназначенной для автоматизированного расчёта надёжности. Предлагаются модели прогнозирования, позволяющие определить эксплуатационную интенсивность отказов элементов производства стран СНГ. На основе анализа зарубежных (Россия, США, Китай) справочников и стандартов по прогнозированию надёжности электронной аппаратуры предложена новая классификация наземной аппаратуры по условиям её эксплуатации. Эта классификация заложена в расчётный модуль системы АРИОН. Для различных классов и групп элементов с учётом новой классификации получены усреднённые значения поправочного коэффициента, учитывающего жёсткость условий эксплуатации.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ КОЛЛЕКТОР–ЭМИТТЕР В КАЧЕСТВЕ ИМИТАЦИОННОГО ФАКТОРА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

А.И. БЕРЕСНЕВИЧ

В работах ряда исследователей было показано, что по реакции биполярных транзисторов (БТ) на имитационное воздействие можно прогнозировать значение функционального параметра и, следовательно, наличие или отсутствие постепенного отказа для заданной будущей наработки. В качестве имитационного фактора было предложено использовать ток коллектора. При этом надо различать понятия «рабочий ток коллектора» и «имитационный ток коллектора». Практика показала, что в ряде случаев имитационное значение тока коллектора для заданной будущей наработки может выйти за пределы предельно допустимого значения тока, указываемого в технической документации на БТ. Поэтому актуальным является поиск других альтернативных имитационных факторов.

Автором предлагается в качестве нового имитационного фактора использовать напряжение, прикладываемое к *p-n*-переходам БТ. Обоснованием возможности его использования является то, что между изменениями функциональных параметров биполярных транзисторов, обусловленных длительной наработкой, с одной стороны, и напряжениями, прикладываемыми к *p-n*-переходам, с другой, существует статистическая аналогия. Поэтому представляется, по значению функционального параметра ( $U_{кэнас}$ ,  $h_{21Э}$  и прочие), измеренного при определенном значении напряжения коллектор–эмиттер  $U_{кэ}$ , сделать прогноз параметра для заданной наработки  $t$  и заключение о возможном постепенном отказе БТ (конкретного экземпляра).

Показано, что между отклонениями функционального параметра БТ, вызываемыми изменением напряжения коллектор–эмиттер, и деградацией функционального параметра при длительной наработке транзисторов имеет место тесная линейная корреляционная связь. Наличие тесной корреляции является доказательством возможности использования напряжения коллектор–эмиттер в качестве имитационного фактора.