

рабочего тока светодиода 3 мА при напряжении питания 4,5 В, монтировали аналогичным образом. Расположение кристаллов светодиода и фототранзистора определяли с помощью нанесенных на ленты-носители специальных крестообразных меток, обеспечивающих ортогональность взаимного положения светодиода и фототранзистора в корпусе оптоэлектронного БКУ. Толщина слоя компаунда ОП-433 над кристаллами светодиода и фототранзистора была одинакова и составляла 0,9 мм. Следует отметить, что потери светового потока, проходящего через этот компаунд, чрезвычайно малы, так как данный материал имеет коэффициент пропускания на длине волны 0,8—1,0 мкм, близкий к 100%. Корпуса фоточувствительной ИМС и светодиода имеют одинаковые габаритные размеры ( $12,5 \times 6,7 \times 1,9$  мм<sup>3</sup>), длину выводов 5 мм и расстояние между выводами 2,5 мм. Для правильной установки в изделие корпуса обеих конструкций снабжены ключом, выполненным в виде выступа на боковой грани. Конструкция корпусов позволяет производить их монтаж на печатную плату, в разъемы и пластмассовые корпуса с фиксированным расположением выводов. Работоспособность герметизированных фоточувствительной ИМС и светодиода в составе оптоэлектронного БКУ обеспечивается в диапазоне температур от  $-40$  до  $+85^\circ\text{C}$  при расстоянии между ними не более 2 мм.

### Выводы

1. Требования по снижению тока потребления и массогабаритных характеристик конструкций оптоэлектронных БКУ были реализованы при использовании в качестве источника излучения бескорпусного светодиода АЛ109А-1 с током питания не более 3 мА и расстоянием между светодиодом и чувствительной ИМС не более 2 мм. Мощность светового потока, поступающего в чувствительную область фототранзистора, чрезвычайно мала — не более 1 мкВт/мм<sup>2</sup>.

2. Прием и обработка светового сигнала на уровне 1 мкВт/мм<sup>2</sup> были осуществлены с помощью ИМС и кремниевого планарного фототранзистора с интегральной фоточувствительностью 35 А/Вт, обеспечивающих переключение логических уровней «0» и «1» на выходе.

3. Ток потребления оптоэлектронного БКУ, включающего в себя светодиод АЛ109А-1, кремниевый планарный фототранзистор и ИМС на биполярных транзисторах, не превышает 10 мА.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вайс Г. Физика гальваномагнитных полупроводниковых приборов и их применение / Под ред. О. К. Хомерики. — М.: Энергия, 1974. — 384 с.
2. Гальваномагнитная полупроводниковая интегральная микросхема на биполярных транзисторах для устройств бесконтактной коммутации / А. Д. Духовлинов, И. И. Кротов, В. В. Токмаков, О. Г. Вербницкий // Электронная техника. Сер. 5, Радиодетали и радиокомпоненты. — 1983. — Вып. 1(50). — С. 49—51.

3. Бесконтактный оптоэлектронный переключатель оптических каналов на основе кристаллов  $\text{LiNbO}_3$  / Г. С. Сальникова, И. И. Кротов, В. И. Орлов и др. // Электронная техника. Сер. 5, Радиодетали и радиокомпоненты. — 1988. — Вып. 3(72). — С. 43—45.

4. Боярченко М. А., Васильева Н. П., Розенталь Ю. Ф. Логические устройства на магнитных срезах с управляемым движением доменов. — М.: Энергия, 1978. — 160 с.

5. Морозов Е. М., Комиссарова А. А., Пименов Ю. А. Новые направления в технике бесконтактной коммутации: Обзоры по электронной технике. Сер. 5, Радиодетали и радиокомпоненты. — М.: Изд-во ЦНИИ «Электроника», 1983. — Вып. 3(971). — 37 с.

6. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. — М.: Наука, 1975. — 872 с.

7. Исследование свойств фототранзисторов, изготовленных по планарной технологии / И. И. Кротов, А. Д. Духовлинов, Г. Б. Юн и др. // Фотометрия и ее метрологическое обеспечение: Тез. докл. 4-й Всесоюзной научно-технической конференции. — М.: Изд. ВНИИОФИ, 1982. — 387 с.

8. Кротов И. И., Чуйкин В. А. Применение ультразвуковой микросварки при сборке миниатюрных радиокомпонентов // Электронная техника. Сер. 5, Радиодетали и радиокомпоненты. — 1987. — Вып. 1(66). — С. 48—50.

Статья поступила 26 декабря 1989 г.

УДК 621.311.6:621.3.019.3

Г. Л. Коваленко, Ю. Н. Кофанов,  
В. В. Жаднов

### ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА АППАРАТУРЫ ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ИВЭП

Рассмотрены вопросы исследования безотказности ИВЭП, спроектированных с учетом «горячего» резервирования, с помощью автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры (АСОНИКА).

Одной из наиболее важных задач, решаемых при проектировании источников вторичного электропитания (ИВЭП), является обеспечение требуемого уровня показателей безотказности. Высокие требования к безотказности вновь создаваемых ИВЭП для перспективных отечественных ЭВМ пятого поколения связаны с тем, что именно ИВЭП в значительной степени определяет надежность ЭВМ в целом. При этом ужесточаются требования к функциональным характеристикам ИВЭП. Так, ток нагрузки  $I_n$  постоянно увеличивается и становится равным уже более 3000 А, а требуемая нагрузка на отказ — более 5000 ч.

В то же время задача обеспечения требуемого уровня безотказности ИВЭП должна решаться на

всех этапах его жизненного цикла. В этом смысле особую роль играет обеспечение безотказности ИВЭП на ранних этапах проектирования, где закладывается та безотказность, которая будет реализована при изготовлении и эксплуатации [1].

Исследования безотказности ИВЭП проводились с помощью системы АСОНИКА. АСОНИКА-К — подсистема анализа и обеспечения показателей надежности и качества аппаратуры — позволяет исследовать допуски с учетом технологических разбросов, старения, температуры и других эксплуатационных факторов; процент выхода годных изделий при серийном производстве; вероятность безотказной работы РЭА по внезапным и постепенным отказам при точном учете нагрузок радиоэлементов. Важной особенностью системы АСОНИКА является получение в первых четырех подсистемах функции чувствительности для количественной оценки степени влияния каждого параметра схемы и конструкции на выходные характеристики аппаратуры. Это позволяет на ранних этапах проектирования до создания макета или опытного образца РЭА выявить критические места схемы и конструкции, возможные причины отказов и устранить их путем внесения изменений в проект. Кроме того, в пятой подсистеме полученные функции чувствительности используются для решения задач, связанных с исследованием разбросов параметров. Для работы каждой подсистемы требуется объем оперативной памяти 200—300 кбайт. Система работает на ЕС ЭВМ, язык программирования — ФОРТРАН-VI [1].

Система АСОНИКА поставляется целиком или по отдельным подсистемам в виде загрузочных модулей на магнитной ленте с документацией. Имеются усеченные варианты подсистемы для мини- и микроЭВМ. Проводится обучение схемотехников, конструкторов и других разработчиков РЭА эффективному использованию системы АСОНИКА. Разработчик системы — Московский институт электронного машиностроения.

Система позволяет получать не только количественные оценки показателей безотказности, но и их составляющие, отражающие степень влияния различных факторов на общий уровень показателей безотказности, что является основой для определения «слабых мест» ИВЭП и разработки рекомендаций по их устранению.

Не останавливаясь подробно на обосновании и достоинствах схемотехнического решения исследуемого ИВЭП (это выходит за рамки темы настоящей работы), отметим, что исследовался мощный ИВЭП, спроектированный на основе многофазных выпрямителей с использованием диодов Шоттки. Для сравнения рассмотрена схема мощного ИВЭП с магнитной стабилизацией (рис. 1). Мощные ИВЭП с электронной стабилизацией не исследовались, так как из литературных источников и практики известно, что средняя наработка на отказ источников с  $I_n > 1000$  А колеблется от 20 до 200 ч, и это практически заставило отказаться от электронной стабилизации таких ИВЭП.

На рис. 2 приведена схема ИВЭП, выходное напряжение которого не стабилизируется. Ток на-

грузки  $I_n = 1000$  А, напряжение нагрузки  $U_n = 5$  В, питание осуществляется от трехфазной сети переменного тока частотой 400 Гц. При использовании

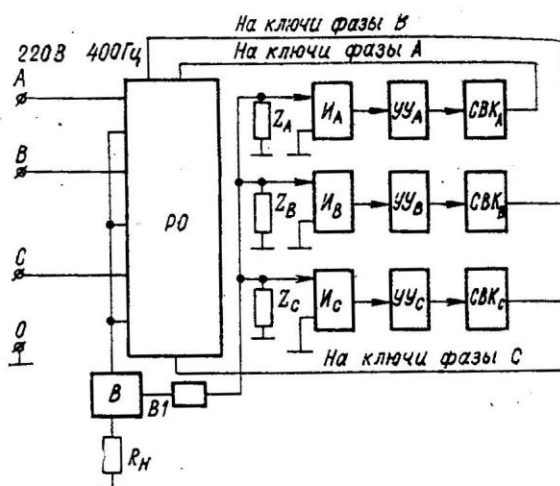


Рис. 1. Структурная схема ИВЭП с регулирующим элементом (показано управление по фазе В)

PO — регулирующий орган;  $I_A, I_B, I_C$  — измерители фазных напряжений;  $УУ_A, УУ_B, УУ_C$  — устройства управления;  $СВК_A, СВК_B, СВК_C$  — схемы выходных каскадов СПН;  $Z_A, Z_B, Z_C$  — реактивные сопротивления фазы;  $R_N$  — сопротивление нагрузки;  $V_1$  — выпрямитель в фазе В

экспоненциальной модели среднее время наработки на отказ этого ИВЭП составило 10 000 ч. Однако при экспериментальном исследовании макетных образцов эта величина оказалась равной 400—1500 ч. Полученные результаты указывают на неприемлемость экспоненциального распределения для моделирования процессов отказов ИВЭП. Анализ деградационных процессов и отказов элементов позволил обосновать возможность применения диффузионного распределения (DN-распределения), при этом среднее время наработки на отказ составило 2680 ч, что значительно лучше согласуется с экспериментальным значением наработки. Одновременно были просчитаны составляющие от узлов ИВЭП.

Среднее время наработки на отказ для узлов ИВЭП, тыс. ч

Устройство стабилизации	11
Датчик тока	24
Усилители	7,3
Устройство управления	25
Устройство синхронизации	55
Источник вспомогательного напряжения	19
Выпрямители	7,9

Анализ результатов показывает, что самыми ненадежными узлами ИВЭП являются устройства стабилизации, узел усилителей и узел выпрямителей.

Повышение безотказности устройства стабилизации, содержащего узел усилителей, требует применения элементов с большим уровнем собственной безотказности ( $10^6$ — $10^7$ ), которые отсутствуют в настоящее время [3]. Поэтому от стабилизации ИВЭП следует отказаться, чтобы обеспечить требования по надежности. Следует отметить, что отказ от высокостабильного ИВЭП возможен, так как требования к характеристикам источника пита-

ния позволяют обосновать необходимость автономного питания ЭВМ. Поэтому при создании более стабильной первичной сети возможно применение нестабилизированного ИВЭП (см. рис. 2). Среднее

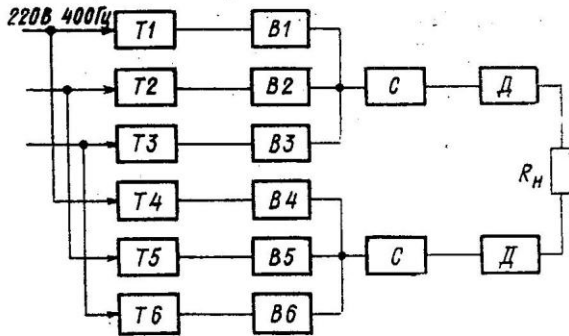


Рис. 2. Структурная схема нестабилизированного ИВЭП  
 T1-T6 — трансформаторы; B1-B6 — выпрямители; C — конденсатор; Д — диод; R<sub>н</sub> — сопротивление нагрузки

время наработки на отказ исходного варианта ИВЭП составило 6751 ч, вклад каждого элемента в вероятность безотказной работы ИВЭП был следующий (отн. ед.):

Разъемы	0,9999999
Трансформатор	0,7780945
Узел выпрямителя	0,5195247
Диод	0,7595460
Конденсатор	0,9999894
Дроссель	0,9994894
Пайка	0,9999999

Анализ результатов расчета показывает, что наименее надежным является узел выпрямителей, причем его безотказность связана с безотказностью вентилялей. Как было сказано выше, в качестве вентилялей в ИВЭП применены диоды Шоттки. Отметим, что эти диоды отказывают только «на обрыв», значит, их параллельное включение может рассматриваться как «горячее» резервирование. Поэтому для повышения безотказности узла выпрямителей можно применять «горячее» резервирование вентилялей.

Рассмотрим влияние количества резервных диодов на показатели безотказности ИВЭП. Результаты расчета приведены в таблице.

Вероятность безотказной работы ИВЭП в зависимости от количества резервных диодов

Количество резервных диодов	Среднее время наработки на отказ, ч	Вклад диода в вероятность безотказной работы ИВЭП
0	6751,56	0,7595460
1	8541,416	0,9968164
2	11030,14	0,9999968
3	12081,32	0,9999999
4	12592,12	0,9999999
5	12871,69	0,9999999

Из данных расчета видно, что введение до трех резервных диодов повышает наработку в 2 раза, однако дальнейшее увеличение числа резервных диодов приводит лишь к незначительному (всего на 3%) дальнейшему увеличению наработки. Это связано с тем, что при «горячем» резервировании

процессы деградации идут одновременно в каждом из параллельно включенных диодов и дисперсия их отказов невелика. К тому же увеличение количества диодов значительно увеличивает габариты и массу блока, что нежелательно. Поэтому оптимальным можно считать применение двух резервных диодов в каждом вентиле.

Можно более рационально достичь дальнейшего повышения безотказности, выпрямителя, добавив еще одну обмотку в трансформаторе и подключив к трем имеющимся еще один идентичный узел выпрямителя. Этим мы добьемся резервирования всего узла выпрямителя, и выход из строя одного из четырех его узлов не приведет к отказу системы в целом. При этом среднее время наработки на отказ составит 12,9 тыс. ч.

После проведения перечисленных мероприятий безотказность ИВЭП будет определяться безотказностью трансформаторов. Показатели безотказности серийных трансформаторов не удовлетворяют предъявленным к ним требованиям, поэтому данный ИВЭП требует разработки специального трансформатора с высокими показателями безотказности. Так, если применить трансформатор, у которого интенсивность отказов  $\lambda_0 = 0,15 \cdot 10^{-6}$  1/ч, его вклад в безотказность ИВЭП будет на уровне остальных элементов системы и наработка на отказ составит 21,2 тыс. ч.

Дальнейшего повышения безотказности ИВЭП можно достичь резервированием дросселя. Последовательное включение дросселей позволяет реализовать их «горячее» резервирование; отказ дросселя — это его короткое замыкание. «Горячее» резервирование дросселя повысит наработку на отказ источника до 21,8 тыс. ч.

Последним мероприятием, возможным для дальнейшего повышения показателей безотказности ИВЭП, является «горячее» резервирование конденсаторов, которое реализуется (так же, как и у дросселя) их последовательным включением. Отметим, что отказ одного из резервных конденсаторов приводит даже к улучшению фильтрующих характеристик выпрямителя.

Окончательный вариант ИВЭП имеет среднее время наработки на отказ 21,9 тыс. ч.

### Вывод

Применение новых автоматизированных методов исследования безотказности позволяет решать задачи анализа и обеспечения надежности ИВЭП уже на ранних этапах проектирования, до изготовления опытной партии и испытаний опытных образцов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кофанов Ю. Н., Саидов А. С., Гаджиев М. И. Математическое моделирование в проектировании РЭА. — Махачкала: Изд-во ДГУ, 1985. — 78 с.
2. Жаднов В. В. Подсистема анализа и обеспечения качества и надежности РЭА системы АСОНИКА // Тез. докл. Всесоюзного научно-технич. симпозиума «Надежность и качество элементов приборостроения и радиоэлектроники». Ч. 1. — М.: Радио и связь, 1986. — С. 57—58.
3. Погребинский С. Б., Стрельников В. П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. — М.: Радио и связь, 1986. — 168 с.