

**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

**Московский институт электроники и математики
Им. А.Н.Тихонова НИУ ВШЭ**

Департамент компьютерной инженерии

Практическая работа №4

**«Расчет показателей надежности электронного модуля, комплектуемого из
ИЭТ отечественного или зарубежного производства»
по курсу «Автоматизация проектных работ»**

Выполнил:

Студент группы БИВ174

Солодянкин Андрей Александрович

Проверил:

Новиков Константин Викторович

Москва 2020 г.

Содержание

1	Задание	3
2	Краткие теоретические сведения	3
3	Выполнение работы	8
4	Выводы по работе	9
5	Контрольные вопросы	10

1 Задание

Изучить математические модели интенсивностей отказов ИЭТ, приведенных в российских и зарубежных справочниках по надежности, а также приобретение практических навыков расчета надежности электронных модулей первого уровня (ЭМ1), содержащих ИЭТ российских и зарубежных производителей.

2 Краткие теоретические сведения

Для проведения расчета надежности ИЭТ следует руководствоваться данными, приведенными в справочниках по надежности. Эти справочники имеют ряд отличий, как в структуре представления информации, так и в математических моделях интенсивностей отказов ИЭТ.

Справочник «Надежность ЭРИ» является официальным изданием Министерства Обороны РФ. Справочник содержит сведения о показателях надежности ИЭТ, применяемых при разработке (модернизации), производстве и эксплуатации аппаратуры, приборов, устройств и оборудования военного назначения. Разделы справочника поделены по классам ИЭТ, которые включают в себя:

- номенклатуру ИЭТ, объединенных по общности их назначения, основным параметрам и конструктивно-технологическому исполнению;
- условное обозначение ИЭТ;
- обозначение документа на поставку ИЭТ (ТУ, ОТУ);
- математические модели (ММ) для расчета (прогнозирования) значений эксплуатационной интенсивности отказов групп (типов) изделий, в том числе и при хранении в различных условиях;
- численные значения коэффициентов моделей.

Информация о показателях надежности ИЭТ и коэффициентах моделей включает в себя:

- значения интенсивности отказов групп (типов) ИЭТ при нормальной (максимально допустимой) температуре окружающей среды и номинальной электрической нагрузке или в типовых (усредненных) режимах эксплуатации;

- значения интенсивности отказов групп изделий при хранении в условиях отапливаемого хранилища в упаковке предприятия-изготовителя ИЭТ;
- количество отказов, по которым определены значения интенсивности отказов изделий;
- распределение отказов групп изделий по видам (по результатам проведения различных категорий испытаний);
- значения коэффициентов, входящих в модели прогнозирования эксплуатационной надежности ИЭТ, и аналитические выражения, показывающие зависимость этих коэффициентов от учитываемых факторов;
- нормируемые в технических условиях (экспериментально полученные) значения гамма-процентной наработки до отказа (интенсивности отказов), гамма-процентного срока сохраняемости изделий.
- коэффициенты замен (среднестатистическую долю отказавших ИЭТ среди заменяемых в процессе поиска неисправности и ремонта аппаратуры) в условиях эксплуатации.

Значения эксплуатационной интенсивности отказов (ИО) большинства классов ИЭТ рассчитываются по математическим моделям, имеющим вид:

$$\lambda_e = \lambda'_b K_p \prod_{i=1}^n K_i \text{ или } \lambda_e = \lambda'_{bcg} K_p \prod_{i=1}^n K_i \quad (1)$$

где:

$\lambda'_b(\lambda'_{bcg})$ – базовая ИО типа (группы) ЭРИ, приведенная к условиям: номинальная электрическая нагрузка при температуре окружающей среды $T_{okr} = 25^\circ C$.

$\lambda'_b(\lambda'_{bcg})$ – базовая ИО типа (группы) ЭРИ для усредненных режимов применения в аппаратуре группы 1.1 (электрическая нагрузка равная 0,4 от номинальной; $T_{okr} = 25^\circ C$);

K_p – коэффициент режима, учитывающий изменение $\lambda'_b(\lambda'_{bcg})$ в зависимости от электрической нагрузки и (или) T_{okr} ;

K_i – коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной ИО в зависимости от различных факторов;

n – число, учитываемых факторов.

При расчете ИО всего изделия, суммарный поток отказов которых складывается из независимых потоков отказов ИЭТ, математическая модель ИО имеет вид:

$$\lambda_e = \sum_{j=1}^m \lambda_{bj} \prod_{i=1}^{nj} K_{ij} \quad (2)$$

где:

λ_{bj} – базовая ИО j -го потока отказов, 1/ч;

m – количество независимых потоков отказов составных частей ИЭТ;

K_{ij} – коэффициент, учитывающий влияние i -го фактора в j -ом потоке отказов;

n_j – количество факторов, учитываемых в j -ом потоке отказов.

Из всего многообразия коэффициентов стоит отметить два общих, которые входят во все ММ всех классов ИЭТ:

- Коэффициент приемки (K_{pr}) отражает два уровня качества изготовления изделий: по справочнику, общее военное применение (ОВП) - приемка «5» и повышенной надежности (ОС) - приемка «9» (в эту же группу входят изделия повышенной надежности, выпускаемые малыми партиями (ОСМ) - приемка «7»). Для изделий с приемкой «5» значение K_{pr} принято равным 1. Для остальных справочников соответствие уровней качества (приемки) приведено в таблице.
- Коэффициент эксплуатации (K_e) учитывает степень жесткости условий эксплуатации и показывает, во сколько раз интенсивность отказов ЭРИ в аппаратуре конкретного класса (группы эксплуатации по ГОСТ Р В 20.39.301-98) выше при всех прочих равных условиях, чем в наземной стационарной аппаратуре (группа 1.1). Для аппаратуры группы 1.1 значение коэффициента эксплуатации принято равным 1. Для остальных справочников соответствие групп аппаратуры приведено в таблице.

При расчете же надежности аппаратуры, которая в эксплуатации основную часть времени находится в режиме хранения в обесточенном состоянии с периодическим контролем работоспособности, рекомендуется использовать значение ИО λ_{ex} групп ИЭТ, рассчитываемые по модели:

$$\lambda_{ex} = \lambda_{x.c.g.} \prod_{i=1}^n K_i \quad (3)$$

где:

$\lambda_{x.c.g.}$ – ИО ИЭТ по результатам испытаний изделий на сохраняемость в упаковках заводов-изготовителей при температуре 5...40 °С и относительной влажности воздуха до 80% (при температуре +25°С);

K_i – основные коэффициенты, учитывающие изменения ИО $\lambda_{x.c.g.}$ в зависимости от различных факторов;

n – число учитываемых факторов.

В отличие от расчетной формулы для эксплуатационной ИО, для расчета ИО в режиме хранения вводится поправочный коэффициент K_{ycl} , учитывающий изменение ИО $\lambda_{x.c.g.}$ в зависимости от условий эксплуатации в режиме хранения.

Рекомендуемые значения K_{ysl} :

- в неотапливаемом помещении – 1,2;
- под навесом – 1,4;
- в отапливаемом помещении – 1.

Расчетные соотношения для ИО в режиме хранения в остальных справочниках не приводятся, в качестве ее оценки рекомендуется использовать величину, равную $\lambda_e/100$.

Зарубежные аналоги отечественного справочника имеют и другие кардинальные отличия. В частности справочник, издаваемый МО США имеет другую структуру. В нем нет типонаименований ИЭТ, а приведены лишь классы ИЭТ, группы, подгруппы и т.д.

В математических моделях тоже есть существенная разница. Например, в классе «Интегральные микросхемы» применен другой подход к оценке надежности, основанный на учете конструктивных особенностей микросхем. В частности, по сравнению с там введен ряд коэффициентов, отражающих конструктивные особенности ИС. Например, для группы «МИКРОСХЕМЫ ПАМЯТИ» в приведена следующая формула для расчета ИО:

$$\lambda_p = (C_1 P_T + C_2 P_E + \lambda_{CYS}) P_Q P_L \quad (4)$$

где:

λ_{CYS} – интенсивность отказов, связанная с количеством циклов чтения-записи (для микросхем памяти), 1/ч;

C_1 – коэффициент, зависящий от количества базовых ячеек;

P_T – температурный коэффициент;

C_2 – коэффициент, зависящий от количества выводов микросхемы;

P_Q – коэффициент, зависящий от времени, в течение которого выпускается микросхема;

P_E – коэффициент эксплуатации (в справочнике приняты отличные от справочника обозначения групп аппаратуры, они имеют буквенное представление);

P_L – коэффициент, отражающий уровень качества изготовления (аналог K_{pr}).

Также приведена уточненная методика расчета надежности ИС с учетом вклада разных механизмов отказов в общую интенсивность отказов микросхемы.

Китайский справочник имеет точно такую же структуру и подход. Все математические модели ИО в нем идентичны, различаются лишь численные значения коэффициентов. Например, расчетное соотношение для эксплуатационной ИО класса «Резисторы», группы «Композиционные резисторы» имеет вид:

$$\lambda_p = \lambda_b P_Q P_R P_E \quad (5)$$

где:

λ_b – базовая ИО, 1/ч;

P_R – коэффициент, зависящий от номинала резистора;

P_Q – коэффициент отражающий уровень качества изготовления.

В приведено 7 видов качества производства: $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, C_1$ (так, уровень качества B_2 соответствует приемке 5);

P_E – коэффициент эксплуатации (в справочнике приняты те же обозначения групп аппаратуры).

В связи с тем, что абсолютное большинство разрабатываемой и выпускаемой аппаратуры в России комплектуется из импортных элементов (или на их аналогов), в настоящее время, выпускается справочник, который содержит всего лишь 9 классов ИЭТ из числа тех, которые наиболее широко используются на российских предприятиях. Все математические модели ИО и численные значения коэффициентов и идентичны, за исключением K_e (P_E). Например, для класса «Конденсаторы» в справочнике приведено следующее соотношение:

$$\lambda_e = \lambda_b P_t P_c P_v P_{sv} P_e P_q \quad (6)$$

где:

λ_b – базовая ИО;

P_t – температурный коэффициент;

P_c – коэффициент, зависящий от емкости конденсатора;

P_v – коэффициент, зависящий от напряжения на конденсаторе;

P_{sr} – коэффициент влияния последовательного сопротивления;

P_e – коэффициент эксплуатации (в справочнике приняты те же обозначения групп аппаратуры);

P_q – коэффициент, отражающий уровень качества изготовления (аналог K_{pr}) и имеет те же значения.

3 Выполнение работы

На рис. 1 показана схема проекта, на таб. 1 представлен перечень элементов. Результаты надежности представлены на таб. 2, на рис.2 показан график вклада в общую эксплуатационную интенсивность отказов. На рис. 3 показана зависимость интенсивности отказов от температуры окружающей среды.

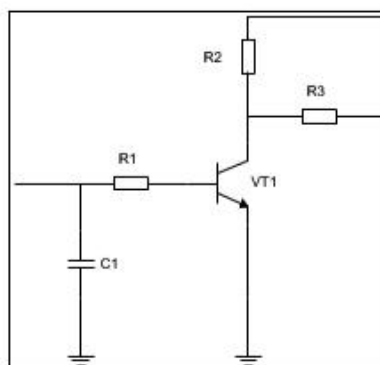


Рис. 1: Электрическая схема

Таблица 1: Перечень элементов

№	Название схемы	Данные для расчета		
		Обозначение	Типономинал	Исходные данные
1	Каскад входного фильтра	R1	P1-16	R=100 Ом, P=3Вт, P _н =5 Вт, Допуск 10%, U _{макс} =5 В
		R2	C6-2	R=200 Ом, P=4Вт, P _н =6Вт, Допуск 5%, U _{макс} =6В
		R3	P2-75	R=300 Ом, P=3Вт, P _н =6Вт, Допуск 15%, U _{макс} =3 В
		C1	K10-42	C=10 мкФ, U _p =3В, U _{ном} =5В
		VT1	2T203A	P _p =4 Вт, P _{макс} =6Вт, Нагрузка по напряжению 0,7

Таблица 2: Показатели надежности электронных модулей

Наименование компонента	Дец. номер / Тип изделия	Эксплуатационная интенсивность отказов	Интенсивность отказов в режиме ожидания
VT1	2T203A	2,01e-08	8,75e-11
R1	P1-16	2,05e-07	4,82e-11
R2	C6-2	1,74e-08	3,64e-11
R3	P2-75	1,35e-08	2,23e-10
C1	K10-42	3,38e-08	2,91e-10

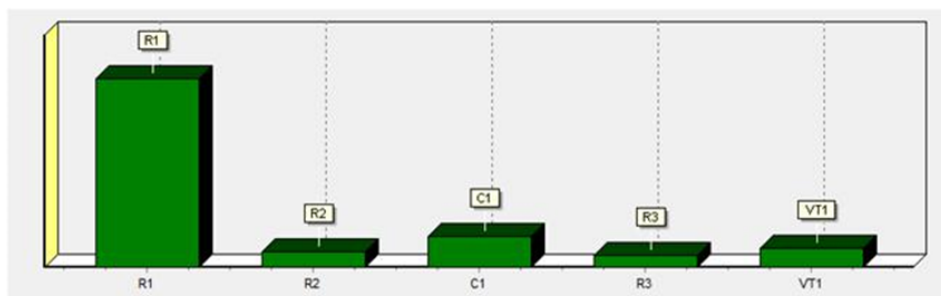


Рис. 2: Вклады элементов в общую эксплуатационную интенсивность отказов

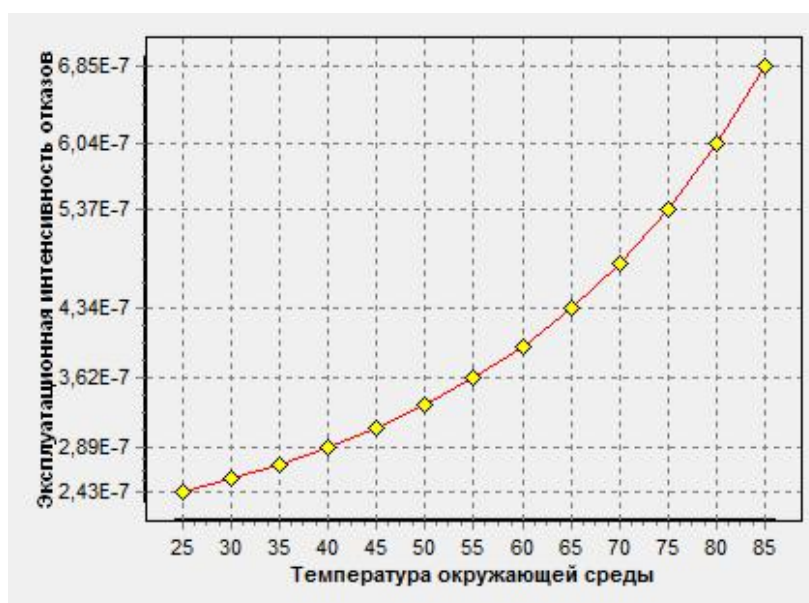


Рис. 3: График зависимости эксплуатационной интенсивности отказов от температуры

4 Выводы по работе

В ходе выполнения лабораторной работы были изучены математические модели интенсивности отказов ИЭТ, рассчитана надежность электронного модуля. Были построены графики зависимости эксплуатационной интенсивности отказов электронного модуля от температуры окружающей среды.

5 Контрольные вопросы

1. Какие сведения для расчета надежности приводятся для ИЭТ в справочниках по надежности?

- номенклатуру ИЭТ, объединенных по общности их назначения, основным параметрам и конструктивно-технологическому исполнению;
- условное обозначение ИЭТ;
- обозначение документа на поставку ИЭТ (ТУ, ОТУ);
- математические модели (ММ) для расчета (прогнозирования) значений эксплуатационной интенсивности отказов групп (типов) изделий, в том числе и при хранении в различных условиях;
- численные значения коэффициентов моделей.

2. Какая информация о показателях надежности ИЭТ и коэффициентах моделей приводиться в [6] на каждый класс?

- значения интенсивности отказов групп (типов) ИЭТ при нормальной (максимально допустимой) температуре окружающей среды и номинальной электрической нагрузке или в типовых (усредненных) режимах эксплуатации;
- значения интенсивности отказов групп изделий при хранении в условиях отапливаемого хранилища в упаковке предприятия-изготовителя ИЭТ;
- количество отказов, по которым определены значения интенсивности отказов изделий;
- распределение отказов групп изделий по видам (по результатам проведения различных категорий испытаний);
- значения коэффициентов, входящих в модели прогнозирования эксплуатационной надежности ИЭТ, и аналитические выражения, показывающие зависимость этих коэффициентов от учитываемых факторов;
- нормируемые в технических условиях (экспериментально полученные) значения гамма-процентной наработки до отказа (интенсивности отказов), гамма-процентного срока сохраняемости изделий;

- коэффициенты замен (среднестатистическую долю отказавших ИЭТ среди заменяемых в процессе поиска неисправности и ремонта аппаратуры) в условиях эксплуатации.

3. По каким математическим моделям рассчитывается эксплуатационная интенсивность отказов большинства ИЭТ из [8]?

Для проведения расчета надежности ИЭТ следует руководствоваться данными, приведенными в справочниках по надежности [3, 6-8]. Эти справочники имеют ряд отличий, как в структуре представления информации, так и в математических моделях интенсивностей отказов ИЭТ.

4. По какой математической модели рассчитывается эксплуатационная интенсивность отказов отдельных групп сложных изделий в [7]?

Значения эксплуатационной интенсивности отказов (ИО) большинства классов ИЭТ рассчитываются по математическим моделям, имеющим вид:

$$\lambda_e = \lambda'_b K_p \prod_{i=1}^n K_i \text{ или } \lambda_e = \lambda'_{bcg} K_p \prod_{i=1}^n K_i \quad (7)$$

5. Что характеризует коэффициент режима?

K_p – коэффициент режима, учитывающий изменение $\lambda'_b(\lambda'_{bcg})$ в зависимости от электрической нагрузки и (или) T_{okr} ;

6. Что характеризует коэффициент приемки?

Коэффициент приемки (K_{pr}) отражает два уровня качества изготовления изделий: по справочнику [3], общее военное применение (ОВП) - приемка «5» и повышенной надежности (ОС) - приемка «9» (в эту же группу входят изделия повышенной надежности, выпускаемые малыми партиями (ОСМ) - приемка «7»). Для изделий с приемкой «5» значение K_{pr} принято равным 1.

7. Что характеризует коэффициент эксплуатации, и от чего он зависит?

Коэффициент эксплуатации (K_e) учитывает степень жесткости условий эксплуатации и показывает, во сколько раз интенсивность отказов ЭРИ в аппаратуре конкретного класса (группы эксплуатации по ГОСТ Р В 20.39.301-98) выше при всех прочих равных условиях, чем в наземной стационарной аппаратуре (группа

1.1). Для аппаратуры группы 1.1 значение коэффициента эксплуатации принято равным 1.

8. В чем суть разного подхода к построению отечественного и зарубежных справочников?

Зарубежные аналоги отечественного справочника имеют и другие кардинальные отличия. В частности, справочник, издаваемый МО США [6] имеет другую структуру. В нем нет типономиналов ИЭТ, а приведены лишь классы ИЭТ, группы, подгруппы и т.д.

9. Что такое идентификация?

Под идентификацией ИЭТ понимается классификация ИЭТ по справочникам, т.е. нахождение ММ исходя из конструктивных, технологических, электрических и др. параметров ИЭТ. Например, для идентификации микросхем необходимо знать технологическую группу (микросхемы памяти, микросхемы ПАВ и т.др.), количество выводов, объем бит, температуру перехода, рабочее напряжение, рассеиваемую мощность и т.д.