

Аракчеев Егор Алексеевич

студент, Факультет «Информатика и системы управления»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет), г. Москва

Горелова Ксения Игоревна

студент, Факультет «Информатика и системы управления»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет), г. Москва

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА УСТРОЙСТВА WATCHDOG- ТАЙМЕРА ДЛЯ ПК

Аннотация

Цель статьи — представить расчетную оценку вероятности отказа устройства Watchdog-таймера для ПК за время работы 24 часа. Рассматривается устройство, предназначенное для автоматической перезагрузки компьютера при зависании, а расчет выполняется по последовательной модели надежности, при которой отказ любого существенного элемента приводит к отказу устройства в целом. В работе описаны исходные допущения, выбранные модели элементов, суммарная интенсивность отказов и итоговая вероятность отказа. Показано, что при принятых условиях эксплуатации вероятность отказа за 24 часа составляет 0,025227684 %, а наибольший вклад в суммарную интенсивность отказов дают резисторы, электролитические конденсаторы и микроконтроллер.

Ключевые слова: надежность, вероятность отказа, интенсивность отказов, Watchdog-таймер, микроконтроллер, радиоэлектронное средство, последовательная модель надежности.

Annotation

The purpose of the article is to provide a calculated estimate of the probability of failure of a PC Watchdog timer device during 24 hours of operation. A device designed to automatically reboot a computer when it freezes is considered, and the calculation is performed using a consistent reliability model in which failure of any essential element leads to failure of the device as a whole. The paper describes the initial assumptions, the selected element models, the total failure rate and the final probability of failure. It is shown that under the accepted operating conditions, the probability of failure in 24 hours is 0.025227684%, and resistors, electrolytic capacitors, and a microcontroller make the largest contribution to the total failure rate.

Keywords: reliability, probability of failure, failure rate, Watchdog timer, microcontroller, electronic device, sequential reliability model.

Введение

Надежность радиоэлектронного средства является одним из основных показателей, определяющих возможность его практического применения. Даже простое устройство, состоящее из ограниченного числа компонентов, может иметь различный уровень надежности в зависимости от элементной базы, условий эксплуатации, температуры, режима нагрузки и принятой структурной схемы по надежности.

Watchdog-таймер для ПК относится к вспомогательным устройствам, задача которых заключается не в выполнении основной вычислительной функции, а в повышении устойчивости работы компьютера. При зависании системы такое устройство формирует сигнал аппаратного сброса и тем самым возвращает компьютер в рабочее состояние. Поэтому отказ Watchdog-таймера может привести к тому, что зависание ПК не будет автоматически устранено.

Актуальность расчета состоит в том, что на этапе проектирования можно заранее оценить, какие группы элементов сильнее всего влияют на вероятность отказа, и определить направления повышения надежности. В данной статье исходной базой является расчет по устройству «Watchdog таймер для ПК», выполненный для времени работы $t = 24$ часа.

Постановка задачи и исходные допущения

Цель расчета — определить вероятность отказа устройства за 24 часа работы по заданной принципиальной схеме. В качестве расчетного объекта рассматривается Watchdog-таймер, связанный с COM-портом компьютера по линиям RX, TX и GND. Логика работы реализуется микроконтроллером DD1, а воздействие на цепь Reset выполняется через транзисторный ключ и электромагнитное реле.

Для расчета приняты условия эксплуатации, соответствующие учебному заданию: устройство используется в наземном комплексе при температуре от +5 до +25 °С, изделие является невосстанавливаемым и необслуживаемым, а элементы относятся к массовому производству и коммерческому исполнению. Печатная плата, электрические нагрузки элементов и тепловые режимы в расчете не учитываются, поэтому соответствующие поправочные коэффициенты принимаются равными единице.

Такой подход позволяет получить не абсолютную эксплуатационную статистику, а расчетную оценку вероятности отказа при заданных допущениях. Результат следует рассматривать как инженерную оценку, пригодную для сравнения вклада отдельных групп элементов и выявления наиболее значимых компонентов.

Структура устройства и модель надежности

Функционально Watchdog-таймер включает микроконтроллер DD1, кварцевый резонатор Y1, транзисторы VT1-VT3, диоды VD1-VD4, резисторы R1-R10, конденсаторы C1-C5, реле K1, кнопку RESET, COM-разъем и паяные соединения. Микроконтроллер анализирует сигналы, поступающие от компьютера, а при нарушении нормальной работы через транзисторный ключ управляет реле, контакт которого подключается к цепи аппаратного сброса.

Для расчета принята последовательная структурная модель по надежности. Это означает, что отказ любого существенного элемента рассматривается как отказ всего устройства. Такое допущение является консервативным, но удобным

для учебного расчета, так как позволяет свести общую интенсивность отказов к сумме интенсивностей отказов отдельных элементов.

Суммарная интенсивность отказов определяется выражением:

$$\Lambda = \sum n_i \cdot \lambda_{э_i} \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч},$$

где $\lambda_{э_i}$ — эксплуатационная интенсивность отказов i -го элемента в единицах $10^{-6} 1/\text{ч}$, n_i — количество однотипных элементов. Вероятность безотказной работы при постоянной интенсивности отказов определяется по экспоненциальному закону:

$$P(t) = \exp(-\Lambda \cdot t).$$

Вероятность отказа за заданный интервал времени равна:

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

Выбор моделей элементов

Выбор расчетных моделей выполняется по типу каждого элемента схемы. Для микроконтроллера DD1 используется модель цифровой микропроцессорной интегральной схемы, поскольку по распиновке и функциональным признакам он соответствует AT89C2051 либо совместимому 20-выводному микроконтроллеру семейства MCS-51. Для диодов применяется модель маломощных импульсных диодов, для транзисторов — модель кремниевых биполярных транзисторов, для резисторов — модель постоянных резисторов массового применения.

Конденсаторы разделены на две группы: электролитические C1, C2 и керамические C3-C5. Такое разделение важно, поскольку электролитические конденсаторы имеют более высокую базовую интенсивность отказов и поэтому могут заметно влиять на общий результат. Для реле K1 учитывается отказ обмотки и контактной группы, для кнопки RESET — отказ контактного элемента, для COM-разъема — отказ задействованных контактов, а паяные соединения учитываются отдельной группой.

При выборе параметров учитывалось, что расчётная схема относится к маломощным устройствам, а эксплуатация предполагается в нормальных наземных условиях. Поэтому итоговые значения интенсивностей отказов

отражают именно принятый вариант задания, а не все возможные режимы эксплуатации Watchdog-таймера.

Расчетные результаты

Сводные значения вкладов групп элементов в суммарную интенсивность отказов приведены в таблице 1. Значения указаны в единицах 10^{-6} 1/ч и соответствуют расчетной модели, использованной в исходной работе.

Группа элементов	Количество	Вклад, 10^{-6} 1/ч
Резисторы R1-R10	10	3,080000
Микроконтроллер DD1	1	2,083778
Конденсаторы C1, C2	2	2,059516
Кнопка RESET	1	1,335000
Диоды VD1-VD4	4	0,600000
Транзисторы VT1-VT3	3	0,462000
Конденсаторы C3-C5	3	0,330000
Реле K1	1	0,299736
Кварцевый резонатор Y1	1	0,234000
COM-разъем	1	0,018481
Паяные соединения	30	0,010350

Из таблицы видно, что наиболее существенный вклад дают резисторы, микроконтроллер и электролитические конденсаторы. При этом большой вклад резисторов объясняется не высокой индивидуальной интенсивностью отказов, а их количеством в схеме. Микроконтроллер оказывает значимое влияние из-за сложности интегральной микросхемы, а электролитические конденсаторы — из-за более неблагоприятных показателей надежности по сравнению с керамическими конденсаторами.

Итоговые показатели расчета приведены в таблице 2.

Показатель	Значение	Единицы
Суммарная интенсивность отказов λ_{Σ}	10,512861078	10^{-6} 1/ч
Время работы t	24	ч
$\lambda_{\Sigma} \cdot t \cdot 10^{-6}$	0,000252308666	—
Вероятность безотказной работы $P(24)$	0,999747723161	—
Вероятность отказа $Q(24)$	0,000252276839	—

Вероятность Q(24)	отказа	0,025227684	%
----------------------	--------	-------------	---

Анализ полученных результатов

Полученное значение вероятности безотказной работы за 24 часа равно 0,999747723161. Соответственно, вероятность отказа за тот же период составляет 0,000252276839, или 0,025227684 %. Для суточного интервала работы это малое значение, однако его нельзя автоматически переносить на длительный срок эксплуатации без дополнительного анализа температурных режимов, электрических нагрузок, качества монтажа и реальных условий применения.

Результат показывает, что Watchdog-таймер при заданных условиях имеет высокую расчетную вероятность безотказной работы на коротком интервале. При этом анализ вклада элементов позволяет выделить направления возможного повышения надежности: выбор более надежных электролитических конденсаторов, снижение количества дискретных элементов при сохранении функциональности схемы, применение качественных разъемов и реле, а также контроль технологии пайки.

Особого внимания заслуживает микроконтроллер DD1. Его отказ фактически нарушает логику работы всего устройства, поэтому для практического применения важно не только использовать корректную расчетную модель, но и обеспечивать стабильное питание, защиту входов, правильную разводку тактовой цепи и устойчивость к помехам со стороны COM-порта.

Практическое значение расчета

Инженерная ценность такого расчета заключается в том, что он позволяет перейти от общего описания схемы к количественной оценке надежности. Даже если расчет выполняется в учебных целях, он показывает связь между элементной базой и вероятностью отказа устройства. Это особенно важно для устройств, выполняющих защитную или восстановительную функцию, поскольку их собственный отказ может сделать основную систему менее устойчивой к сбоям.

Для дальнейшего уточнения оценки можно дополнительно учитывать печатную плату, тепловой режим, реальные электрические нагрузки, качество монтажа, статистику отказов конкретных партий компонентов и условия эксплуатации. В расширенной модели также можно рассмотреть не только последовательную структуру, но и функциональные отказы, при которых часть элементов может отказаться без полной потери работоспособности устройства.

Заключение

В статье рассмотрен расчет вероятности отказа устройства Watchdog-таймера для ПК за время работы 24 часа. Устройство представлено как невосстанавливаемое и необслуживаемое радиоэлектронное средство, работающее в наземных условиях при температуре от +5 до +25 °С. Для расчета принята последовательная структурная модель надежности, при которой отказ любого существенного элемента считается отказом устройства.

Суммарная эксплуатационная интенсивность отказов составила $10,512861078 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Вероятность безотказной работы за 24 часа равна 0,999747723161, а вероятность отказа — 0,000252276839, или 0,025227684 %. Наибольший вклад в суммарную интенсивность отказов вносят резисторы, электролитические конденсаторы и микроконтроллер DD1.

Итоговый вывод заключается в том, что при заданных исходных условиях Watchdog-таймер имеет малую расчетную вероятность отказа на суточном интервале. Однако для практического проектирования необходимо учитывать реальные режимы работы, качество элементной базы и монтажа, поскольку именно эти факторы могут существенно изменить фактическую надежность устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков С. М., Цырельчук И. Н., Троян Ф. Д. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств: учебно-методическое пособие. Минск: БГУИР, 2010. 68 с. URL: http://library.bsuir.by/m/12_119786_1_72356.pdf
2. РадиоКот. Watchdog таймер для ПК. Исходная принципиальная схема устройства из задания. URL: <https://radiokot.ru/circuit/digital/pcmod/10/>

3. Microchip / Atmel. AT89C2051: 8-bit Microcontroller with 2K Bytes Flash. Datasheet. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc0368.pdf>
4. Vishay Semiconductors. 1N4148 Small Signal Fast Switching Diodes. Datasheet. URL: <https://www.vishay.com/docs/81857/1n4148.pdf>
5. Vishay BCcomponents. MRS16, MRS25 Professional Thin Film Leaded Resistors. Datasheet. URL: <https://www.vishay.com/docs/28724/mrs16m25.pdf>
6. KEMET. ESH, +105°C radial aluminum electrolytic capacitors. Datasheet. URL: https://content.kemet.com/datasheets/KEM_A4005_ESH.pdf
7. Murata Manufacturing. Ceramic capacitors. Product documentation. URL: <https://www.murata.com/en-eu/products/capacitor/ceramiccapacitor>
8. onsemi. BC546 / BC547 / BC548 / BC549 / BC550 NPN transistors. Datasheet. URL: <https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/bc550-d.pdf>
9. onsemi. BC556B, BC557A/B/C, BC558B PNP amplifier transistors. Datasheet. URL: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/bc556b-d.pdf>
10. Omron. G5V-1 Low Signal Relay. Datasheet. URL: https://omronfs.omron.com/en_US/ecb/products/pdf/en-g5v_1.pdf
11. C&K / Littelfuse. KSC Series Sealed Tact Switch. Datasheet. URL: <https://docs.rs-online.com/ee6c/0900766b815a8efa.pdf>
12. ECS Inc. HC-49US quartz crystal. Datasheet. URL: https://www.ecsxtal.com/store/pdf/hc_49us.pdf
13. TE Connectivity. D-Sub connectors / DB9 connectors. Product documentation. URL: <https://www.te.com/en/products/connectors/d-shaped-connectors/d-sub-connectors.html>

list of literature

1. Borovikov S. M., Tsyrelchuk I. N., Troyan F. D. Calculation of reliability indicators of electronic means: an educational and methodical manual. Minsk: BGUIR, 2010. 68 p. URL: http://library.bsuir.by/m/12_119786_1_72356.pdf
2. Radio chat. Watchdog timer for PC. The initial schematic diagram of the device from the assignment. URL: <https://radiokot.ru/circuit/digital/pcmod/10/>

3. Microchip / Atmel. AT89C2051: 8-bit Microcontroller with 2K Bytes Flash. Datasheet. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc0368.pdf>
4. Vishay Semiconductors. 1N4148 Small Signal Fast Switching Diodes. Datasheet. URL: <https://www.vishay.com/docs/81857/1n4148.pdf>
5. Vishay BCcomponents. MRS16, MRS25 Professional Thin Film Leaded Resistors. Datasheet. URL: <https://www.vishay.com/docs/28724/mrs16m25.pdf>
6. KEMET. ESH, +105°C radial aluminum electrolytic capacitors. Datasheet. URL: https://content.kemet.com/datasheets/KEM_A4005_ESH.pdf
7. Murata Manufacturing. Ceramic capacitors. Product documentation. URL: <https://www.murata.com/en-eu/products/capacitor/ceramiccapacitor>
8. onsemi. BC546 / BC547 / BC548 / BC549 / BC550 NPN transistors. Datasheet. URL: <https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/bc550-d.pdf>
9. onsemi. BC556B, BC557A/B/C, BC558B PNP amplifier transistors. Datasheet. URL: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/bc556b-d.pdf>
10. Omron. G5V-1 Low Signal Relay. Datasheet. URL: https://omronfs.omron.com/en_US/ecb/products/pdf/en-g5v_1.pdf
11. C&K / Littelfuse. KSC Series Sealed Tact Switch. Datasheet. URL: <https://docs.rs-online.com/ee6c/0900766b815a8efa.pdf>
12. ECS Inc. HC-49US quartz crystal. Datasheet. URL: https://www.ecsxtal.com/store/pdf/hc_49us.pdf
13. TE Connectivity. D-Sub connectors / DB9 connectors. Product documentation. URL: <https://www.te.com/en/products/connectors/d-shaped-connectors/d-sub-connectors.html>