

Надежность цифровых систем и каналов передачи информации

1

Основные понятия

Надежность системы – характеристика способности программного, аппаратного, аппаратно-программного средства выполнить при определенных условиях требуемые функции в течение определенного периода времени.

Достоверность работы системы (устройства) – свойство, характеризующее **истинность** конечного (выходного) результата работы (выполнения программы), определяемое способностью средств контроля фиксировать правильность или ошибочность работы.

Ошибка устройства – неправильное значение сигнала (бита – в цифровом устройстве) на внешних выходах устройства или отдельного его узла, вызванное технической неисправностью или воздействующими на него помехами (преднамеренными либо непреднамеренными).

Ошибка программы – проявляется в не соответствующем реальному (требуемому) промежуточному или конечному значению (результату) вследствие неправильно запрограммированного алгоритма или неправильно составленной программы.

- Цифровые системы и устройства (в том числе, компьютеры и компьютерные системы, отдельные блоки и модули компьютеров - полупроводниковая, магнитная или оптическая память) содержат специальные средства, призванные **автоматически восстанавливать работоспособность этих объектов при нарушении нормального функционирования.**
- Такие специальные средства контроля называются **избыточными.**

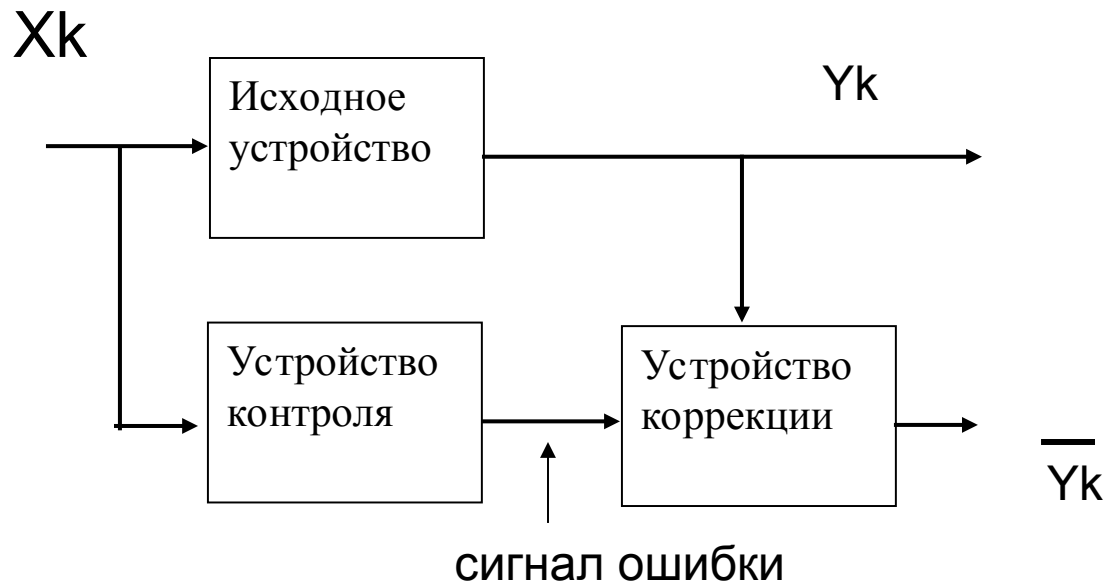


Рис.1. Структурная схема устройства с избыточностью для коррекции ошибок

Возможные состояния анализируемой ИВС (рис.1) можно охарактеризовать следующим образом:

- исходное устройство **действительно работает правильно** ($X_k = Y_k$) в течение периода времени T ; вероятность такого события обозначим **$R_{пр}(T)$** ,
- исходное устройство **работает с ошибкой** ($X_k \neq Y_k$), о чем свидетельствует сигнал ошибки; вероятность события (правильное обнаружение) – **$R_{по}(T)$** ,
- исходное устройство **работает неправильно**, однако это состояние устройством контроля не обнаруживается ($X_k \neq Y_k$) пропуск, необнаружение ошибки); соответствующая вероятность – **$R_{но}(T)$** ,
- исходное устройство **работает правильно** ($X_k = Y_k$), **однако устройство контроля выдает информацию об ошибке** (состояние ложной тревоги), причиной чего может быть недостоверное функционирование самого устройства контроля; вероятность такого события обозначим **$R_{лт}(T)$** .

Все перечисленные события образуют полную группу событий, описываемую следующим вероятностным соотношением:

$$R_{пр}(T) + R_{по}(T) + R_{но}(T) + R_{лт}(T) = 1. \quad (1)$$

- 1) **Вероятностью безотказной работы** называют вероятность того, что изделие (система, устройство, ПО) будет работоспособно в течение заданной наработки при заданных условиях эксплуатации:

$$P(T) = P(T_0 \geq T).$$

T_0 – ВРЕМЯ ДО ПОЯВЛЕНИЯ ОТКАЗА, **T** - время наблюдения (наработки)

Если принять, что **N_c** соответствует суммарному числу изделий (объектов), из которых **N_o** за время наблюдения **T** отказали (стали дефектными), то при достаточно большом числе **N_c** вероятность может быть определена как

$$P(T) = (N_c - N_o) / N_c. \quad (2)$$

Данная вероятность соответствует вероятности $P_{пр}(T)$

Пример 1 При $N_c = 1000$ и $N_o = 6$ определить вероятностью безотказной работы.

Решение. $P(T) = (N_c - N_o) / N_c = (1000 - 6) / 1000 = 0,994$.

Пример 2. В течение фиксированного времени (например, $t=1$ час) по каналам связи осуществлялась передача двоичной информации между двумя компьютерами со скоростью $S = 10 \text{ Кбит/с}$. За время передачи 1000 символов приняты с ошибками. Определить вероятность того, что произвольный двоичный символ при передаче по тому же каналу будет принят правильно.

Решение. Если принять, что $N_c = S \cdot t = 10\,000 \text{ бит/с} \cdot 3\,600 \text{ с} = 36 \cdot 10^6 \text{ бит}$, а $N_o = 1000$, то искомая вероятность вычисляется как $(36 \cdot 10^6 - 1000) / 36 \cdot 10^6 = 35\,999\,000 / 36\,000\,000 = 0,99997$.

2) Вероятность отказа $Q(T)$ есть вероятность того, что при заданных условиях эксплуатации в течение заданной наработки произойдет хотя бы один отказ, то есть

$$Q(T) = P(T_0 < T).$$

Ясно, что $Q(T) = 1 - P(T).$ (3)

Пример 3. Из примера 1 определить вероятность отказа компьютера за фиксированное время (сформулируйте задание на испытания).

Пример 4. Из примера 2 определить вероятность приема бита с ошибкой.

- **3) Интенсивность отказов**, $\lambda(T)$ есть плотность распределения наработки до первого отказа при условии, что отказавший объект до рассматриваемого момента времени работал безотказно. Согласно вероятностному определению

$$\lambda(T) = - \ln P(T) \text{ и } P(T) = - \exp \left(\int \lambda(T) dT \right).$$

По статистическому определению интенсивность отказов есть отношение числа отказавших (в единицу времени) объектов наблюдения к среднему числу работоспособных на рассматриваемом отрезке времени объектов.

Если за такой отрезок времени принять 1 час, то по условиям примера 2 получаем $\lambda(T) = 1000 \text{ ч}^{-1}$.

Как видим, между тремя рассмотренными количественными характеристиками надежности ($P(T)$, $Q(T)$, $\lambda(T)$) существует однозначная связь. Достаточно задать одну из них, чтобы определить остальные.

- Средняя наработка до отказа, T_{0c}

Если $\lambda(t)$ равна постоянной величине, то $T_{0c} = 1/\lambda$

или $\lambda = 1/T_{0c}$ - среднее число отказов в единицу времени.

Тогда
$$P(T) = \exp(-\lambda(T)) \quad (4)$$

Таким образом, для нормального периода эксплуатации системы интенсивность отказов остается постоянной и справедлива показательная модель надежности, время безотказной работы имеет экспоненциальный закон распределения.

Методы повышения аппаратной надежности

- Основа методов – избыточность.

Будем различать *структурную, временную, информационную* избыточность либо их комбинации

1) Структурная избыточность - резервирование

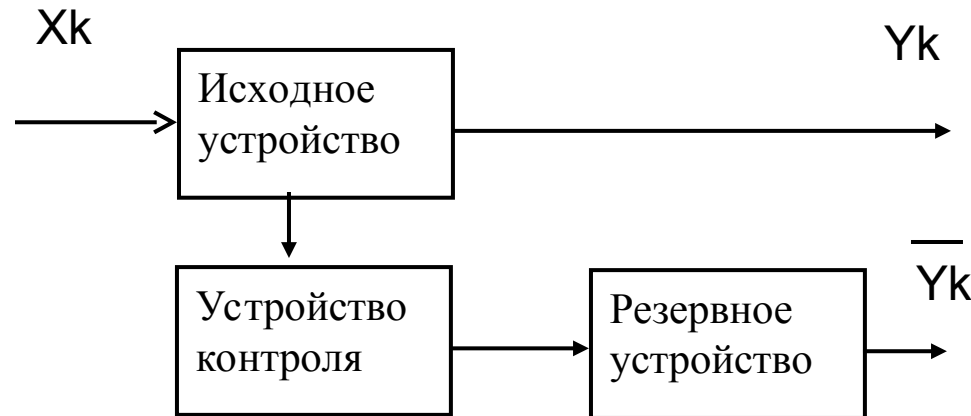


Рис.2. Обобщенная структурная схема системы с «холодным» резервом

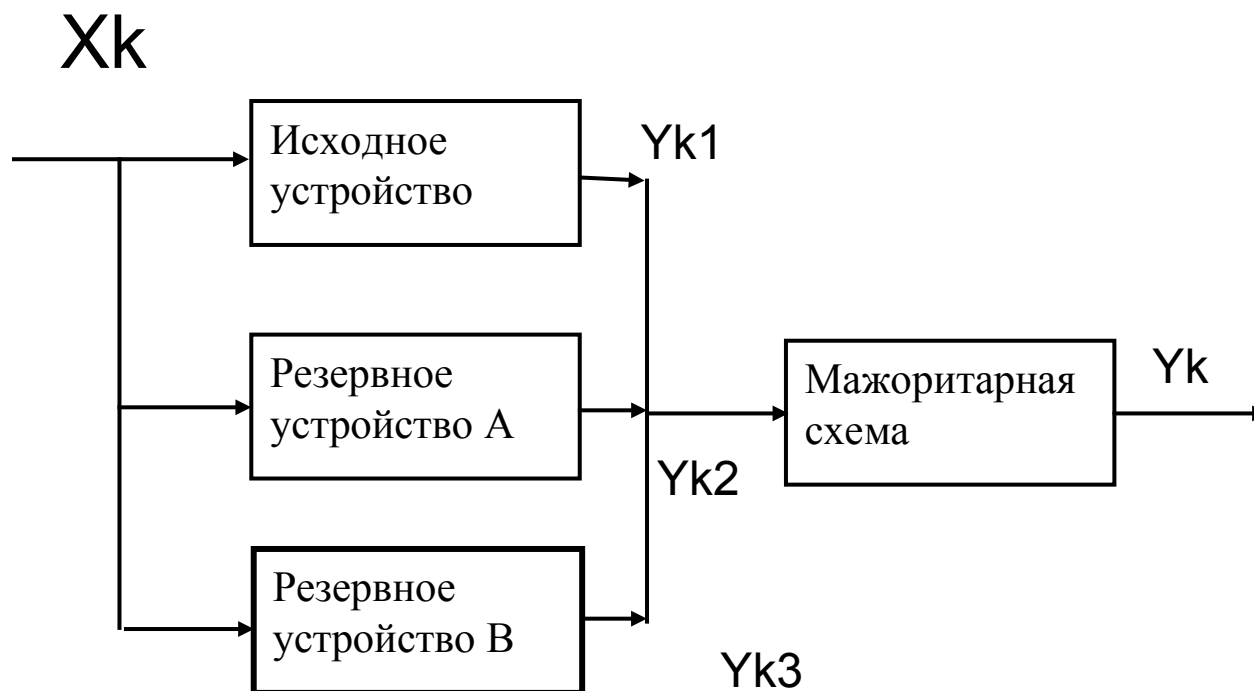


Рис.3. Обобщенная структурная схема системы с резервированием на основе мажоритарного способа определения выходного сигнала

- Суть метода состоит в преобразовании исходного информационного сообщения X_k (k – длина сообщения), называемого также *информационным словом*. К слову X_k дополнительно присоединяют (наиболее часто – по принципу конкатенации) избыточные символы длиной r бит, составляющие *избыточное слово* X_r .

Таким образом формируют *кодированное слово* X_n длиной $n=k+r$ двоичных символов: $X_n = X_k X_r$.

Информацию содержит только информационное слово. Назначение избыточности X_r – обнаружение и исправление ошибок.

Для ИВС на основе двоичных сигналов:

p – вероятность ошибочной передачи любого бита в сообщении

Для безызбыточных ИВС

$$P = P(t_{\text{ошибка}} = 0) = C p^0 (1-p)^{k-0} = (1-p)^k \quad (5)$$

Для избыточных И

$$P_u = P(t_{\text{ошибка}} = 0) + P(t_{\text{ошибка}} = t_{\text{ош скор}} = t_o) \quad (6)$$