



Министерство образования и науки российской федерации
Владивостокский государственный университет экономики и сервиса

Институт информатики, инноваций и бизнес систем

Кафедра электроники

«Основы конструирования и технологии производства РЭУ»

Тема «Надёжность радиоэлектронных устройств»

Ведущий преподаватель: Белоус И.А.

Владивосток, 2014



Содержание

1. Основные параметры надежности.
2. Количественные характеристики надежности.
3. Структурная надежность аппаратуры.
4. Методы повышения надежности.



Литература

- Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.



1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ

- Понятие надежности. Один из основных параметров РЭА - **надежность** - зависит как от надежности используемой элементной базы, так и от принятых схемотехнических и конструкторских решений.
- Под надежностью понимают свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки при соблюдении режимов эксплуатации, правил технического обслуживания, хранения и транспортировки.



- **Продолжительность работы РЭА** до предельного состояния, установленного в нормативно-технической документации, называют **ресурсом изделия**.
- **Надежность** - это сложное комплексное понятие, с помощью которого оценивают такие важнейшие характеристики изделий, как работоспособность, долговечность, безотказность, ремонтпригодность, восстанавливаемость и др.



- РЭА может находиться в **исправном** или **неисправном состоянии**.
- *Если РЭА в данный момент времени удовлетворяет всем требованиям*, установленным как в отношении основных параметров, характеризующих нормальное выполнение вычислительных процессов, так и в отношении второстепенных параметров, характеризующих внешний вид и удобство эксплуатации, то такое состояние называют **исправным состоянием**.



- **Неисправное состояние** – это состояние РЭА, при котором она в данный момент времени не удовлетворяет хотя бы одному из этих требований, установленных в отношении как основных, так и второстепенных параметров.



- *Не каждая неисправность* приводит к невыполнению РЭА заданных функций.
- Различают неисправности **основные** и **второстепенные**.
- **Второстепенные неисправности** называют дефектами.
- (Например, образование вмятин или ржавчины на корпусе аппаратуры, выход из строя лампочек подсветки не могут препятствовать эксплуатации РЭА).



- Основные эксплуатационные свойства изделий с позиций обеспечения надежной работы:
 - безотказность,
 - ремонтоспособность,
 - долговечность,
 - сохраняемость.



- *Наработка* - продолжительность (или объем) работы изделия, измеряемая временем, циклами, периодами и т. п.
-
- *В процессе эксплуатации или испытания* изделия в зависимости от его назначения различают *суточную* или *месячную наработку*, *наработку на отказ*, *среднюю наработку до первого отказа*, *гарантийную наработку* и т. п.
- *Суточная и месячная наработки* оцениваются временем (циклами, периодами), которое изделие проработало в течение суток или месяца.



- *Наработка на отказ* - среднее значение наработки ремонтируемого изделия между отказами.
- Если наработка выражена в единицах времени, то используют термин *среднее время безотказной работы*.
- Под *средней наработкой до первого отказа* понимают среднее значение наработки изделий в партии *до первого отказа*.
- *Для неремонтируемых изделий* этот термин равнозначен понятию средней *наработки до отказа*.



- *Гарантийная наработка* представляет собой наработку изделия, до завершения которой изготовитель *гарантирует и обеспечивает выполнение определенных требований* к изделию, при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации, в том числе правил хранения и транспортировки.
- *Срок гарантии* устанавливается в технической документации или договорах между изготовителем и заказчиком.



- *Безотказность* называют свойство изделия сохранять свою работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов. Безотказность измеряется в единицах наработки.
- *Ремонтоспособность* - свойство РЭА, заключающееся в приспособлении к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов.



- *Долговечность* - свойство РЭА сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов.
- *Предельное состояние* определяется технической непригодностью РЭА из-за снижения эффективности эксплуатации или требований техники безопасности и оговаривается в технической документации.
- *Сохраняемость* - свойство изделия сохранять эксплуатационные показатели в течение заданного срока хранения и после него.



- *Интенсивность отказов* – зависимость интенсивности отказов от времени (кривая жизни изделия).
- Различают **три вида отказов**:
 - *обусловленные скрытыми ошибками* в конструкторско-технологической документации и производственными дефектами при изготовлении изделий;
 - *обусловленные старением и износом* радио- и конструкционных элементов;
 - *обусловленные случайными факторами* различной природы.
- Для оценки надежности систем введены понятия «**работоспособность**» и «**отказ**».



- Работоспособность и отказы. **Работоспособность** - это **состояние изделия**, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.
- **Отказ** – событие, приводящее к полной или частичной утрате работоспособности изделия.
- *По характеру изменения параметров аппаратуры отказы подразделяют на **внезапные** и **постепенные**.*



- *Внезапные* (катастрофические) **отказы** характеризуются скачкообразным изменением одного или нескольких параметров аппаратуры и возникают в результате внезапного изменения одного или нескольких параметров элементов, из которых построена РЭА.
- *Устранение внезапного отказа* производят заменой отказавшего элемента исправным или его ремонтом.



- *Постепенные* (параметрические) отказы характеризуются изменением одного или нескольких параметров аппаратуры с течением времени.
- Возникают в результате постепенного изменения параметров элементов до тех пор, пока значение одного из параметров не выйдет за некоторые пределы, определяющие нормальную работу элементов.
- Это может быть последствием старения элементов, воздействия колебаний температуры, влажности, давления, механических воздействий, и т.п.
- *Устранение постепенного отказа* связано либо с заменой, ремонтом, регулировкой параметров отказавшего элемента, либо с компенсацией за счет изменения параметров других элементов.



- По взаимосвязи между собой различают отказы независимые, не связанные с другими отказами, и зависимые.
- По повторяемости возникновения отказы бывают одноразовые (сбои) и перемежающиеся.
- **Сбой** - однократно возникающий самоустраняющийся отказ, **перемежающийся** — многократно возникающий сбой одного и того же характера.
- По наличию внешних признаков различают отказы явные - имеющие внешние признаки появления, и неявные (скрытые), для обнаружения которых требуется провести определенные действия.



- **По причине возникновения** отказы подразделяют на конструкционные, производственные и эксплуатационные, вызванные нарушением установленных норм и правил при конструировании, производстве и эксплуатации РЭА.
- **По характеру устранения** отказы делятся на устойчивые и самоустраняющиеся.
- **Устойчивый отказ** устраняется заменой отказавшего элемента (модуля), а самоустраняющийся исчезает сам, но может повториться.
- **Самоустраняющийся отказ** может проявиться в виде сбоя или в форме перемежающегося отказа.
- **Появление сбоев** обуславливается внешними и внутренними факторами.



- **К внешним факторам** относятся колебания напряжения питания, вибрации, температурные колебания.
- *Специальными мерами* (стабилизации питания, амортизация, термостатирование и др.) влияние этих факторов может быть значительно ослаблено.
- **К внутренним факторам** относятся флуктуационные колебания параметров элементов, несинхронность работы отдельных устройств, внутренние шумы и наводки.



2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ

- *В инженерной практике* для оценки надежности РЭА вводят **количественные характеристики**, основанные на обработке экспериментальных данных.
- **Безотказность изделий** характеризуется **вероятностью безотказной работы** $P(t)$ (характеризует скорость снижения надежности во времени), **частотой отказов** $F(t)$, **интенсивностью отказов** $l(t)$, **средней наработкой на отказ** $T_{ср}$. Можно также надежность РЭА оценивать вероятностью отказа $q(t) = 1 - P(t)$.



- Пусть на испытания поставлена партия, содержащая N изделий.
- В процессе испытаний к моменту времени t вышли из строя n изделий. Осталось исправными:

$$N(t) = N - n.$$



- Отношение $Q(t) = n/N$ является оценкой вероятности выхода из строя изделия за время t .
- Чем больше число изделий, тем точнее **оценка надежности результатов**, строгое выражение для которой выглядит следующим образом:

$$Q(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N}$$



- Величина $P(t)$, равная

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

называется **теоретической вероятностью безотказной работы** и характеризует вероятность того, что к моменту t не произойдет отказа.



- **Вероятность безотказной работы изделия** может быть определена и для произвольного интервала времени $(t_1; t_2)$ с момента начала эксплуатации.
- В этом случае говорят об *условной вероятности* $P(t_1; t_2)$ в период $(t_1; t_2)$ *при рабочем состоянии в момент времени t_1* .
- Условная вероятность $P(t_1; t_2)$ определяется отношением:

- где $P(t_1)$ и $P(t_2)$ — вероятностей в начале (t_1) и конце (t_2) наработки.
$$P(t_1, t_2) = P(t_2) / P(t_1)$$



- Значение частоты отказов за время t в данном опыте определяется отношением

$$F(t) = n / Nt = Q(t) / t$$

- В качестве показателя надежности неремонтируемых систем чаще *используют производную по времени* от функции отказа $Q(t)$, которая характеризует плотность распределения наработки изделия до отказа $f(t)$:

$$F(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}$$



- Величина $f(t)dt$ характеризует вероятность того, что система откажет в интервале времени $(t; t+dt)$ при условии, что в момент времени t она находилась в рабочем состоянии.



- Интенсивность отказов. Критерием, более полно определяющим надежность неремонтируемой РЭА и ее модулей, является интенсивность отказов $l(t)$.
- Интенсивность отказов $\lambda(t)$ представляет условную вероятность возникновения отказа в системе в некоторый момент времени наработки при условии, что до этого момента отказов в системе не было.
- Величина $\lambda(t)$ определяется отношением

$$l(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{1}{P(t)} \bullet \frac{dQ}{dt}$$



- Величина $\lambda(t)dt$ характеризует **условную вероятность** того, что система откажет в интервале времени $(t; t+dt)$ при условии, что в момент времени t она находилась в работоспособном состоянии.
- Этот показатель **характеризует надежность РЭА** в любой момент времени и для интервала Δt_i может быть вычислен по формуле:

$$\lambda = \frac{\Delta n_i}{N_{CP} \Delta t_i}$$

- где $\Delta n_i = N_i - N_{i+1}$ - число отказов;
- $N_{CP} = (N_i + N_{i+1})/2$ - среднее число работоспособных изделий; N_i ,
- N_{i+1} - количество работоспособных изделий в начале и конце промежутка времени Δt_i .



- Вероятность безотказной работы связана с величинами $\lambda(t)$ и $f(t)$ следующими выражениями:

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right), P(t) = \exp\left(-\int_t^{\infty} f(t) dt\right)$$



- Если необходимо оценить **условную вероятность**, можно воспользоваться следующим выражением:

$$P(t_1; t_2) = \exp\left(-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt\right)$$



- Если РЭА содержит N последовательно соединенных однотипных элементов, то

$$\lambda_N(t) = N\lambda(t)$$



- Средняя наработка на отказ T_{CP} и вероятность безотказной работы $P(t)$ связаны зависимостью

$$T_{CP} = \int_0^{\infty} P(t) dt$$



- По статистическим данным

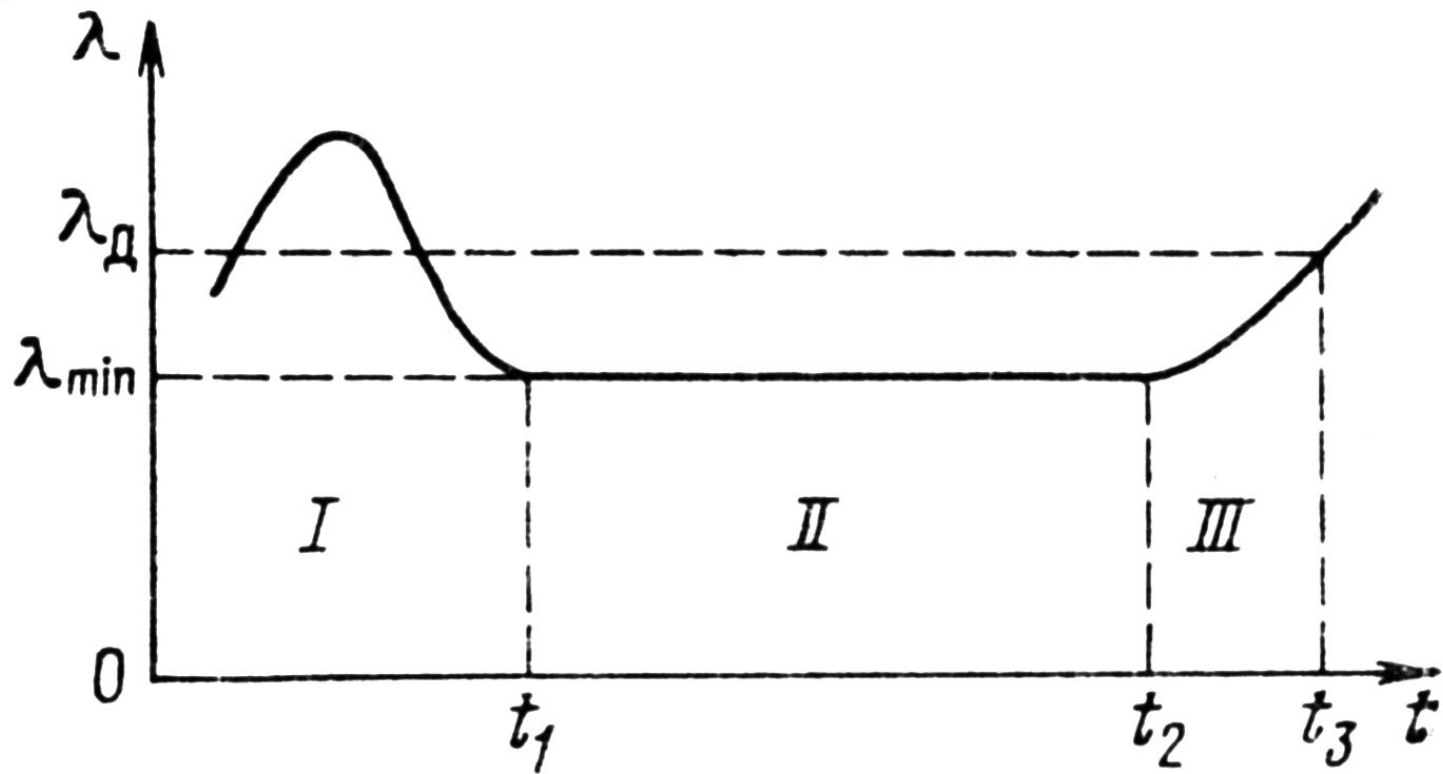
$$T_{CP} = \sum_{i=1}^m \Delta n_i t_{cpi},$$

$$t_{cpi} = (t_i + t_{i+1}) / 2,$$

$$m = t / \Delta t$$



- В практике эксплуатации различают три характерных типа отказов: приработочные, внезапные и отказы из-за износа.
- Они различаются физической природой, способами предупреждения и устранения и проявляются в различные периоды эксплуатации технических устройств.
- Отказы удобно характеризовать **«кривой жизни»** изделия, которая иллюстрирует зависимость интенсивности происходящих в нем отказов $\lambda(t)$ от времени t .



- Кривая имеет три явно выраженных периода: приработки I, нормальной эксплуатации II, и износа III.



Прирабочные отказы наблюдаются в первый период ($0 - t_1$) эксплуатации РЭА и возникают, когда часть элементов, входящих в состав РЭА, являются бракованными или имеют скрытые дефекты.

- **Физический смысл прирабочных отказов** : электрические и механические нагрузки, приходящиеся на компоненты РЭА в прирабочный период, превосходят их электрическую и механическую прочность.
- **Продолжительность периода приработки РЭА** определяется интенсивностью отказов входящих в ее состав некачественных элементов, и продолжительность безотказной работы таких элементов обычно сравнительно низка, поэтому выявить и заменить их удастся **за сравнительно короткое время**.



- Участок «**кривой жизни**» РЭА, соответствующий периоду приработки I, представляет собой монотонно убывающую функцию $\lambda(t)$, крутизна которой и протяженность во времени тем меньше, чем **совершеннее конструкция, выше качество ее изготовления и более тщательно соблюдены режимы приработки.**
- *Период приработки считают завершенным*, когда интенсивность отказов РЭА приближается к минимально достижимой (для данной конструкции) величине λ_{\min} в точке t_1 .



- Прирабочные отказы могут быть следствием конструкторских, технологических и эксплуатационных ошибок.
- При изготовлении изделий предприятиям рекомендуется проводить *прогон* изделий в течение нескольких десятков часов работы (до 2-5 суток) по специально разработанным методикам, в которых предусматривается работа при влиянии различных дестабилизирующих факторов.



- Период нормальной эксплуатации. Внезапные отказы наблюдаются во второй период ($t_1—t_2$) эксплуатации РЭА.
- Возникают неожиданно вследствие действия ряда случайных факторов.
- К этому времени в РЭА остаются только **полноценные компоненты.**
- Такие отказы все же подчиняются определенным закономерностям - частота их появления в течение достаточно большого промежутка времени одинакова в однотипных классах РЭА.



- **Физический смысл внезапных отказов может быть объяснен тем, что при быстром количественном изменении какого-либо параметра в компонентах РЭА происходят качественные изменения, в результате которых они утрачивают полностью или частично свои свойства, необходимые для нормального функционирования.**
- К внезапным отказам РЭА относят, например, пробой диэлектриков, короткие замыкания проводников, неожиданные механические разрушения элементов конструкции и т. п.



- Период нормальной эксплуатации РЭА характеризуется тем, что интенсивность ее отказов в интервале времени $(t_1—t_2)$ минимальна и имеет почти постоянное значение $\lambda_{\min} \approx \text{const}$.
- Величина λ_{\min} тем меньше, а интервал $(t_1 - t_2)$ тем больше, чем совершеннее конструкция РЭА, выше качество ее изготовления и более тщательно соблюдены режимы эксплуатации.
- Период нормальной эксплуатации РЭА общетехнического назначения может продолжаться десятки тысяч часов. Он может даже превышать время морального старения аппаратуры.



- Период износа.
- В конце срока службы аппаратуры количество отказов снова начинает нарастать.
- Они являются закономерным следствием постепенного износа и естественного старения используемых в аппаратуре материалов и элементов.
- Средний срок службы компонента до износа - величина более определенная, чем время возникновения приработочных и внезапных отказов.
- Количество отказов можно предвидеть на основании опытных данных, полученных в результате испытаний конкретной аппаратуры.



- Физический смысл отказов из-за износов : в результате постепенного и медленного количественного изменения некоторого параметра компонента РЭА этот параметр выходит за пределы установленного допуска, полностью или частично утрачивает свои свойства, необходимые для нормального функционирования.
- При износе происходит частичное разрушение материалов, при старении - изменение их внутренних физико-химических свойств.



- К отказам в результате износа относят потерю чувствительности, точности, механический износ деталей и др.
- Участок (t_2 — t_3) «кривой жизни» РЭА, соответствующий периоду износа, представляет собой монотонно возрастающую функцию, крутизна которой тем меньше (а протяженность во времени тем больше), чем более качественные материалы и комплектующие изделия использованы в аппаратуре.
- Эксплуатация аппаратуры прекращается, когда интенсивность отказов РЭА приблизится к максимально допустимой для данной конструкции.



- Вероятность безотказной работы РЭА. Возникновение отказов в РЭА носит случайный характер.
- Время безотказной работы есть случайная величина, для описания которой используют разные распределения: Вейбулла, экспоненциальный, Пуассона.
- Отказы в РЭА, содержащей большое число однотипных неремонтируемых элементов, достаточно хорошо подчиняются **распределению Вейбулла**.
- Экспоненциальное распределение основано на предположении постоянной во времени интенсивности отказов и используется при расчетах надежности аппаратуры одноразового применения, содержащей большое число неремонтируемых компонентов.



- При длительной работе РЭА для планирования ее ремонта важно знать не вероятность возникновения отказов, а их число за определенный период эксплуатации.
- В этом случае применяют распределение Пуассона, позволяющее подсчитать вероятность появления любого числа случайных событий за некоторый период времени.
- Распределение Пуассона применимо для оценки надежности ремонтируемой РЭА с простейшим потоком отказов.
- Вероятность отсутствия отказа за время t составляет $P_0 = \exp(-\lambda t)$, а вероятность появления i отказов за то же время

$$P_i = \lambda^i t^i \exp(-\lambda t) / i!$$

, где $i = 0, 1, 2, \dots, n$ - число отказов.



3. СТРУКТУРНАЯ НАДЕЖНОСТЬ АППАРАТУРЫ

- **Структурная надежность** любого радиоэлектронной аппаратуры - это его **результатирующая надежность при известной структурной схеме и известных значениях надежности всех элементов**, составляющих структурную схему.
- При этом **под элементами понимаются как интегральные микросхемы, резисторы, конденсаторы и т. п., выполняющие определенные функции и включенные в общую электрическую схему РЭА, так и элементы вспомогательные, не входящие в структурную схему РЭА: соединения паяные, разъемные, элементы крепления и т. д.**



Качественные характеристики структурной надежности РЭА.

- Для их нахождения составляют структурную схему РЭА и указывают элементы устройства (блоки, узлы) и связи между ними.
- Производят анализ схемы и выделяют элементы и связи, которые определяют выполнение основной функции данного устройства.
- Из выделенных основных элементов и связей составляют функциональную (надежностную) схему, причем в ней выделяют элементы не по конструктивному, а по функциональному признаку с таким расчетом, чтобы каждому функциональному элементу обеспечивалась независимость, т. е. чтобы отказ одного функционального элемента не вызывал изменения вероятности появления отказа у другого соседнего функционального элемента.

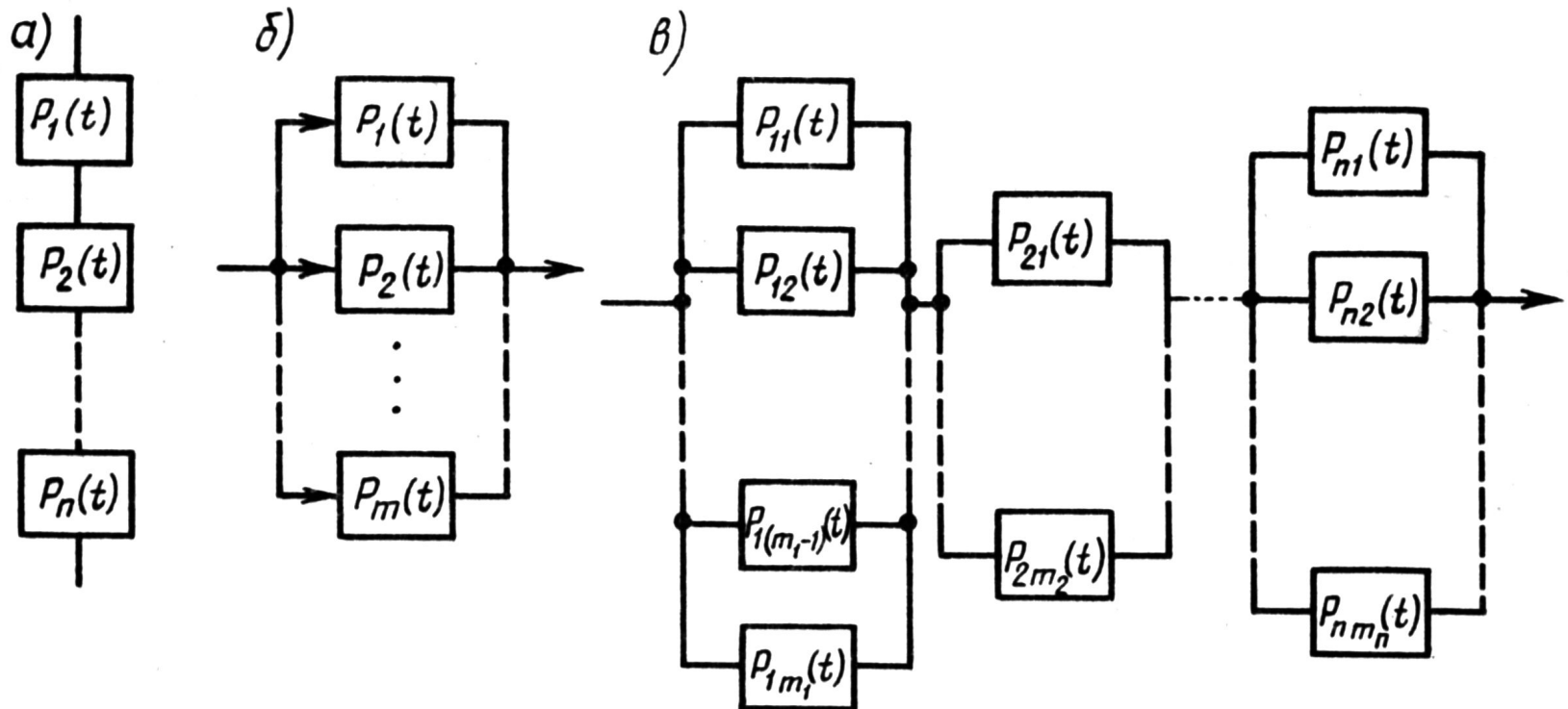


Определение количественных показателей надежности РЭА с помощью структурных схем дает возможность решать вопросы выбора наиболее надежных:

- функциональных элементов, узлов, блоков, из которых состоит РЭА,
- наиболее надежных конструкций, панелей, стоек, пультов,
- рационального порядка эксплуатации, профилактики и ремонта РЭА,
- состава и количества ЗИП.



- При построении надежных структурных схем используют последовательное, параллельное и последовательно-параллельное включение элементов.





- При последовательном включении элементов (рис. а) для надежной работы схемы **необходима работа всех функциональных элементов**.
- Вероятность безотказной работы схемы будет равна произведению вероятностей безотказной работы всех функциональных элементов:

$$P(t) = P_1(t)P_2(t)\dots P_n(t)$$

где n — число элементов схемы.



- Для случая экспоненциального распределения наработки до отказа

$$P_i(t) = \exp(-\lambda_i t)$$

среднее время наработки на отказ составит:

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$



- Для построения структурной схемы параллельного соединения элементов (рис. б) при вероятности отказов $Q_i(t)$ для каждого из элементов, входящих в схему, отказ всей схемы будет иметь место тогда, когда откажут все элементы, т.е.

$$Q(t) = Q_1(t)Q_2(t)\dots Q_m(t)$$

где m - число параллельно соединенных элементов.

- Вероятность безотказной работы всей схемы:

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



- Для экспоненциального распределения наработки до отказа среднее время наработки на отказ составит

$$T = (1/\lambda) + (1/2\lambda) + \dots + (1/m\lambda).$$

- При смешанном параллельно-последовательном соединении элементов необходимо найти вероятность безотказной работы для каждой из цепочек параллельно включенных элементов, а затем для всей схемы.



4. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

- Методы повышения надежности можно разделить на структурные и информационные.
- Структурные методы повышения надежности.
- Абсолютной надежности технических устройств добиться принципиально невозможно, а максимально повысить показатели их надежности реально, и это является важнейшей научной и технической задачей.
- Повышение уровня надежности РЭА достигается устранением причин, вызывающих в ней отказы, т. е. сведением к минимуму конструкторских, технологических и эксплуатационных ошибок.



Значительного повышения надежности РЭА достигают созданием новых элементов.

Повышением надежности элементов не удастся полностью решить проблему построения надежных РЭА, **что вызвано:**

- **значительным опережением** роста сложности вновь разрабатываемых РЭА,
- **большими затратами** при получении элементов высокой надежности,
- **существованием элементов**, надежность которых довольно низка и трудно поддается повышению.

Поэтому один из путей повышения надежности РЭА **введение схемной избыточности.**



Повышение надежности РЭА резервированием.

- **Резервирование** - способ повышения надежности аппаратуры, заключающийся в дублировании РЭА в целом или отдельных ее модулей или элементов.
- Резервирование предполагает включение в схему устройства **дополнительных элементов**, которые позволяют скомпенсировать отказы отдельных частей устройств и обеспечить его надежную работу.
- Резервирование **эффективно** в случае, когда неисправности являются статистически независимыми.



Различают следующие виды резервирования:

- постоянное (резервные элементы включены вместе с основным и функционируют в тех же режимах);
- замещением (обнаружение отказавшего элемента и замена его резервным);
- скользящее (любой резервный элемент может замещать любой отказавший).



- Если $P_c(t)$ - вероятность безотказной работы системы, то установка и включение параллельно нескольких таких же систем приводит к увеличению результирующей вероятности безотказной работы резервированной системы $P(t)$, которую можно определить из выражения:

$$P(t) = 1 - [1 - P_c(t)]^{m+1},$$

где m - число резервных систем, включенных параллельно основной.



В РЭА применяется:

- общее (резервируются отдельные модули),
- поэлементное резервирование на уровне микросхем или отдельных элементов.
- При одинаковом количестве резервных элементов поэлементное резервирование эффективнее общего, НО требует большого числа дополнительных электрических связей.



- Постоянное резервирование в РЭА производят по следующей схеме: входные сигналы поступают на n логических схем, причем $n > k$, где k — число логических схем в нерезервированной схеме. Выходные сигналы всех n логических схем далее подают на решающий элемент, который согласно функции решения по этим сигналам определяет значения выходных сигналов всей схемы. Функция решения - правило отображения входных состояний решающего элемента на множество его выходных состояний.



- **Резервирование замещением** предполагает обнаружение отказавшего элемента или узла и подключение исправного. Замещение может происходить либо автоматически, либо вручную.
- Резервирование замещением имеет следующие достоинства. Для многих схем при включении резервного оборудования не требуется дополнительно регулировать выходные параметры, вследствие того, что электрические режимы в схеме не меняются. Резервная аппаратура до момента включения в работу обесточена, что повышает общую надежность системы за счет сохранения ресурса электронных устройств. Имеется возможность использования одного резервного элемента на несколько рабочих.



- При скользящем резервировании любой резервный элемент может замещать любой основной элемент. Для осуществления этого резервирования необходимо иметь устройство, которое автоматически находит неисправный элемент и подключает вместо него резервный. Достоинство такого резервирования в том, что при идеальном автоматическом устройстве будет наибольший выигрыш в надежности по сравнению с другими методами резервирования. Однако осуществление скользящего резервирования возможно лишь при однотипности элементов.



- *Информационные методы повышения надежности РЭА.* Основное применение информационных методы находят в вычислительной технике. Реализуются они в виде корректирующих кодов. Назначение этих кодов состоит в том, чтобы обнаруживать и исправлять ошибки в РЭА без прерывания их работы.
- Корректирующие коды предусматривают введение в изделия некоторой избыточности. Различают временную и пространственную избыточность. Временная избыточность характеризуется неоднократным решением задачи. Полученные результаты сравниваются, и если они совпадают, то делается вывод, что задача решена правильно. Временная избыточность вводится в РЭА программным путем.



- Пространственная избыточность характеризуется удлинением кодов чисел, в которые вводят дополнительно контрольные разряды. Суть обнаружения и исправления ошибок с помощью корректирующих кодов состоит в следующем. В конечном множестве A выходных слов устройства выделяют подмножество B разрешенных кодовых слов (т. е. $B \subset A$). Эти слова могут появиться лишь в том случае, если все арифметические и логические операции, выполняемые РЭА, осуществляются правильно. Тогда очевидно, что подмножество $A - B = C(A \setminus B = C)$ будет характеризовать запрещенные кодовые слова. Последние имеют место только при наличии ошибок.



- Для устранения обнаруженных таким образом ошибок все запрещенные кодовые слова разбиваются на группы. Каждой такой группе ставится в соответствие только одно разрешенное кодовое слово. При декодировании запрещенные кодовые слова s_i автоматически заменяются разрешенными кодовыми словами из той группы, к которой принадлежит s_i .
- Таким образом, корректирующие коды в состоянии не только обнаруживать ошибки, но и устранять их.



- *Расчет надежности РЭА.* Определив из ТЗ требуемую вероятность безотказной работы аппаратуры, конструктор распределяет эту вероятность по составляющим РЭА модулям, подбирает элементы с необходимыми интенсивностями отказов, выявляет потребность и глубину резервирования, принимает меры по защите аппаратуры от воздействий дестабилизирующих факторов.



- Расчет надежности РЭА состоит в определении числовых показателей надежности $P(t)$ и $T_{ср}$ по известным интенсивностям отказов комплектующих РЭА элементов. При этом считается, что, если выход из строя любого элемента приводит к выходу из строя всей РЭА, то имеет место последовательное включение элементов. Усредненные данные по интенсивностям отказов микросхем, электрорадиоэлементов, узлов и электрическим соединениям известны /2/.



- Вероятность безотказной работы системы обычно вычисляется с использованием выражений:
- $P_c(t) = \exp(-\Lambda(t) dt)$, $\Lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$,
- где $\lambda_i(t)$ – интенсивность отказов i -го модуля, n – число модулей системы.



- Модули одного иерархического уровня имеют приблизительно равную надежность. Тогда для системы из K групп модулей одного уровня:
- $P_c(t) = \exp(-\sum_{i=1}^K n_i \lambda_i(t) dt)$, $\Lambda(t) = \sum_{i=1}^K n_i \lambda_i(t)$,
- где n_i - число модулей i -го уровня иерархии.



- Для экспоненциального закона распределения, когда интенсивность отказов можно считать величиной постоянной:
- $\Lambda(t) = \Lambda = \text{const}$, $P_c(t) = \exp(-\Lambda t)$.



- В общем случае надежность конструкции зависит от соотношения прочности и устойчивости к нагрузке, которую приходится выдерживать аппаратуре в процессе эксплуатации. Под прочностью здесь понимается способность аппаратуры выдерживать без разрушений внешние температурные, механические, влажностные и прочие воздействия, под устойчивостью - способность к работе при тех же воздействиях.



- Создание аппаратуры без излишних запасов прочности - важная и сложная задача, поскольку конструктор не всегда имеет четкие количественные параметры внешних воздействий, отсутствуют или имеются неточные математические модели, позволяющие весьма ориентировочно произвести указанную оценку. Это приводит к внесению в конструкцию завышенных запасов прочности и устойчивости, так называемых коэффициентов незнания, уточнение которых - условие успешного обеспечения заданной надежности при минимальной себестоимости.