

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ФАКУЛЬТЕТ ЭЛЕКТРОНИКИ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Кафедра конструирования электронных средств

В.Г.Ивченко

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭВМ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Часть 2

Таганрог 2001

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ЭВА ОТ ВНЕШНИХ И ПАРАЗИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

ЗАЩИТА ЭВА ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Виды механических воздействий на ЭВА

Все виды РЭА подвергаются воздействию внешних механических нагрузок, которые передаются к каждой детали, входящей в конструкцию. Механические воздействия имеют место в работающей РЭА, если она установлена на подвижном объекте, или только при транспортировке ее в нерабочем состоянии, как в случае стационарной и некоторых видов возимой РЭА.

На транспортируемую ЭВМ в процессе ее эксплуатации воздействуют **вибрации, ударные нагрузки и линейные ускорения**.

Гармонические вибрации характеризуются частотой, амплитудой, ускорением.

Ударные нагрузки характеризуются числом одиночных ударов или их серией (обычно оговаривают максимальное число ударов), длительностью ударного импульса и его формой, мгновенной скоростью при ударе, перемещением соударяющихся тел.

Линейные ускорения характеризуются ускорением, длительностью, знаком воздействия ускорения.

Возникающие при вибрациях, ударах и ускорениях перегрузки оценивают соответствующими **коэффициентами**.

Для уменьшения воздействия вибраций и ударов микроэлектронную вычислительную аппаратуру устанавливают на **амортизаторы** или применяют **демпфирующие материалы**.

Воздействие линейных ускорений эквивалентно *увеличению массы* аппаратуры и при значительной длительности воздействия требует увеличения прочности конструкции.

Амортизаторы от линейных перегрузок практически не защищают.

Как показывает опыт эксплуатации транспортируемых ЭВМ, наибольшее разрушающее воздействие на конструкцию оказывают вибрации. Как правило, конструкция аппарата, выдержавшая воздействие вибрационных нагрузок в определенном частотном диапазоне, выдерживает ударные нагрузки и линейные ускорения с значительно большими значениями соответствующих параметров.

Понятие виброустойчивости и вибропрочности.

В отношении конструкции ЭВА различают два понятия: **вибрационная устойчивость и вибрационная прочность**.

Вибрационная устойчивость — свойство объекта при заданной вибрации выполнять заданные функции и сохранять значения своих параметров в пределах нормы.

Вибрационная прочность — прочность при заданной вибрации и после прекращения ее. Воздействие транспортной тряски складывается из ударов и вибраций.

Введение амортизаторов между ЭВА и объектом в качестве среды, уменьшающей амплитуду передаваемых колебаний и ударов, снижает действующие на ЭВА механические силы, но не уничтожают их полностью.

В некоторых случаях образованная с введением амортизаторов резонансная система влечет за собой возникновение низкочастотного механического резонанса, который приводит к увеличению амплитуды колебаний ЭВМ.

Понятие жесткости и механической прочности конструкции

При разработке конструкции ЭВМ необходимо обеспечить требуемую **жесткость** и **механическую прочность** ее элементов.

Жесткость конструкции есть отношение действующей силы к деформации конструкции, вызванной этой силой.

Под прочностью конструкции понимают нагрузку, которую может выдержать конструкция без остаточной деформации или разрушения. Повышение прочности конструкции ЭВМ связано с усилением ее конструктивной основы, применением ребер жесткости, контровки болтовых соединений и т. д. Особое значение имеет повышение прочности несущих конструкций и входящих в них узлов методами заливки и обволакивания. Заливка пеноматериалом позволяет сделать узел монолитным при незначительном увеличении массы.

Во всех случаях нельзя допускать образования механической колебательной системы. Это касается крепления монтажных проводов, микросхем, экранов и других частей, входящих в ЭВМ.

Амортизация конструкции ЭВА

Один из эффективных методов повышения устойчивости конструкции микроэлектронной вычислительной аппаратуры, как транспортируемой, так и стационарной, к воздействию вибраций, а также ударных и линейных нагрузок — использование амортизаторов. Действие амортизаторов основано на **демпфировании** резонансных частот, т. е. поглощении части колебательной энергии. Аппаратура, установленная на амортизаторах, в общем случае может быть представлена в виде механической колебательной системы с **шестью степенями свободы**: совокупностью связанных колебаний, состоящих из линейных перемещений, и вращательных колебаний по каждой из

трех координатных осей.

Эффективность амортизации характеризуется **коэффициентом динамичности** или **передачи**, числовое значение которого зависит от отношения частоты действующих вибраций f к частоте

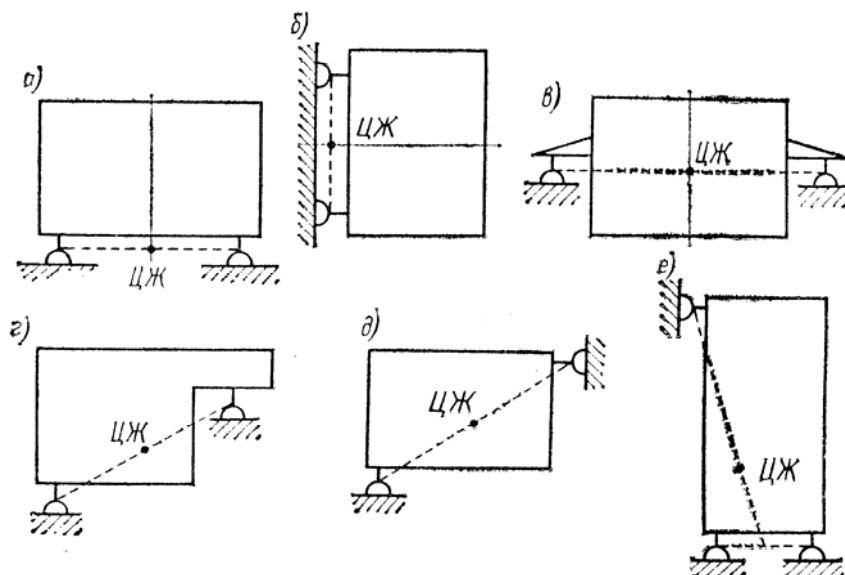


Рис. 1 Основные схемы расположения амортизаторов (в направляющей)

амортизированной системы f_0 .

При разработке схемы амортизации необходимо стремиться к тому, чтобы система имела **минимальное число** собственных частот и чтобы они были **в 2—3 раза ниже наименьшей частоты возмущающей силы**.

Для амортизированной аппаратуры следует как можно больше уменьшать собственную частоту, а для неамортизированной, напротив, увеличивать, приближая ее к верхней границе возмущающих воздействий или превышая ее.

Схемы размещения амортизаторов

Конструирование системы амортизации РЭА обычно начинается с выбора типа амортизаторов и схемы их размещения. Выбор амортизаторов производят исходя из допустимой нагрузки и предельных значений параметров, характеризующих условия эксплуатации. К таким параметрам относятся: температура окружающей среды, влажность, механические нагрузки, присутствие в атмосфере паров масла, дизельного топлива и т. д.

Выбор схемы расположения амортизаторов зависит главным образом от расположения аппаратуры на носителе и условий динамического

воздействия. На рис. 1 представлены основные схемы расположения амортизаторов на блоке. Вариант *а* довольно часто используется для амортизации сравнительно небольших по габаритам блоков. Такое расположение амортизаторов удобно с позиций общей компоновки блоков на объекте. Блоки можно расположить в непосредственной близости друг от друга. Однако при этом расположении амортизаторов принципиально невозможно получить совпадение центра тяжести (ЦТ) с центром масс (ЦМ) и, следовательно, никогда не получить рациональной системы. То же можно сказать про вариант размещения *б*. Вариант размещения *в* позволяет получить рациональную систему, однако такое расположение амортизаторов не всегда удобно при размещении на объекте. Кроме того, при таком размещении амортизаторов нерационально используется объем, отводимый для РЭА на объекте. Размещение типа *г* и *д* является разновидностью варианта *в* и используется в том случае, если лицевая панель блока размещается вблизи амортизатора, расположенного снизу. Размещение амортизаторов, представленное на рис. 1, *е*, используется в стоечной аппаратуре, когда высота РЭА значительно больше глубины и ширины стойки. Чтобы ослабить колебания стойки вокруг осей *x* и *y*, ставят дополнительно два амортизатора сверху стойки.

ЗАЩИТА ЭВА ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Выше рассматривались основные климатические факторы, оказывающие влияние на работоспособность ЭВМ в процессе ее эксплуатации. При этом отмечалось, что вид воздействующего фактора, а также его интенсивность и степень влияния зависят от типа климатической зоны и высоты над уровнем моря.

Рассмотрим основные направления воздействия климатических факторов и меры борьбы с ними.

Влияние климатических факторов на конструкцию

Влияние климатических факторов на конструкционные материалы выражается главным образом в возникновении процессов *коррозии*, потере механических и диэлектрических свойств, изменении электропроводности и т. п. Реакция на воздействующий фактор, степень и скорость изменения свойств конструкционного материала в зависимости от его природы различны. Процесс коррозии у металлов имеет химическую или электрохимическую природу, но причина во всех случаях одинакова: переход корродирующего металла в более стабильное первоначальное состояние, из которого он был получен с затратой большой энергии. Процесс коррозии всегда связан с отдачей энергии, что указывает на самопроизвольный ход реакции, т. е. без затраты энергии извне. Процесс химической коррозии протекает без

участия влаги. При электрохимической коррозии растворение металла (возникновение новых соединений) происходит с участием электролита, т. е. воды.

Различают три вида коррозии: *равномерную, неравномерную, межкристаллическую*.

При *равномерной* коррозии процесс распространяется постепенно от отдельных корродирующих мест по всей поверхности металла.

Неравномерная коррозия ограничивается отдельными местами и возникает, например, вследствие нарушения защитного покрытия.

Коррозия *межкристаллическая* характеризуется проникновением в глубь металла путем разрыва структуры и распространением вдоль границ кристаллов.

Наличие в атмосфере **кислот, щелочей, солей** в большинстве случаев ускоряет процессы коррозии.

Воздействие агрессивной атмосферы на изоляционные материалы выражается в поглощении ими влаги, ухудшении диэлектрических свойств и постепенном разрушении.

Изоляционных пластмасс, не поглощающих влаги, не существует. Количество проникшей влаги и время ее проникновения неодинаковы для различных материалов.

Проникновение влаги в изоляционные материалы может быть *капиллярное* и *диффузионное*.

Капиллярное проникновение имеет место в случае наличия в материале грубых микроскопических пор, трещин и других дефектов. Так как в микроэлектронике применяют только высококачественные изоляционные материалы, то они практически свободны от таких дефектов.

Поэтому в данном случае существенно большее значение имеет процесс *диффузионного* проникновения, который заключается в заполнении промежутков между молекулами материала молекулами воды. При этом перемещение молекул воды происходит в сторону меньшей их концентрации. Таким образом, при повышенной влажности молекулы воды проникают внутрь материала, а в сухой теплой атмосфере — из материала. В первом случае имеет место **поглощение** влаги, во втором — **высыхание**.

Поглощение влаги диэлектриком ведет к уменьшению его сопротивления, увеличению диэлектрических потерь, набуханию, механическим повреждениям.

Плесневые грибки как один из сильнейших биологических факторов также могут отрицательно воздействовать на работоспособность аппаратуры. Для развития плесени необходимы большая относительная влажность воздуха (80—100%) и температура 25—37°C.

Такие условия естественны для стран с тропическим влажным климатом, однако они могут возникнуть искусственно в помещениях,

где эксплуатируется аппаратура.

Среди материалов, применяемых в микроэлектронной аппаратуре, наибольшее воздействие плесень оказывает на те, которые имеют органическую основу.

Способы защиты от воздействия агрессивной внешней среды

Покрытия

Для защиты поверхности металлических и неметаллических материалов от агрессивной внешней среды применяют различные **покрытия**, которые по назначению делят на три группы: **защитные**, **защитно-декоративные** и **специальные**.

Защитные покрытия предназначены для защиты деталей от коррозии, старения, высыхания, гниения и других процессов, вызывающих выход аппаратуры из строя.

Защитно-декоративные покрытия наряду с обеспечением защиты деталей придают им красивый внешний вид.

Специальные покрытия придают поверхности деталей особые свойства или защищают их от влияния особых сред.

По способу получения все покрытия разделяют на **металлические** и **неметаллические**.

Металлические покрытия — покрытия, нанесенные горячим способом, гальванические, диффузионные и металлические на диэлектриках.

Неметаллические покрытия — покрытия лаками, эмалями, грунтовками, а также противокоррозионное покрытие пластмассами.

Выбор того или иного вида покрытия в каждом конкретном случае зависит от материала детали, ее функционального назначения и условий эксплуатации.

Для борьбы с **плесневыми грибами** применяют три способа:

способ 1 — использование материалов, не склонных к образованию на них плесени (применение этого метода ограничивается возможностями выбора материалов);

способ 2 — изменение внутреннего климата в аппаратуре, имеющее цель лишить плесневые грибки благоприятной базы для развития (здесь главным образом требуется принимать меры к снижению влажности воздуха, так как саморазогрев как отдельных микросхем, так и полностью всей аппаратуры почти автоматически лишает грибки благоприятной температуры);

способ 3 — добавление в состав лака или эмали, которыми покрывают поверхность деталей, специальных химических веществ — фунгицидов.

Герметизация отдельных элементов, узлов, устройств или всей машины

При этом способе защиты в зависимости от степени чувствительности тех или иных элементов или узлов к воздействию агрессивной среды и от их конструктивных особенностей применяют различные способы герметизации, отличающиеся как методом исполнения, так и сложностью и стоимостью.

Известны способы герметизации с помощью:

- а) изоляционных материалов;
- б) непроницаемых для газов оболочек.

Защита изделий изоляционными материалами.

Эта защита может производиться **пропиткой**, **заливкой**, **обволакиванием** и **опрессовкой**.

Пропитка изделий состоит в заполнении имеющихся в них каналов электроизоляционным материалом. Одновременно с заполнением каналов при пропитке на всех элементах конструкции образуется тонкий изоляционный слой, защищающий их от воздействия агрессивной среды. Одновременно с защитными функциями пропиточный материал повышает электрическую прочность изделия, скрепляет механически его отдельные элементы, во многих случаях улучшает теплопроводность. Пропитку осуществляют погружением изделий в жидкий изоляционный материал. После извлечения изделия материал отвердевает. Процесс отверждения может происходить при нормальной температуре или с внешним подогревом. При использовании полимеризующихся пропиточных материалов необходимо применять специальные ускорители.

При герметизации **заливкой** все свободные полости в изделии, в том числе и пространство между элементами и корпусом, заливают электроизоляционным материалом, который после отверждения образует достаточно толстый защитный слой.

Заливку изделия можно производить в его постоянном корпусе или использовать для этого специальные разъемные формы, которые после отверждения материала удаляются.

Герметизация **обволакиванием** по технике исполнения аналогична операции пропитки, однако здесь используют вязкие изоляционные материалы, обладающие хорошей адгезией к элементам изделия. Слой материала, образующегося на поверхности деталей, сравнительно толст (от долей до нескольких миллиметров) и надежно защищает их от воздействия агрессивной среды.

Защита изделий непроницаемыми для газов оболочками.

Это наиболее совершенный способ защиты узлов и устройств ЭВМ, так как кроме эффективной защиты он может обладать возможностью

разгерметизации в производственных условиях и при эксплуатации.

Условия нормальной работы изделий, защищенных вакуумно-плотной герметизацией, зависят не только от качества герметизации, но и от защиты от агрессивных компонентов, входящих в материалы и среду защищаемого объема. Выделение свободных молекул воды и других агрессивных веществ в герметизированном объеме изделия может свести к минимуму эффективность вакуумно-плотной герметизации. При разработке герметичных корпусов следует учитывать условия эксплуатации и прежде всего изменение барометрического давления, внешние механические воздействия и возможные перепады температуры.

Вакуумно-плотная герметизация может быть выполнена с *неразъемными* и *разъемными* швами: первую используют для защиты малогабаритных узлов и устройств, вторую — для сравнительно больших блоков, требующих профилактической проверки и нуждающихся в смене ее отдельных элементов.

Неразъемные герметичные конструкции делают со швами, выполняемыми пайкой, сваркой, клепкой, заливкой, склеиванием или замазкой специальными компаундами (герметиками).

В *разъемных* герметичных конструкциях между соединяемыми деталями (корпусом и крышкой) помещают эластичную прокладку, а в герметизируемый объем — влагопоглотитель, например силикагель.

Условие непроницаемости такого герметичного соединения — сохранение во все время его службы **контактного давления** между прокладкой и соединяемыми поверхностями. Применяют металлические (из свинца, алюминия, красной меди) и неметаллические (например, резиновые) прокладки. При стягивании винтами металлические прокладки деформируются, в них могут возникнуть напряжения, превышающие предел текучести. При использовании резиновых прокладок уплотнение достигается действием остаточных упругих деформаций.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЭВА

Надежность и достоверность работы ЭВМ и систем зависят от их помехозащищенности по отношению к внешним и внутренним, случайным и регулярным помехам. От правильного решения задачи обеспечения помехоустойчивости элементов и узлов ЭВМ зависят как сроки разработки изготовления и наладки ЭВМ, так и нормальное ее функционирование в процессе эксплуатации.

Причины возникновения помех

Помехой для вычислительного устройства является внешнее или внутреннее воздействие, приводящее к искажению дискретной информации во время ее хранения, преобразования, обработки или

передачи.

Так как информационные сигналы в ЭВМ имеют электрическую природу, то при конструировании необходимо учитывать помехи той же природы, как наиболее вероятные источники искажения информации.

Существует большое число различного рода помех, в большей или меньшей степени оказывающих влияние на работу логических, запоминающих и других устройств ЭВМ.

Классификация помех

Помехи могут быть классифицированы по *причине наведения*, *характеру проявления* и *пути распространения* (рис. 2).

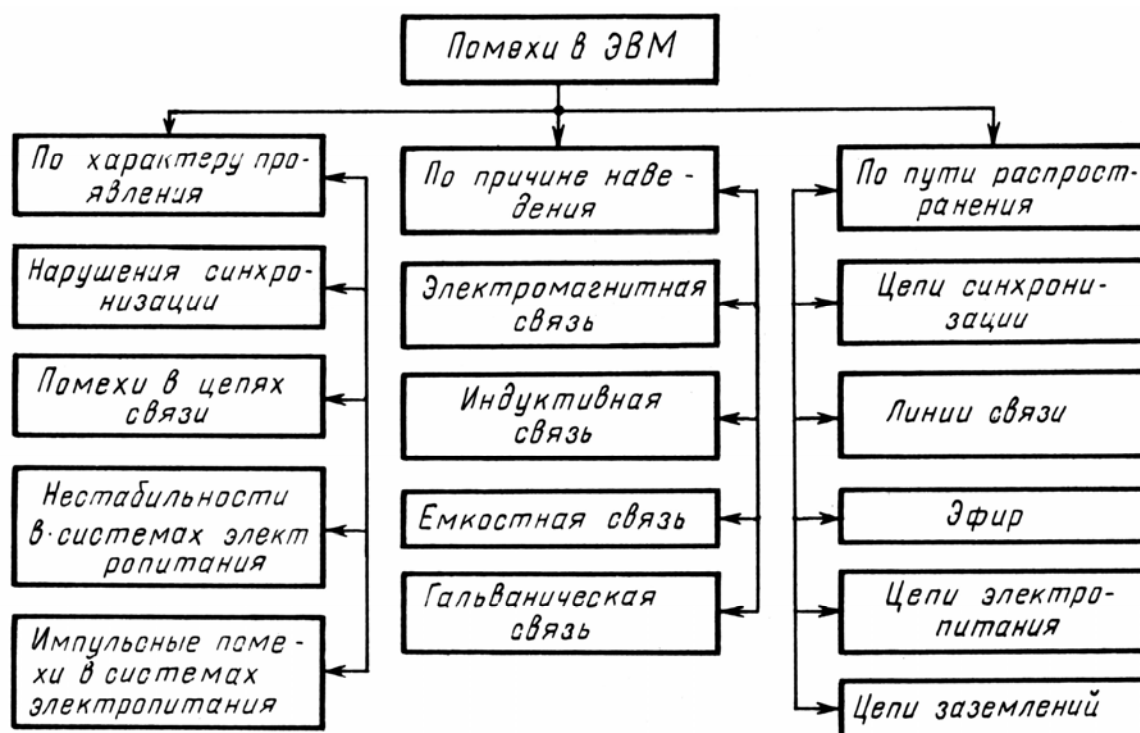


Рис. 2. Классификация помех в ЭВМ

В ЭВМ чаще всего могут использоваться потенциальные системы элементов, в которых состояния «1» и «0» кодируются соответственно высоким (низким) и низким (высоким) уровнями напряжения.

Помеха, **накладываемая** на эти напряжения, приводит к ошибочному срабатыванию схем, когда ее амплитуда усиливается по мере распространения вдоль цепочки элементов и связей между ними. Допустимое напряжение помехи на входе элемента равно амплитуде сигнала, отсчитанного от уровня U_{\max}^0 или U_{\min}^1 (в случае кодирования состояния «1» высоким потенциалом, а состояния «0» — низким потенциалом), который приводит к появлению на выходе элемента сигнала равной амплитуды.

Отсюда максимально допустимое значение помехи на входе элемента для низкого и высокого уровней соответственно

$$U_{ном}^+ = V_{пор} - U_{max}^0,$$

$$U_{ном}^- = U_{min}^1 - V_{пор},$$

где $V_{пор}$ — напряжение, при котором модуль коэффициента усиления элемента по напряжению равен единице (порог срабатывания элемента).

Основные причины, вызывающие искажения сигналов

Основные причины, вызывающие искажения сигналов при прохождении их по цепям ЭВМ, следующие:

- а) отражения от несогласованных нагрузок и от различных неоднородностей в линиях связи;
- б) затухание сигналов при прохождении их по цепям последовательно соединенных элементов;
- в) ухудшение фронтов и задержки, возникающие при включении нагрузок с реактивными составляющими;
- г) задержки в линии, вызванные конечной скоростью распространения сигнала;
- д) перекрестные помехи;
- е) паразитная связь между элементами через цепи питания и заземления;
- ж) наводки от внешних электромагнитных полей.

Степень влияния каждого из перечисленных факторов на искажение сигналов зависит от характеристик линии связи, логических элементов и сигналов, а также от конструктивного выполнения всей системы элементов и связей, т. е. ЭВМ.

Причины роста влияния помех

Борьба с помехами приобретает все большую актуальность из-за следующих причин.

1. Энергетический уровень информационных сигналов имеет тенденцию к уменьшению (повышение частоты и снижение перепада напряжений), а энергетический уровень внешних помех непрерывно увеличивается.
2. Увеличение взаимного влияния элементов из-за уменьшения габаритных размеров активных элементов и линий связи между ними, а также увеличения плотности их размещения.
3. Возрастание уровня помех из-за усложнения системы, в частности увеличения числа внешних устройств, которые содержат большое количество электромеханических узлов.
4. Внедрение вычислительной техники во все сферы человеческой деятельности.

Подходы к оценке помех и способы их снижения

Помехи в сигнальных проводниках

Связи между элементами ЭВМ можно выполняются различными способами:

1) для сравнительно медленных устройств — в виде печатных или навесных проводников;

2) в устройствах с повышенными скоростями работы — в виде печатных полосковых линий, «витых пар» (бифилиаров), в качестве обратного проводника — «земляных пластин», сравнительно большого сечения шины питания.

При группировке элементов по узлам и блокам между ними образуется большое число электрических связей, которые можно разделить на электрически *«короткие»* и электрически *«длинные»*.

Электрически *«короткой»* называют линию связи, время распространения сигнала в которой **много меньше** значения переднего фронта передаваемого по линии импульса.

Сигнал, отраженный от несогласованных нагрузок в этой линии связи, достигает источника раньше, чем успеет существенно измениться входной импульс. Свойства такой линии можно описать **сосредоточенными** сопротивлениями, емкостью и индуктивностью.

Электрически *«длинная»* линия связи характеризуется временем распространения сигнала, **много большим** фронта импульса.

В этой линии отраженный от конца линии сигнал приходит к ее началу после окончания фронта импульса и искажает его форму. При расчете такие линии следует рассматривать как линии с **распределенными** параметрами.

В ИС, ячейках и модулях связи, как правило, электрически «короткие». В более крупных конструктивных единицах ЭВМ в основном электрически «длинные».

Доля «длинных» связей в машинах с ростом их быстродействия растет как следствие роста быстродействия.

В современных быстродействующих ИС сверхвысокого уровня интеграции многие шины необходимо рассматривать как «длинные» связи.

Помехи в «коротких» связях

При анализе процессов передачи сигналов электрически «короткую» линию связи можно представить в виде эквивалентной схемы, содержащей **сосредоточенные индуктивность и емкость** (омическим сопротивлением пренебрегают).

Паразитную связь между двумя «короткими» линиями также можно представить как связь через **сосредоточенную взаимную емкость** и

ВЗАИМОИНДУКТИВНОСТЬ.

В зависимости от геометрических размеров сечений линий, их длины, диэлектрических свойств изоляционных материалов тот или иной параметр линии может оказывать большее воздействие на процессы передачи сигнала, чем все остальные. Исходя из предположения преобладания того или иного параметра, рассмотрим влияние каждого из них в отдельности на передачу сигналов.

Индуктивный характер сигнальной связи.

Задержку распространения сигнала в линии связи можно рассматривать как изменение формы сигнала, т.е. как воздействие помехи.

Эквивалентная схема соединения двух элементов Э1 и Э2 для индуктивного характера связи представлена на рис. 3, а.

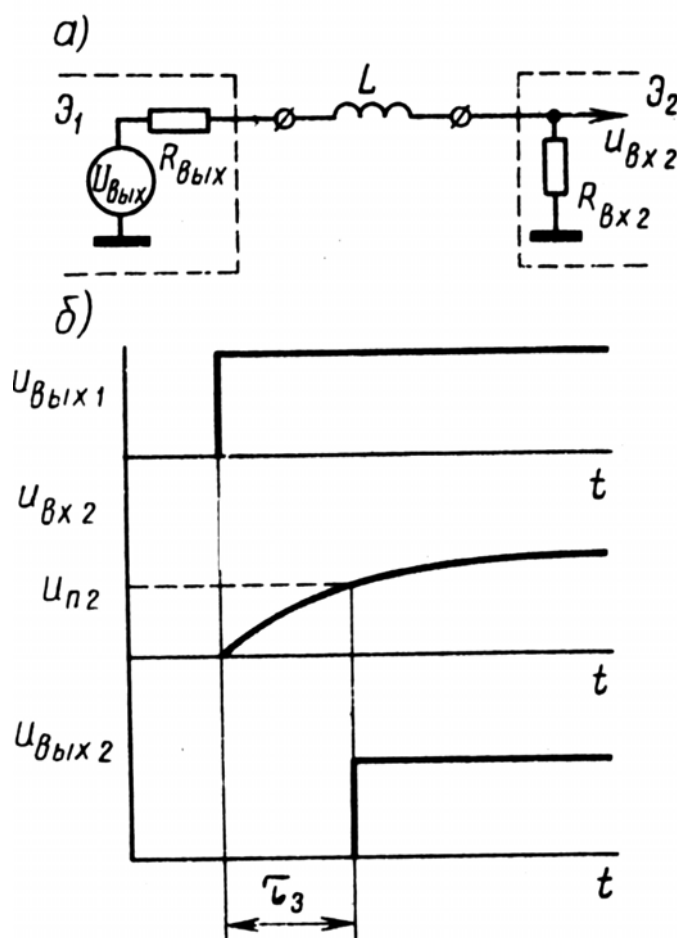


Рис. 3. Индуктивный характер «короткой» линии связи
а – эквивалентная схема; б – временная диаграмма

При подаче на вход схемы ступеньки напряжения амплитудой $U_{\text{вых}1}$ состояние схемы может быть описано дифференциальным уравнением

$$U_{\text{вых}1} = u_{\text{вх}2} + [L(R_{\text{вых}1} + R_{\text{вх}2})] (du_{\text{вх}2} / dt).$$

При этом напряжение на входе второго элемента

$$u_{\text{ex}2} = U_{\text{вых}1} \frac{R_{\text{ex}2}}{R_{\text{ex}2} + R_{\text{вых}1}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right),$$

$$\text{где } \tau = \frac{L}{R_{\text{ex}2} + R_{\text{вых}1}}.$$

Так как в микроэлектронных элементах, как правило, выполняется соотношение $R_{\text{вых}} \ll R_{\text{вх}}$, то

$$u_{\text{ex}} \approx U_{\text{вых}1} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

и

$$\tau \approx \frac{L}{R_{\text{ex}2}}$$

Элемент Э2 срабатывает, когда напряжение на его входе $u_{\text{вх}2}$ достигает **порога срабатывания** $V_{\text{пор}}$, т.е. с некоторой задержкой τ_3 (рис. 3, б). Задержка может быть определена как показано выше.

Если принять $u_{\text{вх}} = V_{\text{пор}} = U_{\text{вых}}/2$, то $\tau_3 \approx 0,7\tau = 0,7 L/R_{\text{вх}2}$.

Для уменьшения задержки необходимо уменьшать индуктивность линии и увеличивать входное сопротивление элементов.

В ЭВМ третьего и последующих поколений используют элементы, время переключения (задержка) которых составляет доли и единицы наносекунд. Желательно, чтобы задержка, вносимая линиями связи, составляла малую, в худшем случае соизмеримую, часть от времени переключения элементов.

Емкостный характер сигнальной связи

Эквивалентная схема для расчета реакции сигнальной связи, имеющей емкостный характер, представлена на рис. 4.

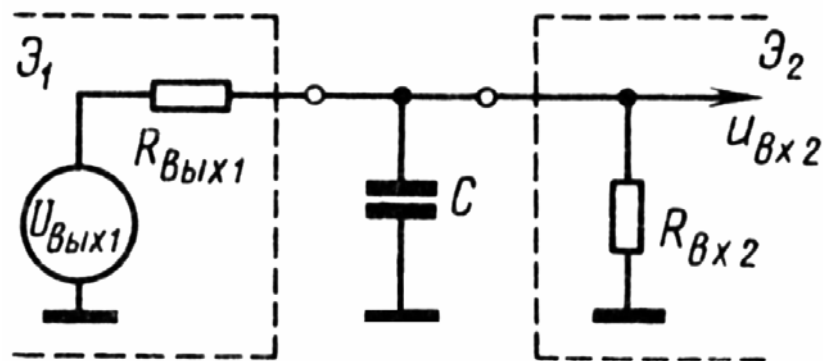


Рис. 4. Емкостный характер «короткой» линии связи (эквивалентная схема)

В соответствии с законом Кирхгофа имеем

$$U_{\text{вых}1} = u_{\text{ex}2} + R_{\text{вых}1} (u_{\text{ex}2} / R_{\text{ex}2} + C du_{\text{ex}2} / dt)$$

При этом напряжение на входе второго элемента

$$u_{\text{ex}2} = U_{\text{ex}1} \frac{R_{\text{ex}2}}{R_{\text{ex}2} + R_{\text{ex}1}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right),$$

$$\text{где } \tau = C \frac{R_{\text{ex}2} R_{\text{ex}1}}{R_{\text{ex}2} + R_{\text{ex}1}}.$$

С учетом того, что (как было отмечено) $R_{\text{вых}} \ll R_{\text{вх}}$, то

$$u_{\text{ex}} \approx U_{\text{ex}1} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

и

$$\tau \approx R_{\text{ex}1} C$$

Влияние емкости сигнальной связи **аналогично** влиянию индуктивности сигнальной связи и выражается в задержке включения нагруженных схем (см. рис. 3, б).

Паразитные емкостная и индуктивная связи между сигнальными проводниками

С уменьшением геометрических размеров элементов и повышением плотности их размещения **между сигнальными проводниками возникают емкостная и индуктивная связи**.

При переключении элементов по сигнальным цепям протекают импульсные токи с крутыми фронтами, которые вследствие наличия паразитных связей наводят на соседних сигнальных проводниках помехи. Последние при определенных условиях могут вызвать ложное срабатывание элементов схем.

Необходимо, чтобы значение помех не превышало допустимого предела.

Рассмотрим две цепи, выполненные по печатной технологии, имеющие общий участок l , на котором они располагаются параллельно друг другу на расстоянии d (рис. 5, а).

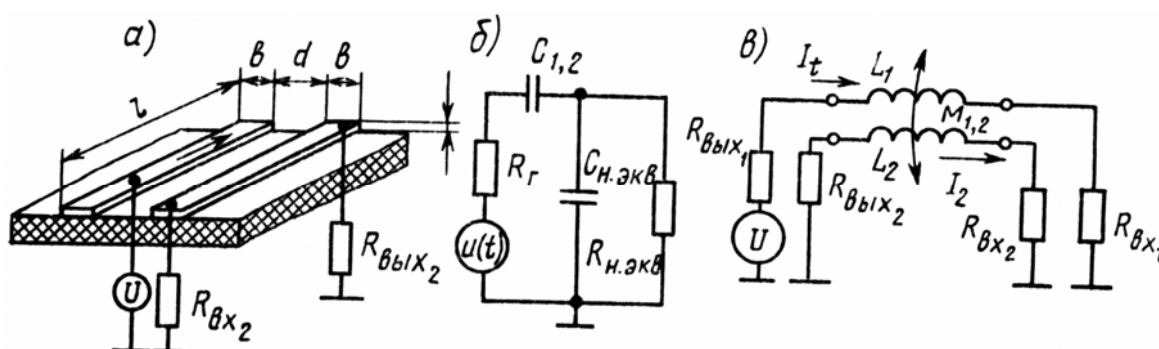


Рис. 5. Паразитные емкостная и индуктивная связи между «короткими» линиями связи

На этом участке между ними имеются взаимные емкость $C_{1,2}$ и индуктивность $M_{1,2}$.

В случае преобладающего влияния **емкостной** связи между сигнальными цепями для обеспечения надежной работы элементов

ЭВМ необходимо уменьшать выходное сопротивление, длину связей и их сечения, увеличивать фронт импульсов и коэффициент помехоустойчивости элементов, расстояние между линиями связи, применять изоляционные материалы с хорошими диэлектрическими свойствами.

В случае преобладающего влияния **взаимной индуктивной** связи между сигнальными цепями необходимо уменьшать длину цепей связи, амплитуды токов, увеличить порог срабатывания элементов, фронт передаваемых импульсов, расстояние между проводниками связей.

В общем случае в цепи – приемнике наводки – возникают как емкостная, так и индуктивная помехи.

При этом **емкостная наводка** изменяет потенциал всей линии связи, а **индуктивная** создает разность потенциалов между входом и выходом линии.

Помехи при соединении элементов «длинными» связями

Отражения в «длинных» линиях связи

Электрически «длинную» линию связи при расчетах схем рассматривают как однородную линию с распределенной емкостью C_0 и индуктивностью L_0 . Переходные процессы в таких линиях зависят от характера перепада напряжения $u_{вх}$ на входе линии и соотношения волнового сопротивления линии z_0 , выходного сопротивления z_r генератора импульсов и входного сопротивления z_n нагруженного на конец линии элемента (рис. 6).

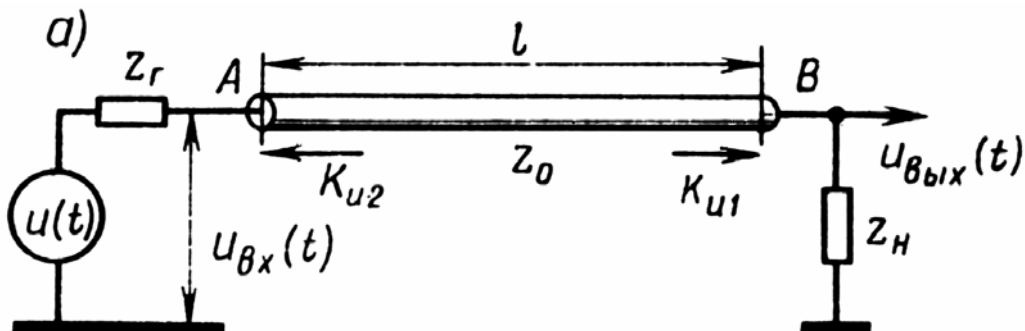


Рис. 6. Эквивалентная схема передачи по «длинной» линии связи

Из теории «длинных» линий известно, что если линия с волновым сопротивлением z_0 нагружена на сопротивление z_n , и $z_0 = z_n$, то такую линию называют **согласованной**.

Если $z_0 \neq z_n$, линию называют **несогласованной**. При этом волна напряжения, достигнув конца линии, отражается от него.

Отраженная волна, достигнув начала линии, затухает при $z_r = z_0$. Если $z_r \neq z_0$, волна вновь отражается (от начала линии).

Процесс поочередного отражения волны напряжения от обоих концов

линии связи продолжается до тех пор, пока амплитуда отраженной волны не уменьшится до нуля. Отраженные волны напряжения накладываются на падающие, и в итоге форма входного напряжения может **существенно исказиться**. Аналогичные явления происходят и с волной тока.

Отражения волн напряжения и тока могут быть не только от несогласованных нагрузок на концах линий, но и от различных **неоднородностей** в ней самой.

Рассмотренные процессы могут вызывать выбросы напряжения.

Для уменьшения влияния выброса на параметры нагруженных ИС в качестве нагрузки используют диоды Шоттки как динамические нелинейные сопротивления. По мере возникновения паразитного выброса один из диодов начинает открываться до тех пор, пока его сопротивление не станет приблизительно равным волновому сопротивлению линии (другой диод смещен в обратном направлении и предназначен для гашения обратного выброса). В результате энергия выброса поглощается, что ведет к повышению устойчивости работы ИС. Особенно эффективно использование диодов Шоттки для длинных (до 1 м) линий связей, обычно выполняемых бифиляром. Замена бифиляра одиночным проводом с диодом Шоттки на конце позволяет уменьшить требуемое количество контактов разъема, ячейки, субблока, блока и т.д.

Паразитные наводки в «длинных» линиях связи

Если линии связи между элементами не экранированы, то электромагнитные поля, возникающие при прохождении по ним импульсных высокочастотных сигналов, не локализованы и в той или иной степени взаимодействуют между собой. При этом на линиях-приемниках возникают паразитные сигналы, форма и амплитуда которых зависят от характеристик линии-приемника и линии-индуктора, величины их связи между собой, параметров передаваемых сигналов и степени рассогласования самих линий. Амплитуда и длительность наведенной на линии-приемнике помехи может оказаться такой, что вызовет ложное срабатывание нагруженных на нее элементов.

Известно, что только при полном согласовании обеих линий импульс наводимого напряжения имеет минимальные амплитуду и длительность. Рассогласование линии-приемника на одном из ее концов приводит к увеличению амплитуды и длительности наводимой помехи.

Методы разводки «длинных» линий связи

В быстродействующих системах, в которых задержка определяется только задержками в цепях связей, основную проблему может составить **способ разводки** линий между отдельными ИС.

В настоящее время существует **три способа разводки: радиальный, с**

промежуточными отводами, комбинированный.

При **радиальном способе разводки**, когда каждую ИС-нагрузку подключают к ИС-источнику сигнала индивидуальной связью, все входы должны быть **согласованы** с волновым сопротивлением линии связи.

Кроме того, ИС-источник сигнала **должна** иметь выходное сопротивление, равное z_0/n , где n – число нагруженных на нее ИС (или нагрузочная способность ИС).

При большом n потребуется ИС-источник сигнала с недостижимо малым выходным сопротивлением.

Другой недостаток радиального способа — необходимость наличия отдельной линии связи для каждой нагрузки. Поэтому радиальный метод рекомендуют только для $n=1$.

При **способе разводки с промежуточными отводами**, когда ИС-нагрузки подключают к связи-магистрале и далее к ИС-источнику сигнала через короткие проводники, нагрузочные ИС должны иметь высокие входные сопротивления, иначе они будут перегружать линии связи.

Комбинированный способ обеспечивает согласование в любой точке линии связи путем разводки сигналов на нагрузки, размещенные по разным направлениям.

При этом число проводников **меньше**, чем при радиальном способе, а выходное сопротивление источника сигналов допускается сравнительно **высоким**.

Если на линии связи находятся всего две нагрузки, то ИС-источник сигнала можно пометить в любой точке вдоль нее.

Наводки по цепям питания и методы их уменьшения

Электрическое объединение логических и других элементов ЭВМ осуществляют **связями двух видов: сигнальными и цепями питания**.

По **сигнальным связям** информация передается в виде импульсов напряжения и тока.

Шины питания служат для подведения энергии к элементам от низковольтных источников постоянного напряжения.

При использовании одного источника напряжения питания к элементам подводится с помощью двух проводников: прямого и обратного.

Часто на элементы необходимо подавать напряжение от нескольких источников с разными номиналами. В этом случае для уменьшения количества шин питания обратные проводники объединяют в одну шину, которую соединяют с корпусом машины и называют шиной «**земля**».

В статическом состоянии по цепям питания протекают стационарные токи, вызывающие падение напряжения на элементах.

Необходимо, чтобы это падение напряжения составляло малую часть от номинала источника напряжения.

При работе блоков и устройств ЭВМ, когда происходит выключение одних элементов и включение других, возникает **процесс перераспределения токов**.

Ток потребления по шинам питания изменяется, что приводит к нежелательным **падениям напряжения** и **паразитным наводкам**.

В масштабах крупного устройства (например, стойки), изменение тока в шине питания вследствие переключения элементов незначительно, так как для этой шины в любой момент времени число включенных элементов можно считать примерно одинаковым.

Иное происходит в шинах питания, подводящих энергию к более мелким устройствам (регистрам, счетчикам, блокам формирователей и т. д.). В этом случае переключение элементов приводит к значительному изменению тока потребления от источника напряжения.

Так как шины питания имеют паразитную **емкостную** и **индуктивную** связь с **сигнальными** шинами, то в зависимости от значения этой связи и перепада напряжения и тока при переключении элементов на сигнальных связях наводятся сравнительно большие **помехи**. При определенных условиях эти помехи могут вызвать **ложное срабатывание схем**.

Кроме того, изменение тока в шине питания приводит к возникновению в ней **переходного процесса**. Последнее обусловлено тем, что шина питания, как и любая сигнальная связь, обладает емкостью, индуктивностью, волновым сопротивлением и различной степенью согласования на концах.

Переходный процесс в шине питания приводит к колебанию напряжения, приложенного к элементу, что изменяет, с одной стороны, режим его работы, а с другой — параметры выходного сигнала.

Для уменьшения наводок, связанных с падением напряжения на шинах питания и «земля» и переходными процессами в них, используют различные методы. Рассмотрим некоторые из них.

Применение индивидуальных сглаживающих конденсаторов (ИСК)

ИСК устанавливают между шинами питания и «земля» непосредственно возле точек присоединения электронного устройства к этим шинам. Будучи заряженным до значения источника напряжения, ИСК является как бы индивидуальным источником питания схемы, максимально приближенным к ней физически.

В микроэлектронной аппаратуре используются **два вида ИСК**, устанавливаемые непосредственно у каждой микросхемы и устанавливаемые на группу микросхем в пределах одной ячейки, модуля, ТЭЗ.

Первый тип ИСК предназначен в основном для «сглаживания»

импульсных помех в момент переключения микросхемы за счет локализации цепи протекания бросков тока в цепи микросхема — ИСК. В качестве таких ИСК используют обычно обладающие малой собственной индуктивностью керамические конденсаторы.

Емкость C ИСК выбирают, исходя из условия равенства заряда, накапливаемого конденсатором за время переключения микросхемы, заряду, переносимому выбросом тока за время переключения элемента.

При этом изменение напряжения на конденсаторе **не должно превышать** некоторого наперед заданного значения, равного допустимой помехе по шине питания. Отсюда

$$C \gg \frac{\Delta I \tau}{2U_{\text{пом}}}; \Delta I = kI_{\text{сквоз}},$$

где ΔI — максимальное значение переменной составляющей тока потребления; τ — длительность фронта переключения; $U_{\text{пом}}$ — напряжение допустимой импульсной помехи на шине питания; $I_{\text{сквоз}}$ — выходной ток короткого замыкания микросхемы; k — коэффициент, зависящий от типа схемы (например, для ТТЛ-схем $k=0,33$).

Второй тип ИСК, устанавливаемый на группу микросхем, предназначен для компенсации бросков тока в системе электропитания. Это обычно электролитические конденсаторы большой емкости, обеспечивающие исключение резонансных явлений в цепях питания.

Выбор емкости ИСК этого типа проводят, используя выражение

$$C = \frac{4L}{R^2},$$

где L , R — индуктивность и сопротивление шин питания.

Уменьшение общих участков протекания токов элементов по шинам питания

Этот метод заключается в установке дополнительных перемычек в шинах питания и «земля», которые уменьшают длину общих участков протекания токов элементов. На рис. 7 представлены три варианта соединения элементов шиной питания и «земля». В первом

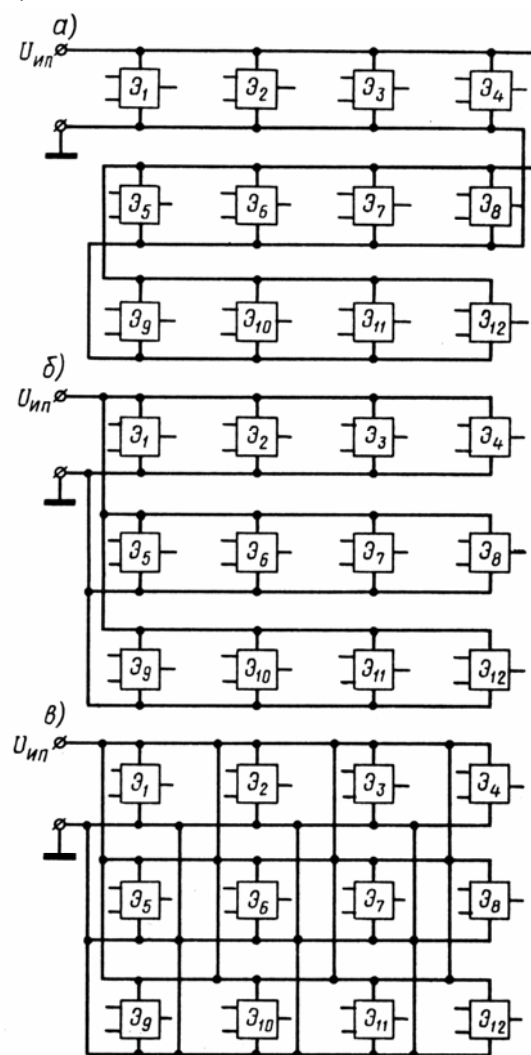


Рис. 7.

варианте (рис. 7, а) переключение элемента, например Э12 (изменение тока потребления схемы), приводит к возникновению паразитной наводки в остальных одиннадцати элементах по шине питания и «земля». Во втором варианте (рис. 7, б) эта помеха в худшем случае воздействует только на четыре элемента, а в третьем варианте (рис. 7, в) помеха еще более уменьшается за счет введения дополнительных перемычек (распараллеливания).

Использование металлического листа в качестве «земли»

Этот метод применим для элементов второго уровня конструктивной иерархии ЭВМ (субблоков, блоков, панелей) и заключается в установке в эти конструктивные элементы сравнительно толстого металлического листа, к которому припаивают обратные провода от всех закрепленных ячеек или модулей.

Использование сплошных металлических прокладок в качестве шин питания

Этот метод применим в случае использования многослойных печатных плат для устройств сверхбыстродействующих ЭВМ. В таких платах отдельные слои изготовляют с максимально большой площадью металла и применяют их в качестве шин питания (эти слои размещают внутри многослойной платы). При использовании сплошных металлических слоев значительно уменьшаются собственное индуктивное сопротивление шин питания, общие участки протекания токов различных элементов и увеличивается взаимная емкость между шинами питания.

Применение экранов в ЭВМ

При прохождении мощных сигналов по цепям связи последние становятся источниками электромагнитных полей, которые, пересекая другие цепи связи, могут наводить в них дополнительные помехи. Источниками электромагнитных помех могут быть также мощные промышленные установки, транспортные коммуникации, двигатели и т.д.

Устройства, чувствительные к статическим магнитным полям (например, магнитные элементы с разомкнутым магнитопроводом), могут неустойчиво работать даже от таких слабых полей, как магнитное поле Земли. Для того чтобы локализовать, где это возможно, действие источника полей или сам приемник помех, используют экраны.

По принципу действия различают *электростатическое*, *магнитостатическое* и *электромагнитное* экранирования.

Электростатическое экранирование

Этот вид экранирования заключается в шунтировании большей части

(или всей) паразитной емкости емкостью на корпус (рис. 8).

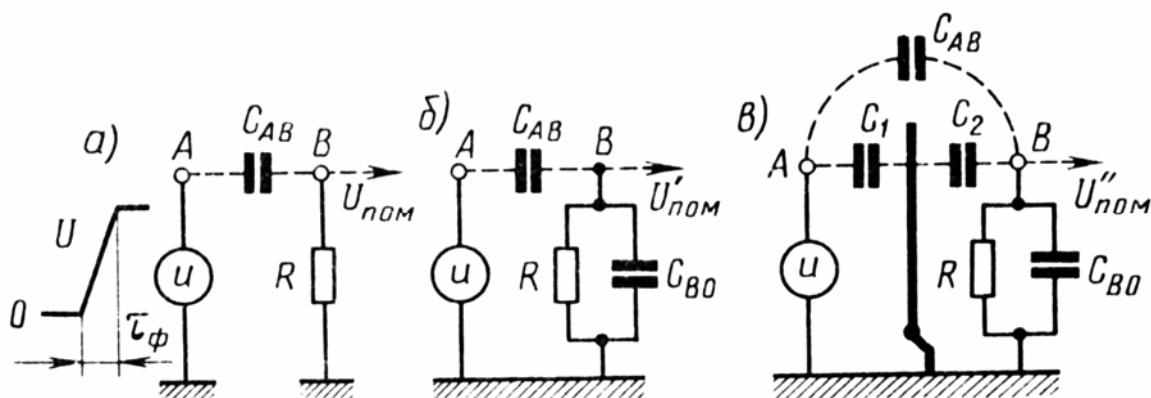


Рис. 8. Схемы электростатического экранирования

Пусть емкостная помеха наводится через паразитную емкость C_{AB} между проводниками А (источник наводки) и В (приемник наводки).

Если корпус удален на такое расстояние, что емкостью между ним и проводниками можно пренебречь (рис. 8, а), то помеха не будет ослабляться.

В том случае, когда экран, соединенный с корпусом, располагают вблизи проводников (рис. 8, б), шунтирующая емкость C_{BO} уменьшает амплитуду помехи.

Если $C_{AB} \ll C_{BO}$, то напряжение наводимой помехи снижается в C_{AB}/C_{BO} раз.

Если же экран расположить между проводниками так, как показано на рис. 8, в, то помеха еще более уменьшится за счет уменьшения самой паразитной емкости C_{AB} .

На основании изложенного можно считать, что экранирующий эффект заземленного металлического листа заключается в шунтировании на корпус большей части паразитной емкости, имеющейся между источником и приемником наводок.

В качестве металлического листа, соединенного с корпусом ЭВМ, служат детали шасси, каркасов; обшивки стоек, панелей, субблоков, кассет, специальные листовые металлические прокладки на монтажной стороне плат, блоков, субблоков; экранные сплошные металлические слои в многослойных печатных платах и т. д.

С целью улучшения экранировки особо чувствительных к помехам цепей (например, для передачи синхроимпульсов) на обеих сторонах печатных плат сигнальные и заземленные экранные проводники чередуют таким образом, чтобы против сигнальной линии, проходящей с одной стороны платы, всегда располагалась заземленная линия с другой стороны платы. При этом каждая сигнальная линия оказывается окруженной тремя заземленными линиями, в результате чего достигается не только эффективная экранировка сигнальной линии от

внешних помех, но и для полезного сигнала обеспечивается подобная волноводу цепь от источника до нагрузки.

Магнитостатическое экранирование

Магнитостатические экраны используют для защиты чувствительных цепей, элементов и устройств от постоянного и медленно изменяющегося переменного магнитного поля.

В этом случае источник или приемник наводки заключают в сплошной экран, изготовленный из ферромагнитных материалов.

Если в такой экран заключен источник наводки, то магнитные силовые линии замыкаются в нем и далее не распространяются.

Если в экран заключен приемник наводки, то силовые линии магнитного поля не проникают в полость экрана.

Электромагнитное экранирование

Переменное высокочастотное электромагнитное поле при прохождении через металлический лист либо перпендикулярно, либо под некоторым углом к его плоскости наводит в этом листе вихревые токи, поле которых ослабляет действие внешнего поля. Металлический лист в данном случае является **электромагнитным экраном**.

Примером электромагнитного экрана служит обшивка стоек вычислительных устройств.

Широкое распространение в технике ЭВМ нашли экранированные провода, коаксиальные кабели и «витые» пары проводников (бифиляры). Мерой эффективности использования бифиляра в качестве связи между элементами по сравнению с одиночным проводом в данном случае будет кратность уменьшения индуктивности.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ КОНСТРУКЦИЙ ЭВА

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ И ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА

Настоящее и будущее микроэлектронной аппаратуры связано с использованием больших мощностей при сравнительно малых объемах. Это приводит к резкому увеличению плотности мощности рассеяния, а следовательно, и плотности рассеиваемой теплоты. Поэтому при конструировании микроэлектронной аппаратуры особое значение приобретает разработка методов отвода теплоты, регулирования и контроля температуры.

Тепловой режим блока электронной вычислительной аппаратуры характеризуется совокупностью температур отдельных его точек — **температурным полем**.

Если температура в любой из точек блока не выходит за допускаемые

пределы, то такой тепловой режим называется нормальным.

В зависимости от стабильности во времени тепловой режим может быть *стационарным* или *нестационарным*.

Неизменность температурного поля во времени характеризует *стационарный режим*.

Зависимость температурного поля от времени характерна для *нестационарного режима*.

Этот режим имеет место в тех случаях, когда собственная теплоемкость аппарата соизмерима с количеством теплоты, выделяемой при работе. Обычно нестационарный режим имеет место при одиночных и кратковременно повторяющихся тепловых нагрузках.

По характеру направленности теплового потока разделяют *термоактивные* и *термопассивные* элементы.

Термоактивные элементы служат источниками тепловой энергии, а *термопассивные* – ее приемниками.

ПУТИ ПЕРЕНОСА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В АППАРАТУРЕ

Перенос теплоты от нагретого тела к холодному (или к окружающей среде) происходит за счет *теплопроводности*, *конвекции* и *теплового излучения*.

Теплопроводность — процесс обмена тепловой энергией между находящимися в соприкосновении телами или частями тел, обусловленный взаимодействием молекул и атомов этих тел.

Конвекция — перенос энергии макрочастицами газа или жидкости.

Перенос теплоты излучением происходит за счет превращения тепловой энергии в энергию излучения (лучистая энергия).

В реальных условиях теплообмен осуществляется **одновременно** двумя или тремя видами, что делает практически сложным точный расчет температурного поля. Поэтому на практике расчет проводится, как правило, для одного наиболее эффективного вида теплообмена, не принимая во внимание все другие.

Техническая реализация системы охлаждения микроэлектронной вычислительной аппаратуры может быть осуществлена по одному из способов, приведенных на рис. 1.

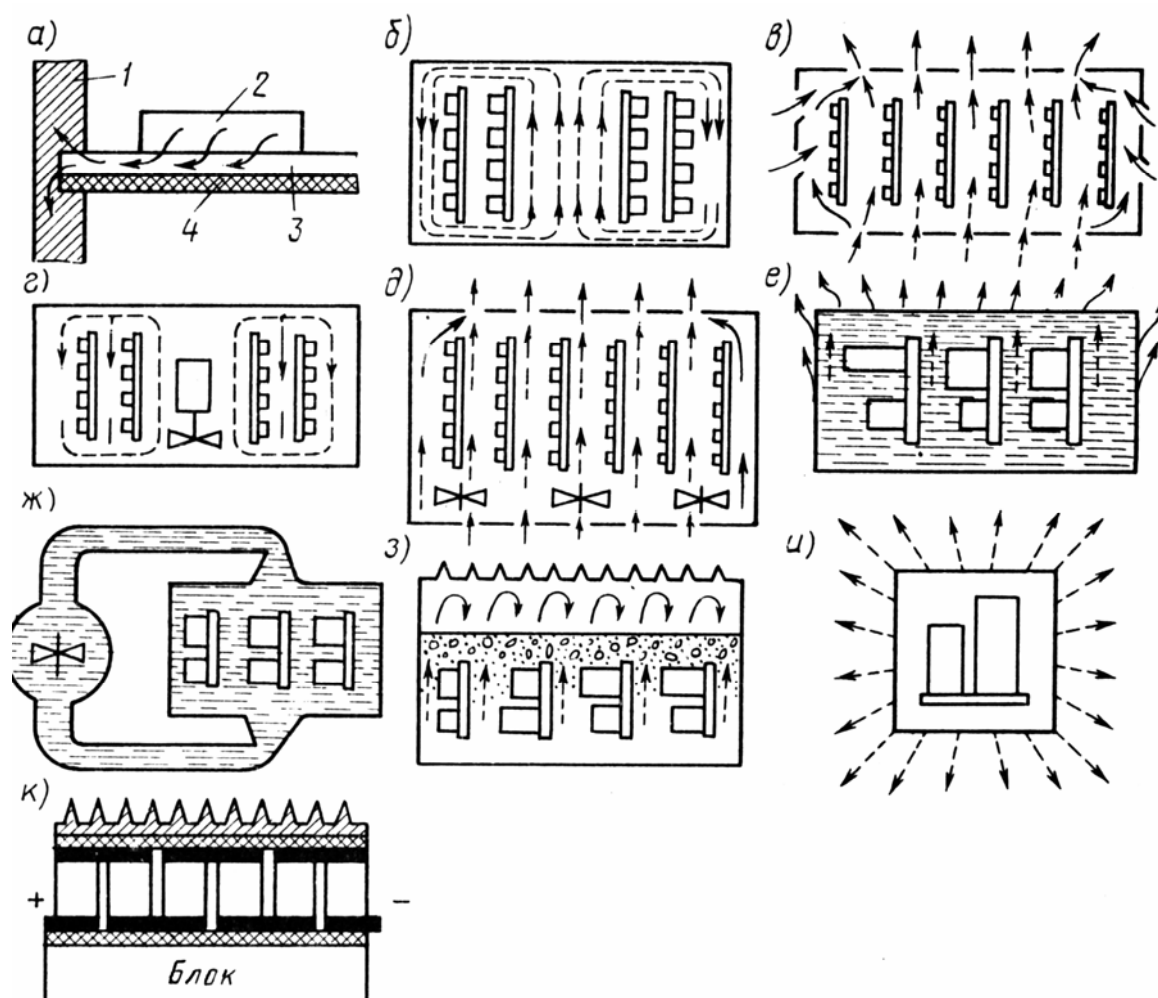


Рис. 4.56. Способы охлаждения микроэлектронной аппаратуры:

а — охлаждение теплопроводностью; б — естественное воздушное в герметизированном корпусе; в — естественное в негерметизированном корпусе; г, д — принудительное воздушное в герметизированном и негерметизированном корпусе; е — естественное жидкостное; ж — принудительное жидкостное; з — испарительное; и — излучением; к — основанное на эффекте Пельтье;
1 — стенка прибора; 2 — интегральная схема; 3 — теплоотвод; 4 — печатная плата

Способы охлаждения могут быть охарактеризованы **коэффициентом теплоотдачи** [Вт/(м² • град)], значения которого для различных систем охлаждения приведены в табл. 1.

Таблица 4.4

Система охлаждения	Коэффициент теплоотдачи К, Вт/(м ² • °С)
Естественная, воздушная, излучением	2-10
Принудительная воздушная	10-150

Естественная жидкостная	200-600
Принудительная жидкостная	300-3000
Испарительная	500-120000

Для стационарной электронной вычислительной аппаратуры используются в основном способы охлаждения теплопроводностью, воздушное естественное и принудительное, а также принудительное воздушное с дополнительным охлаждением жидкостью в трубопроводах.

Передача теплоты теплопроводностью

Процесс передачи теплоты *теплопроводностью* объясняется обменом кинетической энергией между молекулами вещества и диффузией электронов.

Оба эти явления имеют место в тех случаях, когда температура вещества в различных точках различна или когда контактируют два тела с различной степенью нагрева.

Для увеличения эффективности теплообмена путем теплопроводности необходимо увеличивать площадь теплопроводящей поверхности, уменьшать путь передачи теплоты (например, толщину стенки), использовать материалы с высокой теплопроводностью.

Передача теплоты конвекцией

Естественное и принудительное воздушное охлаждение

Эти способы охлаждения наиболее просты и доступны, так как все элементы микро-ЭВМ находятся в объеме, заполненном воздухом или инертным газом.

Теплота от нагретых корпусов микросхем передается окружающей атмосфере за счет *естественной конвекции*. Эффективность естественного воздушного охлаждения тем больше, чем больше разность температур между корпусом и окружающей средой и чем больше площадь поверхности корпуса.

Большое значение также имеет плотность окружающей среды, при уменьшении которой отвод теплоты от поверхности корпуса уменьшается.

Принцип охлаждения естественной конвекцией основан на том, что слои воздуха (или другой среды), нагреваясь от выделяющего теплоту корпуса и обладая вследствие этого меньшей плотностью и большей кинетической энергией, перемещаются вверх и замещаются более холодными слоями. Чем больше объем замещаемого воздуха, тем лучше теплообмен. Эффективность теплообмена естественной конвекцией зависит от места расположения элементов в объеме машин. Так, при

вертикальном расположении ячеек с микросхемами воздушному потоку ничего не препятствует и теплые слои воздуха быстро заменяются холодными. При горизонтальном расположении плат ячеек смена слоев воздуха затруднена, вследствие чего нагрев элементов происходит в большей степени. В худшем положении находятся элементы в верхней части корпуса машины, так как здесь замещения теплых слоев холодными практически не происходит и их охлаждение осуществляется только за счет теплоотдачи через холодную крышку.

Качество естественного воздушного охлаждения зависит от мощности выделяемой аппаратурой во время работы в виде теплоты, формы и габаритных размеров корпуса и площади его поверхности.

Улучшение охлаждения можно получить искусственным **увеличением площади** поверхности корпуса, например введением специальных ребер — **радиаторов**.

Существенное улучшение теплового режима достигается введением специальных **вентиляционных отверстий** в дне и крышке корпуса машины. В этом случае в машину извне поступают холодные слои воздуха, которые вытесняют теплые слои через отверстия в крышке. При необходимости такие отверстия следует предусматривать и в боковых стенках корпуса машины, оформляя их в виде жалюзи. Эффективность использования жалюзи и вентиляционных отверстий падает с уменьшением давления окружающего воздуха, т. е. с увеличением высоты над уровнем моря. Так, если на уровне моря уменьшение перегрева за счет применения жалюзей оценивается в 33%, то на высоте 6 км над уровнем моря оно уменьшается до 15%, на высоте 12 км—до 6%, на высоте свыше 12 км жалюзи не уменьшают перегрев.

При **принудительном** воздушном охлаждении теплоотвод от внутренних полостей корпуса ЭВМ осуществляется движущимися потоками воздуха, объем и скорость движения которых определяются специальными устройствами, как правило, **вентиляторами**. При этом охлаждаются **элементы, выделяющие теплоту**, и **промежуточные теплоносители**, например вода, используемая для охлаждения особо теплонагруженных узлов.

Чем ниже температура охлаждающего воздуха и выше скорость его движения, тем эффективнее принудительное воздушное охлаждение.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭВА

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ

Понятие надежности

Один из основных параметров ЭВМ — надежность — зависит как от надежности используемой элементной базы, так и от принятых схемотехнических и конструкторских решений. Учитывая значимость современной ВТ в человеческой деятельности, требования к ее надежности постоянно повышаются. Это связано с тем, что от правильной работы ЭВМ зависят ход выполнения технологического процесса, достоверность получения результатов расчетов, надежность системы жизнеобеспечения в медицине, космического аппарата и т.д. Поэтому вопросам повышения надежности ЭВМ на всех этапах ее проектирования и производства уделяется самое большое внимание.

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.

Надежность — это сложное комплексное понятие, с помощью которого оценивают такие важнейшие характеристики изделий, как работоспособность, долговечность, безотказность, ремонтпригодность, восстанавливаемость и др.

В любой момент времени ЭВМ может находиться в **исправном** или **неисправном** состоянии.

Если ЭВМ в данный момент времени удовлетворяет всем требованиям, установленным как в отношении основных параметров, характеризующих нормальное выполнение вычислительных процессов (точность, быстродействие и др.), так и в отношении второстепенных параметров, характеризующих внешний вид и удобство эксплуатации, то такое состояние называют **исправным состоянием**.

В соответствии с этим определением **неисправное состояние** — состояние ЭВМ, 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 ЭВМ заданных функций. Например, образование вмятин или ржавчины на корпусе машины, выход из строя лампочек подсветки не могут препятствовать эксплуатации ЭВМ. Поэтому для оценки надежности систем введены понятия **«работоспособность»** и **«отказ»**.

Работоспособность, отказ. Виды отказов

Работоспособность — состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Отказ — событие, состоящее в полной или частичной утрате работоспособности системы.

Так как не всякая неисправность приводит к отказу, то различают **неисправности основные** и **второстепенные**.

Только **основные неисправности** приводят к отказу.

Второстепенные неисправности называют **дефектами**.

По характеру изменения параметров до момента возникновения отказы делят на **внезапные** и **постепенные**.

Внезапные (катастрофические) отказы возникают в результате мгновенного изменения одного или нескольких параметров элементов, из которых построена ЭВМ (обрыв или короткое замыкание).

Устранение внезапного отказа производят заменой отказавшего элемента (блока, устройства) исправным или его ремонтом.

Постепенные (параметрические) отказы возникают в результате постепенного изменения параметров элементов до тех пор, пока значение одного из параметров не выйдет за некоторые пределы, определяющие нормальную работу элементов - (старение элементов, воздействие окружающей среды, колебания температуры, влажности, давления, уровня радиации и т. п.), механические воздействия (вибрации, удары, перегрузки).

Устранение постепенного отказа связано либо с заменой, ремонтом, регулировкой параметров отказавшего элемента, либо с компенсацией за счет изменения параметров других элементов.

По характеру устранения отказы делят на **устойчивые** и **самоустраняющиеся**.

Для устранения **устойчивых** отказов оператор, обслуживающий ЭВМ, должен отрегулировать или заменить отказавший элемент.

Самоустраняющиеся отказы исчезают без вмешательства оператора и проявляются в форме **сбоя** или **перемежающего отказа**.

Сбой — однократно возникающий самоустраняющийся отказ.

Если несколько сбоев следуют друг за другом, то имеет место **перемежающийся отказ**.

Отказ типа сбоя особенно характерен для ЭВМ.

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.

Если в ЭВМ возникает сразу несколько отказов, то по их **взаимной связи** различают **независимые** отказы (возникновение их не связано с предшествующими отказами) и **зависимые** (появление их вызвано отказом в предыдущий момент времени).

По **внешним проявлениям** отказы делят на **явные** и **неявные**.

Явные отказы обнаруживаются при внешнем осмотре, а **неявные отказы** — специальными методами контроля.

Основные эксплуатационные свойства ЭВА:
безотказность, ремонтоспособность, долговечность и 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.

Безотказностью называют свойство изделия сохранять свою работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов. Безотказность измеряется в **единицах наработки**.

Ремонтоспособность — свойство ЭВМ, заключающееся в приспособлении к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Долговечность — свойство ЭВМ сохранять работоспособность до **предельного состояния** с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов.

Предельное состояние определяется технической непригодностью ЭВМ из-за снижения эффективности или требований техники безопасности и оговаривается в технической документации.

Сохраняемость — свойство изделия сохранять эксплуатационные показатели в течение заданного срока хранения и после него.

Надежность как сочетание свойств безотказности, ремонтоспособности, долговечности и сохраняемости и сами эти качества количественно характеризуются различными функциями и числовыми параметрами. Правильный выбор количественных показателей надежности ЭВМ позволяет объективно сравнивать технические характеристики различных вычислительных систем как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации (правильный выбор системы элементов, технические обоснования работы по эксплуатации и ремонту ЭВМ, объем необходимого запасного имущества и др.).

Интенсивность отказов. Графическая зависимость интенсивности отказов от времени (кривая жизни изделия)

Процесс возникновения отказов в ЭВМ обычно описывается сложными вероятностными законами. Поэтому в инженерной практике для оценки надежности ЭВМ вводят количественные характеристики, основанные на обработке экспериментальных данных.

Рассмотрим оценку надежности неремонтируемых систем. Приведенные характеристики верны и для ремонтируемых систем, если их рассматривать для случая до первого отказа.

Пусть на испытания поставлена партия, содержащая N годных изделий. В процессе испытаний некоторая их часть, например N_1 , выходит из строя. Тогда к моменту времени t_i остается $N(t_i)$ изделий. Очевидно, что

$$N(t_i) = N - N_1$$

Отношение

$$Q^*(t_i) = N_1 / N$$

характеризует **частоту отказов** (статистическую) в данном опыте и является оценкой **теоретической вероятности выхода** из строя изделия, строгое выражение для которой выглядит следующим образом:

$$Q(t_i) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_1}{N}$$

Величина $P(t_i)$, равная

$$P(t_i) = 1 - Q(t_i) = P(t_i) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N - N_1}{N}$$

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

Напротив, величина $Q(t_i)$ равна вероятности того, что к моменту t_i произойдет отказ.

Статистическая вероятность безотказной работы находится при конечных значениях N :

$$P = \frac{N - N_1}{N}$$

Вероятность безотказной работы системы может быть определена и для произвольного интервала времени $(t_1; t_2)$, т. е. не с момента включения системы, как рассматривалось ранее. В этом случае говорят об условной вероятности безотказной работы $P(t_1; t_2)$ в период $(t_1; t_2)$, имея в виду, что в момент времени t_1 (в начале наработки) система находится в работоспособном состоянии.

Условная вероятность $P(t_1; t_2)$ определяется отношением

$$P(t_1; t_2) = P(t_2) / P(t_1),$$

где $P(t_1)$ и $P(t_2)$ — соответственно значения функций надежности в начале (t_1) и конце (t_2) наработки.

В качестве показателя надежности неремонтируемых систем используют также **плотность распределения наработки до отказа** $f(t)$.

Плотностью распределения наработки до отказа $f(t)$ называют производную по времени от функции отказа $Q(t)$:

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

Отсюда видно, что величина $f(t)dt$ характеризует безусловную вероятность того, что система обязательно откажет в интервале времени $(t; t+dt)$ при условии, что в момент времени t она находилась в работоспособном состоянии.

Наиболее распространенным количественным показателем надежности является **интенсивность отказов**.

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

$$\lambda(t) = f(t) / P(t) = \frac{dQ}{P(t)dt} = -\frac{P'}{P} = \frac{dn / dt}{N - N_1}$$

Очевидно, что 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.

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

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$$

$$P(t) = -\int_t^{\infty} f(t)dt$$

Зная одну из характеристик надежности $P(t)$, $\lambda(t)$ или $f(t)$, можно найти две другие.

Если необходимо оценить условную вероятность, можно воспользоваться следующим выражением:

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

Правильно понимать физическую природу и сущность отказов очень важно для обоснованной оценки надежности технических устройств. В практике эксплуатации последних 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 . Такая идеализированная кривая для ЭВА приведена на рисунке.

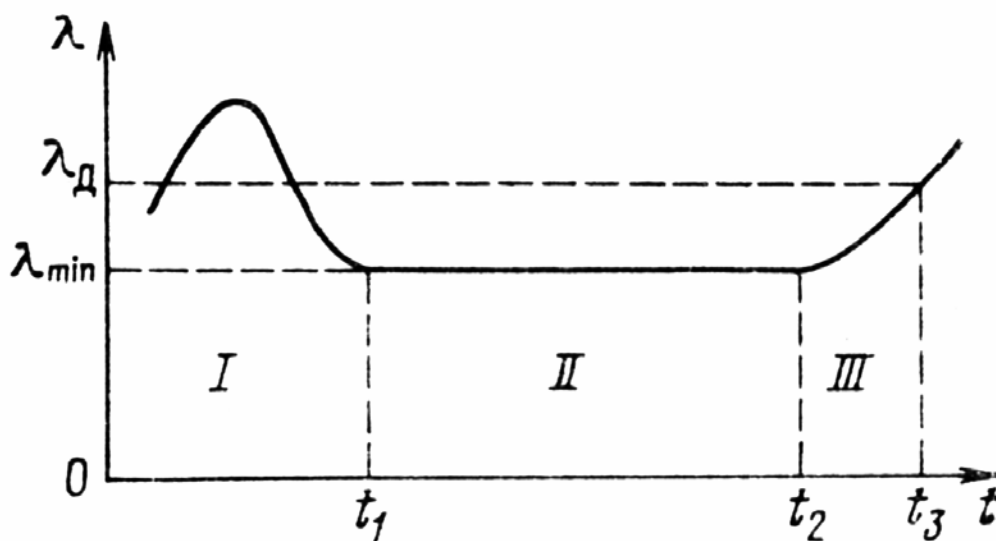


Рис. 1

Она характеризуется тремя явно выраженными периодами: приработки I нормальной эксплуатации II и износа III.

Приработочные отказы наблюдаются в **первый период** ($0 - t_1$) эксплуатации ЭВА. Они возникают, когда часть элементов, входящих в состав ЭВА, являются либо бракованными, либо имеют низкий уровень надежности. Они могут быть также следствием некачественного

выполнения сборочных операций и ошибок в монтаже.

Физический смысл приработочных отказов может быть объяснен тем, что электрические и механические нагрузки, приходящиеся на компоненты ЭВА в приработочный период, превосходят их электрическую и механическую прочность. Поскольку продолжительность периода приработки ЭВА определяется в основном интенсивностью отказов входящих в ее состав некачественных элементов, то продолжительность безотказной работы таких элементов обычно сравнительно низка, поэтому выявить и заменить их удастся за сравнительно короткое время.

В зависимости от назначения ЭВА период приработки может продолжаться *от нескольких до сотен часов*. Чем более ответственное изделие, тем больше продолжительность этого периода. Период приработки составляет обычно *доли и единицы процента* от времени нормальной эксплуатации ЭВА во втором периоде.

Как видно из рисунка, участок «кривой жизни» ЭВА, соответствующий периоду приработки I, представляют 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 ЭВА приближается к минимально достижимой (для данной конструкции) величине λ_{\min} . Это происходит в точке t_1 (т. е. по истечении времени $0—t_1$).

Приработочные отказы могут быть следствием конструкторских (например, неудачная компоновка), технологических (некачественное выполнение сборки) и эксплуатационных (нарушение режимов приработки) ошибок.

Внезапные отказы наблюдаются во **второй период** ($t_1—t_2$) эксплуатации ЭВА.

Они возникают неожиданно вследствие действия ряда случайных факторов, и предупредить их приближение практически не представляется возможным, тем более, что к этому времени в ЭВА остаются только полноценные компоненты, срок износа и старения которых еще не наступил. Однако и такие отказы все же подчиняются определенным закономерностям. В частности, частота их появления в течение достаточно большого промежутка времени одинакова в однотипных классах ЭВА.

Физический смысл внезапных отказов может быть объяснен тем, что при быстром количественном изменении (обычно — резком увеличении) какого-либо параметра в компонентах ЭВА происходят качественные изменения, в результате которых они утрачивают полностью или частично свои свойства, необходимые для нормального функционирования аппаратуры.

К внезапным отказам ЭВА относят, например, пробой диэлектриков, короткие замыкания проводников, неожиданные механические разрушения элементов конструкции и т. п.

Период нормальной эксплуатации ЭВА 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 ЭВА, выше качество ее изготовления и более тщательно соблюдены режимы эксплуатации. Период нормальной эксплуатации ЭВА общетехнического назначения может продолжаться десятки тысяч часов. Он может даже превышать время морального старения аппаратуры.

Продолжительность периода II ограничивается для ЭВА **износом и естественным старением ее элементов**. Это происходит в точке t_2 (по истечении времени $t_1—t_2$). Внезапные отказы могут быть следствием технологических (например, при использовании компонентов ЭВА со скрытыми и не-выявленными в период приработки неисправностями) и эксплуатационных (например, из-за перегрузок) ошибок.

Отказы в результате **износа** и отказы, вызванные **старением** материалов, наблюдаются **в третий период** ($t_1—t_2$) эксплуатации ЭВА. Они в большинстве случаев являются закономерным следствием постепенного износа и естественного старения используемых в аппаратуре материалов и элементов. Зависят они главным образом от продолжительности эксплуатации и «возраста» ЭВА.

Средний срок службы компонента до износа — величина более определенная, чем время возникновения приработочных и внезапных отказов. Их появление можно предвидеть на основании опытных данных, полученных в результате испытаний конкретной аппаратуры.

Физический смысл отказов из-за износов может быть объяснен тем, что в результате постепенного и сравнительно медленного количественного изменения некоторого параметра компонента ЭВА этот параметр выходит за пределы установленного допуска, вследствие чего компонент полностью или частично утрачивает свои свойства, необходимые для нормального функционирования аппаратуры. При износе происходит частичное разрушение материалов, при старении — изменение их внутренних физико-химических свойств. Последние носят, как правило, необратимый характер.

К отказам в результате износа относят потерю чувствительности, точности, механический износ деталей и др. Их наступление связано с резким возрастанием λ . Участок ($t_2—t_3$) «кривой жизни» ЭВА, 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 (т. е.

чем менее интенсивно они разрушаются). Завершается период износа III (а вместе с ним прекращается и эксплуатация аппаратуры), когда интенсивность отказов ЭВА приблизится к максимально допустимой λ для данной конструкции. Это происходит в точке t_3 (по истечении времени $t_2—t_3$).

В заключение отметим, что все перечисленные виды отказов носят случайный характер.

СТРУКТУРНАЯ НАДЕЖНОСТЬ

Структурная надежность любого радиоэлектронного аппарата, в том числе и ЭВМ,— его результирующая 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 ЭВМ, так и элементы вспомогательные, не входящие в структурную схему ЭВМ: соединения паяные, разъемные, элементы крепления и т. д.

Надежность указанных элементов достаточно подробно изложена в специальной литературе. При дальнейшем рассмотрении вопросов надежности ЭВМ будем исходить из того, что надежность элементов, составляющих структурную (электрическую) схему ЭВМ, задана однозначно.

Количественные характеристики структурной надежности ЭВМ

Для их нахождения составляют структурную схему ЭВМ и указывают элементы устройства (блоки, узлы) и связи между ними.

Затем производят **анализ схемы** и выделяют те ее элементы и связи, которые определяют **выполнение основной функции** данного устройства.

Далее 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.

Поэтому при составлении отдельных надежностных схем (устройств узлов, блоков) иногда следует объединять те конструктивные элементы, отказы которых взаимосвязаны, но не влияют на отказы других элементов.

Определение количественных показателей надежности ЭВМ с помощью структурных схем дает возможность решать вопросы выбора

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

При построении надежностных структурных схем используют *последовательное*, *параллельное* и *последовательно-параллельное* включение элементов

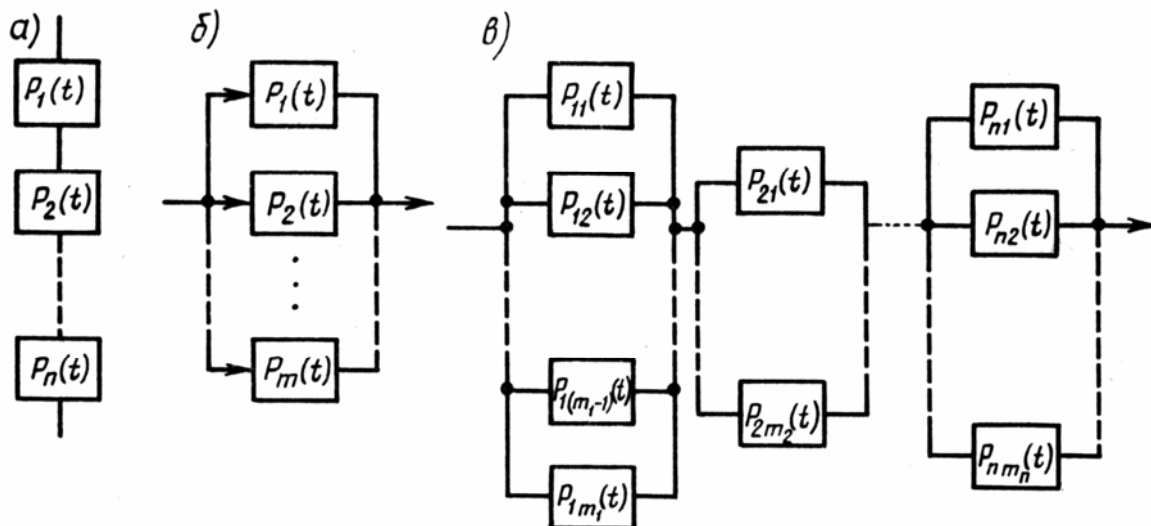


Рис. 2. Схемы последовательного (а), параллельного (б) и параллельно-последовательного (в) включения элементов в надежностной структурной схеме

При **последовательном** включении элементов (рис. 2, а) для надежной работы схемы необходима работа всех функциональных элементов.

Тогда вероятность безотказной работы схемы будет равна произведению вероятностей безотказной работы всех функциональных элементов:

$$P(t) = P_1(t)P_2(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

где n – число элементов надежностной 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 другого простейшего случая построения структурной схемы **параллельного** соединения элементов (рис. 2, б) вероятности отказов для каждого из элементов, входящих в схему,

$$Q_i(t) = 1 - P_i(t).$$

Отказ всей схемы будет иметь место тогда, когда **откажут все элементы**, т.е.

$$Q(t) = q_1(t) q_2(t) \dots q_m(t) = \prod_{i=1}^m [1 - P_i(t)]$$

где t -число параллельно соединенных элементов.

При этом вероятность безотказной работы всей схемы

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - P_i(t)]$$

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

$$T = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda} + \dots + \frac{1}{m\lambda}.$$

В общем случае при **смешанном параллельно-последовательном** соединении элементов (рис. 2, в) следует найти вероятность безотказной работы для каждой из цепочек параллельно включенных элементов, а затем для всей схемы. Для схемы, приведенной на рис. 2, в, результирующая вероятность безотказной работы

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_{ij}(t)) \right]$$

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 (в соответствии с уровнем развития техники) реально, и это является важнейшей научной и технической задачей. Повышение уровня надежности ЭВА достигается прежде всего устранением причин, вызывающих в ней отказы, т. е. сведением к минимуму (или полной ликвидации, если это возможно) конструкторских, технологических и эксплуатационных ошибок.

Значительного повышения надежности ЭВМ достигают созданием новых элементов. Так, применение ИС для построения основных узлов ЭВМ (регистров, сумматоров и др.) привело к значительному повышению надежности машин третьего и четвертого поколений.

Однако повышением надежности элементов рассмотренными выше методами не удастся в настоящее время полностью решить проблему построения надежных ЭВМ, что вызвано значительным опережением роста сложности вновь разрабатываемых ЭВМ, большими затратами при получении элементов высокой надежности, а также существованием элементов, надежность которых довольно низка и

трудно поддается повышению (устройства ввода и вывода информации и др.).

Поэтому один из путей повышения надежности ЭВМ — **введение схемной избыточности**.

Разработка методов синтеза ЭВМ, обладающих заданной надежностью, сводится к *нахождению оптимальной избыточности*. При этом основное — согласование метода повышения достоверности с наиболее вероятными ошибками, появляющимися в различных устройствах ЭВМ.

Один из видов схемной избыточности — **структурное резервирование**, предполагающее включение в схему устройства дополнительных элементов, которые позволяют скомпенсировать отказы отдельных частей устройств и обеспечить его надежную работу. Но резервирование эффективно только в том случае, когда неисправности являются статистически независимыми.

В ЭВМ ввод структурной избыточности 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.

Простейший и наиболее распространенный вид функции решения — «**закон большинства**», или **мажоритарный закон**.

В таком случае решающий элемент обычно называют **мажоритарным элементом**. Работа мажоритарного элемента состоит в следующем: на входы элемента поступают двоичные сигналы от нечетного количества идентичных элементов; выходной сигнал элемента принимает значение, равное значению, которое принимает большинство входных сигналов.

Наиболее широко используют мажоритарные элементы, работающие по закону «2 из 3». В этих элементах значение выходного сигнала равно значению двух одинаковых входных сигналов.

Кроме того, известны мажоритарные элементы, работающие по закону «3 из 5», «4 из 7» и т. д. Схема мажоритарного элемента, работающего по закону «2 из 3» и построенного из логических элементов И и ИЛИ, основана на выражении $z = x_1x_2 + x_2x_3 + x_1x_3$ и имеет вид, изображенный на рис. 4.

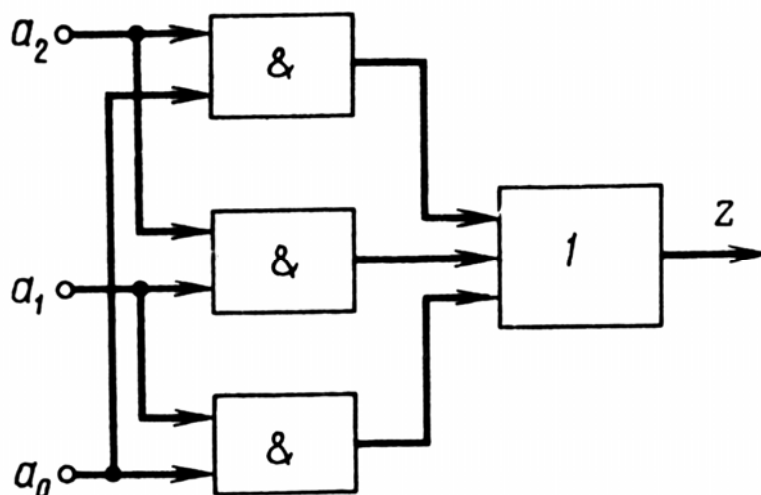


Рис. 4. Схема мажоритарного элемента «2 из 3»

По способу включения резервных элементов функциональных устройств различают **три вида резервирования: постоянное, замещением и скользящее.**

При **постоянном** резервировании предполагают, что любой отказавший элемент или узел не влияет на выходные сигналы и поэтому его **прямого обнаружения не производится.**

Постоянное резервирование наиболее распространено в невосстанавливаемых устройствах. Кроме того, оно является единственно возможным в устройствах, где недопустим даже кратковременный перерыв в работе.

Постоянное резервирование вводится или с помощью решающего блока, или в виде однотипных элементов или блоков, включенных последовательно, параллельно или, например, согласно законам k-кратной логики.

В качестве решающего блока можно использовать мажоритарные элементы с постоянными или переменными весами, кодирующие — декодирующие устройства и схемы из логических элементов И, ИЛИ, НЕ.

При резервировании **замещением** предполагается **обнаружение** отказавшего элемента или узла и **подключения 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 обычно обесточена, что повышает общую надежность системы за счет сохранения ресурса электронных устройств, кроме того, экономится энергия источников питания, имеется возможность использования одного резервного элемента на

несколько рабочих.

Вследствие **сложности** аппаратуры для автоматического включения резерва резервирование замещением целесообразно применять к крупным блокам и отдельным функциональным частям ЭВМ.

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 ЭВА

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 ЭВМ *без прерывания их работы*.

Корректирующие коды предусматривают введение в машину 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 ЭВМ 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 ЭВМ, 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*.

Далее все слова на выходе устройства анализируют. Например, если слово b_i относится к подмножеству разрешенных кодовых слов (т. е. $b_i \in B$), то это означает, что процесс идет нормально; слово b_i считают правильным и его можно декодировать.

Если на выходе устройства появляется запрещенное кодовое слово

$c_i (c_i \subset C)$, то это свидетельствует о наличии ошибки и она фиксируется.

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 c_i автоматически заменяются разрешенными кодовыми словами из той группы, к которой принадлежит c_i .

Таким образом, корректирующие коды в состоянии не только *обнаруживать* ошибки, но и *устранять* их.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ЭВА ОТ ВНЕШНИХ И ПАРАЗИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	2
Защита ЭВА ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	2
Виды механических воздействий на ЭВА	2
Понятие виброустойчивости и вибропрочности.....	2
Понятие жесткости и механической прочности конструкции.....	3
Амортизация конструкции ЭВА.....	3
Схемы размещения амортизаторов.....	4
Защита ЭВА ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	5
Влияние климатических факторов на конструкцию.....	5
Способы защиты от воздействия агрессивной внешней среды	7
Покрытия	7
Герметизация отдельных элементов, узлов, устройств или всей машины	8
Защита изделий изоляционными материалами.....	8
Защита изделий непроницаемыми для газов оболочками.....	8
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЭВА	9
Причины возникновения помех.....	9
Классификация помех	10
Основные причины, вызывающие искажения сигналов.....	11
Причины роста влияния помех	11
Подходы к оценке помех и способы их снижения	12
Помехи в сигнальных проводниках	12
Помехи в «коротких» связях.....	12
Индуктивный характер сигнальной связи.....	13
Емкостный характер сигнальной связи	14
Паразитные емкостная и индуктивная связи между сигнальными проводниками.....	15
Помехи при соединении элементов «длинными» связями.....	16
Отражения в «длинных» линиях связи	16
Паразитные наводки в «длинных» линиях связи.....	17
Методы разводки «длинных» линий связи.....	17
Наводки по цепям питания и методы их уменьшения.....	18
Применение индивидуальных сглаживающих конденсаторов (ИСК)	19
Уменьшение общих участков протекания токов элементов по шинам питания.....	20
Использование металлического листа в качестве «земли»	21
Использование сплошных металлических прокладок в качестве шин питания.....	21
Применение экранов в ЭВМ	21
Электростатическое экранирование.....	21
Магнитостатическое экранирование.....	23
Электромагнитное экранирование	23
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ КОНСТРУКЦИЙ ЭВА	23

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ И ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА.....	23
ПУТИ ПЕРЕНОСА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В АППАРАТУРЕ.....	24
<i>Передача теплоты теплопроводностью</i>	26
<i>Передача теплоты конвекцией</i>	26
Естественное и принудительное воздушное охлаждение	26
ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭВА.....	28
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ	28
<i>Понятие надежности.....</i>	28
<i>Работоспособность, отказ. Виды отказов.....</i>	29
<i>Основные эксплуатационные свойства ЭВА: безотказность, ремонтоспособность, долговечность и сохраняемость</i>	30
<i>Интенсивность отказов. Графическая зависимость интенсивности отказов от времени (кривая жизни изделия).....</i>	31
СТРУКТУРНАЯ НАДЕЖНОСТЬ	36
<i>Количественные характеристики структурной надежности ЭВМ.....</i>	36
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ	38
<i>Структурные методы повышения надежности</i>	38
<i>Информационные методы повышения надежности ЭВА.....</i>	41