

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕХ В УСТРОЙСТВАХ ЭВМ

Электротехнические основы источников  
питания

2013г.

Преподаватель Васи́лин С.В.

# ШУМЫ УСИЛИТЕЛЕЙ.

- ◎ **1. Происхождение и виды шумов.**
- ◎ Термин “шум” применяется ко всему, что маскирует полезный сигнал, поэтому шумом может оказаться какой-нибудь другой сигнал (“помеха”); но чаще всего этот термин означает “случайный” шум физической (чаще всего тепловой) природы. Шум характеризуется своим частотным спектром, распределением амплитуды и источником (происхождением)

- Рассмотрим основные виды шумов.
- “Джонсоновский шум”. Любой резистор на плате генерирует на своих выводах некоторое напряжение шума, известное как “шум Джонсона” (тепловой шум). У него горизонтальный частотный спектр, т.е. одинаковая мощность шума на всех частотах (до некоторого предела). Шум с горизонтальным спектром называют “белым шумом”. Реальное напряжение шума в незамкнутой цепи, порожденное сопротивлением  $R$ , находящимся при температуре  $T$ , выражается формулой
- где  $k$ -постоянная Больцмана,
- $T$ -абсолютная температура в Кельвинах,
- $B$ -полоса частот в герцах.

- Дробовой шум. Электрический ток представляет собой движение дискретных зарядов, а не плавно непрерывное течение. Конечность (квантованность) заряда приводит к статическим флуктуациям тока. Если заряды действуют независимо друг от друга, то флуктуирующий ток определяется формулой:
- $I_{ш.эфф.} = I_{ш.Р} = \sqrt{2qI_{пост}B}$ , где
- $q$ -заряд электрона ( Кл),
- $I_{пост}$ -постоянная составляющая (“установившееся” значение тока), а  $B$ -ширина полосы частот измерения.

- Приведенная формула выведена в предположении, что создающие ток носители заряда действуют независимо друг от друга.
- Это справедливо, когда заряды преодолевают некоторый барьер, как, например, в случае тока через диодный переход, где заряды перемещаются за счет диффузии, однако это не так, когда мы имеем дело с металлическими проводниками, где между носителями заряда существует тесная корреляция. Таким образом, ток в простой резистивной схеме имеет намного меньшую шумовую составляющую, чем это показывает формула для дробового шума.

- Шум  $1/f$  (фликкер-шум). Дробовой и тепловой шумы-неуменьшаемые виды шума, возникающие в соответствии с законами физики. Самый дорогой и тщательно изготовленный резистор имеет тот же тепловой шум, что и дешевый углеродный резистор с тем же сопротивлением. Реальные устройства, кроме того, имеют различные источники “избыточных шумов”. Реальные резисторы подвержены флуктуациям сопротивления, которые порождают дополнительное напряжение шума, пропорциональное протекающему через резистор постоянному току. Этот шум зависит от многих факторов, связанных с конструкцией конкретного резистора, включая резистивный материал и особенно концевые соединения.
- Этот шум имеет спектр, примерно описываемый зависимостью  $1/f$  (постоянная мощность на декаду частоты) и иногда называется “розовым шумом”.

- Помехи: экранирование и заземление.
- 1. Помехи. Как уже говорилось, одной из форм шумов являются мешающие сигналы или паразитные наводки. Шум в виде сигналов, приходящих по связям с источником питания и путям заземления, на практике может иметь более важное значение, чем рассматриваемый ранее внутренний шум. Например, наводка от сети 50 Гц имеет спектр в виде пика (или ряда пиков) и относительно постоянную амплитуду, а шум зажигания автомобиля, шум грозовых разрядов и другие шумы импульсных источников имеют широкий спектр и всплески амплитуды. Другим источником помех являются радио- и телепередающие станции, окружающее электрооборудование и т.п. Иногда от многих из этих источников шума можно отделаться путем тщательного экранирования и фильтрации.

- Сигнал помехи может попасть в электронный прибор по входам линий питания или по линиям ввода и вывода сигнала. Помехи могут попасть в схему и через емкостную связь с проводами (электростатическая связь-наиболее серьезный эффект для точек схемы с большим полным сопротивлением) или через магнитную связь с замкнутыми контурами внутри схемы (независимо от уровня полного сопротивления), или электромагнитную связь с проводами, работающими как небольшие антенны для электромагнитных волн. Любой из этих механизмов может передавать сигнал из одной части схемы в другую. И наконец, токи сигнала в одной части могут влиять на другую часть схемы при падении напряжения на путях заземления и линиях питания.



- **Исключение помех.** Для решения этих часто встречающихся вопросов борьбы с помехами придумано много эффективных приемов, но все они направлены на уменьшение сигнала (или сигналов) помехи, редко когда помеха уничтожается совсем. Поэтому имеет смысл повысить уровень сигнала просто для увеличения отношения сигнал/шум. Большое значение также имеют и внешние условия: прибор, безукоризненно работающий на стенде, может работать с огромными помехами в месте, для него не предназначенном. Перечислим некоторые внешние условия, которых следует избегать:
  - - соседство радио- и телестанций (РЧ-помехи),
  - - соседство линий метро (импульсные помехи и “мусор” в линии питания),
  - - близость высоковольтных линий (радиопомехи, шипение),
  - - близость лифтов и электромоторов (всплески в линии питания),
  - - здания с регуляторами освещения и отопления (всплески в линии питания),
  - - близость оборудования с большими трансформаторами магнитные наводки),
  - - особенно близость электросварочных аппаратов (наводки всех видов невероятной силы).
- Рассмотрим наиболее общие приемы при борьбе с помехами.

- **Сигналы, связанные через входы, выходы и линии питания.** В борьбе с шумами, идущими по линии питания, лучше всего комбинировать линейные РЧ-фильтры и подавители переходных процессов в линии переменного тока. Этим способом можно добиться ослабления помех на 60 дБ при частотах до нескольких сот килогерц, а также эффективного подавления повреждающих всплесков.
- С входами и выходами дело сложнее из-за уровней полного сопротивления и из-за того, что надо обеспечить прохождение полезных сигналов, которые могут иметь тот же частотный диапазон, что и помехи. В устройствах типа усилителей звуковых частот можно использовать фильтры нижних частот на входе и *на выходе* (многие помехи от близлежащих радиостанций попадают в схему через провода громкоговорителя, выполняющего роль антенн). В других ситуациях необходимы, как правило, экранированные провода. Провода с сигналами низкого уровня, в частности при высоком уровне полного сопротивления, всегда нужно экранировать. То же относится к внешнему корпусу прибора.

- **Емкостная связь.** Внутри прибора сигналы могут прекрасно проходить всюду путем электростатической связи: в какой-нибудь точке в приборе происходит скачок сигнала 10В и на расположенном рядом входе с большим полным сопротивлением произойдет тот же скачок. Что тут можно сделать? Лучше всего уменьшить емкость между этими точками (разнеся их), добавить экран (цельнометаллический футляр или даже металлическая экранирующая оплетка исключает этот вид связи), придвинуть провода вплотную к плате заземления (которая “глотает” электростатические пограничные поля, очень сильно ослабляя связь) и, если возможно, снизить полное сопротивление насколько удастся.

- **Магнитная связь.** К сожалению, низкочастотные магнитные поля не ослабляются существенно металлической экранировкой. Лучший способ борьбы с этим явлением - следить, чтобы каждый замкнутый контур внутри схемы имел минимальную площадь, и стараться, чтобы схема не имела проводов в виде петли. Эффективны в борьбе с магнитной наводкой витые пары, т.к. площадь каждого витка мала, а сигналы, наведенные в следующих друг за другом витках, компенсируются.
- При работе с сигналами очень низкого уровня, или устройствами, очень чувствительными к магнитным наводкам (головки магнитофонов, катушки индуктивности, проволочные сопротивления), может оказаться желательным магнитное экранирование. Если внешнее магнитное поле велико, то лучше применять экран из материала с высокой магнитной проницаемостью (например, из обычного железа) для того, чтобы предотвратить магнитное насыщение внутреннего экрана. Наиболее простым решением является удаление мешающего источника магнитного поля.

- **Радиочастотные помехи.**Наводки радиочастоты могут быть очень коварными, т. к. не внушающая подозрений часть схемы может работать как эффективный резонансный контур с огромным резонансным пиком. Кроме общего экранирования, желательно все провода делать как можно короче и избегать образования петель, в которых может возникнуть резонанс. Классической ситуацией паразитного приема высоких частот является пара шунтирующих конденсаторов [2], что часто рекомендуется для улучшения шунтирования питания. Такая пара образует отличный паразитный настроенный контур где-то в области от ВЧ до СВЧ (от десятков до сотен мегагерц), самовозбуждающийся при наличии усиления.

- **2. Сигнальное заземление.** Провода заземления и заземленные экраны могут доставить много неприятностей. Сущность проблемы такова: ток, протекая по линии заземления, может возбудить сигнал, который воспринимает другая часть схемы, сидящая на том же проводе заземления. Часто используют решение в лоб:
- все линии заземления сходятся в одной точке [3], но это не всегда самое верное решение.
- **Обычные ошибки заземления.** Общая ситуация представлена на рис. 1. В одном приборе находятся усилитель низкого уровня и мощный усилитель с большим потребляемым током. Первая схема сделана правильно: оба усилителя присоединены непосредственно к измерительным выводам стабилизатора напряжения питания, поэтому падение напряжения  $IR$  на проводах, идущих к мощному каскаду, не оказывает влияние на напряжения питания усилителя низкого уровня. К тому же ток нагрузки, проходя на землю, не появляется на входе низкого уровня; вообще, никакой ток не идет по проводу заземления входа усилителя низкого уровня к схемной “Мекке”.

- Во-второй схеме имеются две грубые ошибки. Флуктуации напряжения питания, обусловленные токами нагрузки каскада высокого уровня, отражаются на напряжении питания каскада низкого уровня. Если входной каскад имеет недостаточно высокий коэффициент ослабления флуктуаций питания, то это может привести к возникновению автоколебаний. Далее, ток нагрузки, возвращаясь к источнику питания, вызывает флуктуации потенциала на “земле” корпуса по отношению к заземлению источника питания. Входной каскад оказывается привязанным к этой “переменной земле”, а это, очевидно, плохо. Т.е. надо следить, где протекают большие токи сигнала и смотреть, чтобы они не влияли на вход. В некоторых случаях разумно отделить источник питания от каскада низкого уровня небольшой RC-цепью (рис. 2).

- **3. Межприборное заземление.** Идея главной точки заземления внутри одного приборра хороша, но не годится, если сигнал идет из одного прибора в другой и у каждого свое представление о “земле”. В таких случаях можно использовать одно из следующих предложений.
- **Сигналы высокого уровня.** Если сигналы имеют напряжение несколько вольт или это логические сигналы, то можно просто соединить то, что нужно, и забыть об этом. (рис. 3). Источник напряжения (обозначен между  $\Sigma$  заземлениями) представляет собой разность потенциалов между  $\Sigma$  выводами линий питания в одной и той же или в разных комнатах здания. Эта разность потенциалов состоит частично из напряжения, наведенного от сети, гармоник частоты сети, радиочастотных сигналов [4], разных всплесков и прочего “мусора”. Если наши сигналы достаточно велики, то все это, в общем-то, не важно.



- Плавающий источник сигнала. Та же несогласованность напряжений заземления в разных местах проявляется еще более серьезно на входах низкого уровня, поскольку там сигналы очень малы [6]. Если заземлить экран на обоих концах, то разность напряжений заземления появится в качестве сигнала на входе усилителя. Лучше всего отделить экран от заземления в источнике (рис. 7).

- **Изолирующие усилители.** Другим решением связанных с заземлением проблем является использование “изолирующего усилителя”. Изолирующие усилители-готовые устройства, предназначенные для передачи аналогового сигнала(с полосой частот, начинающейся от постоянного тока) от схемы с одним опорным уровнем заземления к другой схеме, имеющей совершенно другую землю(рис.8). На практике в некоторых экзотических ситуациях потенциалы этих “земель” могут отличаться на много киловольт. Применение изолирующих усилителей обязательно в медицинской электронике-там, где электроды прикладываются к телу человека, с тем, чтобы полностью изолировать такие контакты от измерительных схем, питающихся непосредственно от сети переменного тока.

- **Защита сигнала.** Это также способ уменьшения эффектов входной емкости и утечек при малых сигналах и большом полном сопротивлении. Если мы работаем с сигналами от микроэлектродов или емкостных датчиков с внутренним полным сопротивлением в сотни мегаом, то даже входная емкость в несколько пикофарад может в этом случае совместно с этим сопротивлением образовать фильтр нижних частот со спадом, начинающимся с нескольких герц. К тому же конечное значение сопротивления изоляции в соединительном кабеле легко может на порядки ухудшить рабочие параметры усилителя со сверхнизким током входного сигнала (ток смещения меньше пикоампера) за счет утечек. Обе эти проблемы решаются путем использования *защитного электрода* (рис. 9).

- Внутренний экран соединен с повторителем; это эффективно исключает токи и резистивных, и емкостных утечек за счет нулевой разности потенциалов между сигнальным проводом и его окружением. Внешний заземленный экран предохраняет от помех защитный электрод; не доставляет хлопот работа повторителя на емкость и утечку между экранами, т.к. у повторителя малое полное выходное сопротивление.
- Этот прием не следует применять чаще, чем это необходимо; имеет смысл ставить повторитель как можно ближе к источнику сигнала, защищая лишь небольшой отрезок кабеля, соединяющий сигнал после повторителя с его низким полным выходным сопротивлением к отдаленному усилителю можно и по обычному экранированному кабелю.

- **Методы сужения полосы пропускания.**
- Эти меры принимаются для улучшения отношения сигнал/шум. Мы сужаем ширину полосы пропускания и сохраняем тем самым нужный сигнал, сократив одновременно общее количество принимаемых шумовых сигналов.
- Известно несколько методов сужения полосы пропускания, получивших широкое распространение на практике:
  - -усреднение сигнала,
  - -переходное усреднение,
  - -метод интегрирования,
  - -многоканальное уплотнение,
  - -амплитудный анализ импульсов,
  - -детектирование с захватом,
  - -фазовое детектирование.
- Все эти методы предполагают, что сигнал является периодическим[7].
- Мы не будем рассматривать эти методы.

- **Классификация помех в устройствах ЭВМ.**
- Борьба с помехами приобретает все большую актуальность по многим причинам, вот некоторые из них:
- -рост доли задержек сигналов в линиях связи по сравнению с задержками собственно логических элементов, обусловливаемых конечностью скорости распространения сигналов в линиях связи и переходными процессами в них,
- - возрастающая зависимость быстродействия ЭВМ, правильности ее функционирования от оптимальности выбора конструктивного исполнения линий связи и принятия соответствующих схемотехнических мер,
- -возрастание взаимного влияния между элементами и линиями связи из-за увеличения плотности размещения элементов компонентов.

- **1. Линии связи.** Линии связи (ЛС) заметно влияют на процессы передачи информации. Влияние ЛС определяется ее типом. В зависимости от соотношения длительности фронта передаваемого сигнала и времени распространения его по ЛС последние подразделяют в случае анализа помех на *электрически короткие и электрически длинные линии*.
- Линия связи считается *электрически короткой линией*, если ,
- где  $t_f$  - время спада и нарастания передаваемого сигнала
- соответственно;
- $l$  - длина линии связи;
- $v_p$  - скорость распространения сигнала в линии связи.
- На практике принимают
- ,
- где  $\epsilon$  - диэлектрическая постоянная среды;
- $c_0 = 300000$  км/с.
- Линия связи считается *электрически длинной линией*, если
- .

- **2. По характеру воздействия на дискретную информацию помехи в устройствах ЭВМ, выполняемых на ИС, проявляются как задержки передачи импульсов, искажения фронтов импульсов, искажения уровней передаваемых потенциалов, уменьшение амплитуд передаваемых импульсов, постоянные смещения уровней напряжения питания.**



- ◎ **3. По источнику создания помех их целесообразно разделять на помехи внешние, как правила, наводки, создаваемые внешними по отношению к рассматриваемому устройству аппаратами, устройствами, условиями эксплуатации, и помехи внутренние, обуславливаемые конкретным выполнением линий связи в рассматриваемом устройстве.**

- ◎ **4. По месту проявления помехи могут быть подразделены на помехи в сигнальных линиях связи и в цепях питания. Видом проявления внутренних помех в электрически коротких ЛС являются задержки сигналов из-за емкостного или индуктивного характера линии связи, емкостные и индуктивные взаимные наводки между сигнальными проводниками, а внутренних помех в электрически длинных ЛС-задержки передачи сигналов, искажения формы передаваемых сигналов из-за отражений, взаимные наводки между линиями связи, затухания сигналов.**

- Помехи в цепях питания и меры по их уменьшению.
- 1.К проявлениям помех в цепях питания относят: постоянные смещения уровня шины “земля”, обусловливаемые ее активным сопротивлением; импульсные ЭДС, вызываемые динамическими токами потребления ИС в индуктивности шин “земля” и “питание”, динамическими токами перезаряда “паразитных” емкостей линий связи; периодические колебания напряжения питания, вызываемые реактивным характером цепей питания.

- **2. Статические помехи в цепях питания.**  
Помехи в цепях питания возможны из-за падения напряжения на активном сопротивлении шин “земля” и “питание” при протекании по ним постоянных токов; возникновения ЭДС самоиндукции в цепи шин питания при протекании по ним импульсных токов; “медленных” колебательных процессов в шинах питания при “бросках” тока нагрузки.
- Чтобы свести к минимуму “постоянную” помеху, необходимо выбрать такую конструкцию шин “земля”, при которой падение на ней напряжения от постоянного тока было бы меньше наперед заданного допустимого значения  $U_{\text{пом. доп.}}$ , рассчитываемого из условия обеспечения помехозащищенности устройства.

- Рассмотрим случай, когда  $n$  одинаковых логических элементов имеют одну общую шину “земля”, присоединенную к нулевой точке на одном конце шины (рис. 10). Очевидно, что в наихудшем режиме с точки зрения помехозащищенности работает  $n$ -й элемент, поскольку его реальная статическая помехозащищенность уменьшается по сравнению с номинальной (паспортной) на значение падения напряжения на шине “земля” в точке его присоединения и для  $n$ -го элемента это падение напряжения составляет максимальное значение  $U_{\text{пом}}$ .
- Величина  $U_{\text{пом}}$  приближенно рассчитывается по схеме рис. 10б.
- Обозначая через  $DR_{\text{ш}}$  сопротивление участка общей шины “земля” между двумя расположенными рядом микросхемами, а через  $I_{\text{ип}}$  ток потребления одной микросхемы, можно записать:
- $U_{\text{пом}} = DR_{\text{ш}}I_{\text{ип}} + DR_{\text{ш}}(n-1)I_{\text{ип}} + \dots + DR_{\text{ш}}I_{\text{ип}} = DR_{\text{ш}}I_{\text{ип}}(1+2+\dots+(n-1)+n) =$
- $= DR_{\text{ш}}I_{\text{ип}}(n+1)2.$

- **3. Импульсные помехи в цепях питания.** Они обуславливаются главным образом кратковременными возрастаниями (“бросками”) токов потребления интегральных микросхем при переключении последних из одного логического состояния в другое и, во-вторых, динамическими токами перезаряда паразитных емкостей сигнальных линий связи (собственных емкостей сигнальных проводников относительно шины “земля”). Эти относительно большие по значению и короткие по длительности токи [8], протекая по шине “земля” цепи питания, вызывают на индуктивности общих шин “земля” импульсные падения напряжения. Последние, приложенные ко входу микросхем, действуют как импульсные помехи. Рассмотрим механизм возникновения импульсных помех для обоих случаев.
- Для изучения причин возникновения импульсных помех из-за бросков тока потребления ИС рассмотрим такую конструкцию шин питания, когда  $n$  одинаковых элементов подключены к шинам “питание” и “земля” через некоторое равное расстояние, причем  $n-1$  любых элементов одновременно переключается из одного устойчивого состояния в другое, а на вход одного, например
- $n$ -го, элемента (рис. 12а) подключен сигнал логического нуля  $U_{вх}$ .

- **Заключение.**
- Надежность и достоверность работы электронных вычислительных машин в существенной степени определяются их помехозащищенностью по отношению к внешним и внутренним, случайным и регулярным помехам. От правильного решения задачи обеспечения помехоустойчивости элементов и узлов ЭВМ зависят как сроки ее разработки, изготовления и наладки, так и нормальное ее функционирование в процессе эксплуатации. Наиболее успешная борьба с помехами возможна лишь в том случае, когда разработка электрических схем и конструкций элементов и узлов ЭВМ неразрывно связаны.
- Аналогичный подход справедлив и для всех прочих устройств.
- Методов снижения шумов в устройствах и повышения помехоустойчивости устройств на порядок больше, чем самих шумов и видов помех, т.к. для каждой конкретной схемы существуют свои оптимальные методы уменьшения помех.
- Это ужасно с точки зрения перебора и применения методов, кроме того, требует большой практической сноровки; но все, чего мы можем добиться-лишь в той или иной степени подавить шум или помеху.