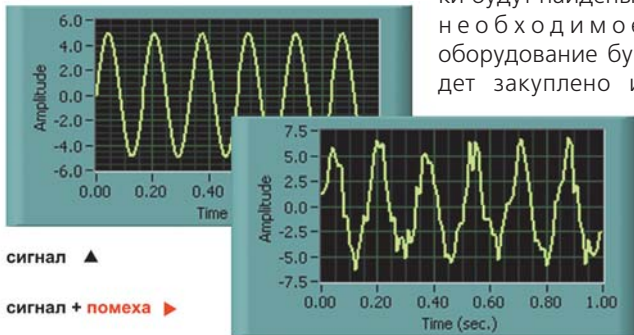




Нехватку средств для автоматизации научного эксперимента или технологического процесса можно назвать серьезной помехой на пути прогресса. Но, скорее это не помеха, а препятствие. С настоящими помехами системный интегратор столкнется, когда средства все-таки будут найдены, но оборудование будет закуплено и



начнется пуско-наладка на объекте. Вот тогда в измерительных цепях и появятся паразитные сигналы, влияющие на информативные параметры. Это и будут помехи, явление, мало сказать, неприятное. И придется с ними бороться. А для этого, надо знать какие бывают помехи, чем они могут быть вызваны и как защитить от них измерительные каналы.

Начнем, пожалуй, с рассмотрения краткой систематизации помех. По месту расположения источников помех можно выделить:

- внутренние помехи;
- внешние помехи.

Внутренние помехи обусловлены паразитными процессами в измерительных устройствах и измерительных цепях. К таким помехам относятся, например, тепловые шумы электронных компонентов, термоэлектрические или гальванические сигналы в линиях связи и контактах разъемов, заряды от трибоэлектрических эффектов (заряды, возникающие между центральной жилой и внешней оплеткой кабеля).

Внешние помехи обусловлены влиянием электромагнитных полей, формируемых внешними источниками.

Внешние помехи (наводки) подразделяются на:



Влияние помех на измерительные цепи

Тесленко В.А., НТУУ "Киевский политехнический институт", г.Киев

- природные (атмосферные);
- промышленные (индустриальные).

Наиболее распространенными источниками атмосферных помех являются грозовые разряды.



Индустриальные помехи вызваны действием различных энергетических установок, источников радиоизлучений, компьютеров, электросварочных аппаратов, систем электрического зажигания и т.д.

По временным и частотным характеристикам помехи можно разделить на:

- детерминированные;
- случайные;

Детерминированные помехи представляют собой полигармонические паразитные сигналы. Чаще всего это: наводки с частотами питающих сетей, 50 Гц или 60 Гц, в зависимости от частот национальных энергетических сетей различных стран; гармоники этих частот; импульсные последовательности.

Случайные (флуктуационные) помехи представляют собой случайные процессы, вызванные одновременным действием нескольких источников сигналов, например, излучением нескольких радиостанций.



По характеру воздействия на измерительный сигнал помехи разделяются на аддитивные и неаддитивные (в частности, мультипликативные). Первые - суммируются с измерительным сигналом, вторые - вызывают паразитную модуляцию измерительного сигнала.

По механизму воздействия на измерительные цепи различают:

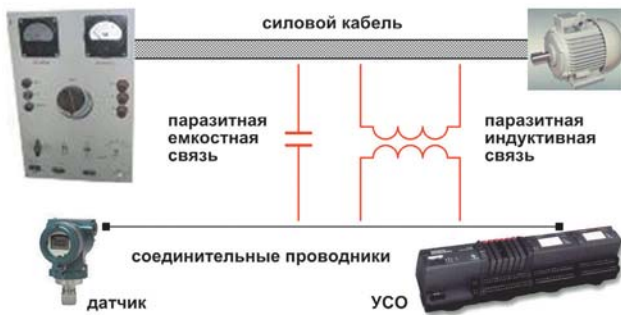
- помехи нормального вида (поперечные);
- помехи общего вида (продольные).

Поперечные и продольные помехи, прежде всего, действуют на соединительные линии и имеют широкий спектр частот. Помехи нормального вида (поперечные) возникают в измерительной цепи, как в электромагнитном контуре.

Помехи нормального вида обусловлены наличием кондуктивных, емкостных и индуктивных связей измерительных цепей с внешними источниками электрических и электромагнитных сигналов. Это могут быть, например,



наводки от силовых кабелей, наводки от коммутационных процессов, наводки от излучений радиостанций, перекрестные наводки от других измерительных цепей. Такие помехи имеют преимущественно аддитивный характер и называются, также - дифференциальными, так как по-разному действуют на входы измерительного устройства.

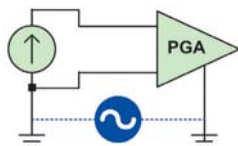


Амплитудные значения помех нормального вида, на практике, могут достигать единиц и десятков мВ. Для предварительной оценки возможной величины помехи некоторыми фирмами рекомендуется использовать следующее эмпирическое соотношение. В измерительной цепи протяженностью в 1 м, расположенной на расстоянии 1 м от силового кабеля, проходящего параллельно этой цепи и с током потребления нагрузкой 1 А, наводится помеха порядка 1 мВ.

Помехи общего вида (продольные) вызваны наличием разности потенциалов между общими точками измерительной цепи. Эти помехи также называют помехами из-за неэквипотенциальности или помехами заземленных контуров.



Такие помехи еще называют синфазными (по характеру воздействия на входы измерительного устройства). Синфазные помехи могут иметь место и в пределах небольшой электронной схемы на печатной плате, и в протяженной измерительной цепи в условиях промышленного производства. Если в первом случае уровень таких помех обычно не превышает единиц мВ, то во втором случае - уровень продольных помех может достигать сотен вольт.



Например, при грозовых разрядах в цепях электроснабжения могут возникать выбросы напряжения от 10 до 20 кВ. Поскольку защитное заземление представляет собой цепь возврата тока с низким импедансом, паразитные выбросы напряжения по цепям электроснабжения могут наводить в контуре заземления броски токов значительных амплитуд, вызывая кратковременные изменения разности потенциалов в его цепи величиной до сотен вольт и длительностью от единиц до сотен миллисекунд.

Ну вот, если кратко, но в доступной форме и все, что следует знать о помехах. Перейдем к рассмотрению основных способов уменьшения влияния помех на измерительные устройства. Для этого используются:

- способы защиты измерительных устройств от помех;
 - способы обработки измерительных сигналов.
- Способы защиты измерительных устройств от помех сводятся к использованию таких конструктивных решений, которые уменьшают влияние перечисленных выше паразитных связей на сигналы в измерительных цепях:
- ослабляют паразитные кондуктивные, емкостные и индуктивные связи между элементами измерительных устройств, между измерительными устройствами и окружающими предметами или землей;
 - уменьшают разности потенциалов между защищаемой измерительной схемой и окружающими предметами;
 - обеспечивают компенсацию помех.
- К конструктивным решениям, уменьшающим действия помех на измерительные цепи, относятся:
- скрутка проводов;
 - защитное экранирование;
 - симметрирование измерительной цепи;
 - гальваническая развязка измерительных цепей.



Скрутка (скручивание) проводов соединительных линий значительно уменьшает влияние паразитных индуктивных связей. Скрутка проводов обеспечивает уменьшение влияния общего электромагнитного контура за счет образования множества небольших контуров, которые включены встречно.

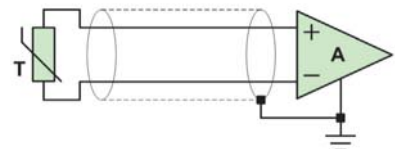
Более распространенным названием скрученных проводников является термин "витая пара". Витая пара широко применяется для передачи информационных сигналов.



Экранирование измерительных цепей. Защитное экранирование обеспечивает уменьшение паразитных емкостных и индуктивных связей. Экран представляет собой проводящую оболочку, выполненную в виде сеточной или сплошной оплетки (иногда - в виде металлической трубы). Эффективность защитного экранирования зависит не только от физических свойств экрана, но и от правильного подключения экрана к общей точке схемы (правильного заземления).



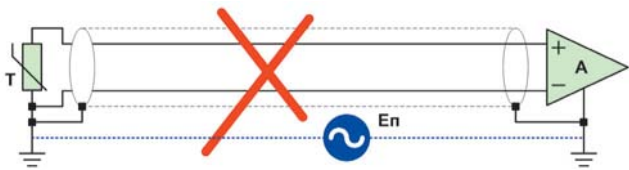
В тех случаях, когда датчик **T** изолирован от земли, а измерительное устройство **A** заземлено, экран должен быть подключен к общей точке заземления датчика и измерительного устройства.



ство **A** (инструментальный усилитель) заземлено - экран подключается к общей точке схемы (земле) возле измерительного устройства.

В случае подключения заземленного датчика к заземленному измерительному устройству, экран соединяется с землей вблизи датчика.

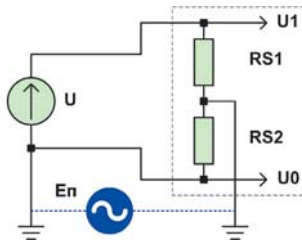
При этом не допускается подключение экрана к земле измерительного устройства, так как в этом случае образуется по экрану дополнительный контур протекания паразитного тока от источника помехи общего вида E_n . Протекающий по экрану ток наводит паразитный сигнал на внутренних проводниках.



Симметрирование измерительной цепи

существенно уменьшает влияние помехи общего вида (синфазной помехи). Суть симметрирования заключается в использовании дифференциальной схемы подключения входной цепи измерительного устройства.

Эквивалентная схема входа такого измерительного устройства представляет собой два сопротивления $RS1$ и $RS2$, цепь соединения которых подключена к общей точке схемы - к земле. В этом случае паразитные токи от источника помехи общего вида E_n будут протекать по двум контурам (контур, включающий сопротивление $RS1$ и контур, включающий сопротивление $RS2$).

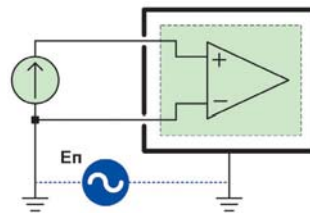


При равенстве указанных сопротивлений, действие паразитных токов будут полностью компенсироваться и выходное напряжение ($U1 - U0$), будет равно напряжению датчика U . Увеличение сопротивлений $RS1$ и $RS2$ уменьшает значения паразитных контурных токов. Наиболее эффективным решением такого подхода является применение инструментальных (дифференциальных) усилителей на входе измерительных устройств (как это показано на предыдущих рисунках), которые обеспечивают ослабление синфазных помех более чем в 10000 раз (на 80 дБ). Возможные амплитудные значения синфазных помех в этих случаях не должны превышать, обычно, нескольких десятков вольт, что определяется свойствами полупроводниковых инструментальных усилителей.

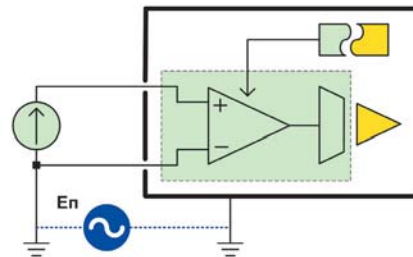
Для обеспечения защиты от помех больших амплитудных значений и для повышения степени подавления синфазных помех применяют изоляцию (гальваническую развязку измерительных цепей). При этом измерительная схема изолируется от корпуса измерительного устройства, который подключен к защитному заземлению.

В тех случаях, когда измерительное устройство имеет автономный источник питания, например, аккумуляторную батарею, и не требуется передачи измерительной информации на другие устройства, такое решение обеспечивает значительное подавление помехи общего вида, так как, практически, разрывается электрическая цепь для

протекания тока от источника помехи E_n . Однако в случаях передачи информации на другие устройства, например, компьютер - необходимо, кроме изоляции, обеспечить и гальваническое разделение, гальваническую развязку, как по цепям передачи измерительной информации, так и по цепям питания. Для этого используются, так называемые, устройства гальванической развязки. А для развязки же по цепям питания применяются устройства, именуемые DC/DC преобразователями.



Для построения устройств гальванической развязки обычно используются высокочастотные трансформаторы с малой проходной емкостью, высоковольтные конденсаторы малой емкости, оптронные пары или преобразователи на основе магниторезисторов.



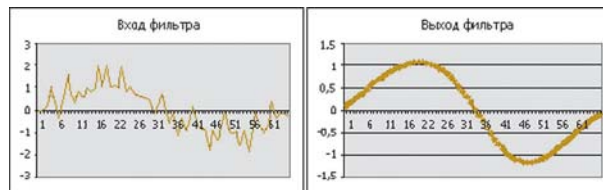
Гальваническая развязка позволяет не только защититься от помех общего вида, но и защитить человека от поражения электрическим током. Разделение может быть либо в аналоговом виде (усилители с гальванической развязкой), либо в цифровом виде. Выпускаемые усилители с гальванической развязкой обеспечивают подавление помехи общего вида синфазного сигнала от 100 до 170 дБ и их пробойное напряжение сопротивления изоляции лежит в пределах от 200 до 6000 В.



Способы обработки измерительных сигналов, уменьшающие влияние действующих помех на результаты измерений, включают различные виды фильтрации, статистическую обработку, модуляцию/демодуляцию сигналов.

Фильтрация сигналов применяется в тех случаях, когда спектры измерительных сигналов и помех не перекрываются. В зависимости от соотношений указанных спектров, применяется низкочастотная, высокочастотная или полосовая фильтрация. При этом используются как аналоговые фильтры (активные и пассивные), так и цифровые фильтры.

В качестве характерного примера можно привести результат выделения измерительного сигнала низкой частоты из смеси сигналов и помех при использовании фильтра нижних частот:



При измерении сигналов постоянного уровня, например, напряжений постоянного тока широко применяется такой вид фильтрации, как интегрирование. Интегрирование используется для уменьшения влияния периодических (гармонических) помех, наводок с частотами питающих сетей. В результате интегрирования суммы постоянного сигнала X и гармонической помехи $U \sin \omega t$, за время, кратное периоду помехи nT ($T = 2\pi/\omega$), влияние помехи полностью исключается:

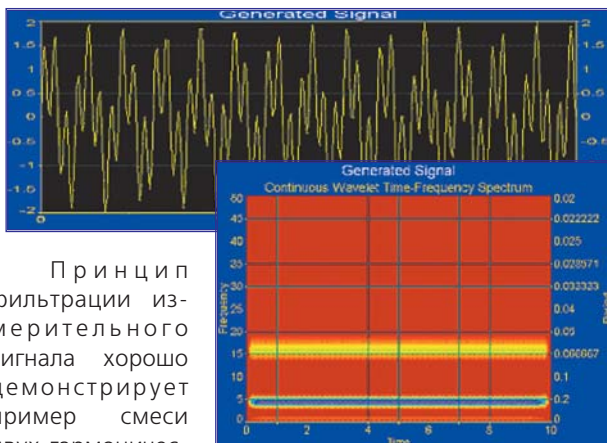
$$\int_0^{nT} (X + U \sin \omega t) dt = X \cdot \text{так как} \int_0^{nT} U \sin \omega t dt = 0.$$

Частота питающей сети ω может изменяться в определенных пределах, поэтому при фиксированном времени интегрирования nT , и ($T \neq 2\pi/\omega$), второй интеграл будет отличаться от нуля, что приводит к эффекту неполного подавления помехи. Поэтому, для повышения эффективности интегрирования, применяется:

- подстройка времени интегрирования к периоду помехи ;
- весовое интегрирование.

Говоря о фильтрации помех нельзя не упомянуть о специфической обработке сигналов, использующей вейвлет-преобразование (вейвлетный анализ). Это модное направление в области обработки сигналов эффективно для уменьшения влияния шумовые компоненты и особенно больших случайных импульсных помех.

Вейвлетный анализ представляет собой особый тип линейного преобразования сигналов и отображаемых этими сигналами физических данных о процессах и физических свойствах природных сред и объектов. Вейвлеты (wavelet - короткая волна) - это обобщенное название функций определенной формы, имеющих вид коротких волновых пакетов с нулевым интегральным значением. Они создаются с помощью специальных базовых функций, которые определяют их вид и свойства. В отличие от традиционного преобразования Фурье вейвлет-преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого сигнала, при этом частота и координата рассматриваются как независимые переменные. В результате возможен одновременный анализ свойств сигнала во временном (координатном) и частотном пространстве. Вейвлетные функции позволяют анализировать локальные особенности процессов, которые не могут быть выявлены с помощью традиционных преобразований Фурье и Лапласа. Принципиальное значение имеет возможность вейвлетов анализировать нестационарные сигналы с изменением компонентного содержания во времени или в пространстве.

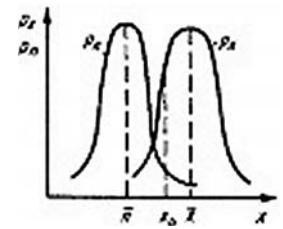


Принцип фильтрации измерительного сигнала хорошо демонстрирует пример смеси двух гармонических

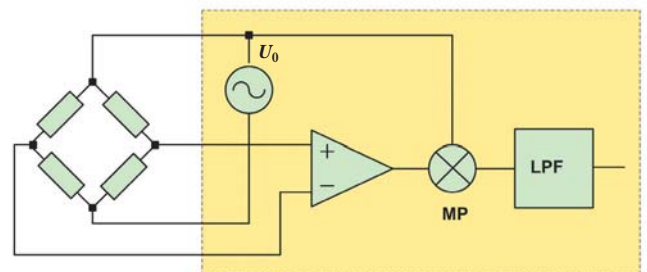
сигналов, разных частот и их отображение в виде вейвлет-преобразования - двух полос, соответствующих двум различным частотам.

Статистическая обработка - эффективна в тех случаях, когда сигнал и помеха имеют различные статистические характеристики.

Например, если помеха является шумом, а сигнал статистически независим от помехи. Статистическая обработка реализуется, обычно, как один из методов цифровой обработки сигналов.



Синхронная модуляция-демодуляция. В этом случае, в состав измерительного устройства входит аналоговый умножитель МР и фильтр нижних частот LPF. Перемножение сигналов с последующей низкочастотной фильтрацией позволяет эффективно выделить информативную составляющую сигнала. Учитывая, что фильтр нижних частот реализует процедуру интегрирования, то



помехи, с частотами, отличными от ω - частоты источника напряжения питания ($U_0 = U_m \cdot \sin \omega t$), полностью устраняются. Здесь полезно вспомнить свойства системы ортогональных сигналов. Например, если в измерительной цепи действует помеха $U = U_n \cdot \sin \omega_p t$, то на выходе умножителя появится составляющая $(U_m \cdot \sin \omega t) \cdot (U_n \cdot \sin \omega_p t)$, а на выходе фильтра действие этой составляющей будет определяться соотношением:

$$\int_{-\infty}^{\infty} (U_m \cdot \sin \omega t) \cdot (U_n \cdot \sin \omega_p t) dt = 0$$

Таким образом, осуществляется подавление всех возможных неинформативных частотных составляющих в спектре измерительного сигнала.

Заключение. Защита измерительных цепей и устройств от помех является важной задачей улучшения метрологических характеристик измерений. Для повышения помехозащитности применяются различные способы и их сочетания. А выбор тех или иных сочетаний способов защиты зависит от измерительной схемы, ее назначения, характера и вида помех.

КОНТАКТЫ:

т. (044) 245-31-00

e-mail: tesva@yandex.ru