

8.2. Классификация ИРП

Индустриальные радиопомехи делятся на множество групп, классов и подклассов в зависимости от среды распространения, спектрального состава, механизма образования и воздействия на приемник.

По функциональному назначению устройства-источники ИРП делятся на следующие основные группы:

- бытовые приборы и устройства;
- электрическое световое оборудование;
- автомобили и устройства с двигателями внутреннего сгорания;
- промышленные, научные, медицинские и бытовые высокочастотные устройства;
- высоковольтные воздушные линии электропередачи (ЛЭП) и электрические подстанции;
- системы с электротягой;
- приемники звукового и телевизионного вещания и другая бытовая радиоэлектронная аппаратура (БРЭА);
- оборудование информационных технологий (ОИТ).

К бытовым приборам и устройствам относятся электрические инструменты, регулирующие устройства на полупроводниковых приборах, электрические медицинские приборы с приводом от электродвигателей, электрические и электронные игрушки; кино- и диапроекторы, холодильники, стиральные машины, электробритвы и т.д. Данные устройства предназначены для использования в жилых домах или подключения к электрическим сетям жилых домов. Помехообразующими элементами бытовых приборов и устройств являются коллекторные электродвигатели, коммутирующие и переключающие системы, выпрямительные схемы и т.п. ИРП от бытовых приборов и устройств могут оказывать мешающее действие радиоприему в полосе частот 0,15...1000 МГц.

Электрическое световое оборудование широко используют в жилых домах, производственных помещениях, на улицах и т.д. К данной группе источников ИРП относятся светильники с лампами накаливания и с люминесцентными лампами, оборудование ультрафиоле-

тового и инфракрасного излучения и т.п. В светильниках с люминесцентными лампами помехообразующими элементами являются собственно люминесцентные лампы и схемы для их зажигания. Причиной возникновения ИРП в лампе является непостоянство электрических характеристик при газовом разряде и их значительный разброс в партии однотипных изделий. Индустриальные помехи от электрического светового оборудования проявляются на частотах 0,15...600 МГц.

Автомобили и устройства с двигателями внутреннего сгорания являются одним из наиболее распространенных источников ИРП. Наиболее значимый вклад в ЭМО автомобиля вносят в городах и на транспортных магистралях. Основным помехообразующим элементом в автомобилях и устройствах с двигателями внутреннего сгорания является система зажигания. Индустриальные помехи от системы зажигания представляют собой поток пачек импульсов длительностью от наносекунд до миллисекунд. Кроме систем зажигания, источниками ИРП служат бортовые компьютеры, электронное и электрическое оборудование автомобиля. Для оценки ЭМС автотранспорта и РЭС, расположенных вне автомобиля, в том числе РЭС систем подвижной связи, рассматриваются суммарные ИРП от потока автомобилей. В этом случае параметры ЭМС зависят также от автомобильного трафика. Индустриальные помехи от автомобилей могут оказывать мешающее действие радиоприему на частотах от 0,15 МГц до 4 ГГц.

Промышленные, научные и медицинские (ПНМ) устройства представляют отдельную, с точки зрения управления использованием РЧС, группу источников ИРП. Основным помехообразующим элементом ПНМ устройств является генератор, частота излучения которого задана. Частоты основного излучения ПНМ устройств определены МСЭ на первичной основе. В России частоты излучения ПНМ устройств определены на вторичной основе, однако число выделенных частот больше. ИРП в ПНМ устройствах образуются на частоте основного излучения и частотах гармонических составляющих. Кроме того, источниками ИРП являются цепи питания, контроля и управления. К ПНМ устройствам относятся промышленное оборудование для индукционного, диэлектрического и СВЧ нагрева, аппараты для сварки металла, труб, пластмасс, генераторы сигналов, анализаторы спектра, синхрофазотроны, установки для микроволновой и коротковолновой терапии, инфракрасные и СВЧ печи для приготовления продуктов и т.п. Радиопомехи, создаваемые гармониками ПНМ устройств, работающих на выделенной частоте 2,45 ГГц, могут оказывать мешающее воздействие на радиоприем на частотах до 18...20 ГГц.

Высоковольтные воздушные линии электропередачи представляют протяженный источник помех. Помехообразующими элементами ЛЭП являются коронные разряды на проводах и разряды на изоляторах и арматуре. ИРП, образованные короной на проводах, преобладают на частотах 20...30 МГц. ИРП, образованные разрядами на изоляторах и арматуре линии, проявляются на частотах до нескольких гигагерц. Уровень ИРП в значительной степени зависит от конструкции и напряжения ЛЭП, а также от погодных условий. При дожде уровень ИРП, создаваемых коронными разрядами на проводах, может увеличиваться на 20 дБ по сравнению с уровнем радиопомех в сухую погоду. Общее электромагнитное поле ИРП от ЛЭП представляет собой сумму отдельных полей от каждого источника.

К *системам с электротягой* как к комплексному источнику ИРП относятся электрифицированные железные дороги и городской электротранспорт. Помехообразующими элементами систем с электротягой являются подвижной состав, контактная сеть, линии энергоснабжения, тяговые подстанции, электродепо, устройства сигнализации, централизации и блокировки. Наиболее высокий уровень ИРП от подвижного состава возникает в процессе токоъема с контактного провода. Этот уровень крайне нестабилен и в значительной степени зависит от условий токоъема, определяемых конструкцией токоприемника, материалом

контактирующих пластин пантографов и контактного провода, системой подвески и натяжением проводов, силой контактного давления, скоростью движения, состоянием пути. В данном случае ИРП могут создаваться в виде одиночных импульсов, пачек импульсов и непериодических импульсных последовательностей. ИРП от систем с электротягой могут нарушать радиоприем на частотах до 1...2 ГГц.

К группе *звуковых и телевизионных вещательных приемников* и другой БРЭА относятся видеоманитофоны, магнитофоны, усилители и т.п. Помехообразующими элементами БРЭА являются гетеродины, модуляторы, источники питания и др. Основным отличием звуковых и ТВ приемников от других бытовых устройств является то, что дополнительным элементом, излучающим ИРП, служит антенный кабель. Индустриальные помехи от звуковых и телевизионных приемников проявляются в полосе частот до нескольких гигагерц.

К *оборудованию информационных технологий* относятся компьютеры, факсимильные и телефонные аппараты, кассовые терминалы, устройства для считывания кодов и т.п. Помехообразующими элементами являются источники питания, особенно импульсные, контактные устройства, задающие генераторы и др. Тактовая частота задающих генераторов компьютеров составляет сотни мегагерц, поэтому радиопомехи от них занимают полосу приблизительно до 10 ГГц. В компьютерных сетях ИРП могут распространяться на значительные расстояния по сетевым кабелям. Кроме того, кабельная сеть является излучателем ИРП.

По месторасположению устройства-источники ИРП делятся на следующие основные группы:

- технические средства, применяемые в промышленных зонах;
- технические средства, применяемые в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением;
- предприятия на выделенных территориях;
- оборудование и аппаратура, устанавливаемые совместно со служебными радиоприемными устройствами.

К *группам электроустройств, применяемым в промышленных, жилых, коммерческих и производственных зонах с малым энергопотреблением*, относится электрооборудование промышленного, энергетического, транспортного, медицинского и коммунального назначения, работающее от напряжения не выше 1000 В (например, устройства с электродвигателями, преобразователи электрического тока, аппараты и установки электросварки, электроинструмент, подъемники и др.). Отдельную группу составляют предприятия различного назначения на выделенных территориях или в отдельных зданиях: промышленные (фабрики, заводы), медицинские (поликлиники, больницы) и др. В зависимости от используемого на предприятиях (в больницах) оборудования ИРП могут излучаться на частотах от сотен мегагерц до десятков гигагерц.

Группа оборудования и аппаратуры, которые устанавливаются совместно со служебными радиоприемными устройствами, подразделяется на следующие классы:

- 1 — радиоэлектронное и электронное оборудование;
- 2 — электротехническое, электромеханическое оборудование и источники электрической энергии;
- 3 — подвижные объекты (в том числе средства электропитания с двигателями внутреннего сгорания).

По видам радиослужб, совместно с которыми устанавливается оборудование и аппаратура 1-го и 2-го класса, они делятся на следующие подклассы:

- аппаратура (оборудование) объектов со станциями сухопутных фиксированных и подвижных служб;

- аппаратура (оборудование) объектов со станциями воздушных подвижных и фиксированных служб, космических и земных станций;
- аппаратура (оборудование) объектов (подвижных и береговых) со станциями морской подвижной службы.

Устройства 3-го класса подразделяются на следующие подклассы:

- объекты для размещения станций сухопутных подвижных служб и автономные средства электропитания с двигателями внутреннего сгорания;
- объекты со станциями воздушных подвижных служб.

К устройствам последней группы применяются специальные, наиболее жесткие требования по допустимым уровням ИРП.

По спектральному составу различают широкополосные и узкополосные ИРП [9].

Термин «широкополосное излучение» означает, что по уровню 3 дБ полоса частот его энергетического спектра шире некоторой эталонной полосы, в качестве которой принята полоса пропускания по уровню 3 дБ измерительного приемника.

Термин «узкополосное излучение» означает, что по уровню 3 дБ ширина полосы частот его энергетического спектра меньше полосы частот измерительного приемника.

Установить широкополосность излучения можно уменьшением полосы пропускания приемника в два раза. Если при этом выходное напряжение ΔU изменяется более чем на 3 дБ, то излучение считается широкополосным. Метод установления узкополосности излучения — расширение полосы пропускания приемника по крайней мере в 2 раза. Если при этом изменение выходного напряжения ΔU будет менее 3 дБ, то излучение считается узкополосным. Дальнейшее расширение полосы пропускания будет приводить к меньшему или незначительному изменению напряжения на выходе. Если в обоих случаях $\Delta U \approx 3$ дБ, то излучение будет промежуточным между узкополосным и широкополосным.

Узкополосные ИРП генерируются, например, группой промышленных, научных, медицинских и бытовых высокочастотных устройств. Широкополосные ИРП создает большинство источников ИРП: трамваи, троллейбусы, электропоезда, тяговые подстанции электротранспорта, автомобили, высоковольтные линии электропередачи и их подстанции, станки с электроприводом, крановое оборудование, лифты, коммутируемая электрореклама, люминесцентные светильники, коммутационная аппаратура всех назначений, торговые автоматы, электронинструмент, автоматические регуляторы и пр.

В зависимости от времени действия ИРП делятся на длительные и прерывистые (кратковременные). К длительным ИРП относят помехи, длительность которых, измеренная в регламентированных условиях, составляет не менее 1 с. К прерывистым ИРП относят помехи, продолжающиеся в течение определенных периодов времени, разделенных интервалами, свободными от ИРП. Одним из видов прерывистых ИРП являются кратковременные ИРП. К кратковременным относятся ИРП, длительность которых, измеренная в регламентированных условиях, составляет не более 0,2 с.

Длительные ИРП могут быть широкополосными (создаются переключающими устройствами, ЛЭП, автомобилями, электротранспортом и т.д.) и узкополосными (создаются ПЧМ высокочастотными устройствами).

Прерывистые ИРП являются широкополосными. Они создаются холодильниками, утюгами, термостатами и т.д. Субъективное восприятие воздействия прерывистых ИРП на прием аудио- и видеосигналов зависит от амплитуды и частоты повторения ИРП. По сравнению с длительными помехами кратковременные оказывают меньшее влияние на качество радиоприема.

В зависимости от механизма распространения ИРП делятся на излучаемые и кондуктивные. Излучаемые ИРП распространяются в пространстве, кондуктивные — по проводам.

Между различными частями схемы электроустройства — источника радиопомех существуют напряжения высокой частоты и текут высокочастотные токи (высокочастотные составляющие спектров напряжений и токов). С этими напряжениями и токами связано высокочастотное электромагнитное поле, распространяющееся от этого электроустройства во всех направлениях. Достигая радиоприемной установки, это поле воздействует на нее и мешает приему полезного сигнала. Такой путь распространения промышленных радиопомех называется непосредственным излучением. Термин «непосредственное излучение» в значительной степени условный. Воздействие помех путем непосредственного излучения — случай редкий, возникающий тогда, когда расстояние между источником поля и объектом, подвергающимся воздействию, значительно превышает значение $\lambda/2\pi$, где λ — длина волны. На этом расстоянии магнитная и электрическая компоненты формируются в распространяющуюся электромагнитную волну, здесь начинается область постоянного волнового сопротивления для плоской электромагнитной волны (в свободном пространстве в любой точке отношение электрической и магнитной компоненты постоянно и равно 377 Ом). Если расстояние от источника до рецептора меньше $\lambda/2\pi$, то со специфическим явлением излучения электромагнитной энергии можно не считаться и приписать воздействие помех наличию емкостных и индуктивных связей между источником радиопомех и рецептором. Ранее отмечалось, что большинство источников ИРП создает излучение в полосе частот 150 кГц...1000 МГц; при этом значение $\lambda/2\pi$ составит примерно 300 м...5 см соответственно.

По мере удаления от источника радиопомех напряженность поля непосредственного излучения быстро убывает. В свободном пространстве это убывание происходило бы по закону $1/r^3 \dots 1/r^2$ при $r \ll \lambda/2\pi$ и по закону $1/r$ при $r \gg \lambda/2\pi$ (r — расстояние от источника). Наличие, электрических и других проводок, металлических конструкций, заземлений и других объектов, влияющих на распространение радиосигналов и помех, усложняет этот закон и способствует более быстрому затуханию излучений. Тем не менее радиопомехи от таких мощных источников, как высокочастотные генераторы промышленного и медицинского назначения, могут распространяться путем непосредственного излучения на десятки километров. Однако мощность радиопомех, создаваемых большинством электроустройств, не превышает долей милливатт. Поэтому поля непосредственного излучения этих электроустройств на расстояниях, превышающих несколько десятков метров, столь слабы, что, как правило, ими можно пренебречь.

Основной путь распространения ИРП от источников — кондуктивный, по проводам. Схема распространения радиопомех по проводам представлена на рис. 8.1.

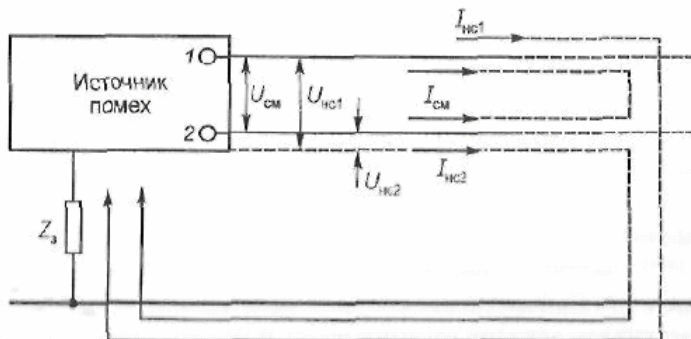


Рис. 8.1. Распространение помех по проводам

С точки зрения распространения радиопомех по проводам электроустройство — источник помех следует рассматривать как генератор высокочастотных электромагнитных коле-

баний, питающий эти провода. (Однако по своим основным функциям это устройство чаще всего не генератор, а потребитель электроэнергии.)

Источник ИРП развивает между зажимами 1 и 2 напряжение радиопомех, называемое симметричным $U_{см}$. Кроме того, он развивает напряжения радиопомех между каждым из зажимов и корпусом. Эти напряжения называются несимметричными — $U_{нс1}$ и $U_{нс2}$ (для простоты предполагаем, что электроустройство имеет металлический корпус; при отсутствии его несимметричные напряжения следует рассматривать между каждым из зажимов и землей).

С симметричным и несимметричным напряжениями радиопомех на зажимах электроустройства связаны симметричные и несимметричные напряжения и токи помех в электросети. Несимметричные токи замыкаются через сопротивление Z_3 , связывающее корпус электроустройства с землей. Если заземление отсутствует, роль Z_3 играет сопротивление емкости корпуса источника относительно земли. У источника с большим количеством зажимов симметричные напряжения радиопомех существуют между любыми двумя зажимами, а несимметричные напряжения — между любым из зажимов и корпусом. В общем случае все эти напряжения различны.

По мере удаления от источника напряжения токи радиопомех в линии затухают. Скорость этого затухания зависит от волнового сопротивления проводов (кабелей), степени разветвленности сети и множества других факторов, практически не поддающихся учету. С повышением частоты затухание увеличивается. Однако за исключением диапазона СВЧ это затухание происходит медленнее, чем убывание напряженности поля непосредственно излучения. По проводам радиопомехи даже от маломощных источников могут распространяться более чем на сотни метров.

Радиопомехи могут распространяться не только по проводам, непосредственно связанным с источником и называемым первичным носителем помех. Они могут наводиться с этих проводов на провода посторонних электросетей и распространяться далее по ним. Такие посторонние электросети называют вторичными носителями помех. Вторичными носителями помех могут служить также различные протяженные металлические конструкции: трубы водопровода и центрального отопления, шахты лифтов и т.п. Специфическим вторичным носителем помех является корпус автомобиля, а технологические отверстия в нем могут «работать» как щелевые антенны.

В тех случаях, когда единственным путем распространения радиопомех является непосредственное излучение, достаточной характеристикой интенсивности радиопомех от данного источника является напряженность поля этих помех на заданном расстоянии от источника. Когда существенную роль играет распространение по проводам, интенсивность радиопомех от данного источника может быть охарактеризована и напряженностью поля помех на заданном расстоянии от источника, и наибольшим из несимметричных мешающих напряжений на его зажимах.

Расположение источников ИРП в пространстве. На практике рассматривается точечное, линейное, плоскостное и объемное рассредоточение источников в пространстве. Примером точечного рассредоточения может служить работающий компьютер, ИРП от которого воздействуют на находящийся рядом сотовый телефон. Поток автомобилей на трассе или ЛЭП представляют линейное рассредоточение источников. Размещение источников ИРП на определенной площади, например, систем коммутации, управления и т.д. на одном этаже здания, является плоскостным рассредоточением. В качестве объемного рассредоточения можно принять размещение источников ИРП в многоэтажном здании.

Пространственное расположение источников ИРП учитывается при моделировании суммарного процесса ИРП, образованного совокупностью источников в некоторой точке пространства, в которой расположено радиоприемное устройство.