

Н.Д. ПАПАЛЕКСИ

621.39

П 17.

Р180028

**РАДИОПОМЕХИ
И
БОРЬБА С НИМИ**

ОГИЗ ГОСТЕХИЗДАТ 1944



Академик Н. Д. ПАПАЛЕКСИ

**РАДИОПОМЕХИ
И
БОРЬБА С НИМИ**

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ

**ОГИЗ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1944 ЛЕНИНГРАД**

Редактор *Е. Б. Кузнецова*. Подписано к печати 2/VI 1944 г. 6,5 печ. л.
6,6 авт. л. 42 300 тип. зн. в печ. л. Тираж 25 000 экз. Л52951. Цена книги 5 р. Заказ № 490.

1-я Образцовая типография треста «Полиграфкнига» ОГИЗа при СНК РСФСР.
Москва, Валовая, 28.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|---|
| Введение | 5 |
| § 1. Современное состояние радиотехники и её применения | 5 |
| § 2. Классификация радиопомех | 6 |

Глава I

Основы радиоприёма

| | |
|---|----|
| § 3. Механизм радиопередачи и радиоприёма | 8 |
| § 4. Резонанс | 10 |
| § 5. Модуляция колебаний | 15 |
| § 6. Частотная селекция | 21 |
| § 7. Пространственная селекция | 22 |

Глава II

Промышленные радиопомехи

| | |
|---|----|
| § 8. Радиоприём в деревне и городе | 26 |
| § 9. Искровой передатчик | 26 |
| § 10. Источники промышленных радиопомех | 30 |

Глава III

Меры борьбы с промышленными радиопомехами

| | |
|--|----|
| § 11. Радишум | 32 |
| § 12. Удаление радиоприёмного устройства от источников радиошума | 34 |
| § 13. Экранирование источников радиошума | 37 |
| § 14. Ослабление радиошума, передаваемого по проводам | 40 |
| § 15. Метод компенсации | 44 |

Глава IV

Атмосферные помехи

| | |
|--|----|
| § 16. Радиопомехи от грозовых разрядов | 45 |
| § 17. Молния | 47 |
| § 18. Электризация приёмных антенн | 52 |

Глава V

Меры борьбы с атмосферными помехами

| | |
|---|----|
| § 19. Амплитудная селекция | 55 |
| § 20. Вероятностная селекция | 59 |
| § 21. Селекция продолжительности действия | 61 |
| § 22. Дальнодействие коротких волн | 63 |

Глава VI
Пассивные помехи

| | |
|---|----|
| § 23. Замирания радиоволн (фэдинги) | 66 |
| § 24. Причины изменений состояния ионосферы | 72 |
| § 25. Явление Деллинджера | 74 |

Глава VII
Меры борьбы с пассивными радиопомехами

| | |
|--|----|
| § 26. Борьба с регулярными изменениями силы приёма | 76 |
| § 27. Борьба с явлением замирания | 76 |
| § 28. Радиоахо и борьба с ним | 80 |
| § 29. Люксембургско-горьковский эффект | 82 |

Глава VIII
Искусственные радиопомехи и меры борьбы с ними

| | |
|---|----|
| § 30. Искусственные радиопомехи | 83 |
| § 31. Борьба с искусственными радиопомехами | 86 |

Глава IX
Новые способы радиосвязи

| | |
|--|-----|
| § 32. Частотная модуляция | 89 |
| § 33. Система частотной модуляции Армстронга | 92 |
| § 34. Синхронная радиосвязь | 98 |
| § 35. Заключение | 101 |

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. Современное состояние радиотехники и её применения

Когда незадолго до первой мировой войны в США была проведена анкета о современных «чудесах мира», на одном из первых мест оказалось радио. В самом деле, возможность мгновенно передавать и принимать известия за тысячи километров через свободное пространство должна была, несомненно, поражать воображение. Уже в то время значение радиосвязи для политической, экономической и культурной жизни народов было велико. Однако, не может быть никакого сравнения с ролью, какую играет радио в настоящее время. Переворот, вызванный в радиотехнике электронной лампой, привёл к развитию новых разнообразных применений радио. Таковы в первую очередь радиовещание и телевидение. К ним относятся также такие сравнительно новые применения, как радиотелеуправление, радионавигация, определение положения объекта в пространстве и др., имеющие важное значение для народного хозяйства и обороны.

Радио в настоящее время настолько прочно и глубоко вошло в быт, что современной молодежи трудно представить себе, как можно было раньше обходиться, например, без радиовещания. Без радиосвязи не были бы мыслимы ни перелёты через полюс, ни проведение таких экспедиций, как полярная экспедиция Папанина на дрейфующей льдине или дрейф «Седова».

Исключительно велико значение радио и в современной войне. Возможность вести согласованно военные операции на огромном протяжении современных фронтов, часто одновременно в различных частях земного шара, возможность очень быстро учитывать чрезвычайно быстро меняющуюся обстановку современного боя и немедленно проводить контрмеры, координировать действия сухопутных, воздушных и морских сил, — всё это стало осуществимо только благодаря развитию радио.

Из всего сказанного ясно, какое значение имеет для народного хозяйства и для обороны чёткая, бесперебойная ра-

бота радиосвязи и какой вред должны причинять всякие помехи, нарушающие или ухудшающие радиосвязь.

Усиленное развитие радистехники, как уже было указано выше, было вызвано появлением новых методов генерации и приёма радиоволн с помощью электронных генераторных и усилительных ламп. До появления радиоламп дальность действия (уверенной работы) над морем, например, небольшой судовой радиотелеграфной станции, работавшей на волне 300 м при мощности в антенне в 0,3 kW (киловатт), была днём порядка 200 км; в настоящее время такая станция в тех же условиях может перекрыть расстояние в 800—900 км. Это достигнуто благодаря повышению чувствительности приёма, которая за последние 25 лет увеличилась во многие сотни и даже тысячи раз. С помощью современного радиоприёмника можно принимать на комнатную антенну практически все европейские радиовещательные станции.

§ 2. Классификация радиопомех

Однако, увеличение чувствительности радиоприёмника имеет свои отрицательные стороны. Бурное развитие радио, выразившееся в огромном увеличении числа радиостанций, как радиотелеграфных и телефонных, так и радиовещательных, а в последнее время и телевизионных, привело к тому, что одни радиостанции могут мешать приёму других, и с увеличением чувствительности радиоприёма число мешающих станций возрастает. Если в мирное время удаётся путем строгой международной регламентации диапазона волн и мощностей радиостанций ввести некоторый порядок в радиопередачу и в значительной мере устранить взаимные помехи, то во время войны этот регламент не только не остаётся в силе, а наоборот, каждый из противников создаёт помехи радиосвязи другого с помощью специальных мешающих радиостанций.

Однако, не только работа других радиостанций может мешать радиоприёму. Всякий источник электромагнитных волн, лежащих в диапазоне радиоволн, создаёт такие радиопомехи. Мешающие радиоприёму электромагнитные волны испускаются при размыкании и замыкании электрических цепей, причём особенно сильно при образовании искры и дуги. Работа магнето зажигания в моторах внутреннего сгорания, искрение щёток динамомашин и электромоторов, электросварка, искрообразование в контактных проводах трамваев и троллейбусов, работа рентгеновских аппаратов — вот разнообразные и далеко не исчерпывающие примеры мощных источников радиопомех.

Кроме помех от электрических установок и аппаратов, называемых *промышленными* или *индустриальными* помехами,

существуют ещё *природные* радиопомехи. Помехи, вызываемые грозовым разрядом (молнией) между облаком и землёй или между разноименно заряженными облаками, были в сущности первыми мешающими природными электромагнитными волнами, обнаруженными ещё в 1895 г. в начале возникновения радиотелеграфии А. С. Поповым с помощью его «грозоотметчика», который явился, таким образом, первым в мире радиоприёмником. Вредное действие этих, так называемых *атмосферных*, помех, вызываемых грозовой деятельностью атмосферы, сказывается не только вблизи грозового очага, где радиоприём становится практически невозможным, а в случае приёма на паружную антенну даже опасным для жизни, но также и в большом отдалении от этих очагов при приёме слабых или отдалённых станций и притом в большей или меньшей степени в любое время дня и года. Существуют ещё и другие виды радиопомех, вызываемых различными атмосферными электрическими явлениями, например выпадением осадков, песчаными бурями или метелями и т. д.

Наличие посторонних электромагнитных волн от указанных выше источников приводит к тому, что приём желаемого сигнала сильно затрудняется, а порой делается невозможным. Подобно тому, как бывает трудно, а иногда совсем невозможно услышать в очень шумном помещении на некотором расстоянии собеседника или увидеть в отдалении свет свечи днём при ярком солнечном освещении, так же затруднителен приём радиосигнала при наличии сильных радиопомех.

Все упомянутые до сих пор виды радиопомех являются результатом активности природных или искусственных — промышленных — источников электромагнитных волн, и им обычно дают общее название *активных* радиопомех. Наряду с ними на радиоприём существенно влияют и другого рода помехи, не связанные с деятельностью посторонних источников электромагнитных волн, а обусловленные в основном природными явлениями, мешающими нормальному *распространению* радиоволн через пространство от передатчика к месту приёма. Сюда относится, например, изменение характера отражения радиоволн от верхних проводящих слоёв атмосферы (ионосферы) и изменение характера поглощения радиоволн. Эти *пассивные* помехи являются причиной существенных нарушений нормальной работы радиостанций, особенно на больших расстояниях, и борьба с ними поэтому не менее важна, чем с помехами активными.

Целью настоящей брошюры является краткое ознакомление читателей как с природой различных радиопомех, так и с основными методами борьбы с ними.

Г Л А В А I

ОСНОВЫ РАДИОПРИЁМА

§ 3. Механизм радиопередачи и радиоприёма

Для того чтобы ясно представить себе, в чём состоит сущность мешающего действия помех при радиоприёме, необходимо прежде всего несколько остановиться на механизме радиопередачи. Только уяснив себе, почему, например, грозовой разряд мешает приёму радиотелефонной передачи, мы сможем понять, почему те или иные способы борьбы с этого рода радиопомехой могут оказаться эффективными. Поэтому мы вначале займёмся кратким рассмотрением механизма современной радиопередачи.

Когда говорят о радиопередаче, то, конечно, всегда имеют в виду передачу на расстояние через свободное пространство с помощью электромагнитных волн тех или иных сигналов: телеграфных знаков Морзе, речи, музыки, изображений. Для этого необходимо прежде всего создать в месте передачи источник электромагнитных волн требуемого диапазона — так называемых радиоволн. Источниками радиоволн служат радиопередатчики, в электрических цепях которых создаются электрические колебания (переменные электрические токи) высокой частоты f (от десяти тысяч до трех миллиардов герц ¹⁾, что соответствует применяемым в области радио длинам волн от 30 000 м до 10 см). Колебания подводятся затем к излучающему органу передатчика — антенне, откуда они и излучаются в пространство в виде радиоволн. Эти волны оказывают в пространстве электрические и магнитные действия, или, как принято говорить, создают в нём электромагнитное поле. В месте приёма поле радиоволн возбуждает в приёмной антенне очень слабые электрические колебания той же частоты и формы, что и токи в передающей антенне.

¹⁾ Герц (сокращённо *гц*) — единица частоты колебаний, 1 герц = 1 колебанию в секунду.

Действие радиопередатчика обычно характеризуется мощностью излучаемых радиоволн: так, малая переносная радиостанция излучает мощность в несколько ватт; мощность, излучаемая судовой радиостанцией, составляет сотни ватт; мощность же большой трансконтинентальной станции (например станции «Большой Коминтерн») достигает многих сотен киловатт.

Хотя излучаемая такой радиостанцией мощность вполне сравнима с мощностью крупных центральных электростанций, однако, та часть её мощности, которой мы можем располагать в месте приёма, чрезвычайно мала. В самом деле, по мере удаления от передатчика излучаемая им мощность распределяется на всё большее пространство. При излучении, равномерном по всем направлениям в свободном пространстве, излучаемая мощность изменяется с увеличением расстояния от передатчика обратно пропорционально квадрату этого расстояния. Отсюда легко подсчитать, что мощность, излучаемая через площадку в 1 квадратный метр — так называемый поток мощности — на расстоянии в 1000 км от источника с мощностью излучения в 100 киловатт, равна приблизительно $8 \cdot 10^{-9}$ *ватт/м²* (10^{-9} — одна миллиардная доля).

При радиоприёме в реальных условиях мы имеем дело ещё с значительно меньшими величинами. Так, в отсутствии сильных радиопомех можно осуществить уверенный приём на коротких волнах при потоке мощности лишь 10^{-13} *ватт/м²*. Для сравнения укажем, что таков будет примерно в отсутствии поглощения поток мощности видимого света от стеариновой свечи на расстоянии 200 км. Хотя в действительности излучение от передатчика и не происходит вполне равномерно по всем направлениям, однако, эти цифры всё же дают представление о малости тех величин, с которыми приходится иметь дело при радиоприёме.

Для того чтобы дать наглядную и удобную для практических расчётов характеристику действия радиоволн в месте приёма, указывают не поток мощности, а величину напряжённости электрического поля в этом месте. Напряжённость электрического поля принято выражать в вольтах на метр. Так, например, если мы говорим, что напряжённость электрического поля радиоволн от станции имени Коминтерна на расстоянии 10 км от неё равна, примерно, 0,6 В/м, то это значит, что между концами проводника длиной в 1 метр, расположенного параллельно электрической силе поля волны (т. е. практически вертикально), действует переменное электрическое поле около 0,6 вольта.

Легко видеть, что, зная напряжённость поля, можно непосредственно оценить величину электрического напряжения,

действующего в антенне. Для этого необходимо только умножить значение напряжённости поля на выраженную в метрах так называемую «действующую» высоту приёмной антенны. Для любительских антенн эта высота — порядка немногих метров.

Между величиной напряжённости поля E в какой-либо точке, находящейся на расстоянии r км от передатчика, и мощностью P киловатт передатчика существует следующая очень простая зависимость:

$$E = \frac{0,3\sqrt{P}}{r} S.$$

Здесь мощность P выражена в киловаттах, r — в километрах, а E — в вольтах на метр¹). S есть так называемый фактор ослабления радиоволн, характеризующий поглощение энергии радиоволн и зависящий от длины волны и характера поверхности земли, вдоль которой распространяются радиоволны. В случае распространения над морской водой на небольших расстояниях, на которых ещё не сказывается кривизна земли, фактор S можно положить равным 1. Для величины S существуют графики, составленные Международной комиссией по распространению радиоволн на основании всего имеющегося теоретического и опытного материала. Из этих графиков мы получаем, что, например, напряжённость поля E на расстоянии 1500 км над сушей от передатчика мощностью 400 kW (киловатт), работающего на волне 1500 м, равна 50 $\mu\text{V}/\text{м}$. Напряжённость поля от судовой радиостанции мощностью 300 W, работающей на волне 300 м на расстоянии 800 км над морем, составляет только 8 $\mu\text{V}/\text{м}$.

§ 4. Резонанс

Для удовлетворительной работы обычного репродуктора необходимо иметь напряжение порядка нескольких вольт (так же, как и для пишущего приёма телеграмм); поэтому уже из приведённых выше цифр ясно, что напряжения, получаемые в приёмной антенне, даже в лучшем случае далеко недостаточны для воздействия после детектирования на репродуктор, пишущий прибор и т. п. Они должны быть предварительно увеличены, усилены во много сотен тысяч и даже миллионов раз.

В первой стадии развития радио, когда ещё не были известны радиолампы, единственным средством усиления было

¹) Ввиду того, что напряжённость поля радиоволн на больших расстояниях обычно величина очень малая — порядка миллионных долей вольта на метр, то принято выражать её в микровольтах на метр и обозначать через $\mu\text{кв}/\text{м}$ или $\mu\text{V}/\text{м}$.

использование явлений *резонанса*. С явлениями резонанса мы встречаемся на каждом шагу. Когда дети, подпрыгивая на свободном конце длинного горизонтального бревна, закрепленного своим другим концом, сильно раскачивают его, они используют явление резонанса. Уже из этого простого примера видно, что явление резонанса может иметь место лишь в таких телах (или, как говорят, системах), которые после прекращения действия раскачивающей их силы не возвращаются немедленно в положение равновесия, а, подобно маятнику, продолжают совершать *собственные колебания*, — в так называемых колебательных системах. Резонанс наступает именно тогда, когда ритм раскачивающей силы совпадает с ритмом собственных колебаний. Ритм колебаний определяется промежутком времени между двумя одинаковыми состояниями системы, например, между максимальными отклонениями её от положения равновесия в одну и ту же сторону или между одинаковыми переходами её через положение равновесия. Этот промежуток времени, в течение которого система совершает одно полное колебание, получил название *периода* колебаний, а число таких полных колебаний, совершаемых системой в одну секунду, носит название *частоты* колебаний. Таким образом, условием возникновения резонанса в колебательной системе является равенство периодов или частот раскачивающей ритмической силы и собственных колебаний системы.

Если колебательная система, совершая собственные колебания, тратит при этом много энергии как на преодоление вредных сопротивлений при движении (например трение оси маятника об опору, трение движущихся частей о воздух и т. д.), так и на излучение волн (например звуковых волн в случае звучащих тел), то собственные колебания будут очень быстро замирать, или, как говорят, затухать, поскольку запас энергии системы быстро израсходуется. Системы же с малой отдачей энергии обладают малым затуханием собственных колебаний. Чем меньше затухание колебательной системы, тем больше интенсивность колебаний, возбуждаемых в ней под действием ритмической (периодической) раскачивающей силы. В механических системах амплитуда этих колебаний может в некоторых случаях достигать такой величины, которая превосходит прочность раскачиваемой системы и приводит к разрушениям. Так, классическим примером катастрофы, вызванной резонансом, может служить обвал в начале нынешнего века всякого Египетского моста в Петербурге, вызванный недопустимой раскачкой его под ритмическим действием кавалерийского отряда, проходившего в стрессовом порядке. Другим примером может служить обвал незадолго до первой мировой войны 250-метро-

вой железной радиомачты в Науэне, вблизи Берлина, вызванный не учтённой при проектировании раскачкой мачты ударами штормового ветра. Возможность возникновения резонанса должна всегда учитываться при расчёте динамической прочности сооружений, и в настоящее время в инженерных конструкциях принимаются все меры против возможных разрушений от резонанса.

В области радио, в отличие от инженерного дела, явлений резонанса, как правило, не только не избегают, а стараются использовать их возможно шире и полнее, прежде всего для усиления слабых электрических колебаний, возбуждаемых, например, в приёмной антенне под действием радиоволн от принимаемой радиостанции. Кроме того, явление резонанса используется в радио также для выделения принимаемой передачи из целого ряда передач от других одновременно работающих станций.

Рассмотрим несколько подробнее, каким образом явления резонанса могут быть использованы для этих целей. Прежде всего возникает, конечно, вопрос, что представляет собой электрическая колебательная система? Как хорошо известно радиолюбителям, простейшей колебательной системой является так называемый *колебательный контур*, представляющий собой замкнутую электрическую цепь (рис. 1) из последователь-

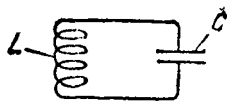


Рис. 1. Электрическая колебательная система — колебательный контур: L — катушка самоиндукции, C — конденсатор.

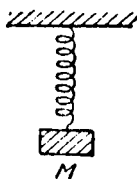


Рис. 2. Механическая колебательная система — пружинный маятник (M — масса).

но соединённых спирали из проволоки, называемой катушкой самоиндукции, и электрического конденсатора. Подобно тому, как колебания пружинного маятника — груза, подвешенного к пружине, закреплённой верхним концом (рис. 2), который представляет со-

бой механическую колебательную систему, — заключаются в периодическом движении груза вверх и вниз и попеременном расширении и сжатии пружины, так и электрические колебания в колебательном контуре проявляются в движении электричества то в одном, то в другом направлении и попеременном возрастании и убывании электрического заряда на обкладках конденсатора. Электрический конденсатор здесь играет роль пружины, причём его электрическая ёмкость C соответствует податливости a пружины, а катушка самоиндукции с индуктивностью L — роль груза с массой M . Если изобразить графически, с одной стороны, изменение во времени

скорости v , с какой движется груз M , а с другой, — изменение во времени силы тока i в контуре, то мы получим одинаковые кривые колебаний, очень близкие по своей форме к синусоиде (рис. 3). Подобно тому, как период колебаний t пружинного маятника тем больше, чем больше масса (инерция) M груза и податливость a пружины (т. е. чем меньше её упругость), так и период колебаний T в электрическом контуре тем больше, чем больше индуктивность L (магнитная инерция) катушки и чем больше ёмкость C конденсатора. Период колебаний T электрического контура определяется по известной формуле Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

вполне аналогичной формуле для периода t пружинного маятника:

$$t = 2\pi\sqrt{Ma}.$$

Как же действует на электрический колебательный контур приходящее извне простейшее колебание, а именно синусоидальное? Если период этого колебания сильно отличается от периода собственных колебаний¹⁾ контура, то в нём возбуждаются лишь очень слабые колебания. По мере того, как частота колебаний контура приближается к частоте действующего на него колебания, интенсивность колебаний, возбуждаемых в контуре, всё возрастает. Наконец, при совпадении частоты действующего колебания с частотой собственных колебаний контура, или, как говорят, при настройке контура в резонанс с внешними колебаниями, в нём возникают очень сильные резонансные колебания. Если изобразить графически, как изменяется интенсивность колебаний (A) (например амплитуды напряжения на обкладках конденсатора), возбуждённых в контуре под действием внешнего синусоидального колебания (с неизменной амплитудой), при изменении собственной частоты (f) контура — как говорят, его настройки, — то мы получим кривую I рис. 4. Резко выраженный максимум этой кривой находится в точке, соответствующей равенству частот контура и действующего колебания. Отсюда видно, что напряжение в электрической цепи при резонансе во много раз превосходит напряжение в ней вдали от резонанса, т. е. когда частота внешнего колебания сильно отличается от собственной частоты контура. Таким образом, пользуясь резонан-

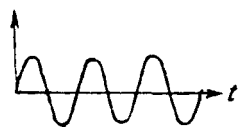


Рис. 3. Синусоида (t — время).

¹⁾ Напомним ещё раз, что собственными колебаниями называются те колебания, которые совершаются системой после прекращения действия раскачивающей её внешней силы.

сом, можно действительно усилить принимаемые колебания. Далее, как видно из того же рисунка, при очень малых затуханиях максимум колебаний очень велик, и кривая резонанса имеет такую острую форму, что достаточно очень малой расстройки в ту или другую сторону от резонанса, чтобы колебания в контуре стали очень малы и контур перестал заметно отзываться на воздействующее колебание. Эта расстройка (т. е. разность частот собственных колебаний контура и внешних колебаний) Δf тем меньше — резонанс тем острее, — чем меньше затухание контура.

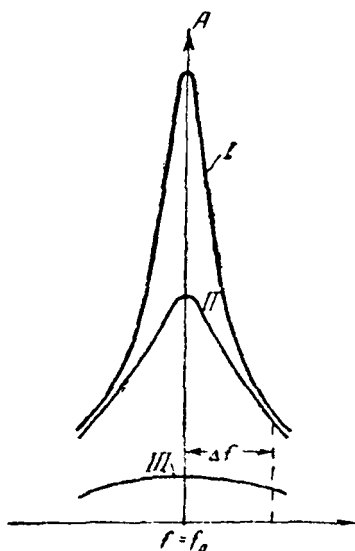


Рис. 4. Кривые резонанса колебательных контуров с различным затуханием: затухание контура II в 5 раз, а контура I — в 10 раз меньше, чем затухание контура III.

Отсюда следует, что если на контур будут действовать одновременно два или несколько синусоидальных колебаний с различными частотами, отличающимися между собой на величину, большую Δf , то этот контур, будучи настроен на одно из действующих колебаний, будет отзываться только на него и не будет отзываться на все другие. Однако, на колебания с очень близкими частотами, отличающимися от частоты резонанса значительно меньше, чем на Δf , резонансный контур будет также отзываться, хотя и слабее.

Из только что сказанного следует, что с помощью слабо затухающего контура можно не только усилить принимаемые синусоидальные колебания, но и выделить желаемые колебания из ряда одновременно действующих на него синусоидальных колебаний с различными частотами. Иначе ещё можно сказать, что резонансный контур, обладающий достаточно малым затуханием, отзывается только на те колебания и усиливает только те из них, в составе которых есть синусоида с тем же периодом, что и период собственных колебаний контура.

Отсюда вытекает ряд важных следствий, использование которых и предопределило развитие радиосвязи. Прежде всего, если резонансный контур выделяет и усиливает только синусоидальные колебания, то колебания всякой иной формы не могут быть достаточно эффективно использованы для радиопередачи, и поэтому их нерационально генериро-

вать в радиопередатчике. Далее, использование в приёмнике резонансных контуров с очень малым затуханием позволяет весьма значительно усилить очень слабые колебания. Наконец, очень большая чувствительность такого контура к синусоидальным колебаниям одного с ними периода и малая чувствительность его к колебаниям других периодов открывают широкие возможности освобождения от мешающего действия посторонних станций, т. е. всех станций, кроме той, которую мы хотим принять. Всё это определило развитие техники радиосвязи в направлении создания возможно более чистых синусоидальных колебаний в радиопередатчике и максимального использования резонансных контуров в приёмнике.

§ 5. Модуляция колебаний

Казалось бы, что на пути развития радио всё обстоит благополучно и что, разрешив задачу создания возможно более чистых синусоидальных колебаний в передатчике и электрических резонаторов с возможно более слабым затуханием в приёмнике (а с появлением радиоламп и с изобретением пьезокварцевых стабилизаторов частоты и пьезокварцевых резонаторов эти обе задачи можно считать практически почти полностью решёнными), радиотехника не только разрешила проблему предельно слабого приёма, но также и проблему освобождения от мешающего действия всех колебаний других периодов. Однако, здесь радиотехника натолкнулась на принципиально непреодолимую трудность.

В самом деле, совершенно ясно, что непрерывным следованием радиоволн неизменной формы (а чисто синусоидальные колебания без начала и конца ничего другого собой не представляют) можно только передать тот факт, что такие колебания в данном месте существуют, но никаких сигналов передать нельзя. Для передачи сигнала необходимо соответствующим образом изменять характер волн, или, как говорят, *модулировать* их, что, естественно, должно нарушить их синусоидальность.

Для того чтобы передать по проводу телеграфные знаки азбуки Морзе (точки и тире), в линию посылают прерывистый ток таким образом, что продолжительность посылки тока соответствует передаваемому знаку. Соответственно длине этих посылок тока в месте приёма в пишущем телеграфном аппарате и получаются точки и тире. Графически ток в линии при передаче знаков Морзе имеет вид, изображённый на рис. 5, а. При передаче музыки или речи в линию посылаются переменные

токи, состоящие из совокупности колебаний различных частот и амплитуд, соответствующих звуковым колебаниям, входящим в состав передаваемых сложных звуков (речи, музыки, пения и т. д.). Такое преобразование звуковых колебаний в электрические производится, как известно, в микрофоне. Графически ток в линии изобразится в виде колебания звуковой частоты сложной формы. В случае передачи одного музыкального тона ток в линии будет представлять собой синусоидальное колебание той же частоты, что и передаваемый тон. В месте приёма электрические колебания, действуя на мембрану телефона или громкоговорителя, вызывают звуковые колебания, тождественные с первоначальными.

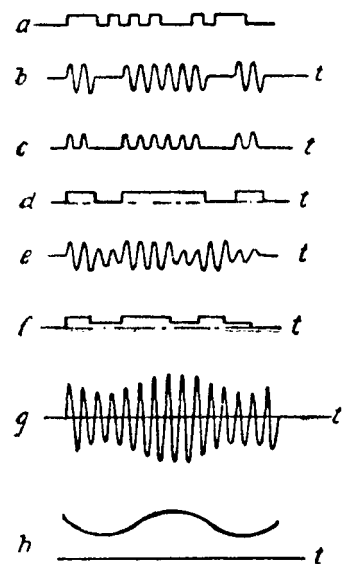


Рис. 5. Передача сигналов с помощью радиоволн.

Как же можно осуществить передачу сигналов (музыки, речи) с помощью радиоволн? Очень просто, очевидно, разрешается эта задача для случая передачи знаков Морзе. Для этого достаточно, например, прерывать с помощью телеграфного ключа высокочастотные колебания в одной из цепей радиопередатчика. В этом случае вместо непрерывного ряда волн радиопередатчик будет излучать ряд отдельных *групп волн*

различной продолжительности, соответственно передаваемым знакам (рис. 5, b). В приёмнике они вызовут такие же группы высокочастотных колебаний. Однако, за этими очень быстрыми колебаниями механические подвижные части аппаратов следовать не могут. Кроме того, эти токи, как чисто переменные, не могут вызвать движения в одну сторону и поэтому не могут быть использованы непосредственно для приведения в действие реле пишущего прибора. Их необходимо предварительно перевести в импульсы *постоянного* тока, выявить их прерывистый характер, или, как говорят, *детектировать* их. Поэтому высокочастотные токи после усиления подводятся к выпрямителю тока — устройству, пропускающему ток лишь в одном направлении ¹⁾. После выпрямителя ток имеет вид от-

1) Так как здесь роль выпрямительных устройств заключается в выявлении сигнала, то они получили название *детекторов*, а процесс проявления сигнала называют *детектированием*.

дельных посылок постоянного тока с наложенными на него более слабыми высокочастотными колебаниями (рис. 5, *c*). Пользуясь конденсаторами и катушками самоиндукции (см. гл. III, стр. 41), можно отделить постоянный ток и подвести к пишущему аппарату. Этот постоянный ток будет иметь ту же форму, что и при передаче по проводам (рис. 5, *d*).

Нетрудно видеть, что если неполностью прерывать колебания в передатчике, т. е. не изменять амплитуду их до нуля, а лишь до другой меньшей величины, то ток в приёмнике после детектирования будет иметь ступенчатую форму, передающую изменение амплитуды (рис. 5, *e* и *f*). Если производить это изменение амплитуды не скачками, а плавно, например, соответственно форме колебаний простого звука, т. е. по синусоиде, то колебание будет иметь вид, изображённый на рис. 5, *g*, а кривая тока после детектирования передаёт в точности изменение амплитуды высокочастотных колебаний, т. е. будет представлять собой синусоиду той же звуковой частоты и амплитуды, что и передаваемый звук (рис. 5, *h*). Отсюда следует, что можно передавать звуковые и вообще любые сигналы, если в такт передаваемым сигналам изменять амплитуду излучаемых радиоволн, или, как говорят, *модулировать* колебания по амплитуде. Так как передача сигналов в этом случае производится посредством модуляции амплитуды, то её, в отличие от других видов передачи, обозначают как передачу *амплитудно-модулированными колебаниями*.

При передаче амплитудно-модулированных колебаний *высота* передаваемого звукового тона определяется *частотой изменения амплитуды*, а *интенсивность* звука — величиной изменения амплитуды, или, как это выражают иначе, *глубиной модуляции* амплитуды. Под этой величиной понимают относительное изменение величины амплитуды A , т. е. величину

$$m = \frac{A_{\text{макс}} - A_0}{2A_0}$$

(рис. 6, *a*), и выражают её в процентах. При передаче звука

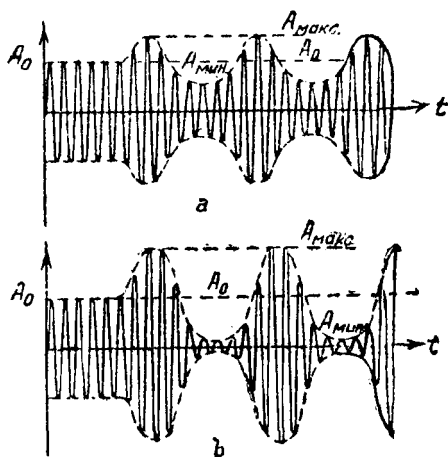


Рис. 6. Амплитудно-модулированные колебания: *a* — средне-модулированные, *b* — сильно модулированные.

большой силы глубина модуляции будет велика и может достигнуть 100% (рис. 6, б), при звуках средней силы она имеет величину порядка 40—50%, а для слабых звуков величина m — порядка одного процента и меньше.

Колебание, модулированное для передачи сигнала, конечно, уже не представляет собой чисто синусоидального колебания: оно будет сложным. Но всякое сложное колебание может быть представлено как *сумма простых* колебаний различной частоты и амплитуды. Для того чтобы уяснить себе, каков состав модулированного колебания, (т. е. из каких простых колебаний оно состоит), рассмотрим простой случай изменения амплитуды, а именно путём прерывания колебаний N раз в секунду. Проведем следующий опыт. Многим, вероятно, известен применяемый

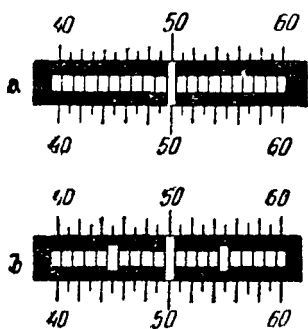


Рис. 7. Показания язычкового частотомера при введении на него а — переменного тока, б — переменного тока, прерываемого 5 раз в секунду.

мы увидим (рис. 7, б), что наряду с язычком, соответствующим 50 гц, придут также в сильные колебания и язычки, соответствующие частотам $45 = 50 - 5$ гц и $55 = 50 + 5$ гц. Это показывает, что переменный ток частоты f , модулированный N раз в секунду, имеет в своём составе по крайней мере три колебания: одно с основной частотой f и два других с так называемыми боковыми частотами $f + N$ и $f - N$. Аналогично модулированные колебания передатчика будут состоять из основной волны частоты f (так называемой несущей волны) и двух боковых волн с частотами $f + N$ и $f - N$.

Выше мы видели, как прерываемые N раз в секунду радиоволны дают в приёмнике после детектирования N посылок постоянного тока в секунду, которые и воспроизводят передаваемый тон частоты N . Возникает вопрос, как объяснить образова-

ние тона частоты N , если передающее его сложное колебание состоит из трёх частот: f , $f - N$ и $f + N$. Это станет ясно, если вспомнить хорошо известное из акустики явление биений. Если заставить одновременно звучать два почти одинаковых камертона, то мы будем слышать постоянное нарастание и спадание тона — так называемые биения (рис. 8). При этом частота этих биений будет равна разности тонов обоих камертонов и будет тем выше, чем больше расстройка. Точно так же и в случае передачи модулированных колебаний входящие в их состав частоты f и $f - N$ (или $f + N$) создают биения, которые после детектирования дают переменный ток частоты N , обнаруживаемый с помощью телефона или репродуктора, как тон частоты N ¹⁾.

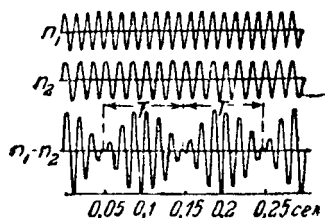


Рис. 8. Биение двух колебаний с различными частотами n_1 и n_2 .

Таким образом, уже для передачи простейшего сигнала, одного музыкального тона, необходимо излучать не меньше двух колебаний одновременно. Для передачи речи или музыки, состоящей из большого числа тонов, необходимо, очевидно, чтобы излучаемые радиоволны имели в своём составе целый ряд волн с различными, близкими между собой частотами, отличающимися между собой как раз на частоту передаваемых звуковых тонов, т. е. состав и форма излучаемого колебания усложняются ещё гораздо больше.

Для того чтобы наглядно представить состав сложного радиоволнового колебания, принято по аналогии с излучением источников света изображать состав излучаемых радиоволн в виде графика, по оси абсцисс которого отложены частоты синусоид, входящих в состав излучаемых колебаний, а по оси ординат — амплитуды соответствующих синусоид. Излучение одной синусоиды, как это, например, имеет место в паузах, когда передатчик излучает лишь одну несущую волну²⁾, на таком графике будет представлено в виде одной вертикальной черточки (рис. 9). Передача одного музыкального тона изобразится двумя (или тремя) чёрточками (рис. 10), и, наконец, передача музыки или

¹⁾ Заметим, что такие биения между волнами, принимаемыми передатчиком и волной, излучаемой загенерировавшим у радиолюбителя ламповым приёмником, с обратной связью, создают всем известные мешающие свисты («свинья в эфире»).

²⁾ Следует заметить, что объявляемая диктором перед каждой радиовещательной передачей длина волны и есть длина несущей волны

речи изобразится целой полоской, заполненной чёрточками, представляющими синусоиды, входящие в состав излучаемого колебания (рис. 11), и непрерывно изменяющими свое положение

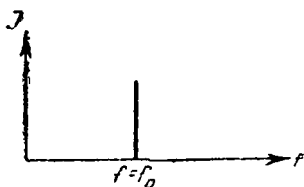


Рис. 9. Спектр частот немодулированного колебания.

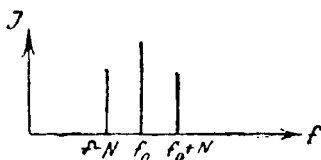


Рис. 10. Спектр частот колебания, модулированного одним тоном.

и величину ¹⁾. По аналогии со светом мы говорим о составе спектра радиоволнового излучения и называем разложение сложного излучения на синусоидальные его составляющие *спектральным разложением*. Заметьте, что если пользоваться терминологией спектрального анализа, то спектр излучения при музыкальной передаче будет не сплошным, а линейчатым. В дальнейшем мы будем пользоваться также понятием «ширина спектра» и будем понимать под этим разницу в герцах между крайними частотами

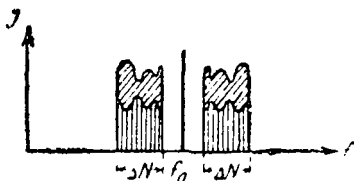


Рис. 11. Спектр частот при передаче речи или музыки.

спектра. Так, при передаче музыки ширина спектра часто определяется частотой наивысшего передаваемого тона.

При радиотелеграфной передаче знаками Морзе спектр излучаемых частот будет иметь более сложный характер, чем в рассмотренном нами выше случае равномерного прерывания. Ширина спектра будет, очевидно, определяться скоростью передачи. При ручной работе ключом Морзе (при скорости в 20 слов в минуту) ширина спектра около 10 гц, тогда как при быстродействующей автоматической передаче (200—400 слов в минуту) она достигает 100—200 гц.

Ещё больше и разнообразнее число посылок радиоволн в секунду при передаче изображений и телевидения. Ширина полосы спектра частот, необходимых для передачи высококачественных изображений, достигает миллиона герц и больше.

¹⁾ На рисунке это обозначено заштрихованной полоской.

§ 6. Частотная селекция

Какие же практические следствия можно вывести из такого состава излучения при передаче сигналов по радио? Прежде всего, для того чтобы в месте приёма мы могли воспроизвести ту или иную передачу (речь, музыку и др.), необходимо, чтобы приёмное устройство могло принять и усилить, по возможности равномерно, всю полосу частот, входящих в состав излучаемого спектра. Ясно, что эту задачу нельзя разрешить применением для усиления резонансных контуров с предельно малым затуханием, так как они выделяют и усиливают лишь очень узкую полосу частот, часто совершенно недостаточную для передачи не только речи или музыки, но даже и телеграфии. Кроме того, как ясно видно из резонансных кривых (рис. 4), в резонансных контурах пропускаемые частоты усиливаются неравномерно и тем больше, чем они ближе к частоте резонанса.

С другой стороны, всякое расширение полосы пропускания приёмника за пределы, достаточные для приёма нужной передачи, увеличивает возможность помех от соседних по частоте радиостанций. Таким образом, очевидно, для осуществления приёма без искажений необходимо, с одной стороны, равномерно усилить всю полосу передаваемых частот и, с другой стороны, не пропустить к детектору всех других частот, лежащих по обе стороны этой полосы. Это достигается с помощью так называемых *полосовых фильтров*.

Все эти соображения привели к тому, что в современной радиопередаче, с одной стороны, стремятся, чтобы каждый передатчик излучал только требуемую для проводимых им передач полосу частот. С другой стороны, приёмник, предназначенный для приёма этих передач, рассчитывается таким образом, чтобы с возможно большей чувствительностью и наименьшими искажениями принимать только частоты, входящие в состав данной полосы. С помощью такого приёмника мы можем по желанию выделить из той или иной части спектра радиочастот нужную нам полосу частот. Такое выделение определённой полосы частот из целого спектра частот, излучаемых различными радиостанциями, называют *частотной селекцией*.

Очевидно, что при пользовании приёмниками, позволяющими осуществить частотную селекцию, взаимные помехи двух одновременно работающих радиостанций возможны лишь в том случае, если спектры излучений обоих передатчиков хотя бы частично перекрываются. Тогда в приёмник, настроенный на одну из этих станций, будет попадать частично и излучение второй станции, что может привести к заметным искажениям принимае-

мой передачи. Поэтому, во избежание такого рода взаимных помех со стороны одновременно работающих радиостанций, путём международного соглашения для каждой радиостанции были строго установлены как несущая волна, так и ширина полосы частот, с таким расчётом, чтобы полосы частот, излучаемые двумя соседними по длине несущей волны радиостанциями, не перекрывались. Так как для художественной передачи и музыки достаточно передавать частоты, лежащие в диапазоне от 30 до 4 500 *гц*, а для речи значительно меньше, то для радиовещательных станций установлена допустимая полоса частот шириной в 4 500 *гц* по обе стороны от несущей волны. Таким образом, расстояние по шкале частот между двумя соседними по длине волн станциями равно 9 000 *гц*. Путём такой регламентации взаимные помехи могут быть устранены с помощью достаточно селективных приёмников, и в мирное время они фактически и устраняются.

§ 7. Пространственная селекция

В тех случаях, когда спектры частот двух станций взаимно перекрываются (а в военное время такие случаи могут иметь место не только случайно, а сплошь и рядом это делается нарочно, чтобы помешать передаче противника или, как принято говорить, «забить» передачу противника), частотная селекция не помогает. Спрашивается, можно ли всё-таки и в этих случаях освободиться от помехи, выделить из всех радиоволн, приходящих в место приёма, только те, которые исходят из нужного нам передатчика? Совершенно ясно, что если обе передачи — нужная нам и мешающая — приходят из одного направления и при этом спектры излучаемых ими частот частично или полностью перекрываются, то решение этой задачи оказывается невозможным. Если же обе передачи приходят из различных на-

правлений, то освобождение от мешающей передачи становится возможным.

В самом деле, электромагнитные волны, излучаемые передатчиком, распространяются вдоль однородной поверхности земли равномерно по всем направлениям так, что вдоль окружности круга



Рис. 12. Взаимное расположение напряжённости электрического — E и магнитного — H полей и направление распространения радиоволн.

с центром в передатчике интенсивность волны будет одинакова. При этом в электромагнитной волне, как поперечной волне, напряжённости электрического (E) и магнитного (H) полей взаимно перпендикулярны и расположены перпендикулярно к направлению распространения радиоволн (рис. 12).

Так как напряжённость электрического поля практически перпендикулярна к поверхности земли (поэтому приёмная антенна тем эффективнее, чем длиннее её вертикальная часть), то напряжённость магнитного поля будет расположена по касательной к окружности, проходящей через место приёма. Таким образом, если расположить плоский виток проволоки перпендикулярно к направлению волны (рис. 13), то переменное магнитное поле волны в нём никакой электродвижущей силы индуцировать не будет, т. е. мы на этот виток не сможем принять передатчика, создавшего это магнитное поле. При всяком другом положении плоскости витка в нём

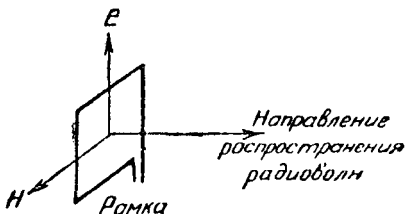


Рис. 13. Расположение рамки при минимуме приёма в направлении распространения радиоволн.

будут наводиться переменные токи. Таким образом, с помощью антенны, состоящей из нескольких витков проволоки, расположенных практически в одной плоскости, и получившей название *рамочной антенны* или *рамки*, можно, в отличие от обычной антенны, исключить приём определённой радиостанции. Для этого достаточно повернуть приёмную рамку таким образом, чтобы плоскость её была перпендикулярна к направлению на эту радиостанцию. Тогда её излучение не будет приниматься, в то время как приём всех других радиостанций, расположенных по другим направлениям, будет возможен. Очевидно, что использование такой антенны позволяет принципиально решить задачу освобождения радиоприёма одной станции от мешающего действия другой радиостанции, работающей на той же волне, но расположенной в другом направлении ¹⁾.

Выделение излучения одной из ряда радиостанций, расположенных в различных направлениях от места приёма, по различию в их пространственном расположении, можно назвать *пространственной селекцией*.

Селекция, осуществляемая с помощью рамочной антенны, представляет ещё мало совершенный вид пространственной селекции, так как она позволяет освободиться от мешающего

¹⁾ Заметим, что кроме этой задачи с помощью рамочной антенны можно, очевидно, также решить и задачу определения направления, в котором расположена та или иная радиостанция. Поэтому рамочная антенна и используется для определения с помощью радиоволн положения объекта — для нахождения так называемого радиопеленга его, а также в радионавигации для вождения судов и самолётов по определённым курсу.

действия радиостанций (или других электромагнитных излучений), приходящих только из направлений, лежащих в небольшом телесном угле (рис. 14). Такое действие рамочной антенны можно сравнить с действием небольшого экрана, помещённого вблизи глаза на пути лучей, приходящих от мешающего источника света. И здесь, как и в случае рамочной антенны, достигается только *исключение* излучений, приходящих из одного определённого направления. Гораздо более совершенным видом пространственной селекции явились бы способы, позволяющие осуществить не исключение, а *приём* излучений, приходящих только из направлений, лежащих в небольшом телесном угле. Такие спосо-

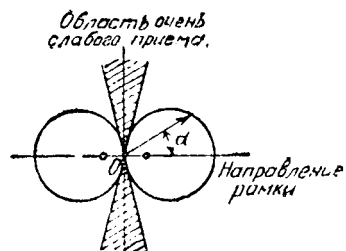


Рис. 14. Диаграмма направленности приёмной рамки.

бы и основанные на них устройства легко осуществимы в оптике и очень широко там используются. Ещё древние египтяне обнаружили, что, находясь на дне глубокого колодца, можно днём видеть звёзды. Этот опыт легко проделать, рассматривая небо из совершенно тёмного помещения в телескоп, плотно проходящий через отверстие в ставне. При пользовании такой длинной трубой в наш глаз попадает лишь узкий пучок света, приходящий из направления на рассматриваемый объект (например звезду) и смежных направлений, в то время как действие световых лучей, приходящих из других направлений, полностью исключается. Так как при этом кроме света от звезды в глаз может попасть лишь свет, рассеянный от очень малой части атмосферы, заключённой в узком телесном угле, который недостаточно силен для того, чтобы затемнить свет звезды, то мы её и можем видеть.

Принципиально возможно также осуществить и «радиотелескопы», т. е. такие радиоприёмные антенные устройства, которые будут хорошо принимать излучения, приходящие из узкого пространственного угла, и очень плохо принимать излучения, приходящие из всех других направлений. Однако, если такие устройства сравнительно нетрудно осуществить в области дециметровых волн, ввиду малости длины волны, с помощью так называемых *рупорных антенн* или *радиогорнов* (рис. 15),

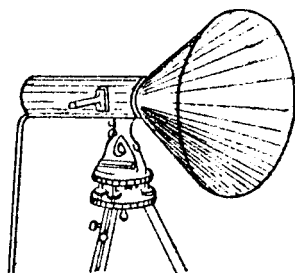


Рис. 15. Рупорная антенна «радиогорн».

то уже в области коротких волн, порядка немногих десятков метров, антенные устройства для такого остро направленного приёма требуют для своего осуществления сооружения ряда антенн большой протяжённости (рис. 16). Поэтому

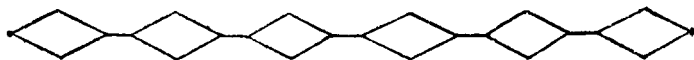


Рис. 16. Направленная система ромбических антенн «Мюза». Длина около 1,2 км.

такие антенные устройства могут быть применены только в больших радиоприёмных центрах. С длиной волны протяжённость таких устройств возрастает, что делает их практически невыполнимыми для волн длинноволнового и радиовещательного диапазонов.

Для того чтобы читатель мог составить себе представление об эффективности такого рода антенных устройств, на рис. 14 и 17 приведены диаграммы направленности приёма ряда таких антенных устройств для различных длин волн в виде кривых, расстояния точек которых от точки приёма O дают силу приёма из данного направления.

Легко видеть, что только для очень коротких волн (рис. 17) такие антенные устройства дают достаточно хорошие результаты.

Использование частотной и пространственной селекций является наиболее общим и широко распространённым приёмом борьбы с радиопомехами от посторонних радиостанций.

Однако, как уже упоминалось в самом начале, кроме посторонних радиостанций мешающее действие могут оказывать и многие другие источники электромагнитных волн, спектр излучения которых содержит частоты, совпадающие с принимаемыми частотами. К их рассмотрению мы теперь и переходим.

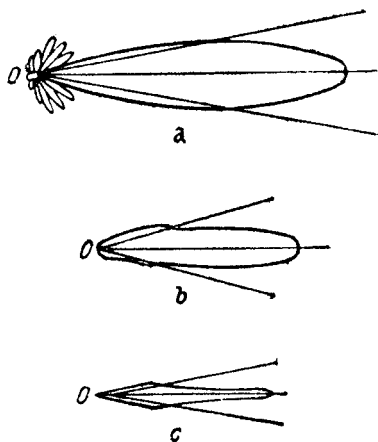


Рис. 17. Диаграмма направленности приёма различных антенн: a — ромбической антенны длиной $4,1 \lambda$; b — одного радиогорна длиной в 70,8 см при $\lambda = 23,3$ см; c — системы из четырёх радиогорнов.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РАДИОПОМЕХИ

§ 8. Радиоприём в деревне и городе

Многие радиослушатели, вероятно, неоднократно замечали, что в сельской местности качество радиопередачи, принимаемой на радиоприёмник, несравненно выше, чем в городе. В деревне в хорошую погоду, особенно зимой, значительно слабее и реже (либо вовсе отсутствуют) различные посторонние звуки: трески, свистящие, шипящие и другие шумы, часто носящие силовую характер (так называемый шумовой фон), которые в городе сильно мешают слушанию передаваемой музыки, речи, пения, а часто совершенно их заглушают. Более наблюдательные радиослушатели, вероятно, обратили внимание на то, что при приёме радиопередачи в сельской местности не только меньше шумов во время самой передачи, но что в паузах между передачами шумовой фон значительно слабее, чем в городе. Благодаря такой «радиотишине» в сельской местности возможен приём и таких слабых и отдалённых станций, которые в городе совершенно невозможно обнаружить.

Иное наблюдается в городах и промышленных центрах, где стоит сильный *радиосум*, который слышен при любой настройке приёмника и часто бывает настолько интенсивен, что делает радиоприём невозможным. То обстоятельство, что этот шум слышен при любой настройке приёмника, означает, что он создаётся излучением электромагнитных волн, спектр которых имеет в своём составе самые разнообразные частоты.

§ 9. Искровой передатчик

Что же является источником этого рода радиопомех? Ещё в самом начале развития радиовещания в целом ряде городов Западной Европы было замечено, что радиопомехи особенно усиливаются при прохождении трамвая вблизи от места приёма. Исследование причины этого явления привело к заключению, что в этом случае возникновение радиопомех связано с прерыванием контакта между воздушным проводом трамвая и сетью, особенно при переходе через стыки линии на перекрёстках. Более тщательные наблюдения показали, что подобного рода радиопомехи возникают всегда при размыкании и замыкании цепи электрического тока и что они особенно сильны в тех случаях, когда замыкание или размыкание цепи тока сопровождается образованием искры или дуги.

Для того чтобы уяснить себе, почему в этих случаях возникают радиопомехи, вспомним, что в первой стадии развития радио единственным источником радиоволн были *искровые* передатчики (рис. 18). В них электрические колебания создавались в колебательной цепи, составленной из конденсатора C и катушки самоиндукции L , искровым разрядом конденсатора, заряженного до высокого напряжения. При пробивании искрой воздушного промежутка между шариками разрядника (рис. 18), соединёнными с обкладками конденсатора, между шариками как бы мгновенно перекидывается проводящий мостик в виде ослепительно ярко светящегося узкого канала. Вследствие этого электрическая цепь — так называемый *колебательный контур* — замыкается и происходит выравнивание зарядов на обкладках конденсатора в виде электромагнитных колебаний. Период электромагнитных колебаний получается по приведённой нами выше формуле Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где величины ёмкости цепи C и индуктивности L определяются размерами и взаимным расположением проводников, образующих электрическую колебательную цепь. Так, если цепь, замыкающаяся через искру или непосредственно (через металлический контакт), состоит из проводников малых размеров, то в ней возбуждаются колебания с очень малым периодом (стомиллионные доли секунды и меньше). С колебаниями такого рода мы имеем дело в разряднике Герца (осцилляторе), с которым им были проведены классические опыты над созданием и распространением очень коротких, так называемых герцевских, электромагнитных волн, которые положили начало радиотелесграфии. Колебания с очень коротким периодом (частота порядка 40—50 мегагерц) возникают также и в магнето моторов внутреннего сгорания. В цепях большой протяжённости возбуждаются колебания с большим периодом.

Так как электрическая энергия, запасённая в электрической цепи (например в конденсаторе за время его заряда), при разряде постепенно расходуется на нагрев проводников цепи, в искре и на излучение электромагнитных волн, то амплитуда колебаний не остаётся неизменной, а постепенно уменьшается: колебания затухают. В результате при каждом разряде конденсатора мы получаем не синусоидальные колебания, а группу по-

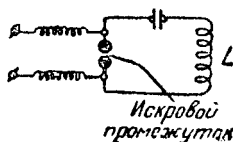


Рис. 18. Схема искрового генератора колебаний.

степенно затухающих колебаний (рис. 19). В зависимости от величины сопротивления проводников отдача энергии, а следовательно, и уменьшение амплитуды колебаний, будет происходить быстрее или медленнее. С увеличением сопротивления затухание возрастает, и колебания замирают очень быстро (рис. 20).

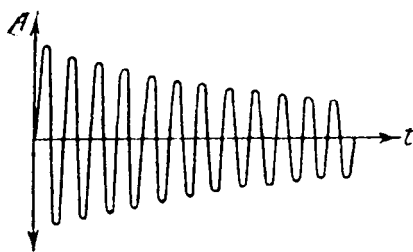


Рис. 19. Медленно затухающие колебания.

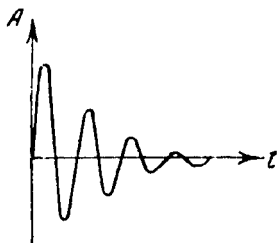


Рис. 20. Быстро затухающие колебания.

Наконец, при очень большом сопротивлении совершенно исчезает колебательный характер разряда: колебаний нет, и выравнивание зарядов на обкладках конденсатора носит аperiодический характер — происходит так называемый *aperиодический разряд* (рис. 21) ¹.

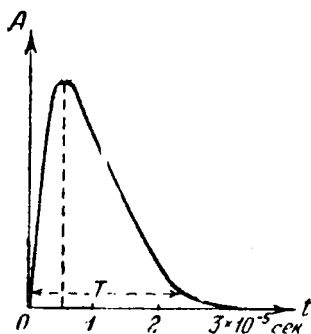


Рис. 21. Кривая аperiодического разряда.

Можно провести далеко идущую аналогию между явлением возникновения затухающих электрических колебаний и характером их излучения и акустическими колебаниями, возникающими при резком ударе о тело, способное звучать. Если отдача энергии, сообщённой телу при ударе, происходит медленно, как это имеет место, например, при звучании камертона или колокола, то мы слышим медленно замирающий музыкальный тон. При быстрой отдаче энергии, например при легком ударе о фанерный или тонкий металлический лист, колебания которого передаются воздуху от всей его поверхности, слышен лишь сухой отрывистый звук.

¹) Образование искры не обязательно для осуществления колебательного разряда конденсатора. Замыкание цепи заряженного конденсатора можно производить, например, посредством металлического контакта. Можно также создать колебания, разрывающие цепь тока. В этом случае период колебаний получается очень коротким.

Достаточно взглянуть на график затухающих колебаний (рис. 21), чтобы видеть, что затухающие колебания, вызванные одним разрядом, не только не синусоидальны, но даже не периодичны, так как их амплитуда всё время убывает, и что поэтому спектр их должен быть сложен. Каков же спектральный состав таких колебаний, или, иначе говоря, как отзываются на такие колебания резонансные колебательные системы, например радиоприёмник? Если колебания слабо затухающие, то они в течение большого числа колебаний мало отличаются от синусоидальных и поэтому на них отзываются только резонансные контуры, собственный период которых мало отличается от периода этого колебания. Этому случаю соответствует работа радиотелеграфного

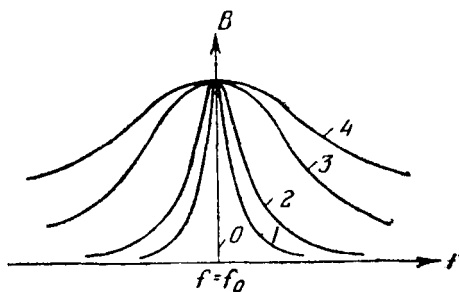


Рис. 22. Спектр частот затухающих колебаний с различным затуханием: 1 — медленно затухающие колебания, 4 — очень сильно затухающие колебания.

искрового передатчика, и настройка на него довольно острая (рис. 22, кривая 1). С увеличением затухания форма колебания всё больше отличается от синусоиды, спектр испускаемых частот становится всё шире (рис. 22, кривые 3 и 4), и на него от-

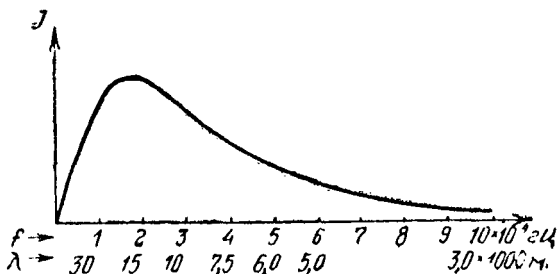


Рис. 23. Спектр частот аperiodического разряда.

зывается всё большее число резонансных контуров, собственный период которых совпадает с одной из многочисленных частот, входящих в состав его спектра, а настройка на него, естественно, становится всё тупее. Наконец, при аperiodическом разряде никакой настройки нет, и на него отзывается любой резонансный контур (рис. 23). Такой разряд, естественно, будет мешать при любой настройке приёмника.

Мы здесь имеем явление, вполне аналогичное хорошо известному, — вероятно, не только музыкантам, — явлению в акустике: если в помещении вблизи открытого рояля или скрипки произвести резкий отрывистый звук, то после его прекращения можно заметить, что звучат все струны. Отсюда можно сделать вывод, что спектр отрывистого звука (а аналогично и спектр аperiodического разряда) содержит большое число синусоид самых разнообразных периодов.

§ 10. Источники промышленных радиопомех

В современных городах и промышленных центрах ежеминутно происходит огромное число размыканий и замыканий цепей тока как с искрообразованием, так и без искры. Мы уже упоминали о трамвае, как мощном источнике помех, вызываемых размыканием и замыканием цепей тока. Такими же источниками помех могут явиться троллейбусы, электропоезда и всякого рода электровозы. Помехи, вызываемые замыканиями и размыканиями электрических цепей, имеют место и в контроллерах трамвая, в электромоторах и динамомашинках (искрение щёток), в рентгеновских установках, электрических звонках и др. Достаточно вспомнить, как широко применяются в настоящее время в промышленности и для бытового обслуживания электромоторы (для электрозавивки, сушилок для волос, швейных машин, вентиляторов, бормашины в зубо-врачебных кабинетах и т. д.), чтобы ясно представить себе всё огромное количество источников помех, рассеянных в городах на каждом шагу.

Во всех упомянутых только что источниках радиопомех искрообразование нежелательно и даже вредно и с ним по мере возможности стараются бороться. Существует, однако, целый ряд устройств, являющихся источником мощных радиопомех, в которых искра или дуга специально создаётся и используется. Таковы, например, электросварочные аппараты, дуговые электропечи, дуговые фонари и прожекторы, магнето зажигания двигателей внутреннего сгорания, электромедицинские аппараты типа д'Арсонваля и многие другие. Сюда относятся также искровые передатчики, которых ещё осталось весьма изрядное количество¹⁾. Как уже упоминалось выше, источником помех могут явиться также посторонние радиостанции. Однако, кроме них существует целый ряд высокочастотных генераторов, используемых в технических, научных и медицинских аппаратах. К ним относятся: индукционные высокочастотные печи, аппараты для электротерапии, диатермии и др.

¹⁾ По данным Международного бюро в Берне за 1936 г. из 14 813 зарегистрированных судов 8 413 имели только искровые установки.

Источниками помех являются также рентгеновские установки, получившие очень широкое распространение, неоновые лампы, используемые для рекламы, сигнальные уличные огни, кварцевые ртутные лампы, широко используемые в медицине и технике, ртутные выпрямители переменного тока и т. д. Необходимо также упомянуть о помехах, создаваемых явлениями тихого разряда в линиях высоковольтной передачи.

Из только что приведённого перечисления чрезвычайно большого числа разнообразных промышленных источников радиопомех следует, что и характер создаваемых ими электромагнитных излучений, равно как и спектры их, также должны быть чрезвычайно разнообразны. Среди них имеются как источники непрерывных, почти синусоидальных колебаний (радиостанции, высокочастотные индукционные печи, высокочастотные медицинские аппараты и др.) и источники слабо затухающих колебаний (искровые передатчики, аппарат д'Арсонваля, магнето, электросварочный аппарат со стабилизирующим осциллятором), так и источники импульсного типа со сплошным спектром излучения (неоновые лампы, ртутные выпрямители и т. п.).

По характеру их излучения, а следовательно, и действию их на радиоприёмник все эти многообразные виды помех принято делить на две большие группы. К первой группе помех, *периодических*, относят синусоидальные и близкие к ним слабо затухающие помехи. Все же помехи, имеющие более сложный или сплошной спектр излучения, составляют группу так называемых непериодических или *апериодических* помех. Разумеется, нельзя провести резкую границу между этими обеими группами и существует ряд переходных случаев.

Вопросы возникновения, распространения, а также дальности действия различных промышленных помех имеют большое значение для выработки эффективных мер борьбы с ними, и изучением их очень много занимаются в последние годы в целом ряде стран.

Существует уже большой опытный материал по этим вопросам и выработан целый ряд мер борьбы с промышленными помехами. Если помехи от магнето автомашин можно обнаружить в радиоприёмнике на расстояниях до 100 м, то помехи от рентгеновских и электросварочных аппаратов сказываются на расстояниях во много сотен и даже тысяч метров. Особенно большой дальностью действия отличаются, естественно, помехи от высокочастотных источников, как, например, медицинских аппаратов, установок для поверхностной закалки и т. п.

МЕРЫ БОРЬБЫ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ РАДИОПОМЕХАМИ

§ 11. Радишум

В предыдущей главе мы ознакомились с разнообразными источниками промышленных радиопомех и с характером создаваемых ими электромагнитных колебаний.

В городах борьба с промышленными радиопомехами в месте приёма чрезвычайно затруднена по следующим причинам. Так как число источников помех в городах и промышленных центрах очень велико и они густо разбросаны практически по всему городу, то спектры их, естественно, перекрываются. В результате в городах и промышленных центрах создаётся сплошной радишум, спектр которого включает в себя практически все радиочастоты. Разумеется, этот радишум не остаётся неизменным ни по составу спектра, ни по своей интенсивности, а непрерывно изменяется в зависимости от характера и числа работающих электроустановок и приборов, являющихся источниками радиопомех. Наиболее интенсивен радишум, естественно, в дневные часы, когда наибольшее число аппаратов, создающих помехи, находится в действии, и слабее всего в поздние ночные часы и перед самым утром.

Для расчётов интенсивности радишума, как и в других отраслях техники, исходят из некоторого среднего положения кривой распределения интенсивностей по спектру и называют её средним уровнем помех (рис. 24, кривая S). Так как средний уровень помех различен для различных участков спектра

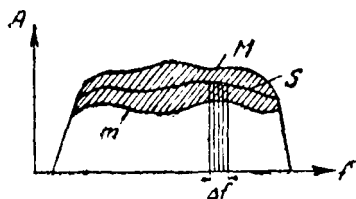


Рис. 24. Уровень помех. M — максимум, m — минимум.

различен для различных участков спектра (в различном диапазоне частот), а при радиоприёме нас всегда интересует лишь определённая узкая полоса частот в области настройки приёмника, то и средний уровень помех относят к данной полосе частот в данном диапазоне. Обычно определяют средний уровень сплошных помех в различных диапазонах частот для двух полос: шириной 200 гц , соответственно приёму радиотелеграфии, и шириной 6 000 гц для приёма радиотелефонии. Само собой понятно, что действие сплошного радишума на радиоприёмник тем сильнее, чем шире полоса пропускаемых им частот.

Для того чтобы читатель мог составить себе представление о тех значениях, каких может достигать уровень промышленного радишума в различных местностях, приводим следующие примерные данные:

Таблица I. Примерные значения среднего уровня радишума в различных местностях

| Диапазон волн | Род местности | Средний уровень радишума в $\mu\text{В}/\text{м}$ для ширины полосы | | |
|----------------|---------------|---|---------------|-----|
| | | 6 000 <i>гц</i> | 200 <i>гц</i> | |
| Средние волны | { | Большой город . . | 200 | 35 |
| | | Средний город . . | 80 | 15 |
| | | Сельская местность | 20 | 3,5 |
| Короткие волны | { | Город | 4 | 0,7 |
| | | Сельская местность | 2 | 0,4 |

Совершенно ясно, что от радишума ни с помощью частотной селекции (применение селективных приёмников), ни с помощью пространственной селекции (применение рамки) полностью освободиться невозможно.

Если интенсивность шумовых колебаний значительна, то они будут искажать принимаемую радиопередачу, а при достаточной интенсивности могут даже совершенно забыть её. Отсюда неизбежен вывод, что частотная селекция может здесь помочь только в том случае, если интенсивность принимаемой радиопередачи значительно больше среднего уровня радишума, выражаясь образно, — если радиопередатчик может «перекричать» радишум.

Однако, если в случае приёма радиотелеграфии или речи достаточно лишь перекричать радишум для того, чтобы можно было отчётливо разобрать передачу, то для высококачественного приёма музыки или пения этого далеко недостаточно, так как для художественного воспроизведения передачи здесь важное значение имеют как самые громкие звуки, так и самые тихие (пианиссимо). Для художественной передачи музыки или пения необходимо, чтобы интенсивность самых слабых звуков была значительно выше среднего уровня радишума. Таким образом, требуемая для удовлетворительного приёма интенсивность сигнала зависит как от уровня радишума, так и от характера принимаемых передач.

Ниже приводится таблица II, составленная по данным Международной конференции по радиосвязи, состоявшейся в 1934 г. в Лиссабоне, для величины $s = \frac{\text{напряжённость сигнала}}{\text{средний уровень помех}}$, характеризующей качество приёма различного рода передач при наличии помех.

Таблица II

| Вид передачи | $s = \frac{\text{напряжённость сигнала}}{\text{средний уровень помех}}$ | |
|----------------------------------|---|-------------------------------|
| | Качество приёма едва удовлетворительное | Качество приёма очень хорошее |
| Телеграфия на слух | 1 | 2 |
| Телеграфия быстродействующая . . | 2 | 5 |
| Коммерческая радиотелефония . . | 4 | 30 |
| Радиовещание | 7 | 100 |

Из этой таблицы видно, что в то время, как для очень хорошего приёма на слух телеграфных знаков Морзе достаточно, чтобы сила сигнала только вдвое превосходила средний уровень помех, для едва удовлетворительного приёма радиовещательных передач необходимо, чтобы сила сигнала была, по меньшей мере, в 7 раз больше уровня помех. Для художественного же радиовещания s должно быть не меньше 50. Это означает (см. табл. I, стр. 33), что для хорошего приёма радиовещания в большом городе интенсивность сигнала на средних волнах должна быть не меньше 10 000 $\mu\text{V}/\text{м}$.

§ 12. Удаление радиоприёмного устройства от источников радишума

Почему же нельзя построить такие мощные радиостанции, чтобы интенсивность их поля и на больших расстояниях от них была достаточна для хорошего приёма? Посмотрим, какая потребовалась бы для этого мощность такой радиостанции. Вспомним, что интенсивность сигнала растёт пропорционально \sqrt{P} .

Обратимся теперь к таблице интенсивностей поля радиопередатчика, работающего на волне $\lambda = 600 \text{ м}$, составленной по данным Международной комиссии по распространению радиоволн.

Таблица III. Значения напряжённости поля в $\frac{\text{микровольтах}}{\text{метр}}$ от передатчиков мощностью в 1 kW и 400 kW на различных расстояниях от них над ровной поверхностью суши днём для волн $\lambda = 600 \text{ м}$ и $\lambda = 1\,500 \text{ м}$

| Расстояние в км | Излучённая мощность 1 kW | | Излучённая мощность 400 kW | |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | $\lambda = 600 \text{ м}$ | $\lambda = 1\,500 \text{ м}$ | $\lambda = 600 \text{ м}$ | $\lambda = 1\,500 \text{ м}$ |
| 50 | | 6 000 | | |
| 100 | 1500 | 2 800 | 30 000 | |
| 200 | 400 | 870 | 8 000 | 17 400 |
| 300 | 140 | 500 | 2 800 | 10 000 |
| 400 | 52 | 300 | 1 040 | 6 000 |
| 500 | 13 | 180 | 240 | 3 600 |
| 600 | 8,5 | 100 | 170 | 2 000 |
| 800 | — | 42 | — | 840 |
| 1000 | 4 | 18 | 80 | 360 |

Интенсивность поля 400-киловаттного передатчика, работающего на волне 600 м, уже на расстоянии 200 км от него достигает всего 8 000 $\mu\text{V}/\text{м}$, что едва достаточно для приёма художественного радиовещания в большом городе. В сельской местности, где для очень хорошего приёма достаточно иметь интенсивность поля 1 000 $\mu\text{V}/\text{м}$, он возможен на значительно больших расстояниях (около 400 км). Из этой же таблицы видно, что на длинной волне ($\lambda = 1\,500 \text{ м}$) дальность действия в дневные часы значительно больше: так, интенсивность поля падает до 10 000 $\mu\text{V}/\text{м}$ лишь на расстоянии в 300 км от передатчика и до 1 000 $\mu\text{V}/\text{м}$ на расстоянии около 800 км от него. Таким образом, в больших городах днём хороший приём художественного радиовещания даже от очень мощных станций возможен лишь на сравнительно незначительном расстоянии от них. Если принять во внимание, с одной стороны, что интенсивность поля убывает обратно пропорционально расстоянию, в то время как требуемая мощность прямо пропорциональна квадрату силы поля¹⁾, и, с другой стороны, что уже 400-киловаттный передатчик представляет собой очень сложное техническое сооружение и постройка требует огромных затрат (передатчиков такой мощности на всём земном шаре очень немного), то станет ясно, что дальнейшее повышение излучаемой мощности радиопередатчиков было бы очень нерентабельно. Следует также заметить, что станции такой мощности делали бы невозможным приём

¹⁾ Так, например, для того, чтобы на волне $\lambda = 1\,500 \text{ м}$ на расстоянии 1 000 км от радиопередатчика сила поля была равна 10 000 $\mu\text{V}/\text{м}$, потребовалась бы мощность около 30 000 kW.

в сфере их действия более слабых станций, даже на заметно отличной длине волны. Поэтому по международному соглашению мощность радиостанций ограничена.

Значительно более выгодные соотношения получаются для коротких волн. С одной стороны, как видно из табл. I, уровень радишума в диапазоне коротких волн значительно ниже и, с другой стороны, как мы увидим дальше, в гл. VI, условия распространения коротких волн существенно отличаются от условий распространения средних и длинных волн. Однако, непостоянство условий распространения коротких волн является причиной новых, часто весьма серьёзных, помех радиоприёму. Поэтому и на коротких волнах нельзя увеличением мощности обеспечить высококачественный приём передач.

Таким образом, мы приходим к выводу, что в больших городах в большинстве случаев практически невозможно осуществить такую силу поля принимаемых передач от отдалённых станций, чтобы можно было перекричать радишум, и, следовательно, в этих случаях одна частотная селекция бессильна обеспечить требуемую для художественной передачи чистоту приёма.

Мало эффективен также и направленный приём на рамку ввиду того, что источники мешающих излучений рассеяны в городах повсюду. Только в редких, единичных случаях, когда сильный источник радиопомех расположен во вполне определённом ограниченном пространстве, для освобождения от его мешающего действия может быть с успехом применена пространственная селекция ¹⁾.

Таким образом, ни с помощью частотной селекции, ни посредством направленного приёма радиослушатели внутри города не в силах бороться с промышленными радиопомехами, если только передающая станция недостаточно мощна для того, чтобы их перекричать. Само собой напрашивается самое простое и радикальное решение задачи освобождения от промышленных радиопомех, а именно, удаление радиоприёмного устройства от источников этих помех. Такое решение возникло вскоре после мировой войны ещё в самом начале бурного развития радио, и учреждения связи, деятельность которых существенно зависит от бесперебойного приёма сообщений по радиотелеграфу и радиотелефону, пришли к выводу о необходимости создания так называемых *выделенных радиоприёмных центров*.

¹⁾ Как мы увидим ниже, здесь возможны ещё некоторые другие меры борьбы.

Такие центры обыкновенно устраивают в нескольких десятках километров от обслуживаемого ими большого города, по возможности вдали от радиопередающих станций, линий передач и других источников радиопомех. Аппаратура для приёма радиотелеграфных и радиотелефонных сообщений из различных городов и стран располагается в специально оборудованных помещениях, иногда полностью забронированных (см. ниже стр. 39) для полного исключения помех. Территория, на которой располагается выделенный приёмный центр, должна быть достаточно обширна для того, чтобы на ней можно было соорудить сложные системы антенн для остро направленного приёма, которые, как мы указали раньше, требуют большой протяжённости. Сообщения, принятые приёмным центром, передаются по проводам (обычно по подземному кабелю) непосредственно в приёмный зал главного телеграфа.

Устройство выделенных приёмных пунктов, разумеется, разрешает также вопрос об освобождении от промышленных помех и приёма радиовещательных передач от отдалённых мест, которые, будучи приняты в этом пункте, передаются затем по проводам в ближайший город на квартиры абонентов.

§ 13. Экранирование источников радишума

Однако, устройство выделенных приёмных пунктов всё же не решает вопроса об освобождении в самом городе радиоприёма от радишума. Необходимо найти и применить такие средства, которые, не нарушая нормальной работы электротехнических машин, приборов, аппаратов и установок, являющихся источниками радиопомех, позволили бы, с одной стороны, возможно больше ослабить создаваемые ими электромагнитные колебания и, с другой стороны, воспрепятствовали бы попаданию этих колебаний в радиоприёмник ¹⁾.

Что касается ослабления колебаний в самом источнике, то это возможно только в тех случаях, когда получение этих колебаний не является целью работы того или иного устройства, машины или аппарата, а они представляют собой побочное явление, чаще всего вредное для работы этих устройств (дуга в воздушной сети трамвая, троллейбуса, искрение щёток электромашин, электрический звонок и т. п.). В тех случаях, когда колебания либо специально создаются, как во всяких высоко-

¹⁾ Совершенно очевидно, что проведение таких мер возможно лишь в принудительном порядке путём издания соответствующих законов.

частотных установках, либо они возникают от наличия искры и вообще электрического разряда, которые используются как таковые (свечи, магнето, электросварка, прожекторы, газосветные лампы, дуговые электронечи и пр.), это, конечно, невозможно.

Однако, ослабление мешающих колебаний в самом источнике если и возможно, то лишь в небольшой степени (путём гашения искры, где это допустимо, улучшением контакта между воздушным проводом и сетью трамвая, введением двойных бюгелей и т. п.), и для того чтобы избавиться или свести к минимуму промышленные помехи, остаётся по возможности не допустить их в радиоприёмник.

Мешающие радиоприёму колебания могут попасть в приёмник различными путями. На рис. 25 схематически показана

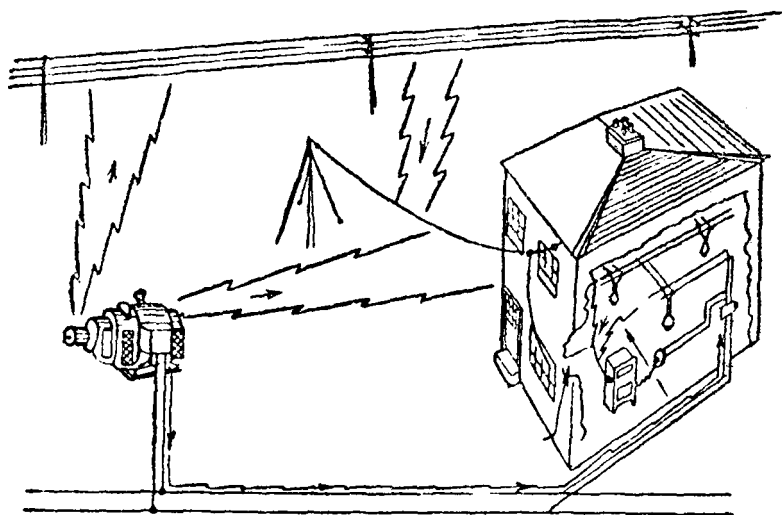


Рис. 25. Схема путей распространения помех от источника помех к приёмнику.

ны в общем случае все возможные пути прохождения помех от источника, получающего питание от городской сети, к приёмнику с питанием от той же сети, включённому на наружную антенну. С одной стороны, высокочастотные токи проходят по линии и из неё попадают непосредственно через цепь питания в приёмник, а также в осветительную сеть помещения, откуда они проникают через индукцию во ввод антенны, а от-

туда в приёмник. С другой стороны, возникшие в источнике мешающие колебания излучаются в пространство, откуда они улавливаются приёмной антенной, а также проходящей вблизи телефонной или телеграфной линией, которая в свою очередь воздействует на антенну. Ясно, что если источник помех или приёмник (или тот и другой) не получает питания от общей сети, то возможных путей проникновения помех в приёмник будет меньше. Из этого рассмотрения видно, что помехи распространяются как по проводам, так и непосредственно через пространство (через излучение или через индукцию). Таким образом, для успешной борьбы с этого рода помехами нужно решить две отдельные задачи: уменьшить излучение мешающих колебаний и, с другой стороны, преградить высокочастотным токам путь в линию.

Каким же образом можно ослабить излучение электромагнитных колебаний в пространство? Источник электромагнитных колебаний помещают целиком в ящик, закрытый со всех сторон стенками (листами) из хорошо проводящего металла, который при достаточной толщине не пропускает наружу электромагнитных колебаний, или, как говорят, экранирует их.

Такое полное экранирование всей комнаты производят для защиты от всяких посторонних излучений, например в некоторых лабораториях исследовательских институтов, расположенных в индустриальных центрах, а также в поме-

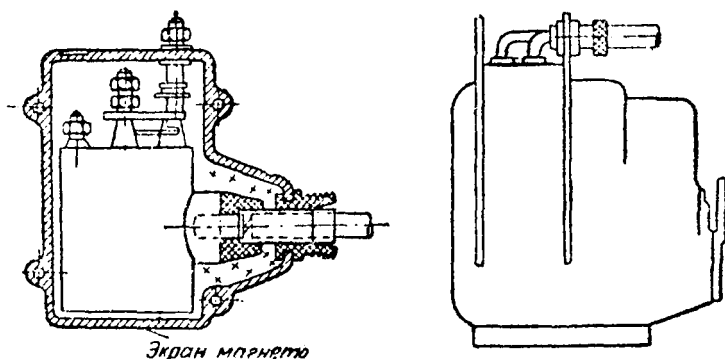


Рис. 26. Бронировка магнето зажигания.

щениях выделенных радиоприёмных центров, где производится особо чувствительный или ответственный приём. Такую бронировку легко также осуществить и для магнето зажигания в автомашинах и на самолётах (рис. 26).

Однако, такое экранирование далеко не всегда возможно по техническим причинам, но и там, где оно возможно, остаётся всё же, из-за отверстий в броне для разных вводов и выводов, некоторая утечка электромагнитных волн, и с этим остаточным излучением приходится бороться уже последним способом, а именно — преграждая им пути в приёмник.

§ 14. Ослабление радишума, передаваемого по проводам

Какими же средствами можно преградить или затруднить высокочастотным колебаниям прохождение по проводам, ведущим от источника, где они создаются, к приёмнику, и вместе с тем оставить путь свободным для постоянного или низкочастотного тока, циркулирующего в данной линии? Здесь мы, очевидно, имеем такую же задачу, какая возникает в инженерном деле, когда требуется предохранить ту или иную часть механического сооружения от быстрых колебаний — вибраций, вызванных толчками или сотрясениями, сохраняя в то же время определённый характер его движения, например поступательный. Так, для того чтобы предохранить автомобиль или экипаж от толчков и сотрясений при движении по неровной дороге, кузов помещают не непосредственно на оси колес, а на рессоры — упругую подставку из тонких стальных полос — пружин. Ввиду большой *инерции* кузова и *слабости пружин* всякие быстрые толчки и колебания осей колёс только очень слабо передаются кузову и практически не вызывают резких изменений его положения в пространстве, в то время как за медленными изменениями положения осей (при подъёме или спуске) кузов, разумеется, полностью следует.

Хорошо известно также, что в тех случаях, когда требуется предохранить от толчков и обеспечить равномерное вращение механизмов, приводимых в движение двигателем с неравномерным ходом, на общую ось насаживают массивный диск (или колесо) с утолщением на краях — так называемый маховик. Благодаря своей большой инерции (моменту инерции) маховик не отзывается на быстрые толчки и удары, сообщаемые ему двигателем, и не передаёт их оси, в то время как за медленными изменениями скорости (например, при пуске или при плавном переходе с одной скорости на другую) он полностью следует.

Инерция масс и упругость пружин являются в инженерном деле основными средствами предохранения от толчков

и вызываемых ими вибраций. В тех же случаях, когда требуется уничтожить возникающие вибрации, их заглушить, как известно, широко пользуются трением.

В области электрических колебаний мы также располагаем средствами, аналогичными рессорам и маховику, — средствами, позволяющими отделить высокочастотные колебания, соответствующие в механике быстрым изменениям положения, от технических токов низкой частоты, аналогичных медленным изменениям положения, или от постоянного тока (равномерное движение). Этими средствами являются электрический конденсатор, ёмкость которого играет здесь ту же роль, что и упругость пружины в механике, и катушки самоиндукции или дроссели, индуктивность которых соответствует инерции (массе) маховика. Для уничтожения же нежелательных колебаний в радиотехнике пользуются электрическими сопротивлениями, роль которых вполне аналогична роли трения в механике.

Как же используются конденсаторы и катушки самоиндукции для преграждения мешающим электромагнитным колебаниям доступа в приёмник?

Как известно, конденсатор пропускает лишь переменный ток и притом тем легче, чем выше частота этого тока и чем больше ёмкость конденсатора. Таким образом, один и тот же конденсатор может представлять очень малые сопротивления для токов высокой частоты и в то же время большое сопротивление для низкочастотного тока. Это даёт возможность соответствующим включением конденсатора определённой ёмкости отделить высокочастотные токи как от постоянного тока, который через конденсатор не проходит, так и от переменного технического тока низкой частоты, для которого он представляет большое сопротивление. С этой целью с помощью конденсаторов высокочастотные колебания направляют по другому пути, чаще всего в землю, и таким образом препятствуют им попасть в радиоприёмник через линию питания. Рассмотрим несколько примеров.

На рис. 27 показано, как с помощью конденсаторов, включённых в распределительную доску у входа в комнату, можно освободиться от радиопомехи, проникающей в помещение через эту сеть. Следует заметить, что высокочастотные колебания могут распространяться по линии, придя по одному проводу и уйдя по второму (так называемый симметричный высокочастотный ток),

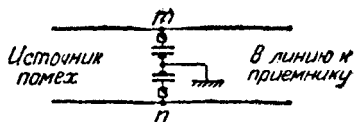


Рис. 27. Блокировка линии постоянного тока при помощи конденсаторов.

так и параллельно по обоим проводам (асимметричный ток). При включении, приведённом на рис. 27, высокочастотные колебания, дойдя до точек разветвления m и n , ввиду малого сопротивления конденсаторов по сравнению с сопротивлением линии, проходят, главным образом, через конденсаторы в землю, и только очень малая часть ответвляется в линию.

Однако, эта схема включения, вполне пригодная для линии постоянного тока, может представить опасность электрического удара при переменном токе, так как между заземлённым

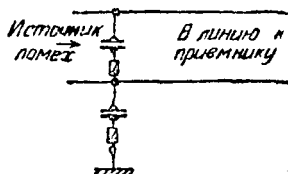


Рис. 28. Блокировка линии переменного тока при помощи конденсаторов.

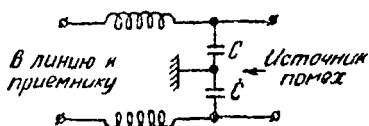


Рис. 29. Применение конденсаторов и дросселей для блокировки линии.

нулевым проводом линии и точкой заземления конденсаторов будет существовать некоторая разность напряжения. Поэтому для линий переменного тока применяют схему включения конденсаторов, приведённую на рис. 28. Здесь опасность электрического удара исключена, и в то же время через конденсаторы отводится в землю главная часть мешающих высокочастотных токов, как симметричных, так и асимметричных.

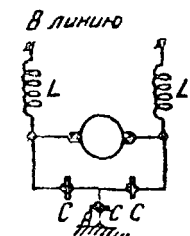


Рис. 30. Схема защиты линии от помех, создаваемых электромотором.

В тех случаях, когда сопротивление линии мало и для отвода мешающих высокочастотных токов в землю одних конденсаторов недостаточно, сопротивление линии для токов высокой частоты увеличивают включением дросселей (рис. 29). Индуктивное сопротивление дросселей тем больше, чем выше частота, и, следовательно, выбрав соответствующим образом величину индуктивности дросселей, можно сделать их сопротивление для токов высокой частоты большим, в то время как для

токов низкой частоты оно будет достаточно малым. В качестве примера применения дросселей и конденсаторов для прекращения доступа в линию высокочастотным токам на рис. 30 приведён случай, когда источником помех является электромотор.

Примером распространённого источника радиопомех является троллейбус. Помехи, вызываемые им, сильнее, чем от трамвая, так как он питается от двухпроводной незаземлённой линии.

На рис. 31 представлены схематически главные источники помех в троллейбусе: *a* — главный мотор, *b* — непостоянный контакт между бугелями и воздушными проводами, особенно при наличии нажимных роляков, *c* — реостаты в цепи якоря и возбуждения мотора, через которые идёт большой ток, и цепи управления этими реостатами и *d* — мотор компрессора от тормоза. Все помехи от этих источников распространяются, главным образом, вдоль линии на расстояния до нескольких километров и излучаются ею в пространство. Для ослабления излучения к линии через каждые 50—100 м подключают два

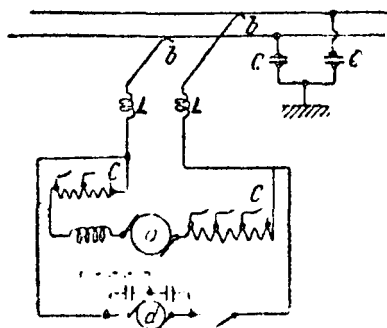


Рис. 31. Схема главных источников помех в троллейбусе и меры защиты от них.

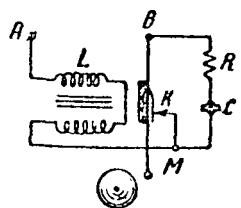


Рис. 32. Подавление помех в электрическом звонке.

последовательно соединённых конденсатора со средней заземлённой точкой. Для того же, чтобы преградить мешающим колебаниям путь в линию, последовательно с бугелями включают дроссели, которые располагаются как можно ближе к главному мотору и монтируются обычно на крыше троллейбуса. Индуктивность дросселей выбирается таким образом, чтобы сопротивление их для наиболее сильной мешающей частоты было порядка 10 000 ом. В цепь управления реостата включают дроссель индуктивностью 10—20 миллигенри.

В качестве примера подавления мешающих колебаний с помощью электрического сопротивления приведём электрический звонок (рис. 32). Вследствие большой индуктивности катушки электромагнита *L* в цепи при размыкании контактов *K* возникают высокочастотные колебания, мешающие радиоприёму. Для того чтобы погасить эти колебания, параллельно контактам к точкам *M* и *B* включают сопротивление *R* последовательно с ёмкостью *C*. В момент размыкания цепи это сопротивление оказывается включённым в колебательную цепь и увеличивает её затухание, предупреждая возникновение ме-

шающих колебаний. Следует заметить, что такое включение сопротивления одновременно сильно ослабляет и даже гасит искру, которая может возникнуть в момент размыкания контактов, и таким образом предохраняет контакты от обгорания.

§ 15. Метод компенсации

Эту главу мы закончим рассмотрением ещё одного способа подавления различного рода радиопомех в месте приёма. Этот весьма эффективный способ основан на следующем. Пусть, например, на приёмную антенну действует помеха на волне принимаемого сигнала, которая значительно интенсивнее сигнала, так что приём совершенно невозможен. Если источник помех расположен сравнительно недалеко от места приёма, то, как мы видели выше, он будет действовать на антенну через индукцию (либо непосредственно, либо через посредство близко проходящих электрических линий или осветительной сети). В этих случаях обычно нетрудно так расположить другую вспомогательную антенну (или рамку), чтобы в ней хорошо наводились колебания от помехи и в то же время гораздо слабее или совсем не возбуждались колебания от принимаемых сигналов.

Если теперь соответствующим усилением или ослаблением довести амплитуду колебаний от помехи до той же величины, что и в главной приёмной антенне, и затем подвести их вместе ко входу приёмника, предварительно добившись того, чтобы направления обоих колебаний, вызываемых помехой, были прямо противоположны, то они, очевидно, будут взаимно уничтожать друг друга. Мы получим здесь полную *компенсацию* действия помехи на приёмник. Колебания же от сигнала, очевидно, будут либо только частично компенсированы, либо останутся неослабленными, и следовательно, приём их будет освобождён от помехи.

Таким образом, *метод компенсации*, как обычно называют этот способ подавления помехи, основан на том, что помеха подводится к приёмнику еще по вспомогательному пути, который выбирается таким образом, чтобы по этому пути по возможности не проходили совсем или проходили только очень слабо колебания от принимаемого сигнала.

Метод компенсации, как показывает опыт, можно с успехом применять для освобождения приёма даже слабых станций от таких сильных помех, какие создаются медицинскими аппаратами (рентген, д'Арсонваль и др.), а также электросваркой.

АТМОСФЕРНЫЕ ПОМЕХИ

§ 16. Радиопомехи от грозовых разрядов

Как уже упоминалось выше, радиоприём в сельской местности, вдали от источников промышленных радиопомех, несравненно чище и чувствительнее, чем в городе. Однако и там иногда, а летом довольно часто, в громкоговорителе или телефонной трубке слышны резкие трески, щелчки и сильные шорохи. Особенно сильны такие резкие трески, щелчки при приближении грозы. Если слабые грозовые разряды не дают себя чувствовать в городе из-за сильного радишума, то радиопомехи от близких грозовых разрядов ощущаются заметно и при приёме в городе, причём интенсивность их не только может превосходить интенсивность промышленных радиопомех, но сильная гроза представляет опасность как для радиоприёмника, так даже и для жизни радиослушателя. Поэтому и рекомендуется обязательно заземлять антенны во время грозы.

Исключительной силы достигают радиопомехи от грозовых разрядов в тропических странах (рис. 33). В некоторых местностях, например, в районе Зондских островов, в северо-восточной части тропической Африки (верховье Нила), в Южной Мексике, в северо-восточной части Южной Америки, где особенно часты грозы (до 100 гроз в году), помехи часто делают невозможной радиосвязь даже с мощными радиостанциями. У нас таким грозовым центром является горный район Кавказа. Помехи от грозовых разрядов наблюдаются всюду, особенно на длинных волнах, в любое время года. На севере даже зимой, при приёме очень отдалённых и слабых длинноволновых радиостанций, последние прослушиваются на фоне характерных для грозовых разрядов потрескиваний и шорохов.



Рис. 33. Мировая карта грозовых очагов.

Какова же природа этих природных, или, как их ещё принято называть, *атмосферных радиопомех*? Уже на заре возникновения радио А. С. Поповым с помощью его грозоотметчика, который явился первым в мире радиоприёмником, было установлено, что разряд молнии действует совершенно так же,

как и искровой разряд конденсатора. Ещё со времени знаменитого опыта В. Франклина с воздушным змеем было известно, что молния представляет собой не что иное, как электрический искровой разряд между облаком и землёй, длиной в 1 километр и более. Однако, только в результате многочисленных, подчас очень тонких исследований, проведённых за последние 10—15 лет, были выяснены различные стороны этого грозного и величественного явления природы, имеющие важное значение для различных отраслей техники.

Однако, в то время как для других отраслей техники вредные последствия грозного разряда сказываются только в непосредственной близости от очага грозы (например, в результате поражения молнией линии высоковольтной передачи может выйти из строя электроцентральный), для радиосвязи грозные разряды проявляют себя в виде помех и на очень далёких расстояниях от очага. Поэтому для вопросов радиосвязи очень важно не только детальное изучение всей картины грозного разряда, но особенно характер электромагнитного излучения разряда и состав его спектра как на малых, так и на больших расстояниях от него.

Таким образом, задача отыскания мер борьбы с грозными помехами имеет очень большое значение как для тропических, так и для удалённых от них стран. Возникает вопрос — так же ли это необходимо для стран, лежащих в умеренных широтах, как, например, СССР?

Для того, чтобы полностью представить себе, насколько важен этот вопрос, напомним, что основной задачей радиосвязи является обеспечение уверенной, безошибочной, бесперебойной, а часто (в военное время особенно) и срочной передачи сообщений. Хотя грозная деятельность в средних широтах и значительно слабее, чем в экваториальной полосе, она всё же довольно значительна в тёплое время года. Кроме того, на выделенных радиоприёмных пунктах производится приём также весьма отдалённых и сравнительно маломощных станций, так что напряжённость поля от этих станций в месте приёма достигает лишь немногих микровольт на метр. Поэтому там, как мы увидим ниже, радиопомехи даже от весьма отдалённых гроз могут исказить, а иногда и прервать приём той или иной передачи. Если добавить ещё, что грозная деятельность в атмосфере всего земного шара протекает непрерывно, — статистика гроз показывает, что каждую секунду в различных местах земного шара имеет место не меньше 100 грозных разрядов, — то станет ясной необходимость возможно более детального изучения природы грозных разрядов и отыскания эффективных методов борьбы с ними.

§ 17. Молния

Рассмотрим сначала вкратце основные стороны процесса образования грозового разряда — молнии — и его протекание во времени. Как мы уже упомянули выше, В. Франклин показал, что молния представляет собой не что иное, как электрический разряд между землёй и тучей, заряженной до очень высокого напряжения относительно земли. Мы здесь имеем дело с явлением, аналогичным по природе между двумя заряженными проводниками, с тем только существенным отличием, что при грозовом разряде одним из тел, между которыми происходит разряд, является не металлический проводник, а облако — скопление заряженных капелек воды в ионизованном газе — воздухе.

Для того, чтобы составить себе представление о величине напряжений, необходимых для образования молнии — искры длиной в 1—2 и более километров, — напомним, что для получения между проводниками искры длиной в 1 см необходимо подвести к ним напряжение в 30 000 В, а напряжение в магнето должно быть равно 8—10 тысячам вольт. В специальных высоковольтных установках для исследования прочности изолирующих материалов и высоковольтных изоляторов для высоковольтных (порядка 440 000 В) линий электропередачи на большие расстояния и для изучения свойств искровых разрядов большой длины, а также в установках для расщепления атома были получены искры длиной в несколько метров, причём необходимые для этого электрические напряжения были порядка нескольких миллионов вольт. На рис. 34 изображена такая установка с искрой.

Проведённые исследования позволяют сделать заключение, что напряжения в молнии должны достигать величин порядка сотен миллионов вольт, а сила тока молнии может быть порядка многих десятков и даже сотен тысяч ампер. Длительность одной молнии чрезвычайно мала, порядка тысячных долей секунды.

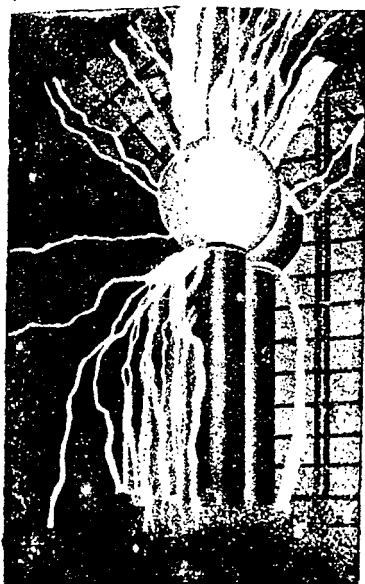


Рис. 34. Искровой разряд в установке Ван-де-Граффа для расщепления атома (диаметр шаров 4,5 м).

Таким образом, в молнии мы имеем чрезвычайно короткий и в то же время исключительно мощный электромагнитный процесс — импульс чрезвычайной мощности, который можно сравнить со взрывом. Если взять для молнии, как средние величины, напряжение 10^8 вольт, силу тока 10^5 ампер и продолжительность $3 \cdot 10^{-3}$ сек., то энергия, развиваемая в молнии, будет равна $3 \cdot 10^7$ кВт·сек. Для сравнения укажем, что за тот же промежуток времени энергия 300-киловаттного искрового передатчика равна $300 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,9$ кВт·сек. Уже из этого примера видно, что развиваемая в молнии мощность в десятки миллионов раз превосходит мощность самых крупных радиостанций.

Однако, для того, чтобы выяснить, как далеко может простираться мешающее действие грозового разряда на радиоприёмное устройство, необходимо принять ещё во внимание, что грозовые тучи находятся на значительном расстоянии над землёй (от 1 до 2 км над уровнем моря), так что, как мы уже указывали, длина молнии может достигать 1—2 км. Так как проводящий канал молнии можно уподобить воздушному проводу радиопередатчика, то грозовой разряд можно рассматривать как разряд искрового передатчика, работающего на антенну высотой от земли до облаков, т. е. порядка 1—2 км¹⁾.

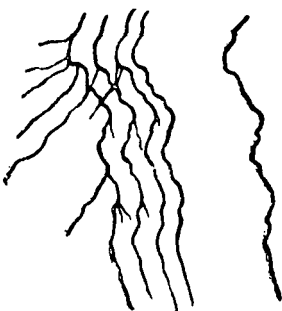


Рис. 35. Многократная молния (по Вальтеру).

Каков же характер электрического разряда молнии? Имеем ли мы здесь затухающие колебания, как в искровом передатчике, или разряд носит аperiодический характер? Уже первые фотографические снимки молнии, произведённые с движущейся пластинкой показали, что грозовой разряд представляет собой не одиночное прохождение разрядного тока по зигзагообразному каналу, а многократное повторение одного и того же процесса. На рис. 35 изображено многократное повторение

прохождения молнии через очень короткие промежутки времени. Более детальные исследования, проведённые многочисленными учёными в различных странах, в том числе и у нас в СССР, показали, что разряд происходит не сразу от тучи к земле, а продвигается постепенно рядом последовательных подготовительных разрядов, так называемых лидеров, всё удлиняющихся от одного лидера к последующему, как бы по ступенькам.

¹⁾ Следует заметить, что кроме разряда между облаком и землёй (вертикальная молния) имеют место и грозовые разряды между тучами, с длиной молнии, достигающей 10—15 км и более (горизонтальные молнии).

Головная часть лидеров — так называемый пилот, — постепенно ионизируя частицы воздуха, подготавливает проводящий канал для полного разряда от тучи к земле. За таким первым импульсом следует ряд повторных импульсов — обычно 2—3. На рис. 36 схематически представлен механизм грозового разряда. Как видно из рис. 36, *b* первый импульс состоит из сравнительно медленной подготовительной стадии, в

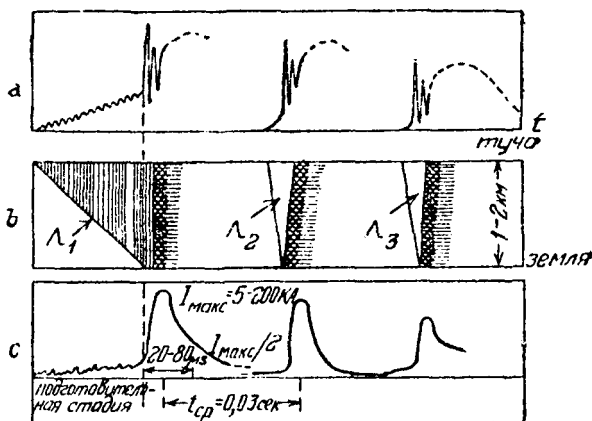


Рис. 36. Образование искрового разряда (молнии): *a* — изменение во времени напряжения вблизи грозового разряда; *b* — схема процесса образования молнии; *c* — кривая тока грозового разряда.

которой разряд постепенно, как бы по ступенькам, продвигается вниз (заштрихованный треугольник Λ_1), а затем по подготовленному им проводящему каналу, состоящему из ионизированных газов, следует главный разряд. Так как для импульсов, следующих за первым через короткий промежуток времени (0,03 сек.), путь уже подготовлен, то их лидерная часть (Λ_2, Λ_3) значительно меньше.

Интересно отметить, что в то время как скорость продвижения лидеров составляет около 20 000 км/сек, скорость продвижения самого разряда достигает 100 000 км/сек, т. е. она только в 3 раза меньше скорости света. Как видно из рис. 36, *c*, главные импульсы (максимальная сила тока) имеют форму мощного (до 200 000 А) апериодического разряда, на который вначале накладываются слабые высокочастотные колебания, соответствующие ступенчатой лидерной части. Длительность основной части импульса (так называемая ширина его) колеблется в пределах от 20 до 80 микросекунд. Такова в общих чертах картина образования грозового разряда, его структура, составные части и характер непосредственно вызываемых им токов.

Так как интенсивность основного импульса грозового разряда несравненно больше интенсивности лидерной части, то спектр излучения грозового импульса должен определяться спектром аperiодической его части. Выше мы видели, что спектр всякого аperiодического излучения имеет сплошной характер, причём особенно сильно в нём представлены те частоты, период которых близок к так называемой ширине импульса. Поэтому следует ожидать, что в спектре излучения грозового разряда наиболее сильными будут колебания с периодом от 40 — 150 микросекунд. Иными словами, грозовые разряды создают

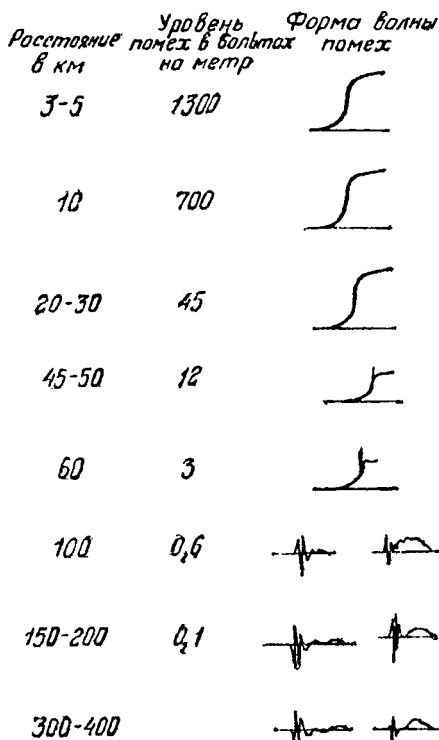


Рис. 37. Изменение с расстоянием от очага формы волны грозового разряда и уровня создаваемых им помех.

Однако, исследования учёных разных стран с несомненностью установили, что вначале аperiодический характер волны разряда постепенно видоизменяется и приобретает колебательный характер.

Приведённые на рис. 37 записи формы волны грозового разряда на различных расстояниях от места его возникнове-

особенно сильные помехи для радиоприёма на длинных волнах, порядка 10 000 м и больше.

Наблюдения действительно подтвердили, что интенсивность атмосферных помех растёт с увеличением длины волны. Так, на волне $\lambda = 15\ 000$ м интенсивность помех равна $100\ \mu\text{V}/\text{м}$, в то время как на волне 1 000 м она равна $4\ \mu\text{V}/\text{м}$, а на волне 100 м — только $0,5\ \mu\text{V}/\text{м}$. Ещё слабее действие атмосферных помех на коротких волнах.

Как мы видели, исследование характера грозового разряда вблизи от места его возникновения приводят к выводу, что он имеет в основном аperiодический характер. Поэтому естественно было предположить, что создаваемое им электромагнитное излучение и на больших расстояниях будет иметь аperiодический характер.

ния, полученные английскими учёными Эппльтоном и Чэпменом, показывают постепенное усложнение его формы.

Ещё более показательными являются результаты, полученные в 1939 г. в Южной Африке. Приведённые на рис. 38 результаты наблюдений над волной одного и того же грозового разряда ясно показывают, что с увеличением расстояния число зубцов (выступов) на кривой возрастает, причём эти зубцы, сохраняя свою форму, как бы повторяются через определённые, всё уменьшающиеся промежутки времени. Объяснение этому явлению было дано австралийским учёным Лэби, который предположил, что здесь имеет место многократное отражение взрывной электромагнитной волны грозового разряда от верхних проводящих слоёв атмосферы (ионосферы) и от земли. Как схематически показано на рис. 39, волна разряда, согласно этому объяснению, доходит до места наблюдения прежде всего по прямому пути вдоль поверхности земли (земная волна), затем по более длинному пути (после одного отражения от ионосферы), потом по ещё более длинному пути (после двух отражений от ионосферы и одного от земли) и т. д. Взрывная электромагнитная волна от молнии после многократных отражений между ионосферой и землёй доходит до наблюдателя в виде последовательных, постепенно ослабевающих импульсов,

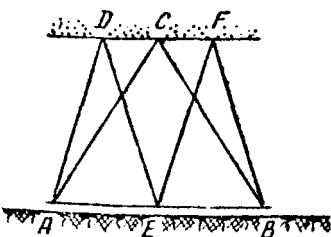


Рис. 39. Схема отражения волны грозового разряда от ионосферы и от земли.

число которых возрастает с расстоянием. Таким образом, с увеличением расстояния от места возникновения грозового разряда форма волны его всё усложняется и принимает как бы

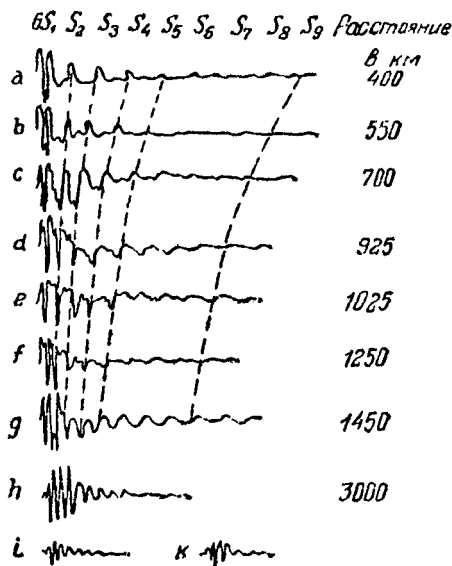


Рис. 38. Изменение формы волны грозового разряда с расстоянием: S_1, S_2, S_3, \dots означают многократные отражения одного и того же импульса.

постепенно ослабевающих импульсов, число которых возрастает с расстоянием. Таким образом, с увеличением расстояния от места возникновения грозового разряда форма волны его всё усложняется и принимает как бы

колебательный характер. Это обстоятельство следует иметь в виду при изыскании мер борьбы с атмосферными помехами. Особенно это, конечно, важно для выделенных приёмных центров.

Радиопомехи от грозových разрядов, как уже было указано выше, являются наиболее распространённым видом атмосферных помех и практически дают себя чувствовать повсеместно. В настоящее время считают, что подавляющее число атмосферных помех связано с грозовой деятельностью атмосферы. Разумеется, атмосферные помехи этого рода не обязательно должны вызываться такими электрическими разрядами, которые сопровождаются молнией и громом, когда они особенно интенсивны. Они могут происходить и при разряде между разноимённо заряжёнными массами воздуха и паров (между собой или с землёй), не связанном с сильными световыми и звуковыми эффектами.

Такие разряды и обусловленные ими радиопомехи имеют, например, место при вторжении масс арктического воздуха (наступлении полярного фронта), при приближении циклонов.

§ 18. Электризация приёмных антенн

Кроме радиопомех, вызываемых электрическими разрядами в самой атмосфере вдали от приёмника, радиоприём часто страдает от помех, обусловленных электромагнитными колебаниями, вызванными *электризацией* приёмных антенн. Уже

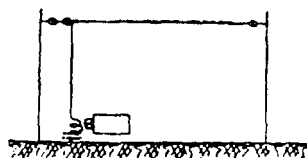


Рис. 40. Антенна, изолированная конденсатором от земли.

в первые годы развития радио, когда для приёма применялись высокие антенны, было замечено, что когда антенна изолирована от земли (например, в случае изолированного противовеса или конденсатора в цепи антенны, рис. 40), даже в совершенно ясные дни слышны сухие трески, повторяющиеся от времени до времени то реже, то чаще. Исследования показали, что эти трески вызывались искровым разрядом между землёй и изолированной частью антенны, заряжённой атмосферным электричеством до высокого потенциала.

Дело в том, что вследствие наличия заряжённых частиц — ионов — воздуха, образовавшихся в основном под действием радиоактивных излучений земли, а также космических лучей, в атмосфере устанавливается электрическое поле, в котором напряжение растёт с высотой над уровнем земли. Даже в обычные, не грозвые, дни увеличение напряжения с изменением высоты на один метр достигает нескольких десятков (до 100)

вольт, а в грозовые дни это повышение напряжения может доходить до многих тысяч и даже десятков тысяч вольт. Таким образом, верхняя часть антенны высотой 100 м будет находиться в области, где напряжение относительно земли достигает $100 \cdot 100 = 10\,000$ В. Поэтому, если антенна изолирована от земли, она будет заряжаться либо до напряжения 10 000 В (если изоляция выдерживает такое напряжение), либо до тех пор, пока не произойдёт искровой разряд на землю. Разрядившись, антенна начнёт снова заряжаться, и весь процесс повторится опять. Именно для того, чтобы избежать этого рода помех от статических разрядов, не дать антенне возможности заряжаться до высокого напряжения, её соединяют металлически с землёй через катушку с очень большим числом витков тонкой проволоки (представляющую очень большое индуктивное сопротивление).

Явления сильной электризации атмосферным электричеством проводников, поднимающихся от земли на большую высоту, хорошо известны в ещё большем масштабе всем, кому приходится иметь дело с привязанными воздушными шарами. Прежде такие шары подымались на пеньковых канатах, верхняя часть которых вследствие гигроскопичности пеньки, попадая в область тучи, становилась достаточно хорошим проводником, и в ней накапливались заряды, в то время как нижняя часть их, более сухая, будучи менее проводящей, плохо отводила эти заряды в землю, и из неё можно было извлекать искры значительной длины. В настоящее время, когда для привязных шаров применяются почти исключительно стальные тросы, которые через лебёдку соединены металлически с землёй, такого накопления зарядов и искровых разрядов не наблюдается.

Однако, и в заземлённых антеннах могут возникать радиопомехи другого рода, вызываемые также атмосферным электричеством и проявляющиеся в виде сплошного треска, сопровождаемого иногда свистом или завыванием высокого тона. Такие помехи возникают преимущественно в грозовые дни, когда повышение напряжения в атмосфере на каждый метр высоты над землёй достигает многих тысяч и даже сотен тысяч вольт. Наблюдения показали, что в этих случаях, вследствие большой разности напряжений между атмосферой и верхним концом антенны (имеющим потенциал земли), достигающей, в зависимости от высоты антенны, многих десятков тысяч вольт, из острых концов антенны в воздух происходит истечение электричества — так называемый *тихий разряд*. Ночью, а при сильных разрядах даже и днём, можно ясно видеть, что места истечения электричества окружены синеватым светом —

так называемой *короной*. Это явление образования светящейся короны, которое, вероятно, многими читателями наблюдалось во время грозы у острий громоотводов, острых краёв крыш высоких зданий, на мачтах судов, иногда на верхушках деревьев, получило в метеорологии название *огней св. Эльма*. По своей природе это явление аналогично явлению образования короны вокруг высоковольтных линий передач, и происхождение создаваемых им радиопомех совершенно такое же. Так как явление короны легче всего возникает у острий и острых краёв, то для борьбы с ним весьма важно закруглять все острые края и брать возможно более толстые провода.

Чрезвычайно поучительным примером радиопомех, вызываемых явлением короны, являются помехи, возникающие иногда на самолётах во время полёта. Когда самолёт летит через тот или иной слой атмосферы, например, мимо грозовой тучи, его металлический корпус заряжается до очень высокого напряжения, существующего в этом слое (порядка сотен тысяч и даже миллионов вольт). При быстром переходе самолёта в слой с значительно более низким напряжением разность потенциалов между этим слоем и корпусом самолёта может достигать очень большой величины (многих десятков тысяч вольт), в результате чего с острых краёв корпуса и пропеллера самолёта происходит тихий разряд. Следует заметить, что вследствие разрежённости воздуха на большой высоте явление короны там возникает при значительно меньших разностях потенциалов, чем внизу. Вызванные тихим разрядом радиопомехи бывают настолько сильны, что часто делают невозможным приём даже сильных сигналов.

Кроме радиопомех, связанных с образованием короны на самолётах, во время выпадения атмосферных осадков (дождя, снега, града) иногда наблюдаются ещё статические помехи другого рода. Это — радиопомехи, обуславливаемые возбуждением в антенне электрических колебаний под действием попадающих на неё заряжённых капель дождя или снежинок. Они слышны в телефон как сплошное шипение, часто делающее радиоприём совершенно невозможным, и усиливаются с увеличением скорости самолёта, так как при этом возрастает число заряжённых частиц, ударяющихся в секунду об антенну.

Помехи, вызываемые электризацией антенны под действием ударяющихся о неё заряжённых частиц, наблюдаются также и при радиоприёме на наружную антенну на земле как при выпадении осадков, так и в сухую погоду, во время пыльных и песчаных бурь. В Арктике во время пурги этого рода помехи часто делают радиоприём на наружную антенну совершенно невозможным.

Помехи этого рода имеют место при любой настройке и на любых волнах, так как мы имеем здесь возбуждение собственных колебаний антенны (или рамки). Поэтому против них не может помочь частотная селекция. Наиболее эффективным средством борьбы с этими электростатическими помехами является защита антенны или рамки от статических зарядов. С этой целью приёмную антенну или рамку окружают проводящим экраном, который должен иметь соответствующие разрезы для того, чтобы одновременно полностью не заэкранировать приёмную антенну или рамку от приёмных сигналов. На рис. 41 показано схематически электростатическое экранирование приёмной антенны и рамки.

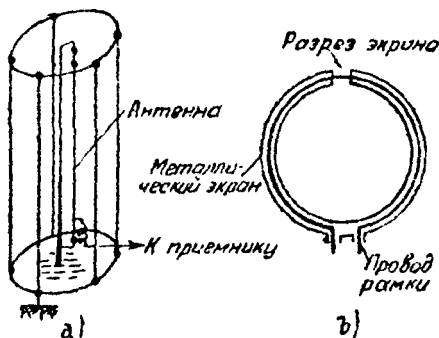


Рис. 41. Электростатическое экранирование: а) приёмной антенны, б) рамки.

ГЛАВА V

МЕРЫ БОРЬБЫ С АТМОСФЕРНЫМИ ПОМЕХАМИ

§ 19. Амплитудная селекция

Атмосферные помехи представляют особые трудности для борьбы с ними, так как, с одной стороны, они отличаются сплошным частотным спектром, который мешает практически на всех частотах, т. е. при любой настройке приёмника. С другой стороны, не в нашей власти воздействовать на атмосферные помехи — мы не можем никакими мерами их ослабить или удалить. Можно даже сказать, что приём в выделенных центрах, как предназначенный для связи с отдалёнными станциями, более чувствителен к слабым атмосферным помехам, чем приём в городе, где они на фоне сильного «радишума» от промышленных помех могут совсем не мешать. Таким образом, остаётся лишь один путь борьбы с атмосферными помехами, а именно — в месте приёма.

Так как атмосферные помехи распространены практически повсюду и они явились первыми радиопомехами, с которыми

пришлось столкнуться в самом начале развития радио, на борьбу с ними было обращено особое внимание. В результате многолетней работы в настоящее время существует уже много методов, которые хотя и не дают ещё полного освобождения от любых атмосферных помех, однако, во многих случаях, облегчают борьбу с ними.

Само собой понятно, что частотная и пространственная селекция могут значительно ослабить действие атмосферных помех. Принципиально здесь особенно эффективной может оказаться пространственная селекция, если её осуществить с помощью системы антенн с возможно более остро направленной диаграммой приёма. С помощью такого антенного устройства мы можем значительно повысить силу принимаемой радиостанции и в то же время сильно ослабить мешающее действие остальных электромагнитных излучений, приходящих из всех других направлений. Однако, ввиду того, что такие антенные устройства, особенно для длинных волн, требуют большой территории, они применяются лишь на выделенных приёмных центрах. Значительную пользу могут принести и приёмные рамки — в тех случаях, когда сильные атмосферные помехи исходят из одного определённого направления (например, в случае отдалённой грозы).

Перейдём к частотной селекции. И в данном случае, чем шире полоса частот, пропускаемых радиоприёмником, тем сильнее будут мешать атмосферные помехи. Поэтому в наилучших условиях по отношению к мешающему действию атмосферных помех будет находиться радиотелеграфирование, для приёма которого, даже в случае быстродействующей автоматической передачи, достаточно полосы частот шириной в 200 гц. В значительно худших условиях находится радиотелефония, требующая полосы частот не меньше 6 000 гц.

Для того чтобы читатель мог составить себе представление о величине напряжённости поля, создаваемого атмосферными помехами на различных длинах волн и при различной ширине полосы частот, ниже в табл. IV мы приводим данные об уровне атмосферных помех для Нью-Йорка и Берлина.

Из этой таблицы хорошо видно, как сильно возрастают помехи с увеличением ширины полосы приёмника, причём всюду в одном и том же отношении, независимо от длины волны, времени года и местности. Мы видим также, что с уменьшением длины волны уровень помех сильно снижается.

Рассмотрим несколько подробнее влияние помех при приёме простейших сигналов — знаков Морзе. Так как атмосферные помехи представляют собой беспорядочно следующие друг за другом импульсы, которые тем сильнее и чаще, чем интенсив-

ние атмосферные разряды, то их действие на приёмник может сказаться либо в том, что на ленте появятся новые знаки (точки или тире) — если импульс воздействует на антенну как раз

Таблица IV. Уровень атмосферных помех в $\mu\text{V}/\text{м}$

| Длины волн в метрах | Нью-Йорк, лето 1923 г., наибольшие помехи | | Берлин | | | |
|------------------------|---|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| | 200 гц | 6000 гц | Среднее за август | | Среднее за январь | |
| | | | 200 гц | 6000 гц | 200 гц | 6000 гц |
| 10 000 | 250 | 1 100 | 57 | 300 | 10 | 63 |
| 2 000 | 57 | 300 | 14 | 80 | 2,5 | 14 |
| 800 | 23 | 120 | 5,7 | 32 | 1,2 | 7 |
| 200 | 6 | 37 | 1,4 | 8 | 0,45 | 2,5 |

во время паузы между знаками Морзе, — либо в слиянии двух знаков вместе. Возможно также, что воздействие помехи пройдёт одновременно с сигналом, по оба воздействия будут противоположно направлены; тогда это может вызвать дробление сигнала. На рис. 42, а изображена часть телеграфной ленты с неискажёнными знаками Морзе, а на рис. 42, б приведён тот же текст, но искажённый атмосферными помехами. Здесь мы видим, что атмосферные помехи вызвали дробление первого тире в букве *O*, слияние первых двух точек в букве *C*, новый знак в паузе между буквами *C* и *K* и полное слияние знаков в буквах *K* и *B*.

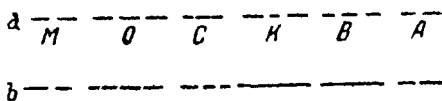


Рис. 42. Искажение телеграфных знаков под действием атмосферных помех.

Существует ли возможность избавления от такого рода искажений в тех случаях, когда ни частотная, ни пространственная селекция не может достаточно ослабить действия атмосферных помех? Рассмотрим подробнее, что происходит при приёме радиотелеграфа.

Сигнал, передающий точку, должен за время своего действия произвести эффект, достаточный для того, чтобы сработало реле, приводящее в действие пишущий аппарат, отмечающий эту точку на ленте. Продолжительность посылки при передаче точки, даже при быстродействующей автоматической передаче, не меньше 0,005 сек., в то время как продолжительность грозового импульса, как мы видели выше, значительно меньше (порядка 100 микросекунд), и следовательно, интен-

сивность помехи должна быть значительно выше интенсивности сигнала для того, чтобы за этот более короткий промежуток времени создать лишнюю точку. Поэтому уже давно возникла мысль ввести на входе приёмника такое ограничительное устройство, которое пропускало бы лишь колебания с определённой амплитудой и срезало бы верхушку у колебаний с более высокой амплитудой. Пройдя через такой «ограничитель» амплитуды, атмосферная помеха будет иметь ту же максимальную амплитуду, что и сигнал, и так как её продолжительность значительно короче, она не успеет вызвать лишнего сигнала и исказить основную передачу.

В качестве ограничителя амплитуд в настоящее время широко применяются электронные лампы, отличающиеся следующими замечательными свойствами: если

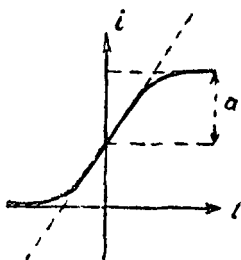


Рис. 43. Характеристика лампового ограничителя амплитуды.

подвести к сетке лампы напряжение, например, сигнала, то ток в цепи анода будет зависеть как от этого напряжения, так и от постоянного напряжения на аноде и дополнительного постоянного напряжения на сетке (так называемого сеточного смещения). При этом с повышением напряжения на сетке анодный ток не будет расти непрерывно, а лишь до определённой величины i_n , называемой током насыщения; при дальнейшем повышении напряжения на сетке этот ток остаётся практически неизменным. На рис. 43 представлена зависимость анодного тока трёхэлектродной лампы i от напряжения на сетке, так называемая характеристика лампы.

Если выбрать рабочую точку на анодной характеристике так, чтобы максимально допустимая амплитуда V приходящего к сетке колебания (рис. 44) соответствовала току насыщения

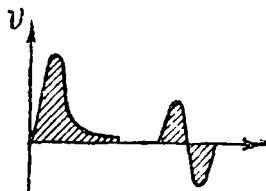


Рис. 44. Форма помехи и сигнала на входе ограничителя.

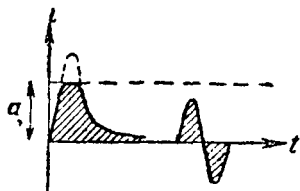


Рис. 45. Форма помехи и сигнала на выходе ограничителя.

i_n , то никакое дальнейшее увеличение амплитуды не сможет вызвать большего анодного тока, т. е. все верхушки амплитуд, выходящие за эту границу, будут срезаться (рис. 45).

Так как здесь мы имеем в некотором смысле выделение колебаний с амплитудами, не превосходящими определённой величины, то этот способ иногда называют *амплитудной селекцией*.

При телеграфном приёме амплитудная селекция может быть с успехом применена для борьбы не только с атмосферными, но и с другого рода помехами.

Легко, однако, видеть, что эффективность амплитудной селекции в применении к приёму телефонии значительно ниже. В самом деле, для неискаженного приёма ограничитель амплитуд (так называемый амплитудный селектор) должен, очевидно, быть так отрегулирован, чтобы беспрепятственно пропускать колебания, передающие и наиболее сильные звуки, амплитуды которых значительно (почти вдвое) превосходят амплитуды слабых звуков. Поэтому он будет пропускать также и помехи, интенсивность которых значительно больше интенсивности слабых звуков, что будет, разумеется, сильно мешать приёму. Именно по этой причине, как уже указывалось выше, для хорошего приёма радиовещания необходимо, чтобы интенсивность сигнала в 50—100 раз превосходила уровень помех.

§ 20. Вероятностная селекция

Кроме рассмотренных способов выделения сигналов на фоне радишума для борьбы с особенно сильными атмосферными помехами, против которых эти способы не помогают, — особенно для приёма телеграфии, — широко используется простой, сам собой напрашивающийся приём, а именно, многократное повторение передаваемого сообщения. Так как обычно сильные грозовые помехи вызываются отдельными грозовыми разрядами, беспорядочно следующими друг за другом, то очень мало вероятно, чтобы при повторной передаче текста оказались бы искажёнными или совершенно забытыми те же буквы и слова, что и при первой передаче. Поэтому, сопоставляя две или несколько таких передач, можно полностью восстановить передаваемый текст. Этот приём можно, конечно, с успехом применять и против других радиопомех (например во время войны против помех приёму, специально создаваемых противником), а также всегда, когда необходимо обеспечить строгую точность передачи текста, как, например, при передаче шифром. Однако, это, естественно, требует во столько же раз больше времени, сколько раз повторяется передача. Так как эффективность метода повторной передачи основана на малой вероятности повторения искажений, вследствие случайного беспорядочного характера следований атмосферных разрядов друг за другом, то его можно рассматривать как способ выде-

ления, основанный на применении законов случая, или, кратко, как метод *вероятностной* или *статистической селекции*.

Кроме этого простейшего способа повторной передачи всего текста в целом возможны и другие виды статистической селекции. Особенно эффективно применение её к фотопередаче

Рис. 46. Система фотопередачи Сименс-Вердана.

текста по радио в следующем виде (рис. 46). Каждая строчка текста разбивается горизонтальными линиями на 8—10 частей, так что каждая из образовавшихся таким образом строчек содержит лишь частички всех букв, затем каждая строчка передаётся отдельно, в расчёте на то, что хотя бы несколько частичек каждой

буквы пройдёт без искажений, и текст, а возможно и рисунки, нетрудно будет восстановить. Возможно также разрезание каждой строчки на несколько частей не по горизонтали, а по наклонным линиям. Однако, и здесь передача сильно замедляется — в несколько раз по сравнению с однократной передачей.

У читателя может, естественно, возникнуть следующий вопрос. Так как при быстрой передаче необходимая для приёма ширина полосы частот больше, чем при медленной, и так как, с другой стороны, чем уже полоса пропускаемых частот, тем слабее действие помех, то не проще ли для избавления от них передавать медленнее, что позволит сузить полосу пропускаемых приёмником частот и, следовательно, повысить его селективность? Это рассуждение вполне правильно, и, действительно, уменьшение скорости передачи вместе с одновременным увеличением селективности может быть с успехом использовано при сильных атмосферных помехах типа шороха или шипения и вообще при любых помехах сплошного характера. Этим приёмом фактически часто и пользуются для борьбы с такого рода помехами. Легко, однако, видеть, что при очень резких отдельных грозовых ударах, особенно при приближении грозы, для значительного ослабления действия помех необходимо настолько сузить полосу частот и в то же время так замедлить передачу, что это практически было бы неосуществимо.

Пусть, например, требуется принять телеграфную передачу, сила поля которой в месте приёма равна $10 \mu V/m$, во время надвигающейся грозы, разряды которой дают силу поля в $5 mV/m$ при ширине полосы частот (селективности) приёмника в 200 *гц*. Так как для уверенного телеграфного приёма (см. табл. II) необходимо, чтобы сила сигнала по крайней мере вдвое превышала средний уровень помех, то для этого потребовалось бы понизить средний уровень помех в 1 000 раз, для чего необходимо было бы сузить полосу пропускания приёмника

в $(1\ 000)^2$, т. е. в 10^6 раз, что, конечно, совершенно неосуществимо.

Применение же в этом случае вероятностной селекции может дать хорошие результаты. Из только что приведённого рассмотрения ясно также, что применение статистической селекции в случае сплошных атмосферных радиопомех мало эффективно.

§ 21. Селекция продолжительности действия

До сих пор мы рассматривали различные стороны атмосферных радиопомех, а именно: характер их спектра излучения, их распределение в пространстве относительно места приёма и характер следования отдельных радиопомех во времени. Описанные выше способы борьбы с атмосферными помехами и основывались на отличии их радиосигналов с этих именно сторон. Можно смело утверждать, что всякое другое отличие в характере излучения атмосферных помех и радиосигналов может стать основанием для нового способа селекции. Так, амплитудная селекция основана на том, что сильные грозовые разряды представляют собой отдельные, следующие друг за другом импульсы большой интенсивности, в отличие от непрерывных сигналов гораздо меньшей амплитуды.

Можно, однако, использовать и другое отличие волны телеграфного сигнала от волны атмосферного импульса, а именно, отличие в их длительности. Как мы уже говорили выше, даже при быстро действующей автоматической радиотелеграфной передаче точка вызывается посылкой ряда волн продолжительностью не менее половины сотой доли секунды, тогда как продолжительность одиночного грозового импульса — порядка 80—100 микросекунд и меньше, т. е. в несколько (5—10 и больше) раз короче точки. На этой равнице в продолжительности действия и может быть основан способ отделения сигнала от импульсной помехи — так называемый способ *селекции продолжительности действия*.

Очевидно, что для осуществления этого способа селекции в приёмник необходимо ввести такое устройство, которое не отзывалось бы на очень быстро проходящее, хотя бы и очень сильное (переменное) воздействие и в то же время приводилось бы в действие достаточно продолжительным, хотя и значительно более слабым гармоническим воздействием. Это устройство должно действовать так, как действует тяжёлый колокол, который нельзя раскачать одним резким, хотя бы и очень сильным толчком и который легко постепенно раскачивается при достаточно продолжительной серии лёгких толчков, производимых в такт его собственным колебаниям.

Резонансный электрический контур с очень малым затуханием ведёт себя совершенно аналогичным образом. Его также нельзя сильно раскачать одним кратковременным, хотя и сильным импульсом, в то время как под действием длительного синусоидального колебания в нём постепенно нарастают колебания до тех пор, пока их амплитуда не достигнет своей конечной величины. Если же воздействующее колебание, хотя и большей амплитуды, будет длиться меньше, чем потребуется времени для того, чтобы возбуждённые им в контуре колебания достигли требуемой амплитуды, необходимой, например, для приведения в действие реле пишущего или другого устройства, то оно не окажет никакого действия на приёмник. Таким образом, простой резонансный контур обладает селективностью (избирательностью) продолжительности действия.

Однако, в самом начале нарастание колебаний в резонансном контуре идёт быстрее, чем в дальнейшем ходе процесса, что делает применение его для осуществления селекции продолжительности действия мало выгодным. Более выгодным явилось бы устройство, в котором колебания нарастают бы сначала медленно, а затем быстрее. В этом случае кратковременное воздействие хотя бы и очень большой амплитуды не вызовет эффекта, достаточного для приведения в действие пишущего или другого аппарата. Нарастания колебаний такого типа можно осуществить, например, если вместо одного резонансного контура

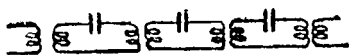


Рис. 47. Цепочка резонансных контуров.

взять цепочку контуров, связанных между собой таким образом, чтобы каждый предыдущий контур возбуждал следующий за ним (рис. 47). Очевидно, что здесь нарастание колебаний будет происходить вначале медленнее, а затем всё быстрее, ввиду того, что на все контуры, кроме первого, действуют в свою очередь медленно нарастающие колебания. Для получения выгодной формы нарастания колебаний необходимо взять несколько контуров (5—7).

Значительно проще такой ход нарастания колебания можно осуществить, используя особый вид резонанса в ламповой схеме с одним только колебательным контуром. Как мы видели выше, обычный резонанс имеет место при настройке колебательного контура на частоту принимаемых колебаний, причём частота возбуждённых в контуре колебаний в точности равна частоте воздействующих колебаний.

С теми же характерными резонансными явлениями мы имеем дело и в том случае, когда резонансный контур находится в ламповой схеме, как это имеет, например, место в со-

временных приёмниках с так называемой регенерацией с помощью радиоламп. Однако, при особом подборе данных электрических цепей ламповой схемы можно добиться того, что в колебательном контуре, настроенном не на частоту воздействующих колебаний, а на частоту, в два раза меньшую, возникают сильные колебания. Частота этих колебаний, однако, не равна частоте воздействующих колебаний, как при обычном резонансе, а точно в два раза меньше. Этот новый вид резонанса получил название *автопараметрического*, а основанное на его использовании устройство для фильтрации колебаний называется *автопараметрическим фильтром*.

Автопараметрический фильтр отличается ещё следующим важным свойством: колебания в нём возбуждаются лишь начиная с определённой величины амплитуды воздействующих на него колебаний, и они перестают возбуждаться, как только амплитуда воздействующих колебаний становится больше другой определённой величины. Иными словами, автопараметрический фильтр обладает *порогом* и *потолком* действия, и поэтому его можно применять и для осуществления амплитудной селекции.

Автопараметрический фильтр, как показали испытания его в практических условиях, существенно освобождает приём телеграфной передачи от интенсивных одиночных импульсных помех. Благодаря тому, что автопараметрический фильтр обладает порогом возбуждения, он также очень эффективно освобождает слуховой приём от шумового фона. Однако, в тех случаях, когда грозовые импульсы следуют друг за другом через очень короткие промежутки (как это имеет место при сильной грозе), эффективность автопараметрического фильтра, как впрочем, и других способов осуществления селекции продолжительного действия, сильно снижается. Следует, однако, заметить, что в этих случаях само понятие продолжительности действия помехи теряет определённый смысл.

§ 22. Дальнодействие коротких волн

На предыдущих страницах мы вкратце рассмотрели ряд основных способов борьбы с атмосферными помехами, основанных на применении различных видов селекции: 1) частотной, 2) пространственной, 3) амплитудной, 4) вероятностной и 5) продолжительности действия. Мы видели, что в основе каждого вида селекции лежит использование того или иного отличия в характере электромагнитных полей помехи и сигнала. Целесообразность применения того или иного вида селекции или

их комбинаций определяется в каждом отдельном случае характером проявления атмосферных помех в данном месте. Так, в тех случаях, когда атмосферные помехи проявляются в виде сравнительно редко повторяющихся отдельных, но весьма коротких сильных импульсов, применение селекции амплитудной или продолжительности действия (а также, конечно, и вероятностной) в комбинации с частотной селекцией часто даёт хороший эффект. Когда же мы имеем дело с очень сильным сплошным радиошумом типа шипения или шороха, эти виды селекции мало эффективны.

Возникает вопрос: все ли особенности атмосферных помех использованы для борьбы с ними? Мы до сих пор рассматривали меры борьбы с атмосферными помехами безотносительно к длине волны, на которой производится радиопередача. Однако, распределение интенсивностей атмосферных помех по частотам спектра не равномерно, а интенсивность помех растёт с увеличением длины волны. Таким образом, в особенно невыгодных условиях по отношению к атмосферным помехам находится передача на длинных волнах. Так, например, летом в Нью-Йорке (табл. IV) средний уровень атмосферных помех при приёме телеграфии (ширина полосы 200 гц) достигает на волне $\lambda = 10\,000\text{ м}$ величины $250\ \mu\text{V/м}$, в то время как на волне $\lambda = 200\text{ м}$ он равен всего $6\ \mu\text{V/м}$. Ещё более выгодные условия имеют место для коротких волн: например, в ноябре 1937 г. под Москвой уровень атмосферных помех достигал на волне $\lambda = 7\,000\text{ м}$ величины $250\ \mu\text{V/м}$, тогда как на волне $\lambda = 44,4$ он составлял лишь $4,2\ \mu\text{V/м}$, а на волне $\lambda = 22,2$ — всего $2\ \mu\text{V/м}$.

Поэтому, когда в начале двадцатых годов было установлено обнаруженное радиолюбителями исключительное дальное действие коротких волн ($\lambda = 10\text{—}100\text{ м}$), позволяющее производить радиопередачу на очень большие расстояния с помощью радиопередатчиков значительно меньшей мощности, чем на длинных волнах ¹⁾, то постепенно среди радиоспециалистов стало крепнуть и распространяться мнение, что в применении коротких волн найдено универсальное средство от всех бед радио, в том числе и от всякого рода радиопомех, в частности, от атмосферных помех.

В самом деле, значительно меньшая мощность коротковолновых передатчиков, одновременно с уменьшением размеров

¹⁾ Так, например, коротковолновый передатчик ($\lambda = 32,8\text{ м}$) мощностью в 1 kW даёт на расстоянии в 6 000 км (Лондон—Нью-Йорк) ночью напряжённость поля $30\ \mu\text{V/м}$, в то время как на волне $\lambda = 18\,100\text{ м}$ для этого потребовалась бы в 10 раз ббльшая мощность.

мачт, противовесов и прочих сооружений, заметно снижает их стоимость, а также расходы по эксплуатации. Кроме того, в диапазоне коротких волн, например, только в интервале от 15 м ($f=20 \cdot 10^6$ гц) до 20 м ($f=15 \cdot 10^6$ гц), соответствующем разности частот $5 \cdot 10^6$ гц, могут одновременно работать, не мешая друг другу, около $\frac{(5 \cdot 10^6)}{9000} = 550$ радиотелефонных станций, тогда как во всём диапазоне средних и длинных волн от 200 до 2000 м (разность частот $1\,500\,000 - 150\,000 = 1\,350\,000$ гц) уместается только 150 станций. Наконец, на коротких волнах, как мы видели выше (см. стр. 25), легко осуществить как приёмные, так и передающие антенны с острой диаграммой направленности, что позволяет использовать для освобождения от атмосферных помех принцип пространственной селекции более эффективно, чем с помощью простой рамочной антенны. Если сюда присоединить ещё значительно более низкий уровень помех, чем на средних и длинных волнах, то станет понятно, почему радиоспециалисты всех стран возлагали такие большие надежды на короткие волны и почему многие из них считали, что роль длинных волн уже сыграна и их нужно сдать в архив.

Однако, хотя только что перечисленные преимущества коротких волн перед длинными в отношении избавления от активных помех несомненны и, как показывает опыт, атмосферные помехи грозового происхождения мало мешают приёму коротких волн, эти ожидания далеко не оправдались полностью.

Уже через несколько лет после первых поразительных успехов в применении коротких волн обнаружилось, что на значительных расстояниях сила приёма коротких волн не остаётся постоянной, а временами подвержена колебаниям, иногда настолько быстрым и сильным, что принимаемые сигналы становятся неразборчивыми, либо совсем исчезают.

Это обстоятельство часто нарушает радиосвязь и представляет очень серьёзную помеху при работе на коротких волнах.

Так как этого рода помехи вызываются не действием какого-либо постороннего волнового излучения, а, как мы увидим ниже, изменением условий распространения радиоволн на пути от передатчика к приёмнику, то их в отличие от рассмотренных выше *активных* радиопомех называют помехами *пассивными*.

К рассмотрению этих пассивных помех мы теперь и обратимся.

ПАССИВНЫЕ ПОМЕХИ

§ 23. Замирания радиоволн (фэдинги)

Радиолюбителям, особенно коротковолновикам, хорошо известно явление *замирания* радиоволн. При приёме отдалённых радиовещательных станций, особенно на коротких волнах, ночью часто можно наблюдать, как интенсивность звука, несмотря на неизменную настройку приёмника, начинает постепенно уменьшаться. Звук как бы замирает, иногда полностью, и затем снова возрастает. Такие колебания интенсивности могут происходить с различной скоростью: иногда они повторяются через несколько секунд, иногда же период замирания длится несколько минут — до получаса. Замирания сигналов (так называемые «фэдинги») наблюдаются не только на коротких волнах, где они имеют место как ночью, так и днём, но также и на волнах радиовещательного диапазона (200—2 000 м), преимущественно ночью, а зимой также и днём, хотя значительно слабее.

При передаче телеграфии глубокие замирания, при которых сила приёма становится меньше величины, требуемой для пишущего приёма, либо же оказывается ниже уровня помех, вызывают выпадение знаков. Качество радиотелефонной передачи страдает от замираний не только из-за снижения силы приёма до уровня помех, но также вследствие вызываемого ими искажения тембра передачи, делающего часто речь совершенно неразборчивой.

Какова же причина замирания? Когда в 1900 г. Маркони впервые осуществил со сравнительно небольшой мощностью радиосвязь между Англией и Америкой, то этот факт первое время представлялся необъяснимым. Ведь земля как проводник непроницаема для радиоволн, и они не могут пройти через неё из Англии в Америку. С другой стороны, представлялось очень сомнительным, чтобы эти волны могли обогнуть огромную выпуклость земного шара, разделяющую эти страны¹⁾. Объяснение этому явлению было найдено в гипотезе учёных Кеннели — Хевисайда (1902 г.) о существовании верхних проводящих слоёв атмосферы, которые, действуя как отражатель, заставляют излучённые вверх радиоволны возвратиться обратно

¹⁾ Теоретические расчёты, произведённые в дальнейшем очень крупными математиками различных стран, действительно показали, что при таком огибании радиоволн интенсивность в месте приёма получилась бы в тысячу раз меньше действительно наблюдаемой.

к земле и таким образом дают им возможность преодолевать кривизну земли (рис. 48).

Дальнейшие исследования подтвердили правильность этой гипотезы. Они непосредственно показали, что радиоволны действительно отражаются от верхних слоёв атмосферы ¹⁾,

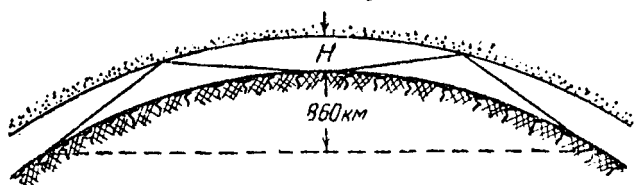


Рис. 48. Схема распространения радиоволн из Англии в Америку.

и дали много ценного материала как относительно физической сущности отражающего действия верхних слоёв атмосферы, так и высоты их над землёй. Они показали далее, что отражающее действие верхних слоёв атмосферы объясняется наличием в них большого числа электрически заряженных частиц (ионов и электронов), получающихся в результате расщепления (ионизации) молекул газа атмосферы под действием, главным образом, солнечной радиации (ультрафиолетовых лучей), в отличие от ионов в нижних слоях атмосферы, образующихся за счёт радиоактивных излучений земли и космической радиации. Количество ионов в верхних слоях атмосферы настолько велико, что эти слои становятся проводящими (проводимость их порядка проводимости воды) и приобретают способность отражать радиоволны. Верхняя ионизованная часть атмосферы получила название *ионосферы*. Как показали исследования, ионизация ионосферы изменяется с высотой довольно сложным образом, образуя слои большей и меньшей концентрации электронов и ионов (числа электронов и ионов в 1 см^3). Так как отражательная способность тем больше, чем больше проводимость, т. е. степень ионизации, то для отражения радиоволн особенно важное значение имеют слои наибольшей концентрации ионов и электронов. Главными из таких слоёв являются: слой *E*, расположенный в средних широтах на высоте 110—130 км над землёй и играющий основную роль при распространении на большие расстояния средних и длинных волн, и слой *F* (рас-

¹⁾ Особенно убедительны опыты, произведённые по методу американских учёных Брайта и Тьюна, заключающиеся в посылке очень коротких сигналов (продолжительность порядка десятитысячных долей секунды). В приёмнике, при наличии отражения, можно наблюдать не только сигнал, пришедший по земле (земной луч), но и сигналы, отражённые от ионосферы.

цепляющийся иногда на слои F_1 и F_2), расположенный на высоте 220—320 км. Этот последний слой имеет основное значение для распространения коротких волн. На рис. 49 показан графически характер распределения ионизации верхних слоёв атмосферы по высоте. Из него видно, что ионизация слоя E (днём порядка $1,5 \cdot 10^5 \frac{\text{электронов}}{\text{см}^3}$) значительно меньше, чем ионизация слоя F_2 (днём порядка $10^6 \frac{\text{электронов}}{\text{см}^3}$).

Процесс распространения радиоволн от передатчика к приёмнику можно, таким образом, представить себе схематически

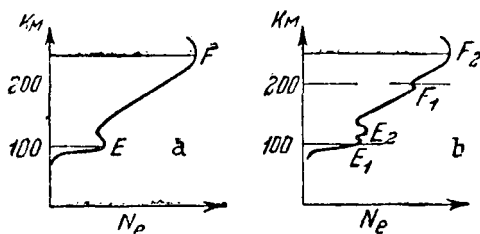


Рис. 49. Распределение ионизации атмосферы по высоте: *a* — зимой, *b* — летом.

в следующем виде (рис. 39). Излучаемые передатчиком волны расходятся во все стороны, в том числе и вверх под различными углами, а также вдоль поверхности земли. Последние волны — так называемые *земные* или *прямые* лучи — с увеличением расстояния от передатчика постепенно ослабляются и притом различно в зависимости от рельефа и физической природы поверхности, вдоль которой они распространяются (свойств почвы, характера растительного покрова, солёности воды в случае водной поверхности и т. д.). Так как эти свойства постоянны во времени, то и земные лучи отличаются постоянством. Другие волны, излучённые вверх, встречая на своём пути проводящие слои атмосферы, в зависимости от длины волны, либо проходят через них, либо, отразившись от того или иного слоя, возвращаются обратно вниз — так называемые *отражённые* или *небесные* лучи¹⁾. Как видно из рис. 39, отражённые лучи приходят к приёмнику либо после одного отражения от ионосферы, а именно по пути *ACB*, либо после двукратного отражения от ионосферы и одного отражения от земли и т. д. Так как состояние ионосферы подвержено изменениям, о которых подробнее будет идти речь ниже, то и небесные лучи непостоянны. Таким образом, в случае отражения от ионосферы на радиоприёмник в пункте *B* действуют как прямой луч, так и большое число отражённых лучей, и в зависимости от того, преобладает ли интенсивность прямого луча

¹⁾ Эти лучи называются также пространственными лучами, а прямые лучи — поверхностными.

или нет, будут иметь место те или иные условия радиосвязи между пунктами *A* и *B*. Здесь следует различать три главных случая:

1) На близких расстояниях интенсивность прямого луча настолько велика, что влияние отражённых лучей не сказывается на интенсивности приёма и условия радиосвязи всецело определяются действием прямого луча. Так как земной луч, в противоположность небесным, ослабляется с увеличением расстояния от передатчика тем быстрее, чем короче волна, то область преобладания земного луча тем больше, чем длиннее волна.

2) На больших расстояниях интенсивность земного луча сравнительно с интенсивностью небесных лучей настолько мала, что мы здесь практически имеем дело только с небесными лучами. Заметим, что область преобладания небесных лучей наступает тем раньше, чем короче волна.

3) Наконец, возможен третий случай, когда интенсивности земного и небесного лучей сравнимы между собой и приём обуславливается взаимодействием их обоих. Эта область соответствует средним расстояниям при передаче на волнах радиовещательного диапазона ¹⁾.

Так как для коротких волн область преобладания земного луча очень невелика (над сушей она порядка немногих десятков километров), то почти во всех случаях радиосвязи на коротких волнах интенсивность приёма обуславливается взаимодействием различных небесных лучей друг с другом или с земным лучом. Что же получается в результате такого взаимодействия?

Рассмотрим для простоты случай, когда имеет место взаимодействие лишь прямого луча с одним отражённым лучом.

Заметим сначала, что если из точки *A* распространяются волны длины λ , то вдоль любого луча, исходящего из точки *A*, колебательное состояние в точках, отстоящих друг от друга на длину λ , будет одно и то же ²⁾. Таким образом, если на расстоянии d между произвольными точками *M* и *N* (рис. 50) на этом пути луча укладывается целое число λ (d/λ есть целое

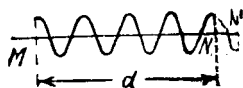


Рис. 50.

¹⁾ Особняком стоят ультракороткие волны, применяемые, например, в телевидении, авионавигации и т. д. Дальность действия их, подобно оптическим лучам, ограничивается практически прямой видимостью.

²⁾ Под длиной волны, как известно, и разумеется расстояние λ , через которое в волне точно повторяется колебательное состояние.

число), то колебательное состояние будет в N точно такое же, как и в точке M . Если же на данном расстоянии d укладывается кроме целого числа волн ещё точно половина длины волны (т. е. нечётное число полуволн), то колебательное состояние волны в точке N' будет как раз противоположно состоянию в M , — колебания в этих точках будут, как говорят, в противофазе (т. е. когда в точке M будет как раз гребень волны, в точке N' будет дол, и наоборот). При других значениях отношения d/λ соотношения между колебательными состояниями волны в точках M и N будут различны.

Пусть теперь волны из A приходят в B (рис. 51) по двум путям: 1) прямо вдоль поверхности земли и 2) по пути ACB

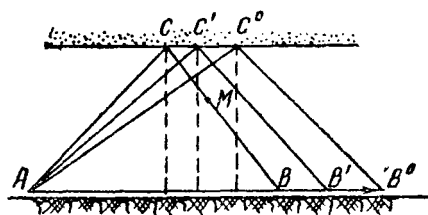


Рис. 51.

после одного отражения в точке C от ионосферы. Пусть M означает точку на луче, расстояние которой от A вдоль пути луча ACB равно прямому расстоянию AB . Тогда колебательное состояние в точке M будет то же, что и в волне, пришедшей в B по прямому пути. Если теперь на расстоянии MB уложится как раз целое число волн λ , то это означает, что в точке B колебательное состояние волны, приходящей по пути $ACMB$, будет такое же, как и колебательное состояние волны, пришедшей по прямому пути, т. е. небесный луч полностью усилит земной. В результате взаимодействия этих двух лучей интенсивность поля в B будет усилена. Если интенсивности обеих волн в точке B порознь одинаковы, то в результате их взаимодействия интенсивность сигнала возрастёт вдвое.

Рассмотрим теперь случай, когда на отрезке MB уложится нечётное число полуволн. Тогда действие обеих волн будет прямо противоположно и одна будет ослаблять другую. В результате мы получим уменьшение интенсивности сигнала, которая при одинаковой интенсивности обеих волн становится равной нулю — приём полностью исчезает. В промежуточных случаях при любом соотношении между длиной отрезка MB и λ мы будем наблюдать либо частичное ослабление, либо частичное усиление приёма. Так как состояние ионосферы, определяемое степенью её ионизации и распределением по высоте, непрерывно изменяется и по своему отражательному действию она ведёт себя не как неподвижное зеркало, а скорее как волнуемая поверхность моря, то условия от-

ражения радиоволн от ионосферы не остаются постоянными и длина пути небесных лучей также непрерывно изменяется. Это и приводит к замираниям¹⁾.

Из всего сказанного ясно, что в тот момент, когда в точке B будет, например, наибольшее ослабление сигнала, в соседних с ней точках B' , B'' , лежащих всё дальше и дальше от передатчика (рис. 51), интенсивность приёма будет постепенно изменяться от наибольшего ослабления к наибольшему усилению его в точке B'' , в которой разность длин путей небесного и земного лучей в рассматриваемый момент отличается на полволны от разности в точке B . Если рассматривать более удалённые точки, то интенсивность сигнала снова падает, достигая минимума в точке, в которой изменение разности длин путей небесного и земного лучей снова равно полуволне, после чего она опять начинает возрастать. То же самое можно наблюдать во всех других точках земной поверхности, в любом направлении от передатчика. Если для простоты предположить, что передатчик излучает симметрично во все стороны от своей оси и что ионосферу можно рассматривать как шаровую отражающую поверхность, концентричную с землёй, то все точки на земной поверхности с одинаковой интенсивностью сигнала будут лежать на концентричных окружностях. Расстояния по земле между окружностью, соответствующей наибольшему ослаблению сигнала, и соседней окружностью, на которой в тот же момент времени будет максимум силы сигнала, — порядка нескольких длин волн. Таким образом, вокруг передатчика располагаются полосы попеременно с повышенной и пониженной напряжённостью электрического поля. Мы здесь имеем явление, аналогичное интерференционным явлениям в оптике, например, известным ньютоновым кольцам, обусловленным интерференцией световых лучей, отражённых от поверхности, ограничивающей тонкий слой воздуха, и прямого луча.

Наличие вокруг передатчика чередующихся зон повышенной и пониженной интенсивности сигнала легко обнаружить, производя непрерывный приём во время полёта на небольшой высоте по направлению к передатчику или от него. Такие наблюдения производились также в движущемся автомобиле и поезде. Все эти наблюдения подтвердили наличие вокруг пе-

¹⁾ В случае одновременного излучения двух и более колебаний с различными частотами, как это имеет место при передаче сигналов, условие ослабления может быть выполнено для одной волны, в то время как колебание другой длины волны будет усилено. В результате получится ослабление одной из частот спектра сигнала, а следовательно, он будет искажён.

редатчика интерференционных полос не только в области радиовещательных, но и очень длинных волн.

Явления замирания, наблюдаемые при приеме отдаленных коротковолновых станций, обязаны своим происхождением одновременному воздействию на приемник (интерференции) нескольких отраженных лучей. Так как при этом имеет место несколько отражений и притом в различных далеко отстоящих друг от друга участках ионосферы, часто с существенно отличным характером отражений, то здесь явления замирания более резко выражены и протекают быстрее во времени.

§ 24. Причины изменений состояния ионосферы

Перейдем теперь к рассмотрению основных причин непостоянства состояния ионосферы. Выше уже указывалось, что проводящее состояние ионосферы обуславливается ионизирующим действием солнечного излучения, главным образом, его ультрафиолетовой части. Что это действительно так, убедительно показывают результаты наблюдений над количеством заряженных частиц в слое E ионосферы как в течение суток, так и в течение года. Мы здесь имеем полное соответствие между степенью освещенности и количеством заряженных частиц в ионосфере. Особенно наглядно проявляется зависимость ионизации от солнечной радиации во время полных солнечных затмений. Для слоя F , отличающегося меньшей регулярностью чем слой E , существует более сложное соотношение между степенью ионизации и освещенностью.

Излучение солнца не остаётся постоянным во времени ни по своей интенсивности, ни по составу спектра. В связи с процессами гигантских размеров, происходящими внутри солнца и проявляющимися наружу в виде солнечных пятен и протуберанцев (извержений светящихся масс ионизированных частиц газов), излучение его подвержено иногда очень резким взрывообразным изменениям. Многолетние наблюдения показали, что существует тесная связь между числом солнечных пятен и интенсивностью солнечного излучения, причём число пятен изменяется во времени с периодом в 11 лет. В годы наибольшего числа пятен наблюдается особенное усиление активности солнечной радиации. В годы наименьшего числа пятен — она наименьшая.

Естественно ожидать, что повышенная солнечная деятельность должна отразиться на ионосфере. Действительно, если сопоставить вместе наблюдения как над числом солнечных пятен, так и над степенью ионизации слоёв E и F , то можно уста-

новить, что имеет место одновременное возрастание и ионизации обоих слоев, и числа солнечных пятен.

Эти изменения в составе и интенсивности излучения и вызывают изменения в нормальном состоянии ионосферы. В периоды максимума солнечных пятен во время наибольшей деятельности солнца особенно часто наблюдаются такие нарушения нормального состояния ионизации различных слоев атмосферы. Иногда эти нарушения достигают таких размеров, что вызывают существеннейшие изменения в условиях как отражения, так и поглощения радиоволн. Выражаясь образно, можно сказать, что в ионосферном океане возникают бури. Эти ионосферные бури сказываются на условиях распространения на большие расстояния радиоволн всех диапазонов: более слабо на длинных волнах, сильнее на средних и особенно сильно на коротких волнах, до такой степени, что радиосвязь между отдаленными пунктами становится часто невозможной. При этом обнаружено, что число и интенсивность ионосферных возмущений растут по мере приближения к полюсу. В приполярных областях ионосферные бури настолько часты, что даже трудно говорить о нормальном состоянии ионосферы. Многим, даже и нерадиоспециалистам, вероятно, памятли частые перерывы радиосвязи с участниками Папанинской экспедиции на дрейфующей льдине в 1937 — 1938 гг. (годы последнего максимума солнечных пятен).

Производившиеся в различных странах исследования с несомненностью установили, что ионосферным бурям обычно сопутствуют также сильные возмущения магнитного поля земли — так называемые магнитные бури, опасные для мореплавания в северных морях, так как они сильно влияют на показания магнитных компасов. С другой стороны, уже раньше были высказаны предположения, что причиной магнитных бурь является изменение интенсивности потока материальных частиц — корпускул¹⁾ — ионов и нейтральных молекул, испускаемых солнцем во время извержений. Эти корпускулы, попадая в верхние слои атмосферы, вызывают изменение либо в степени ионизации, либо в её распределении. Заряженные корпускулы под действием магнитного поля земли, особенно сильного у полюсов, начинают отклоняться от прямолинейного пути ещё далеко за пределами атмосферы и, описывая спиральные линии вокруг земли, сосредоточиваются в приполярных областях.

По гипотезе Штёрмера, северные сияния обязаны своим происхождением именно такой сосредоточенной бомбардировке

¹⁾ От латинского слова *corpusculus* — маленькое тело.

верхних слоёв атмосферы заряженными частицами. Изменения интенсивности потока корпускул и вызывают изменения магнитного поля земли, а особенно сильные — магнитные бури. Так как магнитное поле земли существенно влияет на условия распространения радиоволн в ионосфере (особенно коротких), то отсюда ясно, что в приполярных областях, где часты ионосферные и магнитные бури, создаются особенно неблагоприятные условия для радиосвязи на коротких волнах. В результате ряда исследований выяснилось, что если линия связи проходит через область, лежащую вокруг магнитных полюсов на расстояние до 15° по дуге большого круга (так называемая «мёртвая зона»), то радиосвязь на коротких волнах невозможна. Уверенную связь нельзя также осуществить при прохождении радиоволн через «возмущённую» зону, лежащую вокруг магнитных полюсов

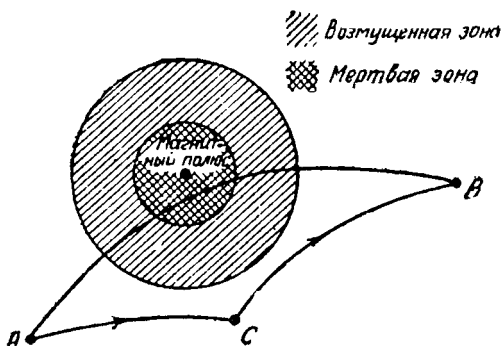


Рис. 52. Схема радиосвязи в обход мертвой и возмущённой зон.

средственно в пункт *B*, а по обходному пути, через пункт *C*, расположенный таким образом, что линии связи *AC* и *CB* проходят вне этих зон. Из пункта *C* передача затем *ретранслируется* в пункт *B*. Этот способ ретрансляции с успехом применяется также и в других случаях, когда радиосвязь на более северной трассе, хотя и не проходящей через возмущённую зону, испытывает затруднения из-за сильных ионосферных возмущений.

§ 25. Явление Деллинжера

Кроме ионосферных возмущений, связанных с магнитными бурями, в последние годы был обнаружен особый вид внезапного нарушения нормальных условий распространения радиоволн в ионосфере. Он проявляется в том, что иногда внезапно, крат-

ковременно (на время от нескольких минут до нескольких часов), прекращается радиосвязь на коротких волнах по всем линиям связи, проходящим полностью или частично по освещённой части земного шара. Это явление, получившее название *эффекта Деллинжера* (по имени американского учёного, первого обратившего внимание на него), в отличие от нарушения связи под действием обычных ионосферных бурь, проявляется лишь на освещённой части земного шара, не сопровождается магнитными бурями, не зависит от близости линии связи к магнитному полюсу и не сопровождается изменениями ионизации слоёв E и $F(F_1$ и $F_2)$ ионосферы. На основании всего имеющегося в настоящее время материала можно считать, что явление Деллинжера обуславливается резким усилением поглощения радиоволн в нижних слоях ионосферы, вызванным кратковременной вспышкой ультрафиолетовой радиации солнца вследствие обнажения внутренних частей солнца, имеющих более высокую температуру (25 000—30 000°), чем поверхностный слой солнца (около 6 000°С).

Этим мы заканчиваем краткое рассмотрение основных сторон картины распространения радиоволн на большие расстояния, где существенную роль играют небесные лучи. Как мы видели, дальняя радиосвязь подвержена значительным колебаниям случайного характера. Слабее всего они выражены на длинных волнах, более сильно на средних и особенно сильно на коротких волнах. Эти пассивные помехи радиоприёму на коротких волнах достигают во время ионосферных и магнитных бурь и особенно при эффекте Деллинжера такой силы, что делают связь на коротких волнах совершенно невозможной.

Поэтому, несмотря на все подчеркнутые выше преимущества коротких волн как в отношении большей свободы от атмосферных помех, так и в смысле больших возможностей эффективной борьбы с активными помехами разного рода, следует признать неправильным мнение некоторых радиоспециалистов о том, что длинные волны уже сыграли свою роль. В настоящее время считают, что для обеспечения бесперебойной и уверенной связи, особенно на севере, целесообразно иметь, наряду с рабочим коротковолновым передатчиком, также и резервный передатчик большой мощности на длинной волне, который мог бы вступить в действие при возникновении ионосферной бури или эффекта Деллинжера. Разумеется, решение этого вопроса связано с экономическими соображениями, касающимися стоимости сооружения и эксплуатации резервного мощного передатчика.

МЕРЫ БОРЬБЫ С ПАССИВНЫМИ РАДИОПОМЕХАМИ**§ 26. Борьба с регулярными изменениями силы приёма**

В предыдущей главе мы ознакомились с различными причинами, влияющими на условия распространения радиоволн в ионосфере. Наблюдаемые изменения силы приёма распадаются на две большие группы. К первой группе относятся регулярные изменения (суточные, сезонные и годовые), которые находятся в прямой зависимости от степени освещённости атмосферы и протекают сравнительно медленно. Вторую группу составляют такие нерегулярные, сравнительно быстрые изменения силы приёма, как, например, замирания.

Регулярные изменения силы приёма связаны с такими существенными изменениями условий отражений радиоволн и их поглощения в ионосфере, что в определённое время суток и года волны определённых диапазонов либо не отражаются вовсе, либо сильно поглощаются; радиосвязь на этих волнах становится невозможной. Так, днём короткие волны длиннее 25—30 м сильно поглощаются в ионосфере, тогда как ночью невозможна связь на большие расстояния на волнах короче 25 м. Поэтому для обеспечения бесперебойной уверенной радиосвязи передача производится на различных волнах в зависимости от времени суток и года. Так, например, для связи между Англией и США весной пользуются следующими тремя волнами: дневная волна — 16,35 м, ночная — 32,8 м и сумеречная — 22,4 м. Вообще же выбор длины волны зависит от освещённости всей трассы, по которой проходят радиоволны. Особенно трудно выбирать подходящую длину волны для связи между очень отдалёнными пунктами, сильно отличающимися по географической долготе, как, например, Москва — Хабаровск, Москва — Владивосток, так как на одном из участков трассы может быть день, в то время как на другом царит ночь.

§ 27. Борьба с явлением замирания

Какими же средствами можно уничтожить или хотя бы ослабить явление замирания? Очевидно, что к решению этой задачи можно подходить с двух концов.

1) Можно поставить себе задачу с помощью соответствующих передающих антенных устройств осуществить такое излучение радиоволн от передатчика, чтобы излучаемые вверх небесные лучи были слабыми, и тогда мы в месте приёма практически имели бы дело только с одним земным лучом и, следова-

тельно, сама причина возникновения замираний была бы радикально устранена.

2) Другой мыслимый путь заключается в создании таких систем приёмных антенн, которые позволили бы осуществить приём без замираний и при наличии в излучении передатчика как земных, так и излучаемых вверх небесных лучей.

Рассмотрим несколько подробнее первый случай создания передающих антифэдинговых антенн, представляющий наибольший интерес для радиовещания (т. е. для средних волн), ввиду массового приёма его на обычные приёмники с помощью обычных антенн, принимающих на расстоянии 50—200 км (радиус действия радиовещательных передатчиков). Разумеется, главной задачей является устранение небесного луча, попадающего в место приёма после одного отражения от ионосферы. Все остальные лучи, многократно отразившиеся от ионосферы и прошедшие гораздо более длинный путь, значительно слабее, и их действием в месте приёма можно пренебречь.

Для того, чтобы уяснить себе, в чём заключается действие передающих антифэдинговых антенн, обратимся к рис. 39. Как видно из него, угол возвышения α , под которым должен быть направлен луч, исходящий из точки A для того, чтобы после отражения от ионосферы попасть в пункт B , определяется из соотношения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2H}{d},$$

где H — высота слоя, от которого отражается данный луч, и d — расстояние по земле от передатчика до приёмника. Так как волны широко-вещательного диапазона отражаются от слоя E , высота которого над землёй равна около 100 км, то, как видно из формулы, даже на расстоянии в 200 км для ослабления замираний достаточно сделать так, чтобы излучение от передатчика под углами $\alpha > 45^\circ$ было слабым, в то время как для малых углов оно должно оставаться наиболее сильным. Этого нельзя достичь при помощи антенн обычного типа. В самом деле, из пунктирной кривой рис. 53, представляющей зависимость силы поля от угла возвышения над землёй для обычной вертикальной антенны ($h < \lambda/4$), видно, что в то время как для углов $\alpha > 80^\circ$ излучение слабо (меньше 15%), оно ещё очень значительно для угла $\alpha = 45^\circ$ (~70%). Таким образом, обычная вертикальная антенна даёт заметное излучение как раз в тех

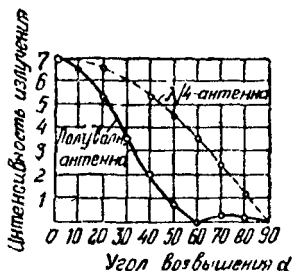


Рис. 53. Зависимость силы поля вертикальной антенны от угла возвышения над землёй.

направлениях, которые имеют существенное значение для возникновения фэдингов на расстояниях 100—200 км, и поэтому она отнюдь не может служить для их подавления.



Рис. 54. Распределение тока в полуволновой антенне.

Как видно из сплошной кривой на том же рис. 53, которая выражает зависимость интенсивности излучения от угла возвышения для «полуволновой» (h равно полуволне излучаемого колебания) антенны (рис. 54), распределение в пространстве излучения от этой антенны значительно выгоднее, чем от обычной антенны, так как небесные лучи в направлениях, которые могут вызвать замирания, здесь очень ослаблены. Что такая антенна действительно является хорошей антифэдинговой антенной, ясно видно из рис. 55, на котором приведены записи силы приёма как от обычной антенны, так и от полуволновой. В то время как в первом случае замирания очень сильны, во втором они почти отсутствуют.

Кроме полуволновой антенны существуют ещё другие антенные устройства, излучающие преимущественно под небольшими углами возвышения (излучение которых как бы стелется вдоль земли). Из этих антенн нашли себе применение так называемые *поверхностные* или *многоугольные* антенны, представляющие собой систему обычных антенн, расположенных в виде многоугольника на равном расстоянии ($\sim \lambda/3$) от центральной антенны, а также *высотные* или *дипольные* антенны (полуволновые антенны, расположенные на значительной высоте над землёй).

Второй путь борьбы с явлениями замирания в месте приёма основан на том, что эти явления протекают неодинаково в различных точках, отстоящих одна от другой на некотором расстоянии. Поэтому для борьбы с замираниями две приёмные антенны располагают на таком расстоянии друг от друга, чтобы в то время как одна испытывает полное ослабление приёма, интенсивность приёма в другой достигала максимума. Токи от обоих приёмников, работающих от этих антенн, после детектирования передаются в центральный приёмный пункт, где они накладываются друг на друга и обеспечивают приём некоторой средней силы, уже не обнаруживающей таких резких колебаний интенсивности. Хотя уже две простые антенны (или рамки)



Рис. 55. Сравнение кривых изменения силы приёма во времени от обыкновенной и полуволновой антенн.

дают существенное улучшение приёма, однако для осуществления возможно более равномерного приёма целесообразно применить большее число приёмных антенн.

Существуют различные системы приёмных антифэдинговых антенн, которые позволяют не только в значительной мере избавиться от замираний, но также одновременно осуществить остро направленный приём. Упомянем здесь антенные системы Бевежда, особенно в варианте, который носит название антенны «бродсайд», а также хорошо зарекомендовавшую себя в самое последнее время систему так называемых ромбических антенн, известную под названием «Мюза». Антифэдинговые системы приёмных антенн требуют для своего сооружения тем меньше места, чем короче волна; поэтому они нашли себе применение, главным образом, в области коротких волн и в выделенных приёмных центрах.

Кроме указанных выше способов борьбы с замираниями путём применения специальных сложных передающих и приёмных антенных систем (антифэдинговых), в настоящее время очень широко применяется чрезвычайно простой и естественный приём, который вошёл в практику радиосвязи вскоре после обнаружения явления замирания. Речь идёт об автоматическом регулировании силы приёма с целью сохранения постоянной силы приёма, независимо от колебаний силы сигнала, вызываемых замиранием. Такие устройства получили название *автоматических регуляторов громкости*. Своеобразие задачи создания такого устройства заключается в том, что оно должно регулировать медленные изменения сигнала, вызываемые фэдингами, и вместе с тем передавать без изменений (искажений) быстрые изменения силы электрического поля, связанные с передачей сигналов (знаков Морзе, речи или музыки). Пользуясь принятой терминологией, мы можем сказать, что такое устройство должно, не изменяя соотношения интенсивностей отдельных частот передаваемого спектра между собою, в то же время увеличивать или уменьшать усиление равномерно для всех частот. «Чудодейственная» радиолампа позволяет и здесь найти решение.

Как мы уже видели выше, зависимость анодного тока лампы от напряжения, подведённого к её сетке (так называемая характеристика лампы), имеет вид кривой, приведённой на рис. 56.

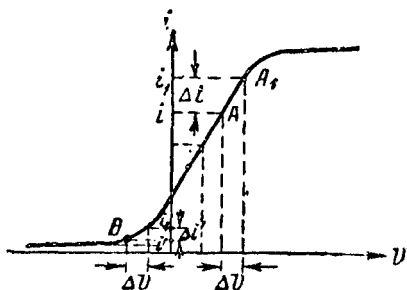


Рис. 56. Принцип действия лампового регулятора громкости.

Легко видеть, что одно и то же изменение ΔV сеточного напряжения, будучи приложено один раз в точке A и другой — в точке B , вызывает различные по величине изменения Δi анодного тока (Δi в первом случае и $\Delta i'$ — во втором), причём это изменение анодного тока тем больше, чем круче характеристика в данном месте. Устанавливая рабочую точку в той или иной части характеристики, мы можем изменять в широких пределах усиление электронной лампы. Это свойство лампы и используется в схемах автоматической регулировки громкости. В этих схемах положение рабочей точки на характеристике автоматически перемещается по характеристике в зависимости от интенсивности принимаемого сигнала. При самом слабом сигнале рабочая точка устанавливается в самой крутой части характеристики, а с увеличением силы принимаемого сигнала она передвигается влево к участкам всё меньшей и меньшей крутизны.

Хороший автоматический регулятор громкости должен поддерживать постоянную интенсивность приёма при колебаниях электродвижущей силы в антенне в пределах от $100 \mu V$ до $1V$, т. е. в $10\,000$ раз. Однако, регулировка в таких пределах, вполне достаточная для приёма радиовещания, не даёт ещё вполне удовлетворительных результатов при борьбе с замираниями при приёме заокеанских коротковолновых станций.

Ясно, что регулятор громкости даёт хороший эффект лишь в тех случаях, когда замирания не настолько глубоки, чтобы сделать минимальную интенсивность принимаемого сигнала ниже уровня помех, так как он одинаково регулирует силу приёма как сигнала, так и помехи. Этой величиной замираний и определяется предел эффективности автоматических регуляторов громкости.

§ 28. Радиоэхо и борьба с ним

При работе с короткими волнами на больших расстояниях был обнаружен, кроме замираний, ещё один вид пассивных

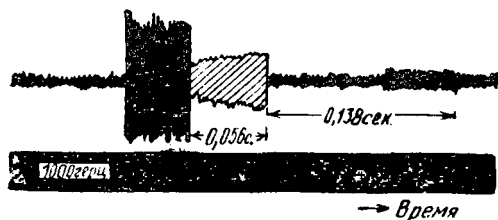


Рис. 57. Запись кругосветного радиоэхо.

помех, также связанной с ионосферой и получивший название *радиоэхо*. Впервые радиоэхо было обнаружено при приёме телеграфии от заокеанских станций следующим образом. Было замечено, что одни и те же знаки повто-

ряются через короткие промежутки времени один и больше раз,

правда, с каждым разом всё слабее, как это показано на рис. 57.

Оказалось, что это явление объясняется тем, что приёмник воспринимает радиоволны, дошедшие как по кратчайшему пути $A1B$ вдоль большой дуги земного шара (рис. 58), так и вокруг земного шара в обратном направлении, по пути $A2B$, а также обошедшие полностью вокруг земного шара по пути $A3B$. Что это действительно так, подтверждалось и тем, что промежуток времени между приходом основного сигнала и прошедшего полностью вокруг земного шара в том же направлении радиоэхо равнялся 0,138 сек., т. е. как раз времени, какое требуется для того, чтобы сигнал, распространяясь со скоростью света, обошёл весь земной шар на высоте ионосферы. Так как запаздывание вторичных сигналов относительно основного достигает десятых долей секунды, то повториться могут не только отдельные точки, но и целые буквы. Радиоэхо мешает не только автоматическому приёму, но даже приёму телеграфии на слух, так как может оказаться, что вследствие замираний вторичный сигнал, пришедший по более длинному пути, будет слышен громче, чем основной сигнал, пришедший по кратчайшему пути.

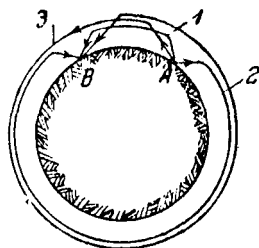


Рис. 58. Схема кругосветного радиоэхо.

Такие кругосветные радиоэхо наблюдаются почти исключительно на более коротких волнах (от $\lambda = 13$ до $\lambda = 18$ м) и сравнительно редко на более длинных волнах (от $\lambda = 18$ до $\lambda = 24$ м). Наиболее благоприятные условия для появления кругосветных радиоэхо имеют место зимой в дневные часы, когда часто наблюдаются обратные эхо. Прямые кругосветные эхо наблюдаются чаще летом.

Кругосветные радиоэхо являются сильной помехой для радиосвязи на коротких волнах. Наиболее радикальной мерой борьбы с ними является применение однонаправленных антенн: *прожекторных* на передающей и *телескопических* на приёмной станции. В настоящее время с помощью прожекторных антенн вполне осуществимо ослабление излучения в обратном направлении по сравнению с прямым в 10 раз и такое же ослабление приёма с помощью телескопических антенн из обратного направления по сравнению с прямым. Таким образом, одновременное применение и на месте передачи, и на месте приёма однонаправленных антенн позволяет ослабить эхо в 100 раз. Этого достаточно для устранения помехи со стороны радиоэхо даже в тех случаях, когда вследствие замираний сигнал, пришедший по кратчайшему пути, ослаблен и обратный сигнал усилен. Для устранения прямого кругосветного эхо особенно

эффективно применение приёмных антенн с переменным углом направленности приёма (типа «Мюза»).

Дальнейшая практика радиосвязи показала, что явления радиоэхо не ограничиваются только кругосветными. Так, при быстродействующей передаче телеграфии (500—600 слов в минуту) на коротких волнах наблюдается как бы расщепление точек, т. е. многократное повторение их через промежутки времени порядка тысячных долей секунды. Такое расщепление сигнала, как выяснилось, вызывается волнами, пришедшими в место приёма после многократных отражений от ионосферы по более длинному пути, чем основной сигнал. При передаче более длительного знака (тире) или при более медленной радиотелеграфной передаче все эти сигналы — основной и вторичные — накладываются один на другой и могут вызвать замирание. Таким образом, радиоэхо ограничивает скорость радиотелеграфной передачи. Особенно вредно отражается радиоэхо на передаче изображений, так как обуславливает искажение, раздвоение, а часто и полное размазывание изображений. Именно радиоэхо, главным образом, и делает невозможной дальнюю передачу изображений на коротких волнах.

§ 29. Люксембургско-горьковский эффект

В заключение отметим ещё один любопытный случай пассивной радиопомехи. Недавно в Западной Европе и у нас было обнаружено следующее явление. Когда на пути радиоволны от передатчика *A* к приёмнику, настроенному на него, находится мощный передатчик *C*, работающий на совершенно отличной волне, то в приёмник во время работы обоих передатчиков слышна передача *A*, искажённая наложением передачи *C*. В паузах между передачами *A*, когда передатчик излучает только несущую волну, слышна передача *C*. Когда передатчик *A* молчит, то передача *C* тоже не слышна. Впервые это явление было обнаружено при приёме в Голландии швейцарской станции в г. Бюромюнстер, передача которой была искажена наложением передачи мощного 120-киловаттного люксембургского передатчика, а также приблизительно в то же время у нас в г. Горьком, вследствие чего это явление получило название *люксембургско-горьковского эффекта*. Дальнейшие исследования показали, что такое действие мощных передатчиков простирается на расстояния в несколько сот километров (до 600 км от люксембургского передатчика). Они также показали, что люксембургский эффект наблюдается лишь на длинных и средних волнах. На коротких волнах он не наблюдается. На рис. 59 изображена сфера действия мощного передатчика *C*. Люксем-

бургский эффект обнаруживается при приёме станции A в пункте B_1 , так как путь радиоволн проходит через сферу действия передатчика C и не обнаруживается при приёме той же станции в пункте B_2 .

В чём же причина этого явления? Если на пути распространения радиоволн поглощательная способность среды будет периодически изменяться, то интенсивность их в месте приёма будет также изменяться в такт с изменением поглощающей способности среды, или, как говорят, радиоволны будут претерпевать модуляцию с частотой изменения поглощательной способности среды. Нечто подобное происходит при люксембургском эффекте. Сильное переменное электромагнитное поле, создаваемое мощным передатчиком вокруг него, изменяет условия поглощения в ионосфере в такт с изменениями интенсивности поля, т. е. с частотой модуляции мощного передатчика. Таким образом, небесные лучи от других более отдалённых передатчиков, проходя через область действия мощного передатчика, испытывают модуляцию с частотой изменения поглощения ионосферы, т. е. с частотой модуляции мощного передатчика. Так как этот эффект вызван модуляцией небесных лучей, то разумеется, что всякий способ ослабления небесных лучей, как например, применение передающих антифэдинговых антенн, даёт возможность избавиться от радиопомехи этого рода.

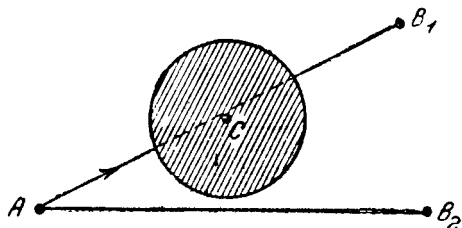


Рис. 59. Сфера действия мощной станции, вызывающей люксембургский эффект (заштриховано).

ГЛАВА VIII

ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОПОМЕХИ И МЕРЫ БОРЬБЫ С НИМИ

§ 30. Искусственные радиопомехи

Из предыдущих глав читатель мог составить себе представление об основных видах радиопомех и мерах борьбы с ними. Среди различного рода радиопомех значительное внимание было нами уделено помехам от чужих радиостанций. В военное время противники намеренно стараются всячески мешать радиосвязи неприятеля. Для этой цели и применяют искусственные радиопомехи.

Заместим прежде всего, что искусственная радиопомеха только в том случае будет эффективна, если её спектр частот будет хотя бы частично перекрывать полосу частот приёмника, а её интенсивность будет больше или, по меньшей мере, той же величины, что и интенсивность принимаемого сигнала. Поэтому, когда речь идёт о мешании приёму станций, работающих на определённых волнах, то проще всего мешающий передатчик настраивать приблизительно на ту же волну, причём характер модуляции мешающих колебаний выбирается в зависимости от рода передачи, которой желательно помешать. Так, в случае приёма телефонии мешающий передатчик обычно также передаёт музыку или речь, в то время как для мешания приёму телеграфии эффективно передавать такие же импульсы, например, тоже телеграфные знаки. В качестве мешающего передатчика можно иногда с успехом применить обыкновенный искровой передатчик.

Значительно осложняется задача создания источника искусственных помех, когда заранее неизвестно, на какой волне противник будет держать связь, так как в этом случае мешающий передатчик должен давать возможность эффективно мешать радиосвязи противника в широком диапазоне частот.

Принципиально таким требованиям удовлетворяют, как мы видели выше, аperiodические помехи, обладающие сплошным спектром частот. Помехи с таким спектром получаются, как мы видели выше (рис. 23), при искровом аperiodическом разряде. Поэтому на первый взгляд представляется естественным применить в качестве источника искусственных радиопомех искровой радиопередатчик, генерирующий весьма сильно ватухающие колебания.

Однако, осуществить достаточно эффективный радиопередатчик, дающий сплошной спектр в значительном диапазоне и обладающий при этом значительным радиусом действия, практически невозможно.

Расчёт показывает, что при приёме радиотелеграфии на слух ¹⁾ передатчик, который создаёт достаточный уровень помех одновременно в диапазоне от 100 до 200 м, должен обладать мощностью в несколько десятков тысяч киловатт. Помимо того, что создать искровой передатчик такой мощности явно невозможно, совершенно ясно, что такой передатчик ещё больше мешал бы собственной радиосвязи.

Таким образом, искусственные помехи со сплошным спектром частот совершенно непригодны для рассматриваемых целей,

¹⁾ Мы берём этот случай как наиболее трудный для мешания, так как при этом полоса пропускания приёмника может быть сделана минимальной (около 10 мц).

и необходимо искать другие способы решения поставленной задачи. Здесь нам может помочь рассмотрение аналогичной задачи в области света. Пусть, например, требуется помешать противнику принимать ночью на самолёте слабые световые сигналы, подаваемые ему с земли. Эту задачу принципиально можно, конечно, разрешить, достаточно ярко освещая пространство вокруг самолёта с помощью сильного прожектора или непрерывно посылаемых вверх осветительных ракет. Легко, однако, видеть, что если местоположение самолёта неизвестно или если одновременно в различных местах пространства находится несколько самолётов, то для достаточно яркого и притом длительного освещения всего пространства, в котором по предположению могут находиться самолёты противника, потребовались бы такие сильные источники света (или в таком количестве), что практически это неосуществимо. Весьма простое решение задачи помешать самолётам противника принимать слабые световые сигналы, как всем хорошо известно, заключается в том, что одновременное освещение всего желаемого пространства заменяется последовательным освещением отдельных его участков лучом прожектора, быстро облетающим всё пространство. Задача создания искусственной радиопомехи в интересующем нас случае может быть решена аналогичным образом. Вместо источника помехи со сплошным спектром частот можно применить передатчик, излучающий только одну частоту (или узкую полосу частот), но устроенный таким образом, что можно изменять эту частоту в значительных пределах и, следовательно, подобно лучу прожектора, заставлять её пробегать по всему желаемому диапазону частот.

Очевидно, что мощность, излучаемая таким передатчиком, будет того же порядка, что и мощность обыкновенного передатчика, излучающего одну узкую полосу частот, и с энергетической стороны никаких препятствий для его осуществления не встречается. В чём же выразится мешание радиоприёму такого излучения? Если бы полоса частот, излучаемая мешающим передатчиком, оставалась всё время неизменной и частично совпала бы с полосой частот, пропускаемой приёмником, то в результате биений отдельных частот помехи между собой и с частотами принимаемого сигнала в приёмнике был бы слышен некоторый звук. При неизменности состава спектра принимаемого сигнала этот звук также оставался бы постоянным как по своей интенсивности, так и по составу спектра.

Однако, так как полоса частот мешающего передатчика не остаётся неподвижной, а быстро меняет свое положение, пробегая весь диапазон частот, то звук в приёмнике так-

же быстро изменяется как по высоте, так и по интенсивности: слышится как бы резкое и быстрое завывание. Поэтому такой мешающий передатчик частот называют «воющим».

Каким же образом осуществляется такой передатчик? Прежде всего ясно, что для этой цели не годится обычный передатчик, работающий на одной волне и требующий значительного времени для перестройки на другую волну. Необходимо, чтобы переход с одной волны совершался непрерывно и притом автоматически. Пробег по всем волнам охватываемого диапазона должен происходить в течение возможно более короткого времени (обычно несколько секунд или даже долей секунды). Волны, излучаемые таким передатчиком, представляют собой непрерывный ряд следующих друг за другом синусообразных колебаний с одинаковыми амплитудами, но с постепенно изменяющейся длиной волны, причём это изменение происходит периодически. Такое изменение характера колебаний волны, при котором амплитуда колебаний остаётся постоянной, а изменяется периодически частота колебаний, носит название *модуляции по частоте* или, кратко, *частотной модуляции*.

Применение частотной модуляции, особенно вместе с амплитудной модуляцией, представляет один из эффективных способов осуществления передатчика искусственных помех. Частотную модуляцию обычно осуществляют, изменяя периодически ёмкость конденсаторов или индуктивность катушек колебательного контура, в котором генерируются колебания. Как мы увидим в следующей главе, спектр частот, излучаемых частотно-модулируемым передатчиком, состоит из линий, расположенных на близком расстоянии друг от друга и заполняющих весь пробегаемый диапазон частот.

§ 31. Борьба с искусственными радиопомехами

Для борьбы с такими искусственными помехами существует несколько возможных путей. Прежде всего в некоторых случаях можно с успехом применить пространственную селекцию. Пусть, например, в пункте B требуется принять передачу из пункта A , в то время как мешающий передатчик находится в точке M (рис. 60). Легко видеть, что эту задачу можно успешно разрешить с помощью простой рамочной антенны, установив её таким образом, чтобы в направлении BM сила приёма была бы минимальной (т. е. чтобы нормаль к плоскости рамки была направлена на M).

Если пункт A расположен примерно на линии MB (рис. 61), то с помощью простой рамки освободиться от мешающего действия M невозможно. Однако, применение несколько более

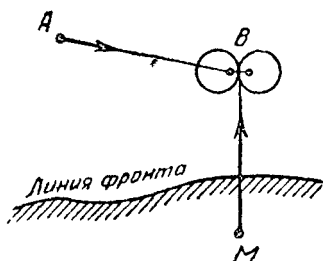


Рис. 60.

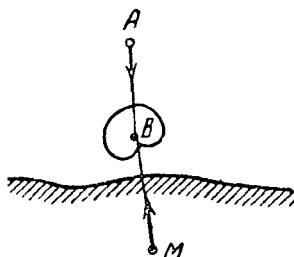


Рис. 61.

сложной антенны, а именно комбинации рамки с вертикальной антенной, дающей диаграмму направленности в виде кардиоиды, позволяет и в данном случае успешно преодолеть это затруднение.

В тех случаях, когда направление на принимаемый передатчик A (рис. 62) лишь немного отличается от направления на мешающий передатчик M , непосредственное применение пространственной селекции, очевидно, помочь не может. Здесь можно, однако, освободиться от помехи, применив ретрансляцию через пункт C , лежащий в другом направлении. Как видно из рис. 62, в этом случае приём передачи A в пункте C и затем в пункт B из пункта C можно производить, пользуясь рамкой для освобождения от помехи M .

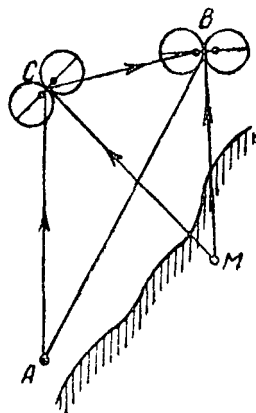


Рис. 62.

Однако, в тех случаях, когда мешающие станции разбросаны вдоль всего фронта, способ пространственной селекции, осуществляемый с помощью рамки или других антенн, не требующих большой протяжённости, не даёт достаточной защиты. В этих случаях можно иногда с успехом применить *одновременную передачу на нескольких* сравнительно далеко отстоящих друг от друга волнах. Выбор этих волн производится, конечно, после предварительного выяснения диапазона волн, пробегаемого искусственной помехой, таким образом, чтобы, по крайней мере, одна из выбранных волн лежала вне этого диапазона. Так как обычно максимальная ширина диапазона

волн, охватываемого помехой (максимальная глубина частотной модуляции), для каждого мешающего передатчика есть определённая величина и её труднее изменить, чем самый диапазон частот, то при таком выборе волн есть очень много шансов на то, что из сопоставления передач, принятых на крайних волнах, можно будет полностью восстановить переданный текст. Разумеется, такой способ освобождения от искусственной воющей помехи, вполне пригодный для приёма радиотелеграфии (на слух или запись на ленту), может часто оказаться не эффективным для приёма радиотелефонии.

В борьбе с искусственной помехой только что указанного типа во многих случаях очень эффективным может оказаться рассмотренный нами выше (в связи с мерами борьбы с атмосферными помехами) метод уменьшения скорости передачи с одновременным повышением селективности приёмника (суживанием полосы частот, пропускаемых приёмником). В самом деле, при соответствующем сужении пропускаемой полосы частот уровень искусственных помех можно сделать меньше силы сигнала и таким образом освободиться от этой помехи.

Следует, однако, заметить, что, в противоположность рассмотренному выше случаю атмосферных помех, неизбежное при таком повышении селективности приёмника (сужении полосы пропускания частот) понижение скорости передачи здесь не равносильно уменьшению скорости передачи повторных передач текста с неуменьшённой скоростью и при неуменьшённой полосе пропускания. В самом деле, в случае воющей помехи мы не имеем дела с случайными явлениями, а с очень быстро и регулярно повторяющимся мешающим действием, которое вследствие быстроты изменения окажет то же самое действие при повторной передаче, что и при первой ¹⁾.

В очень значительной степени свободна от действия искусственных помех связь на ультракоротких волнах (λ — порядка нескольких метров). Как уже было указано выше, действие ультракоротких волн практически ограничивается прямой видимостью. Поэтому, если мешающая станция расположена за пределами прямой видимости, то она не сможет помешать приёму. Таким образом, для связи на близкие расстояния, особенно в прифронтной полосе, целесообразно пользоваться ультракороткими волнами.

¹⁾ Только в том случае, если передача телеграмм занимает время, сравнимое с быстротой изменения частоты воющей помехи (порядка долей секунды), повторная передача может оказаться полезной.

НОВЫЕ СПОСОБЫ РАДИОСВЯЗИ

§ 32. Частотная модуляция

В предыдущих главах мы вкратце рассмотрели различные виды радиопомех как природных, так и искусственных, их мешающее действие на радиоприём и основные способы борьбы с ними. При этом мы исходили из общепринятой системы радиопередачи, а именно, предполагали, что передача сигналов осуществляется изменением амплитуды синусоидальных колебаний передатчика, т. е. с помощью амплитудной модуляции.

Между тем, уже давно возник вопрос: является ли общепринятая система радиосвязи с помощью амплитудной модуляции действительно наиболее совершенной и нельзя ли для борьбы с радиопомехами применить с большим успехом другие системы радиопередачи? Возможность применения, кроме амплитудной модуляции, и других способов изменения характера радиоволн для передачи сигналов была известна уже давно. Так, в первом мощном радиотелеграфном передатчике незатухающих колебаний, в котором генератором служила электрическая дуга Паульсена, передача телеграфных сигналов осуществлялась не изменением амплитуды радиоволн неизменной частоты, а изменением *частоты* радиоволн (например, путём включения и выключения дополнительной ёмкости в колебательной цепи генератора колебаний). Радиоволны, излучаемые дуговым передатчиком Паульсена при передаче знаков Морзе, имели вид не отдельных посылок ряда волн различной продолжительности, как при амплитудной модуляции (рис. 5, а), а непрерывного следования чередующихся рядов волн большей или меньшей длины волны, причём ряды волн одной длины (например, меньшей) вполне соответствовали передаваемым знакам, а ряды волн другой длины — паузам (рис. 63). Для того, чтобы в месте приёма выделить из непрерывного следования волн ряды волн, соответствующие знакам Морзе, применялся приёмник с достаточно острой настройкой, который в рассматриваемом случае настраивался на меньшую длину волны.

Легко видеть, что, изменяя соответствующим образом частоту излучаемой волны, мы можем передавать не только точки и тире (как в азбуке Морзе), но также и музыку и речь. Подобно тому как для передачи одного тона высоты N в случае амплитудной модуляции необходимо изменять амплитуду A несущей волны N раз в секунду, причём величина этого изменения a

(или глубина амплитудной модуляции $\frac{a}{A}$) определяет интенсивность передаваемого звука, так и изменяя N раз в секунду частоту f_c несущей волны сигнала, мы можем передать высоту

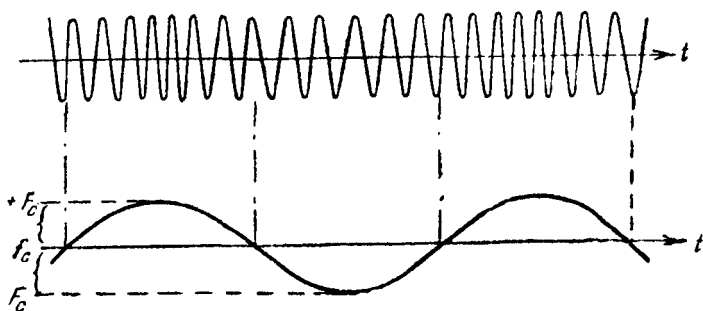


Рис. 63. Форма колебаний волн при передаче телеграфных знаков частотно-модулированными колебаниями.

тона, тогда как величина изменения частоты F_c (или глубина частотной модуляции $\frac{F_c}{f_c}$) будет определять его интенсивность. Такое изменение характера волны, при котором изменяется её частота (длина волны) и остаётся неизменной её амплитуда, называется *частотной модуляцией*.

При амплитудной модуляции для воспроизведения принимаемого сигнала необходимо в приёмнике получить ту же кривую изменения амплитуды во времени, что и при передаче.

Это достигается детектированием принимаемых колебаний с помощью амплитудного детектора. Наиболее совершенным амплитудным детектором является так называемый *линейный детектор*, осуществляемый с помощью радиоламп, который пропускает без искажений колебательный ток только в одну сторону. На рис. 64

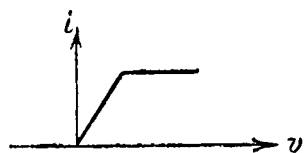


Рис. 64. Характеристика линейного детектора.

представлена характеристика линейного детектора и на рис. 65 — кривая выпрямленных им колебаний.

Если принимать на обычный приёмник частотно-модулированные колебания, то сигнала мы, очевидно, воспроизвести не сможем, так как, ввиду их постоянной амплитуды, мы после выпрямления их в линейном детекторе получим только постоянный ток (рис. 66).

Для того, чтобы проявить сигнал, необходимо сначала преобразовать частотно-модулированные колебания в колебания,

модулированные по амплитуде. Это преобразование осуществляется, например, так же, как и при радиотелеграфной передаче с помощью паульсеновской дуги, путём применения

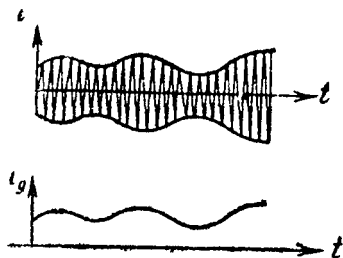


Рис. 65. Действие линейного детектора на амплитудно-модулированные колебания.



Рис. 66. Действие линейного детектора на частотно-модулированные колебания.

колебательного контура, к которому подводятся принимаемые частотно-модулированные колебания. Собственная частота этого контура выбирается несколько большей, чем наибольшая частота $A_{\text{макс}}$ принимаемых колебаний. Как видно из рис. 67, где изображена резонансная кривая колебательного контура, к которому подводятся частотно-модулированные колебания, при изменении частоты воздействующих колебаний неизменной амплитуды от $f_{\text{мин}}$ до $f_{\text{макс}}$, амплитуда колебаний в резонансном контуре будет изменяться от $A_{\text{мин}}$ до $A_{\text{макс}}$ практически пропорционально изменению частоты. Таким образом, колебания в контуре будут модулированы по амплитуде в соответствии с модуляцией частоты принимаемых колебаний. Амплитудно-модулированные колебания подводятся затем к амплитудному детектору, который и «выявляет» сигнал. Устройство для преобразования частотно-модулированных колебаний в колебания, модулированные по амплитуде, получило название *частотного детектора*. Простейшим частотным детектором, как мы видели, является резонансный контур.

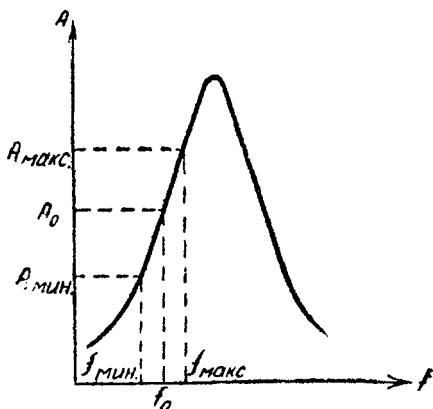


Рис. 67. Схема преобразования частотно-модулированных колебаний в амплитудно-модулированные.

§ 33. Система частотной модуляции Армстронга

Первый вопрос, который, естественно, может возникнуть у читателя, это — представляет ли частотная модуляция какие-либо преимущества по сравнению с амплитудной. Первое время ошибочно считали, что при передаче сигнала посредством частотной модуляции можно, изменяя частоту f_c несущей волны лишь в очень небольших пределах (от $f_c - \Delta f$ до $f_c + \Delta f$), ограничить полосу передаваемых частот только этим весьма узким интервалом $2\Delta f$ и таким образом весьма эффективно использовать частотную селекцию. Однако, правильное рассмотрение этого вопроса показывает, что и при частотной модуляции полоса частот, необходимая для передачи сигнала, не может быть меньше, чем при амплитудной модуляции. В самом деле, в то время как при модуляции N раз в секунду амплитуды колебания частоты (см. стр. 19—20) мы имеем полосу частот, состоящую из основной частоты f_c и только двух боковых частот $f_c - N$ и $f_c + N$ (см. рис. 10), при частотной модуляции с той же частотой спектр получаемых частот содержит, кроме этих трёх частот, ещё

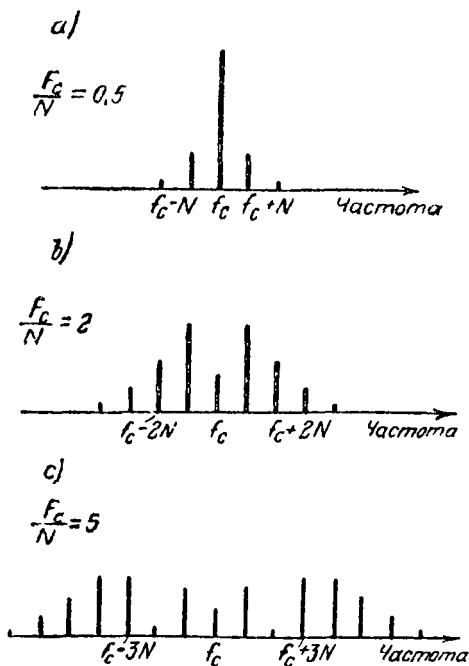


Рис. 68. Спектр частот при частотной модуляции: а) малая глубина модуляции, б), в) большая глубина модуляции.

друг от друга на N (рис. 68). При малой глубине частотной модуляции эти более отдалённые боковые частоты слабы (рис. 68, а), и мы практически имеем, как при амплитудной модуляции, только две боковые частоты. При больших глубинах модуляции существенное значение для интенсивности передаваемого сигнала имеют и другие более отдалённые частоты (рис. 68, б, в). Таким образом, при частотной модуляции спектр излучаемых частот сложнее, а ширина его не меньше, чем при амплитудной модуляции. Так как это не сулило ка-

ких-либо выгод в отношении борьбы с активными радиопомехами, то интерес к частотной модуляции сильно упал.

Однако, в настоящее время этот интерес снова сильно возрос, особенно после того, как известный американский радиоспециалист Армстронг в 1936 г. показал, что целесообразное использование частотной модуляции представляет значительные преимущества перед амплитудной модуляцией для осуществления высококачественной передачи на очень коротких волнах как в отношении уменьшения мощности, так и освобождения от радиопомех различного рода. Особенно удивительным и в известном смысле парадоксальным представляется тот факт, что такой результат был получен Армстронгом в результате многократного расширения полосы передаваемых частот, а не сужения её.

Так, вместо требуемой для высокохудожественной передачи телефонии максимальной полосы в 10 000 гц Армстронг применил полосу частот в 150 000 гц.

Для того, чтобы разобраться в этом парадоксе и уяснить себе, почему расширение передаваемой полосы частот в системе частотной модуляции Армстронга, в противоположность обычной системе амплитудной модуляции, не только не ухудшает, а наоборот, сильно улучшает условия борьбы с атмосферными помехами, рассмотрим следующий простой случай. Пусть во время паузы между передачами, когда передатчик излучает лишь одну несущую волну сигнала амплитуды A и частоты f_c , на приёмник действует слабая помеха, тоже имеющая вид одного синусоидального колебания с малой, по сравнению с A , амплитудой a и частотой f_n , близкой к частоте f_c . Посмотрим, какое действие произведёт такая помеха на приёмник амплитудно-модулированных колебаний и приёмник

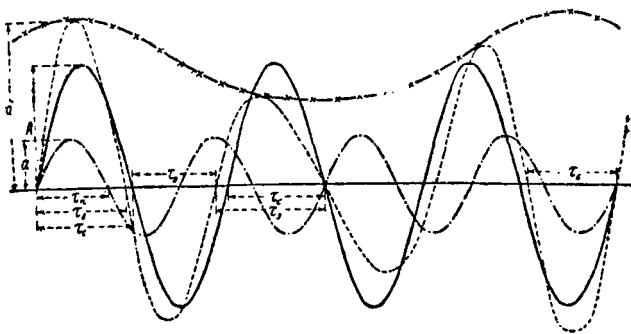


Рис. 69. Изменение формы несущей волны (сигнала) под действием синусоидальной помехи.

— кривая сигнала (неискажённого);
 - . - . - кривая помехи; кривая искажённого сигнала; — X — X — X кривая изменения амплитуды сигнала (кривая амплитудной модуляции); $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3 \dots$ полу периоды искажённого сигнала; $\tau_1 = \tau_4$.

частотно-модулированных колебаний. Как видно из рис. 69, в результате наложения помехи на сигнал мы получим уже не чисто синусоидальные колебания. Между колебаниями сигнала и помехи возникают биения, причём с частотой биений $\Delta f = f_c - f_n$ будут изменяться не только амплитуда, но, как видно также из рис. 69, и частота результирующего колебания. Иными словами, расстояния между точками перехода через нуль будут периодически изменяться с частотой биений. Таким образом, результирующее колебание будет одновременно модулировано как по амплитуде, так и по частоте.

Оценим величину максимального изменения амплитуды и частоты результирующего колебания, т. е. глубины частотной и амплитудной модуляций. Легко видеть, что, независимо от частот f_c и f_n , амплитуда результирующего колебания будет изменяться в пределах от максимального значения $A+a$ до минимального значения $A-a$. Таким образом, относительное изменение амплитуды, вызванное действием помехи, будет равно a/A или, иначе говоря, глубина модуляции амплитуды, вызванная помехой, равна $m_a = a/A$. В обычных приёмниках с амплитудным детектором это изменение амплитуды и воспроизводится полностью.

Перейдём теперь к оценке величины изменения частоты результирующего колебания.

Легко показать, что при малых величинах амплитуды помехи и малой разности частот сигнала и помехи максимальное изменение частоты δ_c равно

$$\delta_c = \frac{a}{A} \Delta f,$$

т. е. разности Δf частот сигнала и помехи, уменьшённой в отношении a/A . Отсюда получаем, что относительное изменение частоты, или глубина модуляции частоты (m_r), вызванная помехой, равно

$$m_r = \frac{\delta_c}{f_c} = \frac{a}{A} \frac{\Delta f}{f_c}.$$

Сравнивая выражение для модуляции сигнала по частоте с выражением для модуляции его по амплитуде, мы видим, что глубина модуляции частоты, вызванной помехой, равна глубине модуляции амплитуды, умноженной на отношение разности частот $f_c - f_n$ сигнала и помехи к частоте f_c сигнала, т. е. помеха тем сильнее модулирует сигнал по частоте, чем дальше отстоит f_c от f_n .

Какие же выводы можно сделать из этих результатов?

Если при приёме на обычный приёмник амплитудно-модулированных колебаний частота f_n малой помехи, вызывающей глубину модуляции волны сигнала, равную a/A , лежит в

полосе пропускания приёмника, то, очевидно, помеха будет мешать всем сигналам с той же или меньшей глубиной модуляции несущей волны сигнала. При приёме телефонной передачи, особенно высококачественной, освободиться от действия этой помехи, пользуясь различными видами селекции (за исключением пространственной селекции в некоторых случаях), невозможно. В частности, не помогает также и амплитудная селекция, так как ограничители амплитуды должны пропускать все амплитудные изменения сигнала.

Очевидно, что ослабить действие помехи можно было бы либо увеличением интенсивности A сигнала (т. е. мощности передатчика), что экономически невыгодно, да и не всегда возможно, либо увеличением глубины модуляции, но здесь мы ограничены тем, что при амплитуде модуляции больше амплитуды сигнала ($m > 100\%$) наступает искажение сигнала. Увеличение же полосы излучаемых передатчиком и пропускаемых приёмником частот не только бесполезно, но, как мы знаем, вредно.

Иначе обстоит дело при частотной модуляции. Здесь, как на это указал В. Армстронг, не только не обязательно ограничивать полосу излучаемых частот лишь шириной передаваемых акустических частот, как это до сих пор считали, но, наоборот, значительное расширение этой полосы приводит к весьма значительному ослаблению действия помех. Как мы видели выше, в системе частотной модуляции максимальное изменение F_0 частоты при частотной модуляции практически определяет ширину полосы частот, излучаемых передатчиком. Увеличивая глубину модуляции частоты передатчика, т. е. величину F_0 , мы одновременно увеличиваем пропорционально и интенсивность сигнала. Таким образом, в системе частотной модуляции интенсивность сигнала пропорциональна F_0/f_0 , в то время как интенсивность помехи, как было указано выше, пропорциональна $\frac{a}{A} \frac{\Delta f}{f_c}$, и, следовательно, отношение интенсивности помехи к интенсивности сигнала будет равно

$$\frac{a}{A} \frac{\Delta f}{F_0}$$

Отсюда следует, что если Δf меньше F_0 , то это отношение будет меньше a/A . Иными словами, выбрав F_0 большим по отношению к Δf , значительно ослабить действие помехи на приёмник частотно-модулированных колебаний по сравнению с её действием на приёмник амплитудно-модулированных колебаний. Однако, возможно ли осуществить такое ослабление помехи? Ведь для того, чтобы использовать преимущество системы частотной модуляции, даваемое увеличением передаваемой

полосы частот, необходимо, чтобы приёмник мог принять эту полосу частот, но при этом в приёмник попадут и такие помехи, частота которых отличается от частоты сигнала f_c на величину F_c , и по отношению к ним никакой выгоды от увеличения полосы передаваемых частот мы не получим. Тем более, что, как мы видели выше, глубина модуляции частоты f_c сигнала, вызванная помехой частоты f_n , будет пропорциональна $\Delta f = f_c - f_n$, и, следовательно, помеха частоты f'_n , дальше отстоящей от f_n , вызовет большую глубину модуляции сигнала и её мешающее действие будет сильнее.

Эти соображения вполне правильны, однако следует иметь в виду, что приёму телефонии будут мешать лишь те помехи, которые отличаются по частоте от несущей волны на слышимую частоту, все же другие помехи, более удалённые по частоте и вызывающие, как мы видим, наиболее сильное изменение частоты, будут лежать за пределами слышимости и непосредственно не будут мешать приёму на слух. Поэтому при приёме телефонии при частотной модуляции в отличие от амплитудной расширение полосы излучаемых частот (т. е. F_c) за пределы слышимости не только не увеличивает действия помех, но одновременно ведёт к увеличению интенсивности передачи.

Все эти особенности частотной модуляции Армстронг и использует в своей системе радиопередачи. Для того, чтобы максимально освободить приём от действия помех, он в соответствии с указанными выше соображениями, прежде всего применяет очень большое изменение частоты несущей волны передатчика (передаваемая полоса частот 150 000 гц), чем одновременно достигается значительное увеличение интенсивности передачи. Для освобождения от амплитудных изменений, вы-

зываемых помехами, попадающие на вход приёмника колебания пропускаются сначала через амплитудный ограничитель (см. стр. 58), где они практически освобождаются от изменений по амплитуде и сохраняют лишь модуляцию по частоте. Частотно-модулированные колебания после преобразования в частотном детекторе в амплитудно-модулированные (рис. 70) подводятся затем к амплитудному детектору, после чего по-

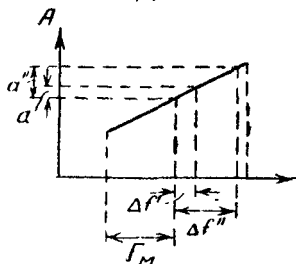


Рис. 70.

лучающиеся звуковые колебания соответственно усиливаются. Для того, чтобы не допустить в усилитель колебаний, получающихся от действия помех, частота которых отстоит от частоты f_c сигнала больше, чем на максимально требуемую

звуковую частоту, и которые, как наиболее интенсивные, могут перегрузить лампы усилителя и вызвать искажение передачи, колебания после амплитудного детектора пропускаются через звуковой фильтр, ширина полосы пропускания которого равна требуемой для воспроизведения передачи в полосе звуковых частот. Легко видеть из рис. 71, где прямая On представляет амплитуду помехи после амплитудного детектора в зависимости от разности её частоты и частоты несущей волны сигнала, что на выходе звукового фильтра амплитуды помех будут ограничиваться треугольником OqN .

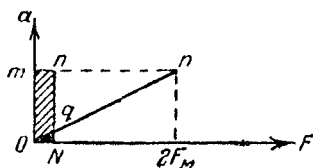


Рис. 71.

Легко видеть, что наши рассуждения можно перенести и на случай, когда действует не одна или две, а целый ряд помех. Тогда вместо отдельных линий мы будем иметь спектр помех в виде сплошь заштрихованного треугольника. Какой же вид будет иметь спектр частот от сплошных помех в системе амплитудной модуляции? Очевидно, что он на рис. 71 изобразится полосой $Omn'N$, так как все помехи, частоты которых лежат в полосе пропускания приёмника, дадут после детектирования спектр звуковых частот интенсивности Om . Мы видим, таким образом, что преимущество системы широкополосной частотной модуляции Армстронга над общепринятой системой амплитудной модуляции действительно велико. Что тут действительно необходимо взять большую глубину модуляции частоты,

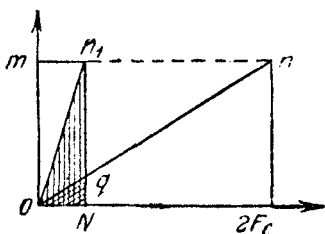


Рис. 72.

т. е. широкую полосу частот, легко видеть из сравнения широкополосной частотной модуляции с узкополосной. Если взять ширину полосы частот такую же, как при амплитудной модуляции, т. е. такую, какая требуется для данной передачи, то, как видно из рис. 72, спектр помех на выходе приёмника изобразится треугольником On_1N вместо треугольника OqN при широкой полосе. Отсюда совершенно очевидно преимущество широкополосной частотной модуляции перед узкополосной.

Система частотной модуляции Армстронга позволяет в очень большой степени освободиться от помех, интенсивность которых невелика по сравнению с интенсивностью сигнала. Поэтому широкополосная система частотной модуляции Армстронга выгодна в первую очередь для высокохудожественного радиовещания. Здесь сама собой отпадает необходимость перекры-

чать помеху, которая в системе амплитудной модуляции требует несоразмерного увеличения мощности передатчика. Это даёт очень большой экономический эффект. Так, достигаемое в системе частотной модуляции ослабление действия помехи в 20—30 раз эквивалентно повышению мощности передатчика при амплитудной модуляции в 400—1000 раз.

Однако, с увеличением уровня помех эффект подавления помех становится всё слабее и совершенно пропадает, когда уровень помех становится равным или больше силы сигнала. Отсюда ясно, что для телеграфной передачи система Армстронга преимуществ не даёт.

Так как степень освобождения от помех в системе частотной модуляции растёт пропорционально отношению ширины полосы пропускания к передаваемой полосе звуковых частот, которое для полного использования преимуществ этой системы должно быть равно 5—10, то областью применения её является по преимуществу диапазон ультракоротких волн. Особенную ценность представляет система Армстронга в том отношении, что в ней ослабляется действие помех всевозможного характера как от мешающих станций, так и промышленных, а также и атмосферных.

Выгоды широкополосной системы частотной модуляции Армстронга были прежде всего оценены в США, где в настоящее время по этой системе уже работает ряд радиовещательных станций. Над вопросами широкополосной частотной модуляции много работают также и у нас в Союзе.

§ 34. Синхронная радиосвязь

Мы вкратце остановимся ещё на одном способе борьбы с радиопомехами, основанном на применении другого нового вида радиосвязи, а именно *синхронной*. Хотя этот вид связи ещё не вошёл в практику, однако, поскольку он открывает ряд новых возможностей в борьбе с мешающими радиостанциями и, кроме того, позволяет разместить без взаимного мешания в данном диапазоне частот большее число одновременно работающих радиостанций, чем при общепринятой системе амплитудной модуляции, представляется интересным ознакомиться с ним.

Как мы знаем, для выделения передачи радиостанции, которую мы желаем принять, из ряда других одновременно работающих станций в настоящее время широко используются резонансные свойства колебательных цепей. С помощью колебательных цепей осуществляются также и полосовые фильтры, пропускающие лишь желаемую полосу частот и отсеиваю-

щие все остальные частоты. Использование резонанса для осуществления частотной селекции стало настолько привычным, что постепенно в широких кругах радиоспециалистов укоренилось мнение, что резонанс является единственным средством для осуществления частотной селекции. Однако, это не так.

Рассмотрим следующий наглядный пример из другой области. Пусть требуется отделить действие, производимое градом пуль, выбрасываемых с определённой скоростью стрельбы одним пулемётом, от действия другого пулемёта, одновременно выбрасывающего пули в том же направлении, но с другой скоростью стрельбы. Для этого можно принципиально поступить следующим образом. На пути пуль можно поставить стальную бронированную плитку, опирающуюся на пружину — пружинный маятник; собственный период колебания пружинного маятника подобран таким образом, что плитка приходит в сильные колебания под действием пуль, ударяющихся о неё через промежутки времени, определяемые скоростью стрельбы пулемёта, действие которого мы хотим выделить. Ясно, что пули от другого пулемёта, частота попаданий которых будет другая, не вызовут заметных колебаний. Мы здесь, очевидно, имеем тоже случай использования резонанса для осуществления частотной селекции.

Можно, однако, поступить иначе, а именно, поместить на пути пуль диск с отверстием, через которое пуля может свободно пройти, когда оно как раз приходится на её траектории. Если вращать теперь диск с такой скоростью, чтобы время его полного оборота (период вращения) точно совпало с промежутком времени между приходом двух следующих одна за другой пуль от первого пулемёта, то все пули от него пролетят через диск¹⁾. Таким образом, можно отделить один ряд тел, следующих друг за другом через определённые расстояния, от ряда других тел, движущихся с той же скоростью, но с другими расстояниями между смежными телами, пользуясь не резонансом, а синхронным запираем и открыванием пути движения, в такт с частотой прохождения тел выделяемого ряда.

Можно ли осуществить аналогичным образом выделение и радиоволн определённой частоты из ряда других? Следующая простая схема (рис. 73) показывает, как принципиально это можно сделать. Пусть принимаемое колебание действует на электрическую цепь с выключателем, с помощью которого можно как угодно быстро замыкать и размыкать цепь. Если теперь производить замыкание и размыкание цепи точно в такт

1) На этом принципе основаны, как известно, способы стрельбы через вращающийся пропеллер самолёта.

с частотой действующего колебания таким образом, чтобы ток мог беспрепятственно проходить в течение одного полупериода

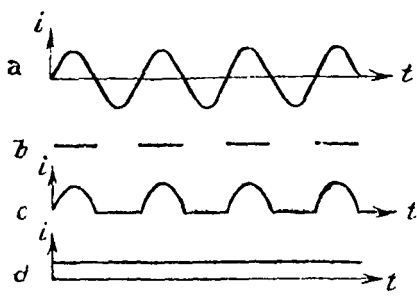


Рис. 73. Принцип действия синхронного детектора (случай точного совпадения частоты размыканий и замыканий цепи детектора с частотой принимаемого колебания); *a* — принимаемое колебание, *b* — периоды замыканий (чёрточки) и размыканий цепи детектора; *c* — кривая тока цепи синхронного прерывателя, *d* — постоянный ток в цепи выпрямителя.

и совершенно не проходить в течение другого полупериода (рис. 73, *b*), то тогда, очевидно, в цепи будет идти ток лишь в одном направлении. Следовательно, такое устройство будет пропускать лишь полуволны одного направления и задерживать полуволны другого направления, т. е. через него будет идти постоянный ток (рис. 73, *d*), обусловленный прохождением электричества в одном направлении. Такое устройство, очевидно, представляет собой синхронно работающий идеальный выпрямитель тока, а следовательно, и идеальный детектор. Легко видеть, что

в случае амплитудно-модулированных колебаний в таком устройстве получится кривая, соответствующая сигналу.

Что же получится при действии на это устройство колебания с другим периодом, например, меньшим? В этом случае в периоды замыкания цепи через неё будет идти ток как в одном, так и в другом направлении (рис. 74), причём, если в некотором интервале времени ток идёт преимущественно в одном направлении, то через некоторое время наступит интервал, где он будет преимущественно идти в другом направлении (рис. 74, *c*), и следовательно, общее количество электричества, прошедшее в определённом направлении, т. е. величина постоянного тока, будет равно нулю.

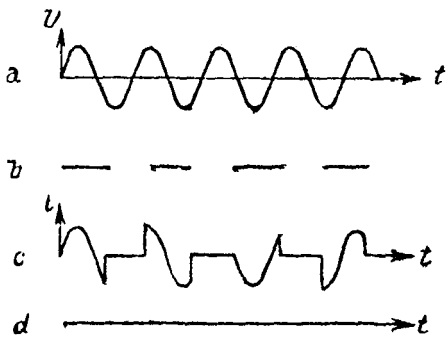


Рис. 74. Принцип действия синхронного детектора для случая, когда частота прерываний отличается от частоты принимаемых колебаний.

Таким образом, мы видим, что с помощью прерывающего устройства, работающего строго синхронно с периодом коле-

баний принимаемых радиоволн, можно действительно выделить эти колебания из ряда других радиоволн с отличными периодами. Совершенно очевидно, что механические устройства, замыкающие и размыкающие электрическую цепь сотни тысяч и миллион раз в секунду, неосуществимы. Такие прерыватели, однако, легко осуществимы с помощью радиоламп. Так как эти устройства не только выделяют, но одновременно также и проявляют сигнал, то они получили название *синхронных детекторов*¹⁾.

Как мы только что видели, синхронный детектор позволяет отделить принимаемые радиоволны от других волн, отличающихся лишь очень немного по частоте от принимаемых радиоволн, и следовательно, осуществить частотную селекцию без использования резонанса.

Принцип синхронного приёма позволяет осуществить то, чего нельзя достичь с помощью резонанса, а именно, принять

раздельно две радиостанции, работающие точно на одной и той же несущей волне. В самом деле, пусть в месте приёма радиоволны, пришедшие от одной станции, отличаются от радиоволн, пришедших от другой станции, тем, что в то время как колебание в первой волне имеет максимальное значение, колебание второй волны как раз проходит через нуль (рис. 75, а). Если теперь установить синхронный детектор

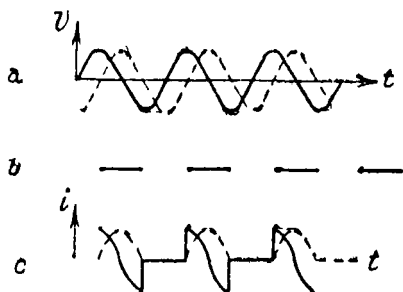


Рис. 75. Принцип раздельного приёма двух колебаний одинаковой частоты с помощью синхронного прерывателя.

как раз на приём волн от первой станции (рис. 75, б), то колебания от второй станции, прошедшие через него, будут, очевидно, иметь вид, изображённый на рис. 75, в сплошной кривой, и следовательно, они никакого выпрямленного тока не дадут.

§ 35. Заключение

Этим мы и заканчиваем рассмотрение основных видов природных, промышленных и искусственных помех радиоприёму, их физической природы и действия на радиопередачу, а также

¹⁾ Разработка методов синхронного приёма в течение ряда лет ведётся и у нас в Союзе, причём достигнуты уже значительные успехи.

главных способов борьбы с ними. В нашем изложении мы предполагали, что вся радиоаппаратура работает безукоризненно, а именно, что передатчик передаёт сигналы идеально точно, без искажений, а приёмник также идеально точно воспроизводит принимаемые сигналы. Однако, в действительности, как хорошо всем известно, это далеко не так. И передатчик, и приёмник вносят различные искажения в передачу, иногда настолько значительные, что они являются существенной помехой радиоприёму. Кроме того, даже в технически идеально работающей аппаратуре так называемые внутренние шумы создают помехи радиоприёму и ставят вообще предел чувствительности приёма. Эта последняя область, имеющая очень важное практическое значение и представляющая интерес не только технический, но и научный, сама по себе настолько обширна, что в узких рамках нашего изложения мы совершенно не могли сё касаться.

Уже из нашего краткого изложения читатель мог видеть, что если, с одной стороны, с развитием радио и расширением его применения растут также число и виды различного рода помех радиоприёму, то, с другой стороны, непрерывно развиваются технические средства борьбы с ними и возникают новые системы радиосвязи, открывающие новые возможности для освобождения от помех.

Очень поучительна в этом отношении история развития радио. Так, в первой младенческой стадии развития радио, в эпоху «трещащей» искры, когда передающие станции были немногочисленны, а дальность их действия и чувствительность приёма невелики, промышленные помехи (которых в то время было несравнимо много меньше) мало мешали радиоприёму, а из природных помех серьёзно мешали лишь близкие грозы. В дальнейшем, с увеличением чувствительности приёма, усилилось также мешающее действие различного рода радиопомех.

Введение в практику радиосвязи тональной передачи (звучащей искры) ознаменовало собой значительный шаг вперёд в деле борьбы с атмосферными и другими радиошумами.

Бурное развитие радио, начавшееся после первой мировой войны и продолжающееся и в настоящее время в связи с появлением огромного и всё возрастающего числа разнообразных видов применения электричества в народном хозяйстве и быту, привело, как мы видели, и к огромному увеличению числа различного рода помех радиоприёму. А это в свою очередь привело к усовершенствованию старых и появлению новых способов борьбы с этими помехами. Подобно тому, как между артилле-

рией и бронёй идёт непрерывная война, а именно, стоит только появиться новой достаточно прочной броне против снарядов данного рода артиллерии, как немедленно разрабатываются ещё более бронебойные снаряды и более дальнобойные орудия и т. д., так и в области радио идёт непрекращающаяся война против радиопомех, либо впервые дающих себя чувствовать, либо проявляющих себя с новой стороны каждый раз, когда путём усовершенствования старых и разработки новых систем радиосвязи стремятся усилить уверенность радиосвязи и расширить области её применения. Как читатель мог усмотреть из изложенного здесь материала, многое уже достигнуто в этом отношении, но многое ещё осталось сделать.

ОГИЗ РСФСР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
«ГОСТЕХИЗДАТ»
Москва, Орликов пер., 3

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ

Последние исследования распространения радиоволн вдоль земной поверхности.

Сборник статей под редакцией академика Л. И. Мандельштама и академика Н. Д. Папалекси.

К. Ф. Теодорчик. Автоколебательные системы.

М. А. Леонтович. Статистическая физика.

Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц. Теоретическая физика, т. III. Механика сплошных сред (гидродинамика и теория упругости).

Н. А. Гаицов. Коронный разряд.
