

5.4. Подавление ИП в системах связи с частотным разнесением

В России в диапазоне частот 800 МГц, который используют для работы национальной системы воздушной радионавигации (ВРН), была построена сеть магистральных тропосферных радиорелейных линий (ТРРЛ) связи с частотным уплотнением и частотной модуляцией (ЧУ/ЧМ) «Север». Эти линии были развернуты в районах Крайнего севера и Сибири. На станциях ТРРЛ применялись частотное разнесение и разнесенный прием. Многие из станций ТРРЛ сети «Север» были подвержены действию мощных импульсных помех (ИП) со стороны РЭС ВРН, вследствие чего качество приема сообщений, передаваемых по этим линиям, было весьма низким. Были проведены экспериментальные работы по определению возможности решения проблемы ЭМС для ТРРЛ и РЭС ВРН их территориальным разном. Результаты этих работ показали, что такой возможности практически нет.

Для решения проблемы защиты от ИП отечественных ТРРЛ в [25] был предложен эффективный метод подавления ИП. Данный метод прост в реализации, позволяет восстанавливать пораженный сигнал (практически при любой длительности мешающих импульсов) и во многих случаях обеспечивает почти полное устранение влияния помех на помехоустойчивость приема сигналов. Функциональная схема соответствующего устройства приведена на рис. 5.18.

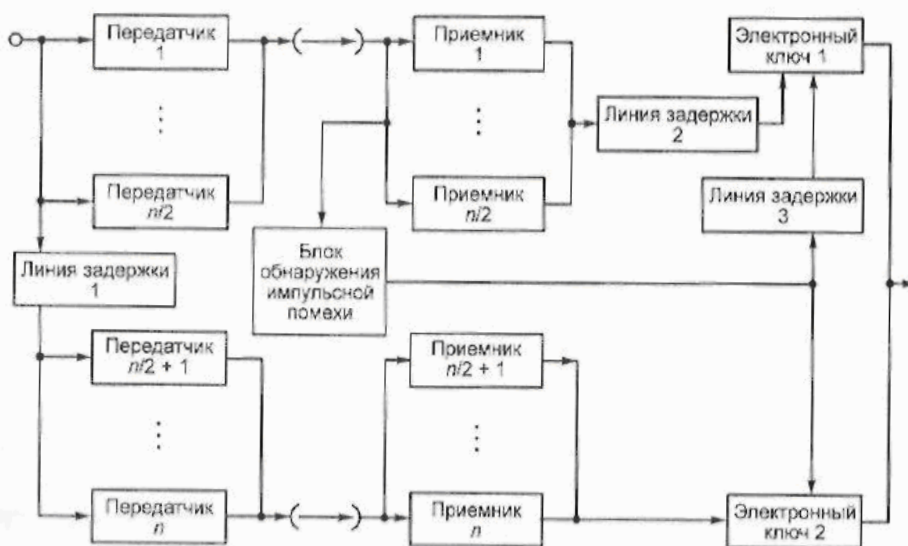


Рис. 5.18. Блок-схема подавления ИП в ТРРЛ

В системе с N -кратным частотным разнесением одно и то же многоканальное сообщение передается по n радиоканалам (что на рис. 5.18 условно показано в виде n передатчиков и приемников), подключенных к двум каналам передачи и приема, работающим на две про-

пространственно разнесенные антенны. В один тракт передачи с помощью линии задержки 1 вводится временная задержка, превышающая максимально возможную длительность ИП. На приеме аналогичная задержка вводится во второй тракт с помощью линии задержки 2. Это дает возможность в случае отсутствия ИП восстанавливать передаваемое сообщение на основе когерентного сложения всех принимаемых сигналов. При воздействии ИП блок ее обнаружения с помощью электронных ключей 1 и 2 отключает на время действия помехи тот тракт приема, в котором сообщение поражено помехой. На приеме передаваемое сообщение восстанавливается на основе когерентного сложения сигналов только в том тракте приема, в котором ИП в данное время отсутствует.

Были выполнены теоретические и экспериментальные исследования эффективности предложенного метода [25], в результате которых было определено качество передачи сигналов по телефонным каналам в ТРРЛ по двум параметрам: средней мощности теплового шума в минуту $P_{\tau, p\%}$ для 20% времени и проценту времени $T_{ш}$ для которого невзвешенная мощность шума в звуковом канале не превышает значение $P_{ш} = 10^6$ пВт. Оценка была проведена при следующих предположениях: во-первых, не принималась во внимание помеха, вызванная электронной коммутацией группы каналов во время импульсной помехи, во-вторых, импульсная помеха всегда выявляется схемой обнаружения. В случае, когда уровень помехи значительно превышает уровень ПС (т.е. в самом важном случае), опознавание помехи схемой обнаружения не вызывает никаких проблем, и второе предположение может считаться соответствующим действительности. Хотя помеху, естественно, трудно обнаружить при малых уровнях, ее влияние на помехозащищенность приема является в данном случае несущественным.

Данный метод эффективен по той причине, что в период действия импульсной помехи когерентное сложение имеет место только для половины ($n/2$) от общего числа частотно-разнесенных сигналов. Следовательно, для средней мощности теплового шума в минуту на выходе системы связи, превышаемой не более чем в $p\%$ времени, можно записать:

$$P_{\tau, p\%} = (2\tau_d/T) P_{\tau, p\%}(n/2) + (1 - 2\tau_d/T) P_{\tau, p\%}(n), \quad (5.7)$$

где $P_{\tau, p\%}(n)$ и $P_{\tau, p\%}(n/2)$ — средняя мощность теплового шума в минуту на выходе частотно-детектора в системе с когерентным сложением сигнала, с n и $n/2$ ветвями разнесенного приема, превышаемая в $p\%$ времени; τ_d — интервал времени заширования группы каналов во время действия импульсной помехи длительностью τ ($\tau \geq T$); T — период следования импульсов.

Невзвешенная мощность шума P_{Σ} на выходе демодулятора в системе с когерентным сложением сигнала для данных значений ρ_1 и ρ_2 — отношений сигнал/шум на выходах двух пространственно-разнесенных каналов приема — может быть выражена следующим образом:

$$P_{\Sigma} = (\tau_d/T) [P_{\tau_1}(\rho_1) + P_{\tau_2}(\rho_2)] + (1 - 2\tau_d/T) P_{\tau_3}(\rho_3), \quad (5.8)$$

где $\rho_3 = \rho_1 + \rho_2$. Значения ρ_i являются случайными. Их флуктуации вызываются как быстрыми, так и медленными замираниями сигнала помехи. Значения $P_{\tau_i}(\rho_i)$ представляют мощность шума на выходе следящего демодулятора при отношении сигнал/шум на его входе, равном ρ_i . Пользуясь уравнением (5.8), можно оценить значение $T_{ш}(\tau_d/T)$ — процента времени, в течение которого невзвешенная мощность шума в звуковом канале P_{Σ} превышает значение $P_{ш0} = 10^6$ пВт.

Когда $P_{\tau, p\%}$ и $T_{ш}$ определены, эффективность метода можно оценить посредством коэффициентов:

$$\Delta P_{\tau}(\tau_d/T) = 10 \log [P_{\tau, p\%} / P_{\tau, p\%}(n)]; \quad (5.9)$$

$$\tilde{T}_{ш} = T_{ш}(\tau_d/T) / T_{ш}[(\tau_d/T) = 0]. \quad (5.10)$$

Первый коэффициент указывает, на сколько децибел увеличивается среднeminутная мощность теплового шума на выходе системы во время действия ИП. Второй коэффициент характеризует увеличение на выходе системы процента времени, для которого невзвешенная мощность шума превышает 10^6 пВт во время действия на входе ИП с данным коэффициентом заполнения τ_d/T .

Уравнения (5.7)–(5.10) были использованы для расчета зависимостей $\Delta P_r(\tau_d/T)$ и $\tilde{T}_m(\tau_d/T)$ при $N = 4$ и 8 для 120-канальной ТРРЛ длиной 2400 км, содержащей семь пролетов. Мощность передатчика — 5 кВт, а усиление приемной и передающей антенн составляло 47,1 дБ. Значения $P_{r,p\%}$ и $P_{n(p_i)}$ в уравнениях (5.7) и (5.9) рассчитывались по методу, предложенному С.В. Бородинцем [26]. Результаты вычислений приведены на рис. 5.19. Из них следует, что для значений $(\tau_d/T) \leq 10^{-2}$ (случай, часто встречающийся на практике) этот метод подавления ИП полностью устраняет действие помехи на работу ТРРЛ. Даже при высоких значениях $\tau_d/T = 10^{-1}$ ухудшение параметров канала вследствие действия помехи незначительно ($\Delta P = 0,2$ дБ при $n = 8$; $T_m = 2$). Так как обычно только одна или две станции, составляющие часть линии, подвергаются действию ИП одновременно, действие помехи на параметры качества всей линии, состоящие из ряда станций, будет несущественным. На рис. 5.19 также показано значительное увеличение помехозащищенности на приемной стороне при увеличении кратности разнесенного приема n .

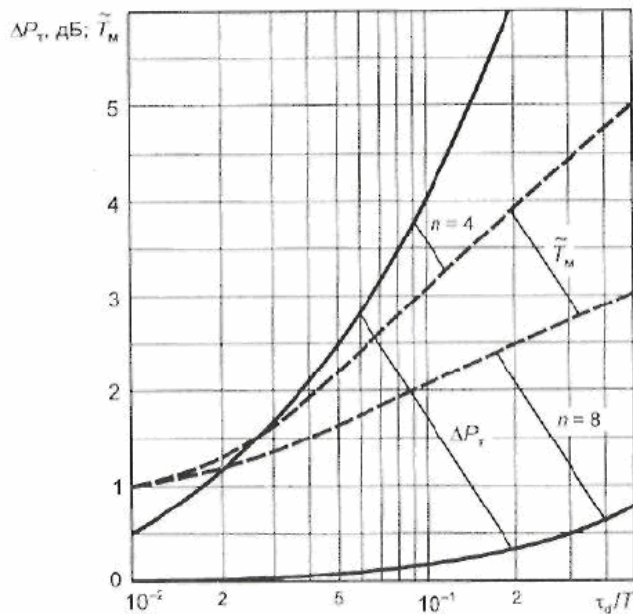


Рис. 5.19. Зависимости ΔP_r (сплошные линии) и \tilde{T}_m (штриховые линии) от τ_d/T

Оборудование для реализации этого метода подавления ИП было испытано на 120-канальной ТРРЛ. В качестве источника помехи использовался импульсный генератор $\tau = 1$ мс, подсоединенный к направленной антенне. Значение τ_d было взято равным 1,5 мс. Уровень ИП на выходе приемника превышал медианный уровень полезного сигнала на 15 дБ. Коэффициент разнесенного приема составлял 6.

Кривые на рис. 5.20, построенные по данным измерений, характеризуют распределения вероятности значений $\rho(T_m) = 10 \log[10^9/P_{ш}(T_m)]$, где $\rho(T_m)$ — отношение сигнал/шум в одном верхнем телефонном канале, а $P_{ш}(T_m)$ — мощность шума в канале, наблюдаемого в T_m процентах времени.

Кривая *A* получена для случая отсутствия ИП; кривая *B* — для случая подавления ИП, а кривая *C* — для случая, когда подавление ИП отсутствует. Сравнение кривых *A* и *C* показывает, что без применения оборудования для подавления помехи происходит существенное возрастание мощности шума в телефонном канале (около 25 дБ в 20% времени). Сравнение кривых *B* и *C* показывает, что этот метод подавления шума значительно уменьшает мощность шума (на 15 дБ в 20% времени). На основании сравнения кривых *A* и *B* можно сделать заключение, что помехозащищенность на приемной стороне в случае подавления ИП близка к имеющейся при отсутствии помехи. Некоторое возрастание (примерно на 5 дБ) мощности шума в телефонном канале по сравнению с расчетными результатами может быть связано с наличием шума коммутации.

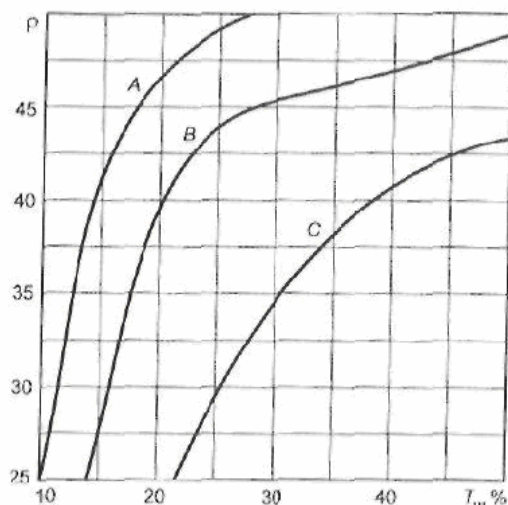


Рис. 5.20. Зависимости отношения сигнал/шум ρ от T_m

Таким образом, данный метод подавления ИП позволил решить важную и остро стоявшую в 90-х годах проблему защиты ИП ТРРЛ сети «Север». Этот метод позволяет обеспечить совместное использование общих полос частот любых систем, в которых применяется частотное разнесение сигналов, с РЭС, излучающих импульсные сигналы.

В данной главе были рассмотрены возможности обеспечения ЭМС РЭС с помощью одноканальных и двухканальных КП для систем связи с ЧМ, а также различных устройств подавления ИП. Приведены соотношения, позволяющие оценить их эффективность подавления радиопомех с их помощью.

Основные выводы, вытекающие из приведенного анализа, состоят в следующем:

- Одноканальный итерационный КП, имеющий 2–3 степени итерации, позволяет реализовать потенциальные возможности разделения двух ЧМ сигналов различных уровней, занимающих одну и ту же полосу частот.
- Двухканальные КП для систем связи с ЧМ являются эффективным средством подавления радиопомех, возникающих на промежуточных станциях РРЛ связи, а также на

земных станциях спутниковых систем связи. Развита теория позволяет определять оптимальные параметры исследованных КП, при которых достигается наибольшее подавление мешающего сигнала.

- В системах связи, подверженных действию мощных ИП, единственно эффективным средством их подавления является восстановление пораженных ИП участков полезного сообщения экстраполяцией или интерполяцией. Выполненные теоретические исследования, подтвержденные результатами их моделирования на ПК, позволяют определить оптимальные параметры рассмотренных устройств и качество приема полезных сигналов, которое может быть достигнуто при их использовании.
- Для подавления ИП в системах, в которых спектр ПС существенно неравномерен (например, в системах приема телевизионного сигнала, в котором имеются несколько составляющих: видеосигнал яркости, цветная поднесущая и поднесущая звукового сопровождения) может быть применен специальный тип экстраполятора, с помощью которого можно экстраполировать все входящие в такой сигнал составляющие. Теоретические и экспериментальные исследования показали его эффективность, на основе которых создана методология оптимального проектирования такого устройства.
- Описанное в данной главе устройство подавления ИП в системах связи, в которых осуществляется передача сигналов по нескольким каналам, разнесенным по частоте, позволяет практически полностью избавиться от влияния ИП на качество приема полезных сигналов. Применение этого устройства позволило полностью решить проблему защиты от мощных ИП станций тропосферных радиорелейных линий связи сети «Север».