



5.2. Обеспечение ЭМС РЭС при помощи двухканальных компенсаторов помех в системах связи с ЧМ

Многоканальные КП (на практике в основном применяют двухканальные КП) можно отнести к двум типам:

- КП с опорным входом, в которых на один из входов поступает ПС и помеха, а на другой — только помеха;
- КП, в которых ПС и МС поступают на оба входа.

Многоканальные КП первого типа находят применение в спутниковых системах связи для защиты земных станций (ЗС) от помех со стороны радиорелейных систем в диапазонах частот выше 4 ГГц. Они значительно расширяют возможности выбора площадок для расположения ЗС, позволяя во многих случаях размещать эти станции вблизи городов, что значительно снижает стоимость строительства линий, связывающих ЗС с узлами связи в городе. В КП для ЗС используются дополнительная антенна, ориентированная на источник радиопомехи, и связанный с ней дополнительный приемник.

В направлении на источник ПС коэффициент усиления дополнительной антенны должен быть незначительным, чтобы на этом входе отношение помеха/сигнал было как можно больше (более 50 дБ). Это обусловлено тем, что значение этого отношения ограничивает

возможности компенсации помех в основном тракте. Технически компенсатор помех может быть создан для работы на радио- или промежуточной частоте или при комбинировании обоих вариантов. На рис. 5.7 показана функциональная схема двухканального КП.

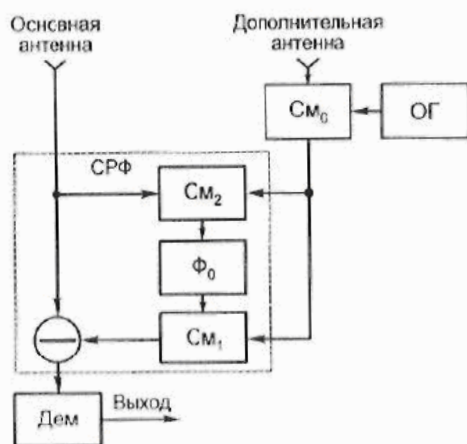


Рис. 5.7. Блок-схема двухканального КП

Компенсатор помех второго типа может быть использован, в частности, на радиорелейной станции (промежуточной или узловой), в которой на одной и той же частоте принимаются разные сигналы, приходящие с разных направлений. На рис. 5.8 показана схема, поясняющая возникновение помех в данном случае.

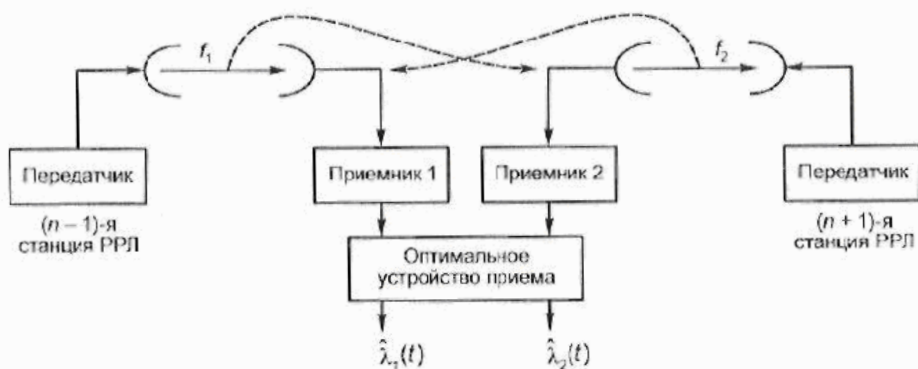


Рис. 5.8. Схема возникновения помех на радиорелейных станциях

Для приема сигналов, приходящих с разных направлений, используют разные антенны. Из-за недостаточно высокой пространственной избирательности этих антенн на вход каждого из приемников, установленных на одной станции РРЛ, помимо ПС действует и помеха. В некоторых случаях (например, при использовании перископических антенн) это приводит к необходимости применения на РРЛ четырехчастотного плана. Применение КП на таких линиях позволяет перейти на двухчастотный план, увеличивая таким образом в два раза число радиостолбов, по которым в каждом направлении может передаваться полезная информация. Аналогичная ситуация возникает и при поляризационном уплотнении линии свя-

зи из-за недостаточной развязки по поляризации приемной антенны либо из-за деполяризации сигнала, возникающей при распространении радиоволн. В данном случае КП является более сложным, чем КП с опорным входом, поскольку, как видно из рис. 5.8, он должен компенсировать помехи, действующие одновременно на выходах двух приемников одной станции.

В [16] рассмотрены общие вопросы применения многоканальных КП в системах связи, в [17] представлена методология определения оптимальных параметров КП 1-го типа, которые позволяют обеспечить высокую эффективность подавления помех, в [18] приведено описание еще одного вида КП 1-го типа и представлены результаты исследования его эффективности, в [19, 20] дан синтез оптимальных и субоптимальных структур КП 2-го типа, разработана методология их проектирования и определена эффективность подавления ими помех.

5.2.1. Компенсатор помех 1-го типа

Схема такого КП, показанная на рис. 5.7, имеет три смесителя. В $См_0$ и $См_1$ выделяются суммарные частоты преобразования, в $См_2$ — разностные. В $См_0$ с помощью опорного генератора ОГ осуществляется сдвиг несущей частоты сигнала $W_2(t)$. В адаптивном блоке АБ содержится усилитель с большим коэффициентом усиления K и узкополосный фильтр Φ_0 . В $См_2$ осуществляется снятие модуляции с напряжения радиопомехи, действующей в основном канале приема. Поэтому в спектре сигнала на его выходе имеется выделяемое фильтром гармоническое напряжение, амплитуда и фаза которого таковы, что на выходе $См_1$ формируется копия радиопомехи, действующей в основном канале приема. Кроме того, на выходе Φ_0 , а следовательно, и $См_1$ имеется флуктуационное напряжение, обусловленное биением сигнала и шума на основном входе КП с помехой и шумом на его вспомогательном входе. Эти биения создают дополнительные шумы на выходе КП, наблюдающиеся даже тогда, когда помеха на его основном входе отсутствует. Эти шумы являются собственными шумами КП.

Анализ и оптимизация параметров данного КП [16, 17] для двух типов фильтров Φ_0 , которые имеют соответственно следующие частотные характеристики:

$$[1 + j\omega/\alpha]^{-1} \text{ и } (1 - \mu)[1 + j\omega/\alpha]^{-2} + \mu[1 + j\omega/\alpha]^{-1},$$

показал, что шумовая полоса АБ в первом случае $F_{ш} = \alpha(K + 1)/2$, а для фильтра 2-го типа шумовая полоса АБ минимальна в случае, если параметр μ выбран равным $\mu_{\text{опт}} = 1/\sqrt{1 + K}$

и при этом шумовая полоса АБ равна $F_{ш} = \alpha\sqrt{1 + K}$. Таким образом, при больших значениях K , которые необходимы для достижения высокой эффективности подавления помехи на выходе КП, применение фильтра 2-го типа позволяет обеспечить гораздо меньшую шумовую полосу по сравнению с полосой фильтра 1-го типа. В [17] получены выражения, определяющие мощность шума в телефонном канале на выходе Дем в системе ЧУ/ЧМ, который обусловлен действием радиопомехи на основном входе КП. Показано, что в случае, если отношение сигнал/помеха на основном входе КП лежит в интервале $-10...+10$ дБ, при применении фильтра 1-го типа и оптимальном выборе параметров АБ эта мощность изменяется в пределах $50...600$ пВт. Данные результаты относятся к случаю, когда разделяемые ЧМ сигналы имеют индексы модуляции $m = 1$. Полоса пропускания фильтра в АБ должна выбираться порядка $5...30$ Гц. Применение в КП фильтра 2-го типа уменьшает мощность шума в телефонном канале на 8 дБ.

5.2.2. Оптимальные и субоптимальные КП

Теория оптимального приема сигналов дает мощный инструмент для синтеза двухканальных оптимальных и субоптимальных КП, предназначенных для приема ЧМ сигналов в случае, когда на оба входа КП поступают как полезный, так и мешающий сигналы [16, 20]. На рис. 5.9 представлена схема оптимального КП. В этом КП блоки, обведенные пунктиром, являются синхронно-фазовыми детекторами (СФД), узкополосные низкочастотные фильтры Φ_0 стоят в цепях подстройки управляемых генераторов УГ по фазе к значениям фаз принимаемых сигналов. Широкополосные цепи слежения УГ за информационными сигналами, модулирующими по частоте сигналами, поступающие на входы КП, образованы сумматорами и фильтрами Φ , не пропускающими постоянной составляющей. Блоки ФВ представляют собой фазовращатели на 90° . Компенсатор содержит блоки измерения амплитуд сигналов и помех, действующих на его входах.

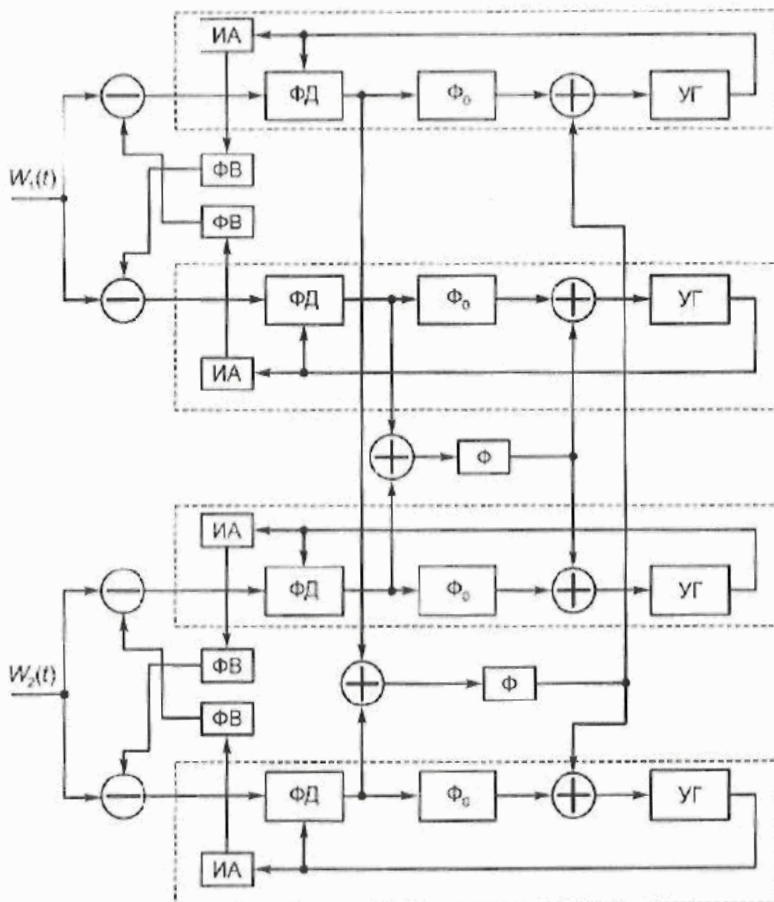


Рис. 5.9. Блок-схема оптимального КП

Методика оптимизации параметров данного КП представлена в [20]. На рис. 5.10 приведены результаты его исследования при приеме сигналов ЧУ/ЧМ. Эффективность КП целесообразно оценивать коэффициентом $\eta_{\text{опт}}(r^2)$, показывающим, на сколько децибел возрастает

ет мощность шума в телефонном канале на выходе КП по отношению к случаю, когда помеха отсутствует, в зависимости от отношения сигнал/помеха r^2 , дБ, на его входах.

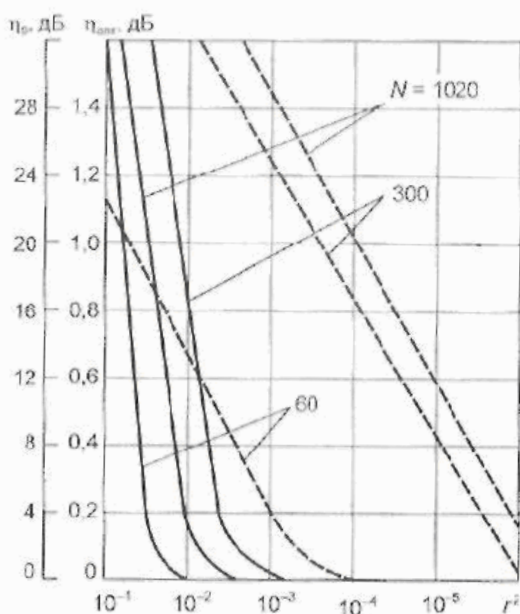


Рис. 5.10. Зависимости η_0 и $\eta_{\text{ант}}$ от r^2 для различных N

На рис. 5.10 сплошными кривыми изображены зависимости $\eta_{\text{ант}}(r^2)$ для систем ЧУ/ЧМ с числом телефонных каналов $N = 60, 300$ и 1020 . Из рис. 5.10 видно, что при развязке между каналами приема КП всего $10 \dots 20$ дБ ($r^2 = 10^{-1} \dots 10^{-2}$) увеличение шумов в телефонном канале на выходах КП не превышает $1,5$ дБ при всех значениях N .

Отметим, что значения $\eta_{\text{ант}}(r^2)$, дБ, для рассмотренного КП близки к тем, которые получены в [19] на основе теории оценки параметров принимаемых сигналов, развитой В.А. Котельниковым [2]:

$$\eta_{\text{ант}}(r^2) = 10 \lg(1 + r^2) / (1 - r^2)^2. \quad (5.3)$$

На рис. 5.10 для разных значениях N пунктирными кривыми представлены зависимости коэффициента $\eta_0(r^2)$, показывающие, на сколько децибел возрастают шумы в телефонном канале в случае, когда КП не применяется. Сравнение $\eta_{\text{ант}}(r^2)$ и $\eta_0(r^2)$ показывает, что использование КП обеспечивает значительное подавление помех и снижает требования к развязке между каналами. Если увеличение шумов из-за действия помех допустимо всего на $0,5$ дБ, то необходимое ослабление помехи при отсутствии КП на входе приемника оказывается на 40 дБ больше, чем при его применении.

На рис. 5.11 показана схема субоптимального двухканального КП. В каждом канале приема для демодуляции полезного ЧМ сигнала используется СФД, перед которым включен СРФ (работа которого была описана выше при рассмотрении итерационного КП). Этот фильтр управляется сигналом, действующем на выходе ГУН, входящего в СФД другого канала приема. В СРФ осуществляется режектирование переходной помехи, действующей в данном канале.

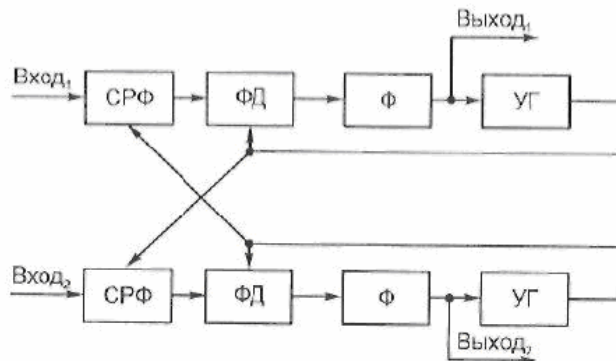


Рис. 5.11. Блок-схема субоптимального двухканального КП

Отметим, что субоптимальный КП существенно проще оптимального, так как содержит только один СФД на каждом входе КП. Его эффективность практически такая же, как и у оптимального КП.

5.2.3. Эффективность применения КП

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что при использовании КП можно достичь подавления помех на 20...40 дБ. Использование такого оборудования существенно улучшает ЭМС различных радиосистем, работающих в общей полосе частот, и повышает эффективность использования РЧС.

Рассмотренные выше КП во многих практически интересных случаях позволяют решить проблемы обеспечения ЭМС, когда по той или иной причине традиционные методы решения этих проблем путем обеспечения ЧТР между взаимно мешающими системами оказываются неэффективными.

Компенсаторы помех могут быть использованы в наземных радиослужбах, таких, как РРЛ, работающие в сантиметровом диапазоне волн, для уменьшения территориального или углового разнosa между взаимодействующими станциями, а также для уменьшения допустимого углового разнosa между геостационарными спутниками, работающими в системах фиксированной спутниковой службы. Определить эффективность применения КП можно, оценив влияние степени подавления помех, обеспечиваемой с помощью компенсаторов (Δ дБ), на уменьшение необходимого территориального разнosa, которое определяется коэффициентом $K_T = R_\Delta / R_0$, где R_0 — необходимый территориальный разнос между станциями без применения компенсаторов, а R_Δ — расстояние между этими же станциями при использовании компенсатора помех со степенью подавления Δ .

На рис. 5.12 построены зависимости коэффициента K_T (для нескольких значений R_0) от значения Δ . Эти зависимости могут быть использованы для оценки эффективности применения КП в РРЛ связи, работающих в диапазоне частот 1...8 ГГц. Как видно из рис. 5.12, зависимость K_T от Δ нелинейна. По этой причине эффективность применения компенсатора с той или иной степенью подавления Δ будет различной в зависимости от начальных условий.

Из этих кривых, например, видно, что для небольших значений R_0 значительное увеличение степени подавления Δ радиопомех компенсаторами нецелесообразно, так как это не приводит к заметному уменьшению необходимости территориального разнеса. Это объясняется тем, что при небольших значениях R_0 трасса распространения радиопомехи лежит в области дифракционного механизма распространения радиоволн, в которой потери при распространении весьма быстро сокращаются с уменьшением длины этой трассы.

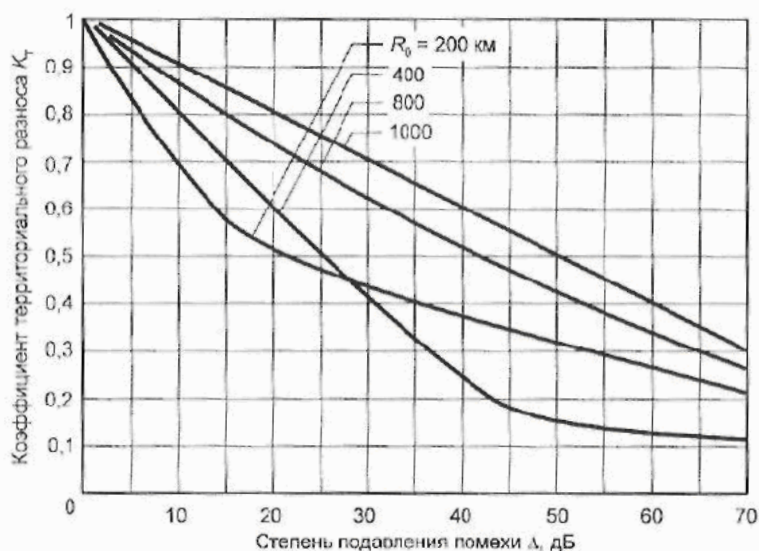


Рис. 5.12. Зависимости коэффициента K_T от Δ при различных R_0

Влияние степени подавления помех Δ на необходимый угловой разнос оценивается путем вычисления коэффициента $K_0 = \theta_\Delta / \theta_0$, где θ_Δ и θ_0 — угловой разнос, необходимый для обеспечения ЭМС взаимодействующих систем без применения и с применением КП.

Коэффициент усиления антенны в общем виде определяется выражением $G(\theta) = \beta - 25 \lg \theta$. Значения θ_0 , θ_Δ и Δ связаны очевидным соотношением $G(\theta_0) = G(\theta_\Delta) - \Delta$, откуда $K_0 = 10^{-\Delta/25}$. Из полученного выражения следует, что применение компенсатора с $\Delta \approx 8$ дБ позволяет уменьшить угловой разнос в два раза, а при $\Delta = 25$ дБ — до десяти раз.

Выражение для K_0 можно также использовать для оценки выигрыша в пропускной способности геостационарной орбиты, который может дать применение КП. В этом случае принимается модель, представляющая равномерно распределенные по орбите однородные спутники, угловой разнос между которыми равен θ_Δ при использовании КП и θ_0 — при их отсутствии. Увеличение числа спутников, причиняющих помехи, естественно, усложняет практическую реализацию КП. Поэтому значение K_0 характеризует только теоретическую оценку максимального выигрыша, который может дать применение КП. Однако очевидно, что даже относительно невысокая степень подавления помех, например $\Delta = 8$ дБ, приводит к существенному увеличению (в два раза) пропускной способности орбиты.

Таким образом, компенсаторы помех могут служить весьма эффективным средством обеспечения ЭМС в радиорелейных линиях и спутниковых системах.