

## 5.3. Обеспечение ЭМС РЭС при помощи устройств подавления импульсных помех

### 5.3.1. Простые методы подавления импульсных помех

Для подавления ИП был предложен ряд различных устройств [1]. Один из самых простых методов защиты от ИП является загираание (бланкирование) тракта приема полезного сообщения во время ее действия. При этом значения сообщения в течение времени действия ИП замещаются нулевыми, что приводит к заметным искажениям. Эти искажения несколько снижаются за счет последующей фильтрации бланкированного сигнала узкополосным фильтром, через который он проходит на выход приемного устройства. Однако этот метод не позволяет восстановить искаженное ИП сообщение с высокой точностью, и поэтому в системах многоканальной связи его применение нецелесообразно.

Значительный вклад в разработку методов подавления ИП внесли отечественные ученые, среди которых следует назвать в первую очередь академика А.Н. Щукина и профессора Д.В. Агеева.

А.Н. Щукиным был предложен простой в реализации метод подавления ИП, который получил название «широкая полоса–ограничитель–узкая полоса». Суть этого метода состоит в том, что на входе приемника устанавливается широкополосный фильтр, проходя через который ИП, существенно превосходящая уровень ПС, практически не уменьшается по амплитуде. Ограничитель, стоящий после широкополосного фильтра, «срезает» импульсные помехи высокого уровня, а установленный после ограничителя узкополосный фильтр, имеющий минимальную полосу пропускания, согласованную с полосой ПС, дает дополнительное уменьшение обусловленных ИП искажений ПС. Следует отметить, что данный метод эффективен лишь в случаях, когда ПС занимает узкую полосу частот. Однако искажения ПС, возникающие во время действия ИП, остаются значительными, и поэтому данный метод неэффективен для подавления ИП в многоканальных широкополосных системах связи.

Другой, также достаточно простой метод подавления ИП, был предложен профессором Д.В. Агеевым. В соответствии с данным методом блок подавления ИП устанавливается на выходе демодулятора ПС, на который поступают низкочастотное полезное сообщение и появляющаяся время от времени кратковременная ИП, имеющая широкий спектр и достаточно высокий уровень. В блоке подавления ИП устанавливается предискажающий линейный фильтр, который в полосе частот, занимаемый полезным сообщением, имеет незначительный коэффициент передачи, а за ее пределами этот коэффициент заметно выше. Таким фильтром может быть, в частности, дифференцирующая цепь. Предискажающий фильтр практически не ослабляет широкополосную ИП. На его выходе устанавливается ограничитель, имеющий линейный участок в области низких уровней поступающего на его вход сообщения. При отсутствии ИП на вход ограничителя поступает полезное сообщение низкого уровня. Оно без искажений проходит через ограничитель и поступает на линейный корректирующий фильтр, частотная характеристика которого обратна частотной характеристике предискажающего фильтра. Это фильтр нижних частот, который имеет значительный коэффициент передачи в полосе частот, занимаемой полезным сообщением, и малый коэффициент передачи за ее пределами (таким фильтром, в частности, может служить интегрирующая цепь). Таким образом, при отсутствии ИП полезное сообщение в блоке подавления ИП не претерпевает искажений. Если же появляется ИП, то она проходит на вход ограничителя практически без искажений и, имея высокий уровень, в нем ограничивается. Это заметно снижает искажения сообщения в моменты появления ИП. Дополнительное уменьшение этих искажений вносит корректирующий фильтр, в котором подавляются высокочастотные

составляющие возникших искажений. Анализ помехоустойчивости подобного метода выполнен в [21]. Как и метод Щукина, для многоканальных широкополосных систем связи данный метод подавления ИП неэффективен, так как не позволяет с достаточно высокой точностью восстанавливать участки полезного сообщения, претерпевшие искажения во время действия ИП.

Значительно более эффективными оказываются методы подавления ИП, в которых восстановление искаженных ИП временных участков полезного сообщения осуществляется за счет экстраполяции или интерполяции его значений на этих участках. В этих устройствах имеются блоки обнаружения ИП (БОИП), с помощью которых определяются временные участки полезного сообщения, пораженного ИП. Такие устройства позволяют восстановить полезные сообщения с гораздо большей точностью, нежели другие известные методы [1].

### 5.3.2. Подавление ИП методом экстраполяции искаженных значений полезного сообщения

Блок-схема устройства защиты от ИП, в котором для восстановления пораженных участков полезного сигнала используется экстраполяция, показана на рис. 5.13. В этом устройстве БОИП подключен к выходу усилителя промежуточной частоты УПЧ. На выходе демодулятора Дем, которым может быть, в частности, частотный дискриминатор, если сообщения передаются с помощью ЧМ, устанавливается устройство подавления ИП (УПИП). Оно представляет собой усилитель с цепью обратной связи, содержащей в общем случае  $N$  последовательно включенных интеграторов, которые могут быть реализованы на операционных усилителях. Выходы интеграторов через аттенюаторы объединены в сумматоре. При отсутствии ИП сигнал с выхода усилителя через ключ Кп поступает на вход первого интегратора. Обнаружение ИП приводит к срабатыванию БОИП, и с помощью ключа на вход первого интегратора подается напряжение, равное нулю. В данном устройстве экстраполяция пораженных ИП участков сигнала осуществляется рядом Тейлора.

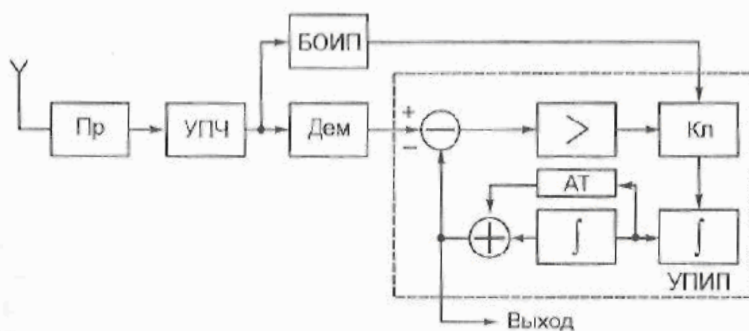


Рис. 5.13. Блок-схема устройства защиты от ИП

Анализ работы устройства рис. 5.13 с двумя интеграторами [22] показал, что если коэффициент усиления усилителя в цепи обратной связи усилителя равен  $K_0$ , то минимальные линейные искажения сигнала в данном устройстве имеют место в случае, если аттенюатор имеет коэффициент передачи, равный  $1/\sqrt{K_0}$ . При этом полоса пропускания рассматривает-



мого устройства по уровню  $-3$  дБ равна  $f_0/\sqrt{K_0}$ , где  $f_0$  — частота, на которой коэффициент передачи интегратора равен 1. Кроме того, в [22] показано, что в том случае, когда на входе данного устройства отношение сигнал/тепловой шум значительно, на его выходе обеспечивается отношение сигнал/шум в телефонном канале, дБ,

$$\rho_{\text{вых}} = 10 \lg \left[ (\mu/100) \bar{\omega}_n^4 F(f_0 \tau_0) \right]^{-1}. \quad (5.4)$$

В (5.4) функция  $F(f_0 \tau_0)$  определяется следующим образом:

$$F(f_0 \tau_0) = (1 + 3/\bar{\omega}_n).$$

Здесь  $\bar{\omega}_n = 2\pi f_n \tau_0$ ;  $f_n$  — верхняя частота спектра полезного сигнала, действующего на выходе демодулятора на рис. 5.13;  $\tau_0$  и  $\mu = \tau_0/T_0$  — длительность и скважность ИП;  $\bar{\omega}_n = 2\pi f_0 \tau_0 \sqrt{K_0}$ .

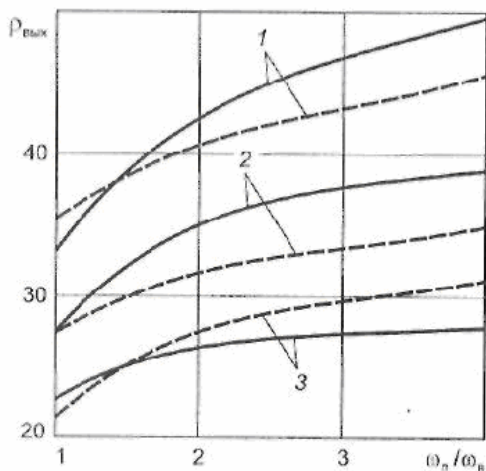


Рис. 5.14. Зависимости  $\rho_{\text{вых}}$  от отношения  $\omega_n/\omega_0$

Для проверки теории было осуществлено моделирование работы устройства на ПК. При моделировании предполагалось, что шум на входе устройства отсутствует ( $\rho_0 = \infty$ ), а реализация полезного сообщения представлялась суммой гармонических колебаний с одинаковыми амплитудами и случайными фазами, занимающих полосу частот  $f_n$ . На рис. 5.14 представлены теоретические (сплошные линии) и полученные моделированием (пунктирные линии) зависимости отношения сигнал/шум в телефонном канале  $\rho_{\text{вых}}$ , дБ, в зависимости от отношения  $\bar{\omega}_n/\bar{\omega}_n$ . Кривые 1, 2 и 3 построены для значений  $\bar{\omega}_n/2\pi = 1/16, 1/8$  и  $1/4$  и  $\mu = \bar{\omega}_n/32\pi$ .

Кривые на рис. 5.14 показывают близкое количественное совпадение результатов моделирования с аналитическими. Сравнение исследованного устройства подавления ИП с другими известными более простыми устройствами, в которых применяется метод бланкирования или ограничение сигнала, показывает, что оно дает существенно более высокую точность восстановления пораженных ИП участков полезного сообщения.

### 5.3.3. Подавление ИП методом интерполяции искаженных значений полезного сообщения

На рис. 5.15 показана блок-схема устройства, в котором для восстановления пораженных ИП участков ПС используется интерполяция [23]. На этом рисунке: Инт — интерполятор, ЭК — электронный ключ, ЛЗ — линия задержки, ДЦ — цепь дифференцирования, АТ — аттенуатор. Интерполированный сигнал вместе с сигналом, действующем на среднем створе ЛЗ, поступают на входы ЭК, управляемого с помощью БОИП; при обнаружении ИП на выход ЭК поступает сигнал с выхода Инт.

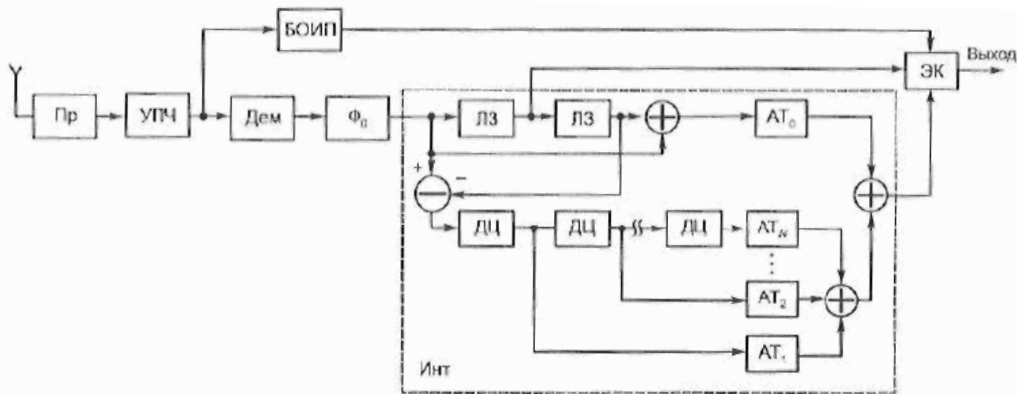


Рис. 5.15. Блок-схема устройства восстановления ПС методом интерполяции

В результате исследования данного устройства [23] установлены оптимальные значения коэффициентов передачи аттенуаторов:

$$\beta_0 = 1, \beta_1 = 1/2, \beta_2 = 1/24 \text{ и } \beta_k \approx 4/\pi^{2(k+1)} \text{ при } k \geq 3. \quad (5.5)$$

В [24] показано, что при применении интерполятора  $(k-1)$ -го порядка отношение сигнал/помеха на выходе устройства рис. 5.16 отличается от такого же отношения на его выходе при использовании интерполятора нулевого порядка на  $\eta_k(\tilde{\rho}_0)$  дБ, где

$$\eta_k(\tilde{\rho}_0) = 10 \lg \left[ \frac{\beta_0 (2\pi f_v / F_0)^3 / 3 + P_0 / \rho_0 (2\pi f_v / F_0)}{\beta_k (2\pi f_v / F_0)^{4k+3} / (4k+3) + P_k / \rho_0 (2\pi f_v / F_0)} \right]. \quad (5.6)$$

В (5.6) использованы те же обозначения, что и в (5.5), а также обозначено:  $\tilde{\rho}_0$  — отношение мощности сигнала к мощности теплового шума, дБ, действующего на выходе Дем в полосе  $f_v$ ,  $F_0$  — полоса пропускания фильтра  $\Phi_0$ , связанная с длительностью ИП ( $\tau_0$ ) соотношением  $F_0 = 1/\tau_0$ . Кроме того, в (5.6)  $P_0 = 6,28$ ;  $P_1 = 26,9$ ;  $P_2 = 205$ .

На рис. 5.16 представлены зависимости  $\eta_k(\tilde{\rho}_0)$ , построенные для  $k=1$  и 2 и двух случаев  $F_0/f_v = 4$  (штрихпунктирные кривые) и  $F_0/f_v = 10$  (штриховые кривые). Из приведенных кривых видно, что при больших значениях  $\tilde{\rho}_0$  применение интерполятора 2-го порядка дает проигрыш по сравнению с интерполятором 1-го порядка. Это связано с тем, что в интерполяторе с увеличением его порядка происходит увеличение уровня тепловых шумов. Следует, однако, отметить, что по отношению к интерполятору нулевого порядка имеет место значительный выигрыш (до 20 дБ). Отметим также, что выигрыш, который обеспечивает интерполятор нулевого порядка по отношению к устройству, использующему метод бланкирования, составляет порядка 14 дБ.

В рассмотренных выше устройствах применяется экстраполяция и интерполяция полезных низкочастотных сигналов. Точность восстановления полезных сигналов в этих устройствах может быть высокой только в том случае, когда время корреляции полезных сообщений существенно превышает длительность ИП. Однако в ряде случаев (например, при за-

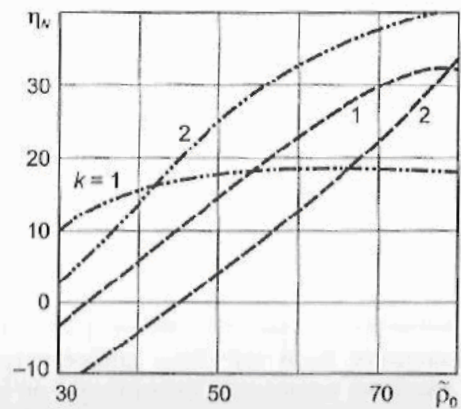


Рис. 5.16. Зависимости  $\eta_k$  от  $\tilde{\rho}_0$

щите от ИП цветовой поднесущей в телевизионной системе SECAM либо ЧМ сигнала в приемном устройстве подвижной связи такое условие не выполняется.

### 5.3.4. Подавление ИП при приеме сообщений с существенно неравномерным спектром

Существенную неравномерность имеет, например, спектр телевизионного сигнала, который содержит как видеосигнал яркости, так и передаваемые на поднесущих сигналы цветности и звукового сопровождения. На рис. 5.17 представлена блок-схема устройства [24], позволяющего защитить от ИП прием таких сообщений. Между Дем и приемником Пр включены два усилителя, первый из которых, имеющий малое выходное сопротивление, нагружен на реактивный двухполосник с последовательно соединенными элементами — конденсатором  $C_0$ , на котором выделяется низкочастотная составляющая ПС (видеосигнала), и параллельными контурами  $K_i$ , настроенными на частоты максимумов спектра этого сигнала (частоты поднесущих сигналов цветности и звука).

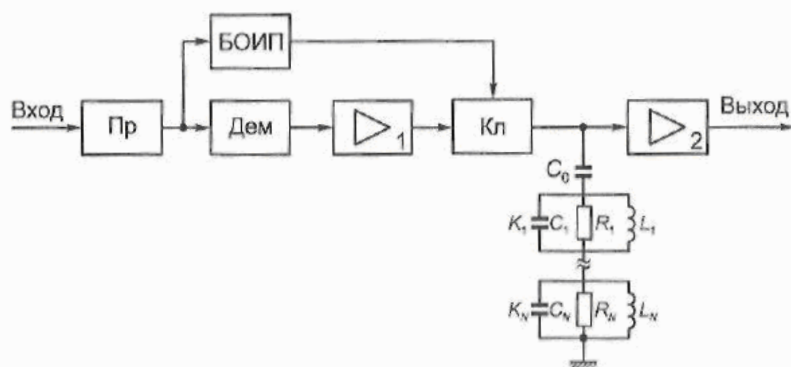


Рис. 5.17. Блок-схема устройства защиты сообщений от ИП

Воздействующая на вход приемника ИП обнаруживается БОИП, в котором формируется управляющий импульс, разрывающий с помощью ключа Кл цепь, связывающую двухполосник с выходом первого усилителя. При этом ИП не воздействует на двухполосник, и на его элементах в течение времени, равного длительности ИП, сохраняются значения колебаний сигнала, относящихся к разным (выделенным на этих элементах) участкам сигнала. Таким образом искаженный участок ПС замещается в данном устройстве путем экстраполяции.

Оптимизация параметров данного устройства может быть выполнена на основе развитой в [24] теории. Исследование эффективности его применения показали, что для случая, когда на его входах действует сумма двух сигналов, спектр которых сконцентрирован на частотах  $\omega_1$  и  $\omega_2 = 2\omega_1$ , данное устройство позволяет получить на 19,5 и 13 дБ большие значения отношения сигнал/шум по сравнению с отношениями сигнал/шум устройств подавления ИП, использующих соответственно методы экстраполяции 2-го порядка и бланкирования.



Были проведены экспериментальные исследования [24] возможности применения устройства подавления ИП, показанного на рис. 5.17, для защиты от ИП приемников телевизионных сигналов по системе SECAM системы спутникового телевизионного вещания «Экран». Результаты экспериментальных исследований показали, что при надежном обнаружении ИП предложенные устройства обеспечивают необходимое подавление ИП.