

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ СИНХРОННОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО ТРАКТА

д.т.н. С.В. Козелков, к.т.н. Д.П. Пашков, С.А. Тыщук

В статье предложен один из путей повышения помехоустойчивости радиотехнических систем (РТС) наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) космическими аппаратами (КА) с использованием адаптивной синхронной перестройки приемопередающего тракта.

Одним из основных направлений повышения помехоустойчивости РТС НАКУ КА является поддержание величины отношения сигнал/шум в радиоприемном устройстве (РПрУ) не ниже заданного значения [1]. Существующие методы решения данной задачи основаны на:

- выборе соответствующей мощности излучения радиопередающего устройства (РПДУ);
- применении схем автоматической регулировки чувствительности (АРЧ) или усиления (АРУ) РПрУ;
- использовании логарифмических усилителей.

При использовании методов первого типа происходит ухудшение условий электромагнитной совместимости (ЭМС) РТС, а применение методов второго и третьего типов в случае воздействия мешающих сигналов на вход РПрУ приводит к снижению дальности действия РТС.

Поэтому целью настоящей статьи является исследование путей повышения помехоустойчивости РТС при условии максимальной степени освобождения от указанных недостатков. Учитывая вышеизложенное, предлагается использовать адаптивную синхронную перестройку мощности излучения РПДУ с синхронной перестройкой динамического диапазона РПрУ с учетом энергетических параметров входных воздействий. С этой целью представим выходной сигнал РПрУ $y(t)$ в следующем виде:

$$y(t) = y_l(t) + y_n(t) + N(t), \quad (1)$$

где $y_l(t)$, $y_n(t)$ – соответственно линейная и нелинейная составляющие выходного сигнала РПрУ; $N(t)$ – внутренние шумы РПрУ. Тогда отношение сигнал/шум на входе РПрУ ρ с учетом компонент нелинейных искажений принимаемого радиосигнала может быть описано выражением вида [2]:

$$\rho = \frac{S}{N_0 + M} \cdot \gamma, \quad (2)$$

где S , M – уровень соответственно полезного и мешающего сигналов на входе РПрУ; N_0 – уровень внутренних шумов РПрУ, пересчитанных на его вход; γ – коэффициент ухудшения отношения сигнал/шум вследствие нелинейности характеристик РПрУ ($0 \leq \gamma \leq 1$, где $\gamma = 1$ для линейного режима работы РПрУ).

Повышение величины отношения сигнал/шум ρ может быть достигнуто путем снижения уровня помехи M и повышения величины коэффициента γ (до единицы) за счет искусственного «введения» режима работы РПрУ в малосигнальную линейную область с помощью уменьшения коэффициента передачи управляемого аттенюатора при сохранении постоянным или повышении уровня полезного сигнала S за счет соответствующего увеличения мощности излучения РПДУ.

Практическая реализация этого может быть обеспечена, в частности, формированием на выходе РПрУ специального сигнала Z , совпадающего с нелинейной составляющей выходного сигнала РПрУ y_n (1). Данный выделенный сигнал Z может служить управляющим воздействием для перестройки коэффициента передачи управляющего аттенюатора и мощности излучения РПДУ, что позволит путём адаптивного согласования уровня полезного сигнала на входе РПрУ с помощью изменения коэффициента усиления каскадов приемника расширить его линейный динамический диапазон и, следовательно, устранить его перегрузку мешающими сигналами значительного уровня во время протекания переходных процессов T_c . Для выделения сигнала Z целесообразно использовать фильтр компенсирующего типа, поскольку он обладает более высоким, по сравнению с корректирующими, предсказывающими и другими типами фильтров, точностными и эксплуатационными характеристиками [3]. Данный фильтр является самонастраивающимся к мгновенному значению нелинейной составляющей выходного сигнала РПрУ y_n и описывается выражением

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} Z(t + \tau) = y_n(t) \cong Z(t + T_n), \quad (3)$$

где T_n – период времени, который требуется для автоподстройки компенсирующего фильтра (в настоящее время достижимы значения T_n порядка единиц микросекунд и менее, что позволяет сравнительно просто выполнить заданное условие $T_n \ll T_c$).

Применение такой самонастройки позволит устранить многие существенные недостатки и ограничения детерминированных фильтров с априорно-определёнными параметрами [4].

Проведем оценку эффективности применения предлагаемого пути повышения помехоустойчивости РТС НАКУ КА. Определим отношение сигнал/шум на входе после окончания переходных процессов ρ' в представленной выше адаптивной системе

$$\rho' = \frac{k \cdot \alpha \cdot S}{N_0' + \alpha \cdot M} \lambda', \quad (4)$$

где k – коэффициент, описывающий увеличение уровня полезного сигнала на входе РПрУ при повышении мощности излучения РПДУ ($k \geq 1$); α – коэффициент передачи управляемого аттенюатора по напряжению (току) ($0 \leq \alpha \leq 1$).

Поскольку для обеспечения оптимального режима функционирования обычно требуется исключить влияние нелинейных характеристик РПрУ и неинформативные изменения уровня полезного сигнала, то необходимо обеспечить выполнение условий как линейности ($\gamma = 1$), так и нормировки ($k \cdot \alpha = 1$; $\forall t \in [0, \infty)$). Поэтому формулу (4) с учетом того, что различие между величинами N_0 и N_0' обычно незначительно, можно упростить

$$\rho' \cong \frac{S}{N_0 + \alpha \cdot M}. \quad (5)$$

В этом случае, выигрыш по величине отношения сигнал/шум h , достигаемый вследствие применения предложенного подхода, характеризуется отношением вида

$$h = \frac{\rho'}{\rho} = \frac{N_0 + M}{N_0' + \alpha \cdot M} \cdot \frac{1}{\gamma} \Big|_{M \gg N_0} \cong \frac{1}{\alpha \cdot \gamma}. \quad (6)$$

Проведем сравнительную оценку применения известных методов и предложенного пути повышения помехоустойчивости РТС по критерию получаемого выигрыша в отношении сигнал/шум. В частности, выигрыш при применении предлагаемого пути по сравнению с методами перестройки мощности РПДУ (φ_I) определяется выражением

$$\varphi_I = \frac{h}{h_I} = \frac{N_0 + M}{k_I(N_0 + \alpha \cdot M)} \cdot \frac{1}{\gamma_I} \Big|_{M \gg N_0} \cong \frac{1}{k_I \cdot \alpha \cdot \gamma_I}, \quad (7)$$

а по отношению к методам основанным на использовании АРЧ и АРУ (φ_{II}), характеризуется формулой

$$\varphi_{II} = \frac{h}{h_{II}} = \frac{\frac{N_0}{\alpha_{II}} + M}{N_0 + \alpha \cdot M} \Big|_{M \gg N_0} \cong \frac{1}{\alpha}, \quad (8)$$

где α_{II} – коэффициент передачи управляемого аттенюатора (множитель, описывающий уменьшение коэффициента передачи РПрУ), при котором обеспечивается линейный режим работы РПрУ (т.е. $\gamma_{II} = 1$); k_I – коэффициент, характеризующий увеличение амплитуды сигнала на входе РПрУ вследствие установления повышенной мощности излучения РПДУ; γ_I – коэффициент ухудшения отношения сигнал/шум вследствие нелинейности характеристик РПрУ при использовании энергетического метода повышения помехоустойчивости РТС (очевидно, что при прочих равных условиях $\gamma_I \geq \gamma$, $k_I > k$ и $\alpha_{II} < \alpha$). Учитывая выражения (7) и (8) получаем: $k_I < 1/\alpha\gamma_I$, $\alpha \leq 1$, а $\gamma_I > 1$ и $\gamma_{II} \geq 1$ соответственно.

Таким образом, предлагаемый путь повышения помехоустойчивости РТС обладает более широкой, по сравнению с известными методами, областью применимости. Использование данного подхода отличается повышенной экономичностью, так как при прочих равных условиях, не требуется “грубых” регулировок коэффициента передачи управляемого аттенюатора РПрУ и обеспечивается помехоустойчивое функционирование с относительно маломощными РПДУ при малых мощностях излучения, что особенно важно для РТС при построении наземного комплекса управления КА по однопунктной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
2. Использование радиочастотного спектра и радиопомехи / Е.И. Егоров, А.С. Михайлов и др. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
3. Уайт Д. Электромагнитная совместимость РЭС и непреднамеренные помехи. Вып. 3 / Под ред. А.Д. Князева. – М.: Сов. радио, 1979. – 464 с.
4. Защита от радиопомех / Под ред. М.В. Максимова. – М.: Сов. радио, 1976. – 496 с.

Поступила 25.10.2002

КОЗЕЛКОВ Сергей Викторович, доктор техн. наук, ст. научный сотрудник, заместитель начальника кафедры НАОУ. В 1982 году окончил ХВВКИУ им. Н.И. Крылова. Область научных интересов – радиотехнические системы и комплексы космического назначения.

ПАШКОВ Дмитрий Павлович, канд. техн. наук, в 1993 году окончил КВИРТУ, в 2000 году окончил ХВУ. Область научных интересов – радиотехнические системы и комплексы космического назначения.

ТЫШУК Сергей Александрович, начальник факультета Харьковского Военного университета. В 1984 году окончил Житомирское высшее военное училище радиоэлектроники ПВО. Область научных интересов – космические радиотехнические системы и комплексы.