

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ

МОЩНОСТИ ПЕРЕДАТЧИКОВ В АДАПТИВНЫХ ЛИНИЯХ РАДИОСВЯЗИ

Рассматривается способ регулирования мощности передающих устройств, состоящих из нескольких передатчиков. Определена вероятность ошибочного приема (ВОП) ортогональных сигналов при некогерентной демодуляции для случая использования автовыбора из нескольких каналов, каждый из которых образован путем оптимального сложения двух разнесенных сигналов.

Известны адаптивные линии радиосвязи (ЛР), позволяющие частично компенсировать флуктуации амплитуды сигнала на приеме путем изменения мощности передающего устройства соответствующим образом. Такие линии применяются в случае, если $2\Theta \ll \tau$, где Θ – время распространения сигнала по ЛР, а τ – интервал корреляции огибающей сигнала во времени. Это условие справедливо для ЛР декаметрового и метрового диапазонов, а также для тропосферных ЛР и каналов подвижной связи. Наиболее широко упомянутые линии применяются для организации тропосферной связи. Для организации подвижной связи такие линии применяются в труднодоступной местности, когда расстояния между базовыми станциями превышают 50 км и отсутствует прямая видимость между антенными системами базовых станций.

В труднодоступной местности подобные линии могут оказаться единственно возможным средством для организации связи между опорными пунктами сети (базовыми станциями). До настоящего времени ООО "Компания СиТи" изготавливала базовые и абонентские станции, а также необходимую коммутационную аппаратуру. По существу, это весь необходимый комплект для организации многозоновой транкинговой связи, кроме линий, обеспечивающих связь между базовыми станциями. В настоящее время "Компания СиТи" разрабатывает также ЛР для обеспечения связи между базовыми станциями, где предполагается использовать принципы адаптации, рассматриваемые ниже.

Одним из решений для повышения энергетического потенциала ЛР являются системы с разнесенным приемом. Для обеспечения разнесения по пространству в них используются несколько комплектов приемо-передающей аппаратуры и антенн. Недостатком таких линий связи является то обстоятельство, что во время замираний на линии проводится автоматическая регулировка мощности одновременно всех передатчиков, работающих на разные антенны (например, с различной поляризацией) независимо от того, сигнал от какой антенны (с

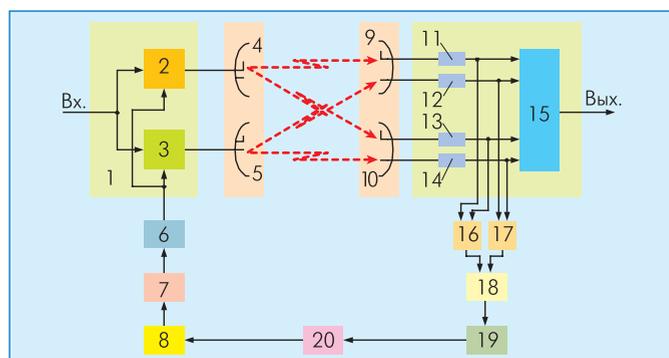


Рис. 1 Схема адаптивной линии радиосвязи: 1 – передающее устройство; 2, 3 – передатчики; 4, 5 – передающие антенны с вертикальной и горизонтальной поляризацией соответственно; 6 – коммутатор мощности; 7 – управляющее устройство; 8 – устройство выделения управляющих сигналов; 9, 10 – приемные антенны; 11–14 – преобразователи СВЧ; 15 – основной сумматор; 16, 17 – дополнительные сумматоры; 18 – решающее устройство; 19 – устройство ввода управляющих сигналов; 20 – канал обратной связи



какой поляризацией) в данный момент времени подвержен наибольшему замиранию. В конечном итоге, это снижает эффективность использования мощности передающих устройств.

В работе [1] описана адаптивная линия связи, в которой регулирование (повышение или понижение) мощности передатчиков можно осуществлять плавно или дискретно с помощью коммутатора мощности (рис.1). Коммутатор мощности управляется через канал обратной связи сигналом управления, который вырабатывается решающим устройством по результатам анализа копий полезного сигнала. В качестве критерия, по которому вырабатывается сигнал управления, предлагается использовать разницу уровней сигналов, излучаемых и принимаемых разнесенными антеннами с вертикальной и горизонтальной поляризациями на передающей и приемной сторонах.

Излучаемые копии сигналов с вертикальной и горизонтальной поляризацией проходят различные пути распространения, претерпевая при этом различные амплитудные и фазовые изменения. Поэтому после сложения по поляризациям они будут иметь различные величины относительно друг друга. При достижении определенной разницы (порога), которая оценивается в решающем устройстве, вырабатывается сигнал управления. Этот сигнал по обратному каналу передается на передающую сторону, где после выделения через управляющее устройство и коммутатор мощности определенным образом воздействует на тот или иной передатчик, которые подключены к различным антеннам. При этом мощность передатчика, сигналы которого в канале распространения имеют меньшее затухание, увеличивается, а мощность передатчика, сигналы которого имеют большее затухание, остается номинальной или уменьшается. Когда в канале распространения сигналов условия распространения меняются на противоположные, решающее устройство вырабатывает управляющий сигнал, по команде которого на передающей стороне производится регулировка мощности в обратном порядке. Динамический диапазон регулирования может достигать нескольких десятков децибел.

Оценим потенциально возможный выигрыш по помехоустойчивости при применении описанного выше алгоритма регулировки мощности. Для этого найдем среднюю вероятность ошибки при некогерентном приеме ортогональных сигналов в линии с 4-кратным разнесением и двумя передатчиками. Рассмотрим упрощенную ситуацию, когда вся суммарная излучаемая передающим устройством мощность сосредотачивается для передачи копий сигнала с помощью антенны, обеспечивающей в данный момент времени наибольшую эффективность (сигналы, излучаемые этой антенной, имеют меньшее затухание).

Излучение осуществляется с помощью двух антенн с вертикальной и горизонтальной поляризацией. Благодаря про-

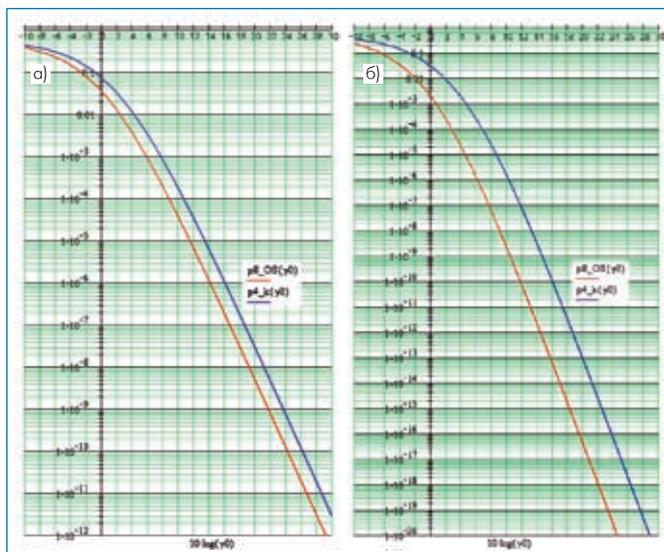


Рис. 2 Зависимость ВОП от отношения сигнал/шум для адаптивной радиолинии (синий) и разнесенного приема с 4-кратным (а) и 8-кратным (б) разнесением и оптимальным объединением ветвей (красный)

странственному разнесению на приеме образуется четыре копии сигнала, которые объединяются в сумматоре. Дополнительно по две копии от каждой передающей антенны объединяются по алгоритму оптимального сложения. При реле-

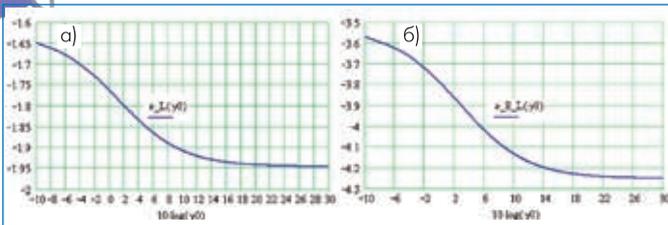


Рис.3 Энергетический проигрыш разнесенного приема при автовыборе из двух (а) и четырех (б) двоек копий по сравнению с пространственно разнесенным приемом с оптимальным сложением четырех копий сигналов (а) и восьми копий сигналов (б)

евских замираний интегральная функция распределения отношения сигнал/шум для случая оптимального сложения двух копий сигнала определяется выражением [1]:

$$p(\gamma < \gamma_0) = 1 - \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} + 1 \right) \cdot e^{-\frac{\gamma}{\gamma_0}}, \quad (1)$$

где γ и γ_0 – отношение сигнал/шум и среднее значение отношения сигнал/шум соответственно.

Для случая, когда вся суммарная мощность передающего устройства излучается поочередно антеннами с горизонтальной и вертикальной поляризацией, можно считать, что для передачи сигналов по четырем путям распространения используется автовыбор из двух сигналов, каждый из которых образован двумя оптимально объединенными копиями сигналов.

Средняя вероятность ошибки при некогерентном приеме ортогональных сигналов находится по формуле (2):

$$P_{cp} = \int_0^{\infty} W(\gamma) \frac{1}{2} e^{-\alpha\gamma} d\gamma, \quad (2)$$

где $W(\gamma)$ – функция плотности вероятности отношения сигнал/шум, $\alpha = 0,5$ при частотной телеграфии и $\alpha = 1$ при относительной фазовой телеграфии.

Функция плотности вероятности для идеального автовыбора из двух каналов, каждый из которых образован путем оптимального сложения двух разнесенных, независимо замирающих копий сигналов с учетом формулы (1) определяется выражением:

$$W(\gamma) = \frac{d \left[1 - \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} + 1 \right) \cdot e^{-\frac{\gamma}{\gamma_0}} \right]^2}{d\gamma}. \quad (3)$$

Подставляя формулу (3) в выражение (2) и проводя преобразования для случая $\alpha = 1$, получим:

$$P_{cp} = \frac{1}{(\gamma_0 + 1)^2} - \frac{1}{(\gamma_0 + 2)^2} - \frac{1}{(\gamma_0 + 3)^2}. \quad (4)$$

Зависимость средней вероятности ошибочного приема от отношения сигнал/шум представлена на графике (рис.2а). Там же для сравнения представлена аналогичная зависимость для случая 4-кратного разнесения с оптимальным объединением ветвей.

Энергетический проигрыш разнесенного приема при автовыборе из двух двоек ветвей приема по сравнению с

4-кратным пространственно разнесенным приемом с оптимальным объединением копий можно получить, приравняв вероятности ошибок из выражения (4) и из известного выражения для 4-кратного разнесенного приема. Для некогерентного приема с оптимальным сложением получим:

$$\eta(\gamma_0) = \frac{1}{\gamma_0} \sqrt[4]{\frac{1}{\frac{2}{(\gamma_0 + 1)^2} - \frac{1}{(\gamma_0 + 2)^2} - \frac{1}{(\gamma_0 + 3)^2}}}. \quad (5)$$

Эта зависимость представлена на графике (рис.3а). Анализ этой зависимости показывает, что при приемлемых значениях ВОП проигрыш составляет 1,9 дБ. Это означает, что при одинаковой суммарной излучаемой мощности передающего устройства предлагаемый способ регулирования позволяет получить выигрыш 1,1 дБ за счет того, что вся излучаемая мощность сосредоточена только на одном передатчике.

Полученные результаты могут быть обобщены на случаи с большим числом ветвей разнесения, когда для обеспечения ортогональности передаваемых сигналов разнесения по поляризации уже недостаточно и ортогональность может быть получена, например, с помощью кодов Уолша.

Для 8-кратного разнесения (используется 4 передатчика) средняя ВОП равна:

$$A_0 = 105 \cdot \gamma_0^6 + 1680 \cdot \gamma_0^5 + 11025 \cdot \gamma_0^4 + 37870 \cdot \gamma_0^3 + 71540 \cdot \gamma_0^2 + 70120 \cdot \gamma_0 + 27648.$$

$$P_{cp} = \frac{12 \cdot A_0}{(\gamma_0 + 4)^5 \cdot (\gamma_0 + 3)^4 \cdot (\gamma_0 + 2)^3 \cdot (\gamma_0 + 1)^2}.$$

Энергетический проигрыш по сравнению с 8-кратным пространственно разнесенным приемом с оптимальным объединением составляет:

$$\eta(\gamma_0) = \frac{1}{\gamma_0} \sqrt[8]{\frac{(\gamma_0 + 4)^5 \cdot (\gamma_0 + 3)^4 \cdot (\gamma_0 + 2)^3 \cdot (\gamma_0 + 1)^2}{24 \cdot A_0}} - \frac{1}{\gamma_0}.$$

На рис.2б и 3б представлены графики зависимости средней вероятности ошибки от отношения сигнал/шум и энергетического проигрыша по сравнению с оптимальным приемом при 8-кратном разнесении.

Таким образом, полученный выигрыш равен примерно 2,1 дБ.

Количество ветвей разнесения принципиально не ограничивается, так как для организации многократного разнесения по рассмотренному способу достаточно обеспечить ортогональность сигналов, излучаемых отдельными передатчиками. Дальнейшие расчеты показывают, что при увеличении ветвей разнесения ВОП в системе стремится к ВОП в канале без замираний и определяется только средним отношением сигнал/шум.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адаптивная система радиосвязи. Авторское свидетельство №1788586.
2. Уильям К. Ли. Техника подвижных систем связи. – М.: Радио и связь, 1985.



Завод по производству оконечного оборудования

для абонентской сети

В июле 2008 года в Краснодаре введен в строй завод компании "Электрокабель" (www.elcabel.ru) по производству оконечного оборудования для широкополосного доступа.

Его продукция:

- Широко известные распределительные шкафы (РШ) для магистральных участков и оборудование для абонентской распределительной сети различной емкости:
 - ШР400×2, ШР600×2, ШР800×2, ШР1200×2, ШР2400×2;
 - шкафы распределительные уличные двойные ШРУД400×2, ШРУД600×2, ШРУД800×2, ШРУД1200×2, ШРУД2400×2;
 - шкафы распределительные с утеплителем (двойная стенка, внутри которой теплоизоляционный материал) ШРМ400×2, ШРМ600×2, ШРМ800×2, ШРМ1200×2, ШРМ2400×2.
- Устройства кабельных соединений для соединения кабеля с жилой 0,35–0,7 мм на кабель и провода с жилой 0,8–1,2 мм УКС10×2, УКС20×2, УКС40×2 различных вариантов размещения:

- на трубостойку,
- на опору,
- на стену.

- Коробки распределительные металлические и пластиковые: КРТМ10×2, КРТМ20×2, КРТП10×2.

Все изделия рассчитаны на установку модулей и плинтов с врезным контактом.

Завод также выпускает оборудование для электрохимической защиты – стойки контрольно-измерительного пункта (СКИП) и шкафы оптического домового узла (ШОДУ) для проектов гибридного широкополосного доступа (медь+оптика).

В стадии разработки и изготовления образцов находятся корпуса для узлов мультисервисного доступа (MSAN SI2000, MSAN SI3000) и широкополосного доступа по оптическому волокну (PON), а также корпуса для размещения делителя 1/32 и других компонентов.

Все корпуса имеют полимерное покрытие. Все изделия имеют декларацию соответствия в Федеральном агентстве связи.