

ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ВНЕПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОПЕРЕДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ ОСНОВНОГО СИГНАЛА

В.В. Тимофеев

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

Современная приёмо-передающая техника радиосвязи, как правило, имеет широкополосные тракты приёма и передачи, сопротивления которых составляют 50 Ом. Для реализации паспортных технических параметров такой аппаратуры, при её эксплуатации требуется обеспечить активную нагрузку как для приёмной, так и для передающей частей [1]. Следует обратить внимание на то, что если при работе приёмного тракта и возникнет рассогласование параметров радиопередающего аппарата (РПА) с антенно-фидерным устройством (АФУ), то в аварийной ситуации аппаратной части приёмника это не приведёт [2, 5]. При работе РПА в режиме передачи сигнала, высокочастотная (ВЧ) мощность, отраженная от антенны обратно в фидер, неизбежно приведёт к аварии выходного каскада усилителя мощности [1, 5]. Пока рассогласование не достигло критической величины, опасной для работоспособности РПА, возникает другая проблема: из-за изменения режимов выходного каскада передатчика могут существенно возрасти внеполосные излучения, превысив установленные нормы [1, 2].

Факт наличия проблемы подавления внеполосных излучений РПА, располагающихся в непосредственной близости от частотных границ основного сигнала, в различных контекстах упоминается во многих публикациях различных авторов [1, 2, 3, 4, 5, 7]. Однако конкретных мер по их устранению практически не предлагается.

Распространённая при проектировании РПА практика применения фильтров нижних частот для снижения уровня внеполосных излучений [1] позволяет снизить уровень внеполосных излучений, расположенных на значительном удалении по частоте от основного сигнала. Таким образом, практически заметное затухание обеспечивается лишь для гармоник основного сигнала. Усилия производителей РПА по сохранению полупроводниковых приборов оконечных каскадов усилителей мощности при рассогласовании РПА с нагрузкой, реализованы в виде раз-

личных вариантов максимально – токовой защиты, либо электронных термореле с отключением устройства по достижении критической температуры защищаемого узла.

В более совершенных моделях РПА применяется принцип ограничения выходной мощности Automatic level control (ALC): при повышении степени рассогласования с антенной возрастает амплитуда ВЧ напряжения на выходных транзисторах. Это напряжение отслеживается измерительной частью схемы, а исполнительная часть этой схемы ограничивает мощность предоконечного каскада усилителя мощности. Это ограничение дополнительно вносит существенную нелинейность в излучаемый сигнал и ещё больше заостряет проблему внеполосных излучений.

Стоит подчеркнуть, что подавляющее большинство РПА недорогого ценового сегмента системами ALC не оборудованы, поэтому, в случае возникновения рассогласования в АФУ они работают, активно излучая внеполосные излучения до той поры, пока устройство не перегреется отраженной от антенны мощностью и не выйдет из строя.

Стоячая волна характеризуется коэффициентом стоячей волны (КСВ), определяемым как отношение амплитуды ВЧ напряжения в линии питания в максимуме к его амплитуде в минимуме, или, что абсолютно то же самое – отношение амплитуды тока в максимуме к его амплитуде в минимуме. Зависимость мощности потерь от величины КСВ носит экспоненциальный характер.

Исходя из этого определения, первое очевидное решение – это измерять КСВ, измеряя распределение напряжения или тока в фидере, т.е. отыскать максимальное и минимальное значения этих параметров и, разделив одно на другое, найти численное значение КСВ. Для этого служит двухламповый индикатор. Двухламповый индикатор, не смотря на свою простоту, представляет собой вполне точный индикатор наличия стоячих волн. Принцип его действия, заключается в поиске и визуальной оценке максимумов и минимумов напряжения в линии передачи [3].

Петля связи представляет собой отрезок ленточного кабеля длиной, равной $1/10$ длины волны или меньше. Оба конца кабеля короткозамкнуты и посередине одна из его жил разрывается, так что петля связи представляет собой шлейфовый вибратор. Проводники от точки разрыва нагружаются двумя маломощными лампами накаливания.

Если согласование уже достигнуто, то лампочка 1, расположенная в направлении передатчика, светится значительно ярче, чем лампочка 2, расположенная в направлении антенны. Последующая настройка антенны заключается в том, чтобы достигнуть положения, когда лампочка 2 вообще не светится, а лампочка 1 светится ярко. При этом в линии отсутствуют стоячие волны и степень согласования линии питания с антенной вполне достаточная. Очевидно, что этот способ весьма неточен, по причине нечувствительности ламп к токам, меньшим тока зажигания. Для осуществления измерения высокочастотного напряжения вдоль линии передачи необходимо конструировать такое устройство перемещения петли связи, которое определенное время находилось в одинаковом положении по отношению к измеряемой линии передачи. Все варианты измерительных приборов, построенных по рассмотренным выше схемам измерения КСВ, в линии передачи неприменимы для коаксиальных кабелей, поскольку его внутренний проводник недоступен.

В диапазоне УКВ и дециметровых волн в лабораторных условиях часто используется коаксиальная измерительная линия. Измерительная линия представляет собой жесткий коаксиальный кабель с известным волновым сопротивлением. Во внешнем проводнике измерительной линии сделана продольная щель, вдоль которой перемещается измерительная головка, соединенная с измерительным зондом, опущенным в щель. Электродвижущая сила в зонде возбуждается полем волны, распространяющейся в кабеле. Такую измерительную линию качественно выполнить трудно, и на практике используются измерительные линии с фиксированным расположением нескольких измерительных зондов вдоль линии. Измерительная линия с тремя зондами изготавливается для определенной частоты, величина индуктивности зондов подбираются таким образом, чтобы вместе с емкостью диодов они образовывали резонансные контуры, настроенные на рабочую частоту.

Данный метод практически применяется до настоящего времени для определения КСВ в лабораторных условиях на частотах свыше 100 МГц. Для этих целей используют воздушные коаксиальные измерительные

линии, оснащенные измерительными зондами. На коротких волнах (КВ) этот метод практически не используется из-за слишком большой длины измерительной линии. Поэтому в КВ-технике применяют более простой, мостовой метод измерения КСВ или с помощью рефлектометра.

Рефлектометр представляет собой прибор для измерения степени согласования линии питания с антенной и работает по принципу двухлампового индикатора, но позволяет получать численные значения измерений величины падающей и отраженной волн [3].

Петля связи рефлектометра связана с внутренним проводником коаксиальной линии индуктивной и емкостной связью. В случае точного согласования, измерительный прибор в положении переключателя «прямая волна» должен показывать максимальное значение, а в положении «обратная волна» показание прибора должно быть нулевым. Конструкции жестких измерительных линий рефлектометра сложны с механической точки зрения, и существуют схемы рефлектометров без использования в качестве коаксиального элемента жесткой линии, которые более удобны в производстве.

Основной недостаток рефлектометра с направленным ответвителем на основе петли связи - его чувствительность зависит от частоты. Этот недостаток не очень существенен, если речь идет только об измерении КСВ и оперативном его контроле в процессе работы конкретного РПА. Для проведения измерений таким прибором его надо калибровать на каждом диапазоне. Второй недостаток такого прибора (тоже связанный с частотной зависимостью чувствительности) - невысокая чувствительность на низкочастотных диапазонах [6].

Подавляющее большинство современных измерителей КСВ в качестве датчика падающей и отраженной мощности в коаксиальном тракте используют направленный ответвитель на основе высокочастотного токового трансформатора. Их отличие - использование сосредоточенных элементов: датчика тока на трансформаторе и конденсаторов связи. Применение широкополосного трансформатора снимает вопрос о частотной зависимости показаний, поэтому такой прибор уже можно использовать как широкополосный высокочастотный ваттметр достаточно высокого класса точности. В подобных КСВ-метрах легко реализуется высокая чувствительность, поэтому они подходят и для маломощной передающей аппаратуры. К недостаткам КСВ-метров этого типа можно отнести трудоёмкость их изготовления и низкую технологичность в массовом производстве.

ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ВНЕПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОПЕРЕДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ ОСНОВНОГО СИГНАЛА

Имеющиеся на сегодняшний день варианты контроля качества согласования выходного каскада РПА с АФУ поставленную задачу в полном объёме не решают. Контроль параметров АФУ осуществляется, в основном, при пусконаладочных работах и проведении ремонтных и плановых профилактических мероприятий.

Уменьшая внеполосные излучения РПА, мы сможем уменьшить электромагнитное загрязнение атмосферы. Кроме этого побочные излучения активно способствуют снижению пропускной способности частотного ресурса, а это уже прямой экономический ущерб. Непрерывное повышение экологических и экономических требований к современной технике связи предопределяет разработку новых методик измерения её технических параметров с целью поддержания их в пределах требований нормативной документации. Становится очевидной проблема улучшения качества сигналов, излучаемых РПА, которые в настоящее время весьма далеки от идеальных, зачастую по объективным причинам, учитывая не вполне развитое состояние дел в области решения прикладных задач экс-

плуатационной диагностики АФУ. Остаются также нереализованными возможности повышения эксплуатационной ёмкости частотного ресурса [4,5,7].

Список литературы

1. Рэд Э. Справочное пособие по ВЧ-схемотехнике / Э. Рэд. - М.: Мир, 1990. - 131 с.
2. Никитин В.А. Си-Би антенны 100 и одна конструкция – новые и старые варианты / В.А. Никитин, Б.Б. Соколов, В.В. Щербаков. - М.: Символ-Р, 1997.
3. Ротхаммель К. Антенны: Пер. с нем.-3-е изд., доп. М.: Энергия, 1979. – 320., ил.
4. Бунин С.Г. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью / С.Г. Бунин, А.П. Войтер. - К.: Техника, 1989. - 223 с.
5. Лапшин Е. Си-Би радиосвязь для всех / Е. Лапшин. - М.: Солон, 1997. - 208 с., ил.
6. Ефремов В. Универсальный измеритель КСВ / В. Ефремов. - Радиолюбитель, 1994. - N1. - С. 58-59.
7. Поляков В. Упорядочение эфира и когерентная радиосвязь / В. Поляков. - Радиоежегодник, 1989. - С. 9.