

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ РАДИОПЕРЕДАТЧИКА МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

А.А. Бурова, аспирант ОАО «Российский Институт Мощного Радиостроения»; anya_burova@mail.ru

О.Э. Кильдишева, генеральный директор ОАО «Российский Институт Мощного Радиостроения», к.т.н., доцент

Ключевые слова: антенно-согласующее устройство, антенно-фидерный тракт, радиопередающее устройство, усилитель с распределенным усилением, помехи, время настройки.

Введение. Одним из ключевых вопросов при разработке радиопередающего устройства (РПДУ) является согласование импеданса выходного усилителя мощности РПДУ с входным импедансом антенно-фидерного тракта (АФТ). Рассогласование приводит к следующим негативным последствиям:

- снижение КПД, вызванное отражением части мощности от нагрузки;
- опасность выхода из строя усилительных элементов;
- ухудшение неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).

В КВ-диапазоне сложность согласования обуславливается большим коэффициентом перекрытия по диапазону, равным 20 (1,5...30 МГц) [1]. При необходимости работы РПДУ в широком диапазоне рабочих частот на различные антенны для решения задачи согласования применяют антенно-согласующие устройства (АнСУ).

В настоящее время в связи с появлением современных мощных транзисторных РПДУ и различных видов связи, требующих быстрой перестройки, четко выделилась задача создания быстродействующих АнСУ. Особенно остро она стоит при разработке радиолиний, работающих в режиме псевдослучайной перестройки частоты (ППРЧ) и адаптивных по частоте радиолиний (обусловлено высокими требованиями по времени перестройки с одной частоты на другую).

Применение АнСУ с заранее запрограммированными каналами памяти, содержащими настройки для конкретной антенны, неэффективно в условиях реального радиоцентра, когда РПДУ работает на большое число различных антенн. Кроме того, характеристики антенн могут изменяться в режиме реального времени под влиянием различных факторов, вследствие чего использование «запомненных» настроек может привести к неточному согласованию.

В свете предъявляемых требований по скорости перестройки распространенные АнСУ с механической перестройкой элементов согласующего контура [2] оказываются непригодными, так как не обладают достаточным быстродействием. Кроме того, в устройствах такого типа происходит изнашивание механических частей.

Также новым задачам не соответствуют коммутационные устройства, работающие по методу итерационного подбора и обеспечивающие согласование реактивных элементов (для мощных РПДУ время коммутации составляет несколько секунд). К недостаткам устройств такого типа (помимо недостаточной скорости перестройки) можно также отнести уменьшение ресурса мощных коммутационных реле при осуществлении перебора.

Анализ известных сегодня АнСУ показал, что наиболее перспективными с точки зрения быстродействия являются автоматические АнСУ с расчетным методом настройки [3–5]. Время настройки таких АнСУ минимально по сравнению с устройствами других типов, однако на текущий момент они не полностью соответствуют требованиям к обеспечению работы ППРЧ.

Условиям работы в режиме ППРЧ удовлетворяют широкополосные усилители мощности с распределенным усилением (УРУ), заменившие схему многокаскадного усиления с контуром настройки в каждом каскаде [1]. Схема РПДУ на УРУ решает проблему перестройки передатчика с одной частоты на другую, поскольку исключает сам процесс перестройки. Тем не менее такая схема обладает существенными недостатками: необходимостью погашения мощности на балластной нагрузке, что приводит к значительному снижению КПД и усилению внеполосных и побочных излучений на выходе УРУ.

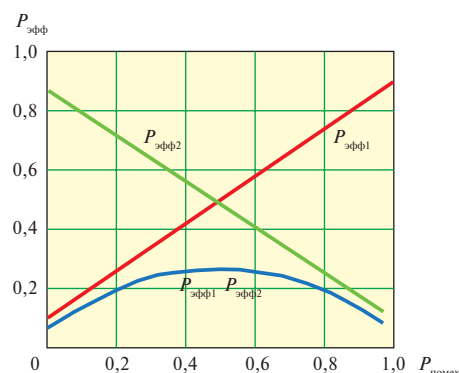
Таким образом, обозначены две проблемы: для передатчиков, работающих на рассогласованную нагрузку, — повышение КПД и снижение внеполосных и побочных излучений; для передатчиков, работающих с АнСУ, — сокращение времени процесса согласования.

Постановка и решение задачи. С учетом сформулированных проблем на практике возникает задача выбора типа РПДУ, работающего в заданных условиях. Для решения поставленной задачи применим разработанную ранее методику [6, 7], основанную на методе анализа иерархий [8]. Иерархия состоит из трех уровней.

1 уровень. Цель: отобрать тип (схему построения) РПДУ большой мощности, в наивысшей степени удовлетворяющий заданным требованиям (критериям).

2 уровень. Критерии: K_1 — коэффициент полезного действия; K_2 — время перестройки с одной частоты на другую.

3 уровень. Альтернативы: A_1 — вариант схемы на УРУ без настройки на нагрузку; A_2 — вариант схемы РПДУ, работающего с АнСУ.



В соответствии с методикой [6] определим: какой из критериев важнее?. Ответ на этот вопрос будет разным в зависимости от условий. При создании преднамеренных помех важно иметь возможность реализовать режим ППРЧ, т.е. быстрое действие АнСУ при перестройке с одной частоты на другую должно быть максимальным. Тогда критерий $K2$ существенно важнее $K1$ и матрица парных сравнений критериев имеет вид:

	$K1$	$K2$		ВЛП*
$K1$	1	1/7	0,38	0,125
$K2$	7	1	2,65	0,875
	8	1,42	3,03	1

* ВЛП – вектор локальных приоритетов.

В обычных условиях, когда преднамеренные помехи не ставятся, необходимости применять режим ППРЧ нет, а важно рационально использовать электроэнергию и обеспечивать нормальную работу адаптивных КВ-радиолиний. В этом случае более важным становится критерий $K1$.

Матрица парных сравнений критериев принимает вид:

	$K1$	$K2$		ВЛП
$K1$	1	9	3	0,9
$K2$	1/9	1	0,33	0,1
	1,1	10	3,33	1

В условиях, когда вероятность наличия и отсутствия преднамеренных помех одинакова, то критерии равноценны, и матрица парных сравнений критериев имеет вид:

	$K1$	$K2$		ВЛП
$K1$	1	1	1	0,5
$K2$	1	1	1	0,5
	2	2	2	1

Сравним каждую из альтернатив по каждому из критериев, задавая вопрос: какая из альтернатив по данному критерию лучше?

Составим матрицы парных сравнений:

	$A1$	$A2$		ВЛП
$A1$	1	1/5	0,45	0,168
$A2$	5	1	1,23	0,832
	6	1,2	2,68	1

	$A1$	$A2$		ВЛП
$A1$	1	6	2,45	0,86
$A2$	1/6	1	0,41	0,14
	1,17	7	2,86	1

Синтезируем иерархии для двух условий работы радиолиний с альтернативами $A1$ и $A2$. Для этого умножим матрицу векторов локальных приоритетов, полученную из итоговых столбцов матриц (4) и (5), на (1) и (2) соответственно:

$$\begin{pmatrix} 0,168 & 0,86 \\ 0,832 & 0,14 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,125 \\ 0,875 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,77 \\ 0,23 \end{pmatrix}; \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} 0,168 & 0,86 \\ 0,832 & 0,14 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,9 \\ 0,1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,24 \\ 0,76 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Таким образом, при наличии преднамеренных помех наиболее эффективно применение альтернативы $A1$ (вариант схемы УРУ без настройки на нагрузку способен работать в режиме ППРЧ), а в обычных условиях, когда преднамерен-

ные помехи отсутствуют, наиболее эффективна альтернатива $A2$ (вариант схемы РПДУ, работающего с АнСУ, позволяет добиться максимального КПД).

В условиях, когда вероятность наличия и отсутствия преднамеренных помех одинакова, синтезированная иерархия принимает вид:

$$\begin{pmatrix} 0,168 & 0,86 \\ 0,832 & 0,14 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,514 \\ 0,486 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Из выражений (1) – (5) видно, что как значимость критериев, так и показатели эффективности по существу линейным образом зависят от вероятности реализации условий (будут создаваться преднамеренные помехи или нет). Зависимость частных показателей эффективности от вероятности создания преднамеренных помех показана на рисунке.

Зависимости показателей эффективности от вероятности создания помех описываются системой линейных уравнений:

$$\begin{cases} P_{эфф1} = P_n P(A_1 | n) + (1 - P_n) P(A_1 | o); \\ P_{эфф2} = P_n P(A_2 | n) + (1 - P_n) P(A_2 | o), \end{cases} \quad (9)$$

где P_n – вероятность работы при наличии преднамеренных помех; $P(A_1 | n)$ и $P(A_1 | o)$ – показатели эффективности для критерия A_1 при наличии и отсутствии преднамеренных помех, соответственно; $P(A_2 | n)$ и $P(A_2 | o)$ – показатели эффективности для критерия A_2 при наличии и отсутствии преднамеренных помех, соответственно.

Поскольку методов прогноза вероятности начала постановки преднамеренных помех на длительный период нет и быть не может, то вопрос о выборе единственного варианта схемы, обеспечивающей согласование выходного тракта РПДУ, может решаться субъективными методами по желанию заказчика.

Объективным решением, не зависящим от условий работы, может стать схема, совместно реализующая оба варианта: с использованием АнСУ и в обход АнСУ. Это следует из того, что если в качестве обобщенного показателя взять вероятность совместного выполнения обоих критериев (КПД и быстродействия), то максимум этого показателя (произведение $P_{эфф1} P_{эфф2}$) будет приходиться на максимум неопределенности помеховой обстановки ($P_n = 0,5$).

Вывод. 1. Для эффективной работы в составе современных радиолиний специального назначения РПДУ должны удовлетворять как минимум двум основным требованиям – высокому КПД на стыке «выходной каскад РПДУ – вход АФТ» и минимальному времени перестройки РПДУ с одной частоты на другую в режимах ППРЧ и при работе в составе частотно-адаптивной радиолинии.

2. Выполнение первого требования достигается путем разработки и внедрения АнСУ, время перестройки которых пока не в полной мере удовлетворяет требованиям при работе радиолинии в режимах ППРЧ и частотной адаптации. Выполнение требований по времени перестройки РПДУ с одной частоты на другую реализуется схемой построения РПДУ как усилителя с распределенным усилением. Однако это существенно снижает КПД передатчика.

3. Сегодня комплексным решением, удовлетворяющим этим требованиям, может стать схема построения РПДУ, позволяющая работать при отсутствии преднамеренных помех с применением АнСУ, а при их наличии – по схеме в обход АнСУ.

4. Особенно актуальной представляется задача разработки новых быстродействующих АнСУ. Как было показано выше, наиболее перспективными являются автоматизированные АнСУ с расчетным методом настройки. В [3, 4] предложено устройство, обеспечивающее согласование ВЧ-тракта РПДУ с антеннами любого типа в диапазоне частот 3...30 МГц.

В настоящее время создан лабораторный макет данного АнСУ и проведены экспериментальные исследования, подтвердившие работоспособность предложенного метода настройки и обеспечившие коэффициент бегущей волны (КБВ) в тракте после согласования на уровне не хуже 0,7 во всей полосе рабочего диапазона при работе на рассогласованные нагрузки с исходным КБВ не хуже 0,3. Суммарное время настройки такого АнСУ не превышает 60 мс, что удовлетворяет требованиям по скорости переключения при работе на заранее подготовленные частоты. В ближайшее время планируется создание опытного образца и проведение испытаний его работы в составе реального РПДУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Муравченко В.Л.** Работа широкополосных усилителей мощности на рассогласованные нагрузки. — СПб.: Научно-исследовательский центр связи ВМФ, 2011.
2. http://www.tokyohypower.com/hc-1_5kat.html Datasheet HC-1.5KAT Tokyo Hy-Power HF auto antenna tuner.
3. **Бурова А.А., Калинин А.Л., Леппа В.Р.** Мощное антенно-согласующее устройство с повышенным быстродействием // Электросвязь. — 2012. — №4. — С. 56–58.
4. Патент РФ № 114244. Антенно-согласующее устройство / Бурова А.А., Калинин А.Л., Леппа В.Р. — 2012.
5. Патент РФ № 78999. Антенно-согласующее устройство / Богданов А.В., Попов Ю.А., Кирякин А.В., Марченко Д.Н. — 2008.
6. **Кильдишева О.Э.** Методика определения уровня развития образцов техники связи // Электросвязь. — 2011. — № 4.
7. **Кильдишева О.Э., Лобов С.А., Чемиренко В.П.** Методология и технология обоснования программ создания и развития систем и техники связи ВМФ. — СПб: 24 ЦНИИ МО, 2006.
8. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Сов. Радио, 1989.

Получено 31.01.13