

## АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА

УДК 621.396.662

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ АНТЕННО-СОГЛАСУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД НАСТРОЙКИ

А.А. Смаль, аспирант ОАО «Российский институт мощного радиостроения»; smal\_aa@mail.ru

О.Э. Кильдишева, доцент, ОАО «Российский институт мощного радиостроения», к.т.н.

**Ключевые слова:** антенно-согласующее устройство, радиопередающее устройство, быстрдействие, погрешность согласования, коэффициент стоячей волны.

**Введение.** В радиопередающих устройствах (РПДУ) коротковолнового (КВ) диапазона, работающих с большим коэффициентом перекрытия по частоте (1,5...30 МГц), для обеспечения согласования импеданса выходного усилителя мощности РПДУ с входным импедансом антенно-фидерного тракта (АФТ) необходимо применение антенно-согласующих устройств (АнСУ). На сегодняшний день актуальной является задача разработки мощных АнСУ КВ диапазона, обеспечивающих максимально быструю и точную настройку [1]. Предъявляемым высоким требованиям к быстрдействию в наибольшей мере отвечают АнСУ с измерительно-вычислительным методом настройки, в которых включение в тракт согласующих элементов с необходимыми параметрами производится одновременно, что позволяет избежать перекоммутаций и существенно сократить время настройки по сравнению с АнСУ поискового типа. Для оценки точности настройки, обеспечиваемой АнСУ с измерительно-вычислительным методом настройки, рассмотрим одно из устройств данного типа.

**Основные составляющие погрешности АнСУ, использующего измерительно-вычислительный метод настройки.** В [2,3] представлено АнСУ, использующее указанный метод настройки, в котором согласующий контур состоит из длинной линии с дискретно коммутируемой длиной и шунтирующего ее вход магазина конденсаторов.

Такая линия содержит отрезки различной электрической длины, при этом каждый отрезок с помощью вакуумных переключателей может быть подключен последовательно к остальным линиям или отключен от них, вследствие чего суммарная электрическая длина линий может меняться ступенями. Магазин конденсаторов выполнен в виде набора емкостей, соединенных в самостоятельные узлы, подключаемые с помощью вакуумных переключателей. Суммарная электрическая длина линий может меняться от 0 до почти

50 м ( $\lambda/2$ ) ступенями через 0,1 м; суммарная емкость дискретного конденсатора – от 0 до 1275 пФ через 5 пФ.

Параметры тракта вычисляются путем измерений напряжений ( $U_a, U_b, U_{ab}, U_{ab1}, U_{ab2}$ ) в контрольных точках моста, в одно из плеч которого включен высокочастотный (ВЧ) тракт (рис. 1).

Исходя из измеренных напряжений, по записанным в память микроконтроллера формулам вычисляются требуемые для обеспечения согласования номиналы элементов согласующего контура: емкость корректирующего конденсатора ( $C$ ) и суммарная длина коммутируемых отрезков длинной линии ( $L$ ):

$$C = \frac{U_{ab}}{\pi f z \sqrt{U_b^2 + U_{ab}^2}}; \quad (1)$$

$$L = \begin{cases} \frac{ck}{4\pi f} \left( 2\pi - \arccos\left(\frac{U_b^2 + U_{ab}^2 - U_a^2}{2U_b U_{ab}}\right) + \arccos\left(\frac{U_{ab}}{U_b}\right) \right), & \text{если } U_{ab1} \geq U_{ab2}; \\ \frac{ck}{4\pi f} \left( \arccos\left(\frac{U_b^2 + U_{ab}^2 - U_a^2}{2U_b U_{ab}}\right) + \arccos\left(\frac{U_{ab}}{U_b}\right) \right), & \text{если } U_{ab1} < U_{ab2}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $U_a, U_b, U_{ab}, U_{ab1}, U_{ab2}$  – измеренные напряжения, В;  $k$  – коэффициент укорочения длины волны в линии;  $f$  – рабочая частота, Гц;  $c$  – скорость света, м/с.

На последнем этапе с платы управления АнСУ подается команда на подключение необходимых конденсаторов и длинных линий.

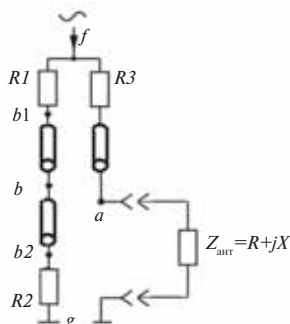
Теоретически предложенный в [1, 2] измерительно-вычислительный метод настройки АнСУ позволяет определять номиналы элементов согласующего контура, обеспечивающие максимально точное согласование (коэффициент бегущей волны (КБВ) в тракте после согласования равен 1,0), что подтверждается результатами компьютерного моделирования работы устройства. На практике влияние ряда факторов, вызывающих появление погрешности при определении номиналов элементов согласующего контура, приводит к неточному согласованию ( $\text{КБВ} \leq 1,0$ ). Рассмотрим основные составляющие погрешности:

1) погрешность измерения напряжений  $U_a, U_b, U_{ab}, U_{ab1}, U_{ab2}$ , вызванная вкладом шумовой составляющей и приводящая к возникновению погрешности при вычислении номиналов элементов согласующего контура, требуемых для обеспечения согласования;

2) погрешность, определяемая согласующим контуром:

- погрешность согласования, возникающая при округлении рассчитанных значений номиналов элементов согла-

Рис. 1



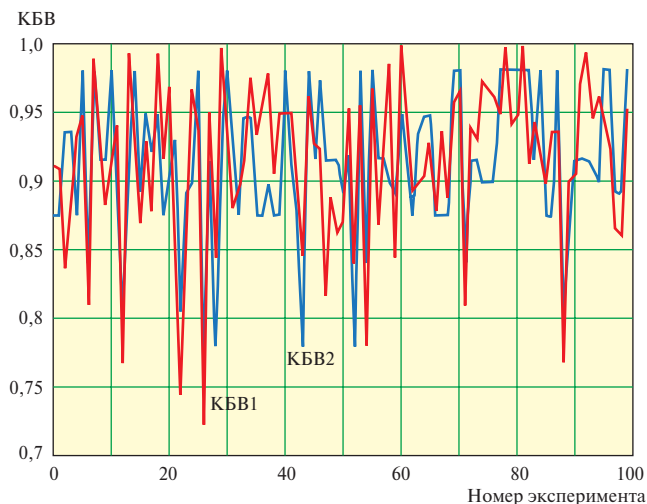


Рис. 2

сующего контура до ближайших имеющихся в дискретном наборе, обусловленная конечной разрешающей способностью элементов органов настройки;

- погрешность номиналов элементов согласующего контура, вызванная наличием паразитных конструктивных индуктивностей и емкостей, приводящих к отклонению реального номинала согласующего элемента от его требуемого значения. При этом необходимо учитывать суммарную погрешность при наборе нужного номинала из нескольких дискретно коммутируемых элементов.

В качестве примера влияния рассмотренных погрешностей на точность согласования приведем результаты для серии из 100 экспериментов по согласованию нагрузки с исходным  $KBB=0,3$ . Для каждого из 100 векторов измеренных зашумленных значений напряжений  $U_a, U_b, U_{ab}, U_{ab1}, U_{ab2}$  в соответствии с (1), (2) были вычислены соответствующие значения  $L$  и  $C$ , после чего определена величина погрешности. В результате было получено  $L=(2,2\pm 0,15)$  м,  $C=(175\pm 9)$  пФ, в то время как требуемые для обеспечения полного согласования ( $KBB=1,0$ ) номиналы элементов согласующего контура для исследуемой нагрузки  $L=2,23$  м,  $C=173$  пФ. Имеющаяся погрешность в определении номиналов элементов согласующего контура приводит к неполному согласованию. Как видно из рис. 2, для исследованной в данном эксперименте рассогласованной нагрузки  $KBB$  в тракте после согласования принимает значения из диапазона  $0,72 \leq KBB \leq 1,0$ . На рис. 2 красным показаны значения  $KBB1$  в тракте после согласования без учета округления расчетных номиналов элементов согласующего контура до ближайших имеющихся в наборе, синим – значения  $KBB2$ , полученные с учетом округления. Здесь видно неоднозначное влияние второй составляющей погрешности, которая в некоторых случаях позволяет частично скомпенсировать ошибки, вызванные погрешностью измерений.

Из-за наличия объективных факторов, неминуемо приводящих к появлению погрешности, на практике, как правило, задают допустимый уровень рассогласования. Например, для рассматриваемого АНСУ допустимый уровень рассогласования ограничен  $KBB \geq 0,7$ . Экспериментально подтверждено, что данное требование для рассматриваемого устройства полностью выполняется на всех частотах рабочего диапазона при обеспечении согласования различных комплексных нагрузок с исходным  $KBB$  в рассогласованном тракте в диапазоне  $0,3 \leq KBB \leq 0,7$ . Диапазон исследованных нагрузок, представленный на диаграмме Вольперта-Смита, приведен на рис. 3.

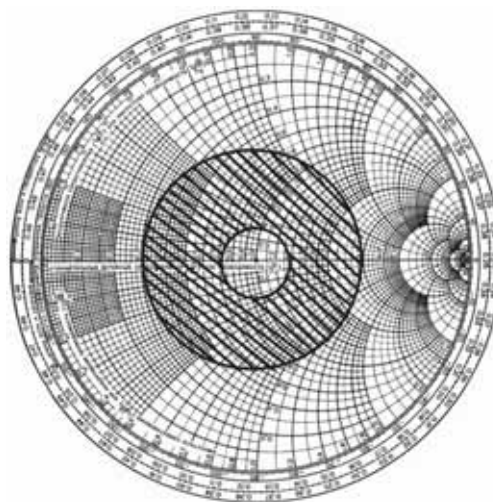


Рис. 3

**Возможные пути повышения точности согласования.** Для передачи в нагрузку полной мощности требуется обеспечить максимально точное согласование. Для рассматриваемого устройства могут быть предложены следующие способы минимизации погрешности согласования:

- предварительная оценка реальных параметров номиналов элементов согласующего контура. Для получения этой оценки целесообразно проводить компьютерное моделирование работы схем замещения блоков согласующего контура, в которых учтено влияние паразитных составляющих и высокочастотных частей коммутирующих элементов [4]. Подобный анализ позволяет скорректировать параметры элементов согласующего контура и обеспечить его построение таким образом, чтобы суммарная погрешность номинала любого элемента контура (с учетом суммарной погрешности составляющих) не превышала его разрешающей способности;
- доработка программного обеспечения вычислительного блока АНСУ с обеспечением учета в расчетных формулах неточности подбора номиналов элементов  $L$  и  $C$ . Подобная доработка позволит снизить погрешность, обусловленную конечной разрешающей способностью согласующего контура;
- накопление массива зашумленных значений напряжений, используемых в дальнейших расчетах, и их дальнейшая статистическая обработка позволяют снизить погрешности вычисления номиналов элементов согласующего контура;

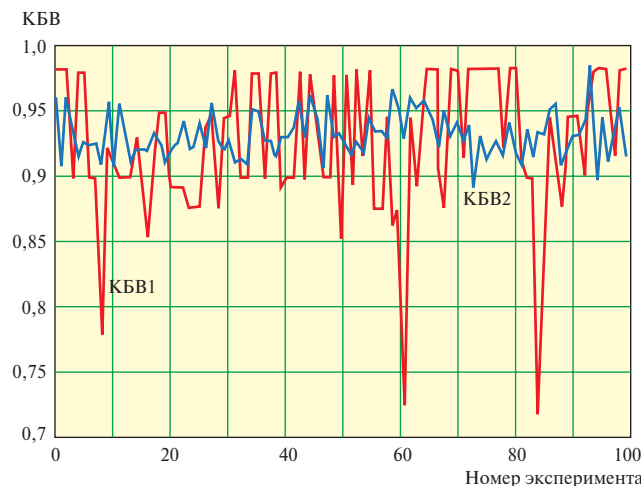


Рис. 4

• контроль значения КБВ в тракте после настройки с возможностью повторной настройки в случае превышения порога допустимого рассогласования.

Эффективность предложенных выше способов повышения точности настройки АнСУ подтверждается практическими экспериментами. В качестве примера на рис. 4 красным показан график получаемых значений КБВ1 при расчете номиналов элементов согласующего контура непосредственно по измеренным зашумленным значениям напряжений; синим — график получаемых значений КБВ2 при расчете номиналов элементов согласующего контура по усредненным значениям напряжений для выборки из 100 отсчетов.

Из рис. 4 видно, что для исследованной нагрузки благодаря произведенной обработке удалось обеспечить КБВ2 в тракте после согласования на уровне не хуже 0,9, однако, так как на накопление и обработку массива отсчетов требуется время, «платой» за повышение точности настройки АнСУ является снижение быстродействия устройства.

**Заключение.** Практическая реализация способов повышения точности согласования АнСУ, использующих измерительно-вычислительный метод настройки, сопряжена с

увеличением трудоемкости и времени, требуемого для конечной настройки, вследствие чего выбор путей минимизации погрешности осуществляется в каждом конкретном случае в зависимости от типа решаемой задачи и имеющихся ограничений по времени настройки и допустимому рассогласованию.

---

*ЛИТЕРАТУРА:*

---

1. Бурова А.А., Кильдишева О.Э. Выбор рациональной схемы радиопередатчика методом анализа иерархий // Электросвязь. — 2013. — № 3. — С. 54–56.
2. Бурова А.А., Калинин А.Л., Леппа В.Р. Мощное антенно-согласующее устройство с повышенным быстродействием. // Электросвязь. — 2012. — №4. — С. 56–58.
3. Бурова А.А., Калинин А.Л., Леппа В.Р. Антенно-согласующее устройство. Патент РФ № 114244, 2012 г.
4. Петухов Н.А. Моделирование элементов согласующего контура устройства согласования антенн ДКМВ-диапазона. — Сб. докладов XIX международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». Том 2. С.792-797. — Воронеж, 2013 г.

*Получено 28.05.13.*