

УДК 621.37

О.М.Урлапова (6 курс, каф. РТиТК), В.А.Сороцкий, к.т.н., доц.

## ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АНТЕННО-СОГЛАСУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СВЕРХМОЩНЫХ РПДУ СВЕРХНИЗКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

Один из наиболее перспективных методов предсказания землетрясений и исследования Земной коры в геофизике заключается в зондировании Земной коры с помощью электромагнитных волн с частотой от десятков до сотен герц. Учитывая, что в данном диапазоне размеры антенны  $L \ll \lambda$ , где  $\lambda$  -длина волны, для формирования указанных колебаний необходимо радиопередающее устройство (РПДУ) с выходной мощностью до нескольких мегаватт [1].

РПДУ с выходной мощностью такого уровня имеют чрезмерно большие массогабаритные характеристики. Появление силовых полупроводниковых приборов нового поколения, таких как запираемые IGBT-тиристоры и IGBT-транзисторы, позволило существенно уменьшить массогабаритные характеристики ключевых генераторов (КГ), входящих в состав РПДУ, но не решило проблему полностью. На сегодняшний день одним из основных узлов, определяющих массогабаритные характеристики РПДУ в целом, является антенно согласующее устройство (АСУ).

АСУ должно обеспечивать согласование антенны с КГ в заданном диапазоне частот от  $f_{\min}$  до  $f_{\max}$  с возможностью перестройки рабочей частоты с шагом  $\Delta f$  от десятых долей герца и выше. При этом точность согласования оказывает влияние на уровень излучаемой РПДУ мощности, отклонение которой от номинального значения вследствие погрешности согласования не должно превышать заданного значения.

Учитывая, что в указанном диапазоне частот входное сопротивление антенны имеет индуктивный характер, согласование осуществляется путем включения на входе антенны набора согласующих конденсаторов, коммутация которых на каждой рабочей частоте обеспечивает соответствующее значение емкости. Данная задача может быть решена посредством включения согласующих конденсаторов в виде лестничной структуры с применением математического аппарата цепных дробей, который, как известно, обеспечивает наибольшую точность среди методов приближения рациональных дробей [2]. Ограничения, накладываемые на количество используемых конденсаторов и номиналы их емкостей, снижают точность аппроксимации требуемой емкости.

Целью данной работы является рассмотрение особенностей построения АСУ, исходя из заданных требований к шагу перестройки частоты в рабочем диапазоне и постоянству уровня излучаемой мощности, а также оценка возможностей уменьшения установленной мощности электротехнического оборудования АСУ за счет введения допустимой погрешности компенсации реактивной составляющей входного сопротивления антенны.

Для решения поставленной цели в ходе работы были решены следующие задачи:

- определена требуемая точности аппроксимации емкости АСУ при соблюдении требований по шагу перестройки частоты и допустимому отклонению мощности излучаемого сигнала РПДУ от номинальной величины;
- определены номиналы согласующих конденсаторов, необходимых для полной компенсации реактивной составляющей сопротивления антенны;
- рассчитаны погрешности, вносимые сокращением числа звеньев и округлением номиналов согласующих конденсаторов с целью уменьшения установленной мощности электротехнического оборудования АСУ.

В ходе работы были получены соотношения для относительного изменения емкости в зависимости от относительного отклонения излучаемой мощности РпДУ от номинала (1) и относительной перестройки частоты (2), позволяющие определить максимальное отклонение емкости для обеспечения заданных требований по постоянству уровня излучаемой и шагу перестройки частоты:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{1}{1 - \frac{R(\omega)}{X(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{\frac{\Delta P}{P}}{1 - \frac{\Delta P}{P}}}} - 1, \quad (1)$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\omega_i - \omega_{i-1}}{\omega_i}\right)^2} - 1. \quad (2)$$

Например, при величине допустимого отклонения по мощности 3% и относительному шагу перестройки частоты 1% максимальная относительная погрешность емкости должна составлять не более 3%, что соответствует второму знаку после запятой в нормированных единицах.

Полученное таким образом значение требуемой точности емкости определяет номиналы согласующих конденсаторов, а также количество звеньев, необходимых для представления этого значения через цепную дробь, причем увеличение точности представления сопровождается ростом числа звеньев цепной дроби. Так для обеспечения точности значений  $10e-2$  требуется не более 7 звеньев, а для точности  $10e-3$  не более 11, точность  $10e-4$  требует не более 15 звеньев.

Зависимость максимальных номиналов согласующих конденсаторов по всем звеньям от величины требуемой емкости носит псевдослучайный характер, однако более 90% номиналов емкостных блоков лежат в некотором ограниченном диапазоне значений, в то время как оставшиеся принимают значения до пяти раз превышающие максимальные значения обозначенного диапазона.

Реализация согласующих конденсаторов, соответствующих подобным «пиковым» значениям коэффициентов цепной дроби затруднительна и приводит к увеличению энергетических и массогабаритных характеристик комплекса в целом.

В ряде случаев, при заданной точности представления емкости, уменьшения энергетических и массогабаритных характеристик АСУ можно достичь приближением точного значения емкости посредством округления ряда коэффициентов звеньев цепи до величин имеющихся номиналов или до значения коэффициентов звеньев, соответствующих соседним частотам, а также сокращением числа звеньев цепной дроби, эквивалентного обнулению последних коэффициентов дроби. В работе показано, что приемлемость первого подхода определяется номером звена цепной дроби, к которому относится данный коэффициент, а также отношением коэффициентов данного звена, соответствующих соседним частотам. Так замена коэффициентов на половинные значения для последних звеньев приводит к погрешностям в десятые доли процента, для средних звеньев погрешность измеряется единицами процентов, а для дробей, представляемых единственным звеном, погрешность емкости может достигнуть 80%. При пересчете данных отклонений емкости в относительное отклонение уровня мощности, излучаемой РпДУ, значения погрешностей составляют соответственно 0,02%, 0,6% и 92%, из чего можно сделать вывод, что замена номиналов согласующих конденсаторов на номиналы, соответствующие соседним частотам, допустима с точки зрения требуемой точности в случаях, когда для представления емкости требуется более одного звена. Уменьшение отношения точного и округленного коэффициентов значительно снижает указанную емкостную погрешность. Так,

замена одного из первых коэффициентов цепной дроби на округленное значение, отличающееся не более чем на 7%, приводит к погрешности в значении дроби не более 0,5%, что соответствует погрешности в уровне излучаемой мощности 0,15% и приемлемо в рамках поставленной задачи.

Использование второго метода также дает приемлемые, с точки зрения допустимых погрешностей, результаты. Например, сокращение числа звеньев дроби с 7 до 5 приводит к отклонению излучаемой мощности от номинальной не более чем на 0,65%, а уменьшение числа звеньев до 4 приводит к отклонениям не превышающим 1,8% при допустимой погрешности 3%. Приведены результаты расчетов и зависимости указанных выше характеристик.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Р.Х.Бальян, М.А.Сиверс. Тиристорные генераторы и инверторы. 1982.
2. Математический анализ. Функции. Пределы, ряды, цепные дроби. Ред. Л.Я.Люстернак, А.Р.Янпольский, М.: ГИТЛ, 1961.