

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
П-ОБРАЗНОГО СОГЛАСУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА
В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ВХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН**

А.И. Колодин, В.М. Жуков

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; kolodin_aleksandr@bk.ru*

Ключевые слова и фразы: антенна; коэффициент бегущей волны; согласующее устройство.

Аннотация: Получены расчетные формулы, позволяющие определить предельные величины реактивностей П-образного согласующего устройства, работающего на нагрузки с любым коэффициентом бегущей волны.

Современные радиопередающие устройства коротковолнового и ультракоротковолнового диапазонов должны работать, как правило, на несколько разнотипных антенн. Для такого радиопередатчика расчет согласующего устройства (СУ) должен проводиться с учетом следующих обстоятельств:

1) число антенн как на подвижных, так и на стационарных объектах связи может достигать 10–12;

2) сопротивления антенн изменяются от погодных условий и условий их развертывания;

3) на стационарных объектах длина кабеля, соединяющего согласующее устройство с устройством симметрирования и коммутации антенн, различна и не всегда заранее известна разработчику.

В таких случаях можно считать, что входные характеристики антенн априорно неопределенны, а область возможных значений их сопротивлений на круговой диаграмме сопротивления (или проводимости) целесообразно задать в виде круга, ограниченного окружностью минимально возможного коэффициента бегущей волны (КБВ) в антенно-фидерном тракте, и расчет согласующего устройства производить исходя из данного значения КБВ. Схема согласующего устройства выбирается такой, чтобы заданная в виде круга требуемая область согласования совпадала или находилась бы внутри области согласования СУ.

Оптимальным в смысле совпадения требуемой и фактической областей согласования является в этом случае СУ, имеющее в качестве органов настройки линию с изменяющейся длиной и подключенный к ее входу переменный конденсатор или шлейф. Однако в современных радиопередатчиках с широкополосными усилителями мощности в целях лучшего подавления высших гармонических составляющих сигнала согласующее устройство желательно строить по схеме фильтра низких частот. Часто применяется П-образное согласующее устройство с тремя переменными органами настройки, показанное на рис. 1.

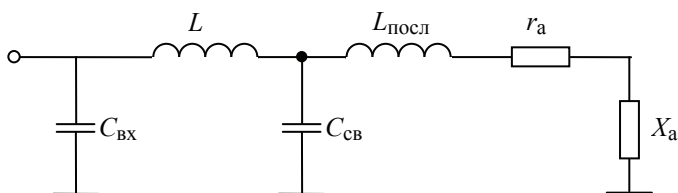


Рис. 1. П-образное согласующее устройство:

r_a и X_a – активное и реактивное сопротивления антенны соответственно;
 $C_{вх}$ – входная емкость; $C_{св}$ – емкость связи контура с нагрузкой; L – катушка
 переменной индуктивности; $L_{посл}$ – последовательная индуктивность

Анализ работы СУ весьма наглядно проводится методом круговых диаграмм [1], который можно эффективно применить и для аналитического расчета величин органов настройки согласующих четырехполюсников и синтеза их алгоритмов настройки. Рассмотрим П-образный контур.

На комплексной плоскости сопротивления линия постоянной активной проводимости (g -окружность) описывается уравнением

$$\left(R - \frac{1}{2g}\right)^2 + x^2 = \left(\frac{1}{2g}\right)^2; \quad (1)$$

линия постоянной реактивной проводимости (b -окружность)

$$R^2 + \left(x + \frac{1}{2b}\right)^2 = \left(\frac{1}{2b}\right)^2; \quad (2)$$

линия постоянного КБВ

$$\left(R - \frac{1+k^2}{2k}\right)^2 + x^2 = \left(\frac{1-k^2}{2k}\right)^2, \quad (3)$$

где k – КБВ.

На комплексной плоскости проводимости R -, x - и k -окружности соответственно описываются уравнениями:

$$\left(g - \frac{1}{2R}\right)^2 + b^2 = \left(\frac{1}{2R}\right)^2; \quad (4)$$

$$g^2 + \left(b + \frac{1}{2x}\right)^2 = \left(\frac{1}{2x}\right)^2; \quad (5)$$

$$\left(g - \frac{1+k^2}{2k}\right)^2 + b^2 = \left(\frac{1-k^2}{2k}\right)^2. \quad (6)$$

Будем считать, что в уравнениях (1) – (6), а также во всех последующих выражениях, значения R , x , g , b нормированы по отношению к величине входного сопротивления настроенного СУ. При этом полагаем, что данная величина равна волновому сопротивлению кабеля, соединяющего выход СУ с антенным коммутатором. Пусть величина минимально возможного КБВ в фидере равна k_0 , то есть требуемая область согласования на рис. 2 находится внутри окружности k_0 .

Пользуясь уравнениями (1) – (6), выведем формулы для расчета предельных значений реактивностей П-образного СУ для данного случая. С учетом собственных потерь П-образного контура и пересчитанного через емкость $C_{св}$ сопротивления антенны схему (см. рис. 1) можно изобразить в виде, показанном на рис. 3.

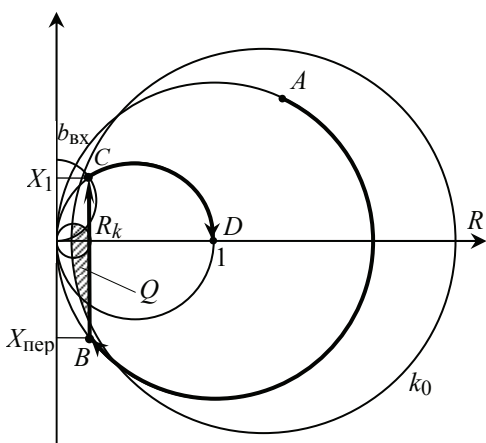


Рис. 2. Диаграмма сопротивлений

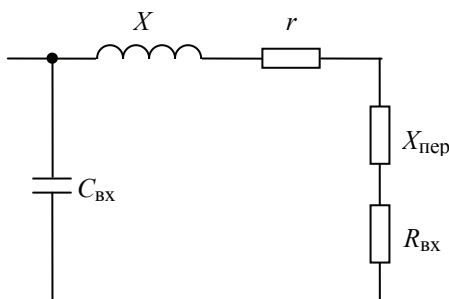


Рис. 3. Схема П-образного СУ с учетом трансформации опротивлений: r – сопротивление собственных потерь контура; $R_{вх}$ – активное внесенное в контур сопротивление; $X_{пер}$ – реактивное пересчитанное через емкость $C_{св}$ в контур сопротивление; X – сопротивление контурной катушки индуктивности

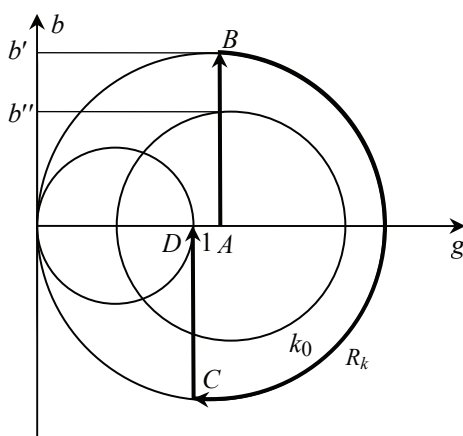


Рис. 4. Диаграмма проводимостей

Обозначим суммарное активное сопротивление контура через

$$R_k = R_{вн} + r,$$

где $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление контура.

Процесс трансформации сопротивления (проводимости) антенны при последовательной регулировке $C_{св}$, L , $C_{вх}$ изображен кривой $ABCD$ на рис. 2 и 4. Участок AB соответствует увеличению $C_{св}$, BC – увеличению L , CD – увеличению $C_{вх}$.

Величина вносимого в контур активного сопротивления $R_{вн}$ выбирается из следующих соображений. Как видно из рис. 2, чем меньше R_k , тем шире область согласования П-образного СУ [2].

Величину $R_{вн}$ необходимо выбрать такой, чтобы требуемая зона согласования оказалась внутри области согласования СУ, то есть чтобы выполнялось условие $R_k \leq k_0$. Однако при этом следует иметь ввиду следующие обстоятельства:

1) контурный ток

$$J = \sqrt{\frac{P}{R_{вн} + r}} = \sqrt{\frac{P}{R_k}} \quad (7)$$

не должен превышать заданной величины; здесь P – подводимая к контуру мощность;

2) коэффициент полезного действия контура

$$\eta = \frac{R_{вн}}{R_{вн} + r} = \frac{R_{вн}}{R_k} \quad (8)$$

не должен быть ниже требуемого.

Исходя из заданного значения k_0 с учетом выражений (7) и (8) выбирается величина $R_{вн}$, которая может оказаться такой, что появится зона Q вне области согласования П-образного СУ. В этом случае в антенну последовательно включается индуктивность.

Из рисунка 2 видно, что при выбранной величине $R_k = \text{const}$, проводимость $b_{вх}$ входной емкости $C_{вх}$

постоянна. То есть для того чтобы контурный ток и КПД согласующего контура не зависели от сопротивления антенны, проводимость входного элемента должна оставаться постоянной, а настройка СУ осуществляться с помощью элементов L и $C_{св}$.

Величину проводимости $b_{вх}$ можно определить из уравнения (4) при значениях $R = R_k$ и $g = 1$:

$$b_{вх} = \sqrt{\frac{1 - R_k}{R_k}}. \quad (9)$$

Как видно из рисунка 2, величина сопротивления катушки индуктивности у настроенного СУ складывается из двух реактивных сопротивлений:

$$X = |X_{пер}| + X_1.$$

Максимальное значение $X_{пер}$ определяется из уравнения (1) при $R = R_k$ и $g = k_0$:

$$X_{пер_{max}} = -\sqrt{\frac{R_k}{k_0} - R_k^2}. \quad (10)$$

Величина положительного реактивного сопротивления x_1 находится из уравнения (1) при $R = R_k$ и $g = 1$:

$$X_1 = \sqrt{R_k - R_k^2}. \quad (11)$$

Тогда максимально необходимая величина сопротивления катушки индуктивности

$$X_{max} = \sqrt{\frac{R_k}{k_0} - R_k^2} + \sqrt{R_k - R_k^2}. \quad (12)$$

Величина сопротивления начальной индуктивности катушки L_0 на верхней частоте диапазона должна быть меньше X_1 . Это ограничение обуславливается постоянством проводимости $b_{вх}$ и поясняется на рис. 2.

Определим предельные значения проводимости емкости связи согласующего контура с нагрузкой. Из диаграммы проводимости (см. рис. 4) следует, что максимальная величина проводимости $b_{св}$ определяется максимальным значением функции

$$F_1(g) = b'(g) + b''(g), \quad (13)$$

где $b'(g)$ находится из уравнения (4) при $R = R_k$:

$$b'(g) = \sqrt{\frac{g}{R_k} - g^2}, \quad (14)$$

а $b''(g)$ – из уравнения (6) при $k = k_0$:

$$b''(g) = \sqrt{\frac{g(1 + k_0^2)}{k_0} - g^2} - 1. \quad (15)$$

Исследование функции $F_1(g)$ на экстремум показывает, что максимум имеет место при значении

$$g_1 = \frac{1}{R_k(1 - k_0^2) + k_0}. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (14) и (15) и учитывая (13), получим формулу для нахождения максимальной величины проводимости емкости связи

$$b_{\text{свmax}} = \sqrt{\frac{1 - R_k k}{R_k k}}. \quad (17)$$

Минимальная величина проводимости емкости связи (см. рис. 4) определяется минимальным значением функции

$$F_2(g) = b'(g) - b''(g), \quad (18)$$

где $b'(g)$ и $b''(g)$ определяются соответственно выражениями (14) и (15).

Исследование функции $F_2(g)$ на экстремум дает минимум функции при

$$g_2 = \frac{k_0^2}{k_0 - R_k(1 - k_0)}. \quad (19)$$

Подставляя (19) в (14), (15) и учитывая (18), получим формулу для расчета минимальной проводимости емкости связи

$$b_{\text{свmin}} = \frac{\sqrt{k_0 - R_k} (\sqrt{k_0} - (1 - k_0) \sqrt{R_k})}{k_0 - R_k(1 - k_0)}. \quad (20)$$

Полученные расчетные формулы позволяют легко и быстро определить предельные величины реактивностей П-образного СУ, работающего на нагрузки с любым КБВ, в том числе и для согласования элементов фазированных антенных решеток [3]. Аналогичным образом, пользуясь уравнениями (1) – (6), можно получить формулы для расчета величин органов СУ, имеющих Т-образную или какую-либо другую структуру.

Список литературы

1. Борисов, В.В. Анализ работы автоматического антенного согласующего устройства методом круговых диаграмм / В.В. Борисов // *Вопр. радиоэлектроники. Сер. Техника радиосвязи.* – 1970. – Вып. 6. – С. 63–69.
2. Жуков, В.М. Аналитический расчет П-образного согласующего устройства с использованием круговых диаграмм / В.М. Жуков // *Техника средств связи.* – 1980. – № 9. – С. 77–82.
3. Сысоев, А.Н. Математическая модель передающей КФАР / А.Н. Сысоев // *Антенны.* – 2010. – № 11. – С. 28–29.

Analytical Calculation of П-Shaped Matching Device under Prior Uncertainty of the Input Characteristics of Antenna

A.I. Kolodin, V.M. Zhukov

*Department “Designing electronic and microprocessor systems”, TSTU;
kolodin_aleksandr@bk.ru*

Key words and phrases: antenna; coefficient of traveling wave; matching device.

Abstract: The calculating formulas to determine the limit values reactivity of the П-shaped device that works with any load on the coefficient of the traveling wave have been produced.

Analytische Berechnung der II-artigen Anpassungseinrichtung unter den Bedingungen der apriorischen Unbestimmtheit der Eingangskarakteristiken der Antennen

Zusammenfassung: Es sind die Rechenformeln, die die Schwellenwerte der Reaktivität der II-artigen Anpassungseinrichtung zu bestimmen zulassen, die auf die Belastungen mit einem beliebigen Koeffizienten der laufenden Welle funktioniert, erhalten.

Calcul analytique de l'adaptateur en forme II dans les conditions de l'indétermination à priori des caractéristiques d'entrée des antennes

Résumé: Sont reçues les formules de calcul permettant de déterminer des grandeurs de limite des réactivités de l'adaptateur en forme U fonctionnant sur les charges avec n'importe quel coefficient de l'onde mobile.

Авторы: *Колодин Александр Игоревич* – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; *Жуков Валентин Михайлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Пудовкин Анатолий Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиотехника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
