

МЕТОДИКА РАСЧЕТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА СОГЛАСОВАНИЯ АНТЕНН С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В.В. Ермолаев, В.М. Жуков

Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; crems@crems.jesby.tstu.ru

Представлена членом редколлегии профессором Д.Ю. Муромцевым

Ключевые слова и фразы: длинная линия; круговая диаграмма; шлейф.

Аннотация: Проанализирована работа согласующего устройства, имеющего два дискретных переменных органа настройки с распределенными параметрами – длинную линию и разомкнутый на конце шлейф с электрической длиной меньше четверти длины волны. Приведены формулы и графики для расчета дискретных органов согласующего устройства.

Для расчета автоматического устройства согласования антенн с распределенными параметрами используется метод круговых диаграмм, который позволяет разработать алгоритм настройки дискретных органов согласующего устройства.

Разработаем алгоритм настройки и произведем расчет органов дискретного автоматического устройства согласования антенн (АУСА), областью согласования которого является круг. Область значений входных сопротивлений (проводимостей) антенн задана на круговой диаграмме в полярных координатах (рис. 1) величиной минимально возможного коэффициента бегущей волны (КБВ) k_{\min} .

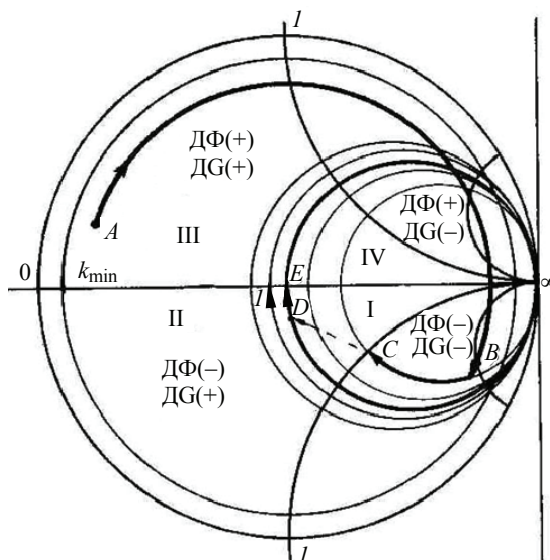


Рис. 1. Круговая диаграмма проводимости

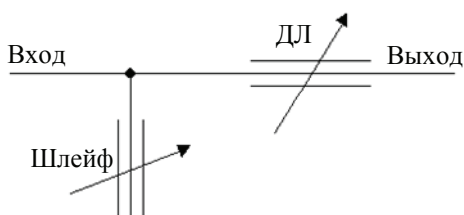


Рис. 2. Электрическая схема согласующего устройства

упрощенная принципиальная схема которого показана на рис. 2. Устройство имеет два дискретных переменных органа настройки с распределенными параметрами – длинную линию (ДЛ) и разомкнутый на конце шлейф с электрической длиной менее $0,25\lambda$.

Автоматическую настройку данного согласующего устройства целесообразно осуществлять по датчикам фазы и активной составляющей проводимости, подключенным к его входу. В этом случае система автонастройки согласующего устройства (СУ) имеет два автономных кольца регулирования, работающих поочередно. В соответствии со знаками выходных напряжений датчиков вся зона согласования, ограниченная на диаграмме относительных проводимостей окружностью минимального КБВ k_{\min} , разбивается на четыре зоны: I, II, III, IV (см. рис. 1).

В каждой из зон комбинации показаний датчиков отличаются друг от друга. Положим, что датчик активной составляющей проводимости ДГ выдает напряжение отрицательной величины внутри круга единичной проводимости, а датчик фазы ДФ – в нижней полуплоскости диаграммы. Тогда знаки входных напряжений датчиков в каждой из четырех зон будут определяться таблицей.

Траектория движения в процессе настройки точки, изображающей входную проводимость СУ, на диаграмме (см. рис. 1) показана ломаной линией *ABCDE*. Перед началом настройки устанавливаются минимальные (начальные) длины линии ДЛ и шлейфа (шлейф практически отключается от входа ДЛ). На первом этапе настройки по показаниям ДГ и ДФ по алгоритму поразрядного взвешивания осуществляется регулировка ДЛ (участок траектории *AB* на рис. 1) В момент, когда точка, изображающая на диаграмме входную проводимость СУ, окажется в зоне I, где знаки выходных напряжений датчиков отрицательны, включается старший на данном частотном поддиапазоне разряд дискретного шлейфа (участок траектории *BC* на рис. 1). После этого продолжается регулировка длинной линии по показаниям ДГ. По окончании регулировки ДЛ в соответствии с алгоритмом поразрядного уравнивания по показаниям ДФ производится установка необходимой длины шлейфа (участок траектории *DE*).

Необходимость включения в зоне I старшего разряда шлейфа объясняется следующим. На рисунках 1 и 3 видно, что окружности $g = \text{const}$ при малых значениях КБВ в области больших проводимостей очень мало отличаются друг от друга (области *M* и *Q* на диаграмме рис. 3). Поэтому разрешающая способность датчика активной составляющей проводимости при согласовании нагрузок с низким КБВ резко ухудшается и точность настройки СУ оказывается недостаточной. В результате включения старшего разряда шлейфа в зоне I КБВ на входе СУ увеличивается, и разрешающая способность ДГ повышается.

Любая точка этой области должна трансформироваться согласующим четырехполюсником в чисто активное, оптимальное сопротивление нагрузки. То есть его зона согласования на диаграмме должна представлять собой полный круг с требуемым значением минимального КБВ. Таким требованиям, в частности, отвечает устройство,

Знаки входных напряжений датчиков

Датчики	Зоны			
	I	II	III	IV
ДГ	–	+	+	–
ДФ	–	–	+	+

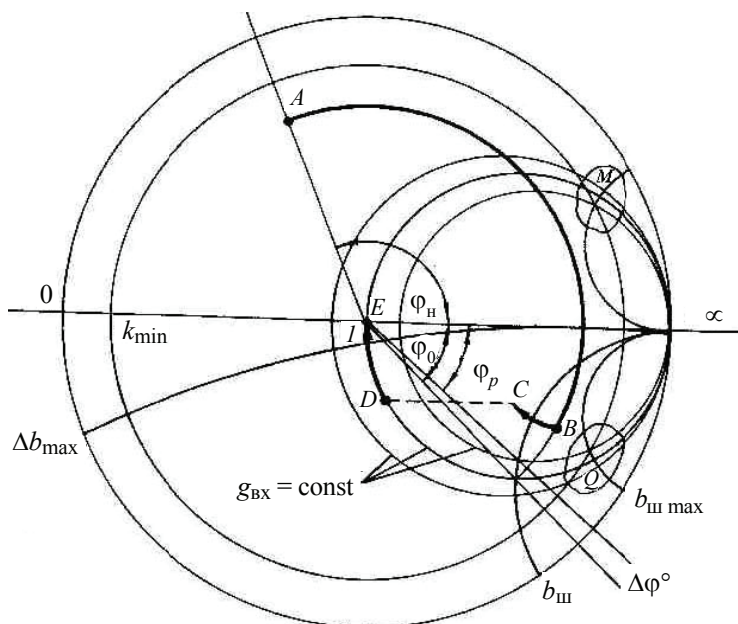


Рис. 3. Области значений окружности постоянной активной проводимости при малых значениях КБВ

Исходными данными для расчета дискретных органов данного СУ являются:

- диапазон частот;
- минимальное значение КБВ в фидере k_{\min} , на который должно работать СУ;
- требуемая точность настройки по отдельным органам, то есть допустимые отклонения активной и реактивной составляющих входной проводимости СУ от оптимальных величин.

Выведем выражения, по которым определяются необходимые длины разомкнутого шлейфа l_1 и линии l_2 .

Зависимость модуля коэффициента отражения p на выходе СУ от составляющих его входной комплексной проводимости определяется по формуле

$$p = \sqrt{\frac{(g_{\text{BX}} - 1)^2 + b_{\text{BX}}^2}{(g_{\text{BX}} + 1)^2 + b_{\text{BX}}^2}}, \quad (1)$$

где g_{BX} , b_{BX} – активная и реактивная составляющие комплексной проводимости соответственно, выражены в относительных единицах по отношению к волновому сопротивлению фидера.

На окружности единичной активной проводимости круговой диаграммы справедливо выражение

$$p = \sqrt{\frac{b_{\text{BX}}^2}{4 + b_{\text{BX}}^2}}. \quad (2)$$

Подставив в формулу (2) величину $p = \frac{1-k}{1+k}$, где k есть КБВ, получим для относительной проводимости шлейфа

$$b_{\text{III}} = \frac{1-k}{\sqrt{k}}. \quad (3)$$

Зависимость фазового угла коэффициента отражения на входе СУ от составляющих его входной комплексной проводимости

$$\varphi_p = \operatorname{arctg} \frac{2b_{\text{вх}}}{g_{\text{вх}}^2 + b_{\text{вх}}^2 - 1}. \quad (4)$$

На основании выражений (3) и (4) можно определить зависимость длины разомкнутого шлейфа от величины исходного КБВ в фидере

$$l_1 = \frac{\lambda}{120^\circ} \left[180^\circ - \operatorname{arctg} \frac{2(1-k)\sqrt{k}}{(1-k)^2 - k} \right]. \quad (5)$$

А максимально необходимая длина шлейфа равна:

$$l_{1\max} = \frac{\lambda_{\max}}{120^\circ} \left[180^\circ - \operatorname{arctg} \frac{2(1-k_{\min})\sqrt{k_{\min}}}{(1-k_{\min})^2 - k_{\min}} \right], \quad (6)$$

где λ_{\max} – максимальная длина волны рабочего диапазона.

При отключенном шлейфе на окружности единичной активной проводимости для фазы коэффициента отражения на входе СУ справедливо выражение

$$\varphi_0 = \operatorname{arctg} \frac{2}{b_{\text{ш}}} = \operatorname{arctg} \frac{2\sqrt{k}}{1-k}. \quad (7)$$

С учетом выражения (7) требуемая электрическая длина линии l_2 в зависимости от величины нагрузки будет определяться выражением

$$l_2 = \frac{\lambda}{120^\circ} \left(\varphi_{\text{н}} + \operatorname{arctg} \frac{2\sqrt{k}}{1-k} \right), \quad (8)$$

где $\varphi_{\text{н}}$ – фаза коэффициента отражения на входе СУ при отключенном шлейфе и начальной длине линии (см. рис. 3).

Максимально необходимая суммарная длина всех разрядов должна быть

$$l_{2\max} = 0,5\lambda_{\max}. \quad (9)$$

Дискретный ряд разрядов органов настройки примем в виде геометрической прогрессии, убывающей со старшего разряда. Сумма членов убывающего ряда при всех включенных разрядах

$$\Sigma_p = A(1 + d + d^2 + d^3 + \dots + d^n), \quad (10)$$

где A – старший член ряда; d – коэффициент ряда; n – число членов ряда.

Можно показать, что зависимость коэффициента ряда d от максимальной относительной погрешности разрядов δ выражается следующими формулами:

– для убывающего ряда

$$d_{\text{у}} = \frac{1 + \delta}{2}; \quad (11)$$

– для возрастающего ряда

$$d_{\text{в}} = \frac{2}{1 + \delta}. \quad (12)$$

Определим зависимость между величиной младшего разряда линии, исходным значением КБВ в фидере и заданной (по относительной величине $g_{\text{вх}}$) точностью установки линии.

При настройке по алгоритму поразрядного уравнивания [2] максимальная погрешность установки длинной линии равна величине младшего разряда линии. По окончании первого этапа настройки относительная составляющая входной проводимости СУ $g_{\text{вх}} \geq 1$. Вблизи окружности единичной активной проводимости справедливо выражение

$$b_{\text{вх}} \approx \frac{1-k}{\sqrt{k}}. \quad (13)$$

Подставив его в уравнение (4), получим

$$\varphi_p \approx \arctg \frac{2(1-k)\sqrt{k}}{k g_{\text{вх}}^2 + (1-k)^2 - k}. \quad (14)$$

Погрешность установки длинной линии по фазовому углу

$$\Delta\varphi^\circ = \varphi_0 - \varphi_p = \arctg \frac{2\sqrt{k}}{1-k} - \arctg \frac{2(1-k)\sqrt{k}}{k g_{\text{вх}}^2 + (1-k)^2 - k}. \quad (15)$$

Кривые, показывающие связь между погрешностью установки длинной линии $\Delta\varphi^\circ$, исходным значением минимального КБВ в фидере и заданной точности установки линии по относительной величине $g_{\text{вх}}$ приведены на рис. 4.

Электрическая длина младшего разряда линии

$$\Delta l_2 = \frac{\Delta\varphi^\circ \lambda_{\text{min}}}{120^\circ}, \quad (16)$$

где λ_{min} – минимальная длина волны в рабочем диапазоне частот. Минимально необходимая длина младшего разряда шлейфа Δl_1 определяется исходя из максимально допустимой погрешности настройки СУ по реактивной проводимости Δb_{max} (см. рис. 3) по формуле

$$\Delta l_1 = \frac{\lambda_{\text{min}}}{120^\circ} \left[\arctg \frac{2(b_{\text{ш max}} - \Delta b_{\text{max}})}{(b_{\text{ш max}} - \Delta b_{\text{max}})^2 - 1} - \arctg \frac{2b_{\text{ш max}}}{b_{\text{ш max}}^2 - 1} \right], \quad (17)$$

где $b_{\text{ш max}}$ – максимальная проводимость шлейфа,

$$b_{\text{ш max}} = \frac{1-k_{\text{min}}}{\sqrt{k_{\text{max}}}}. \quad (18)$$

Если линия и шлейф имеют диэлектрическое заполнение, то при расчетах их геометрических длин необходимо учитывать диэлектрическую постоянную ϵ .

Приведенные формулы позволяют рассчитать дискретные органы согласующего устройства с распределенными параметрами, работающего на антенны с произвольными входными сопротивлениями.

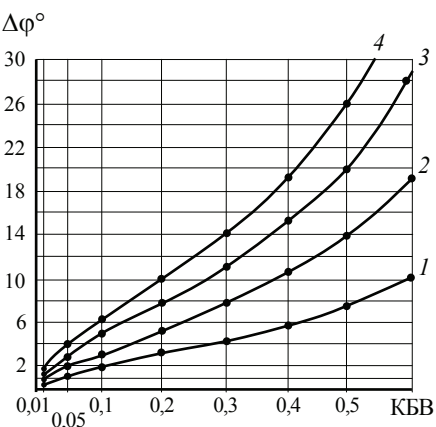


Рис. 4. Погрешность установки длинной линии $g_{\text{вх}}$:
1 – 1,1; 2 – 1,2; 3 – 1,3; 4 – 1,4

Список литературы

1. Коток, Ю.И. Способы автоматического слежения за несколькими параметрами объекта управления / Ю.И. Коток // Антенны. – 2010. – Вып. 11. – С. 53–56.
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.

**Method of Calculation of Antenna Matching Automatic Device
with Distributed Parameters**

V.V. Ermolaev, V.M. Zhukov

*Department “Designing Electronic and Microprocessor Systems”, TSTU;
vovchikerm@mail.ru*

Key words and phrases: cable; long line; pie chart.

Abstract: The paper analyzes the work of the matching device that has two discrete variables with distributed parameters: a long line and a cable open at the end with an electrical length less than a quarter of wavelength. The formulas and graphs for the calculation of discrete bodies of the matching device have been described.

**Methodik der Berechnung der automatischen Einrichtung
der Vereinbarung der Antennen mit den verteilten Parametern**

Zusammenfassung: Es ist die Arbeit der koordinierenden Einrichtung, die zwei diskrete variablen Organe der Abstimmung mit den verteilten Parametern hat – die lange Linie und die auf dem Ende abgestellte Schleppe mit der elektrischen Länge weniger als Viertel der Länge der Welle analysiert. Es sind die Formeln und die Zeitpläne für die Berechnung der diskreten Organe der koordinierenden Einrichtung angeführt.

**Méthode du calcul du dispositif automatique
de la corrélation des antennes aux paramètres répartis**

Résumé: Est analysé le travail du dispositif corrélant ayant deux organes discrets variables de la régularisation aux paramètres répartis – ligne longue et au bout une branche en circuit ouvert avec une longueur électrique moins du quart de la longueur de l'onde. Sont cités les formules et les graphiques pour le calcul des organes discrets du dispositif corrélant.

Авторы: *Ермолаев Владимир Викторович* – 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».