

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ПЕНЗЕНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**ПРИМЕНЕНИЕ КРУГОВЫХ ДИАГРАММ  
ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ  
(ПРОВОДИМОСТЕЙ)  
ПРИ РАСЧЕТАХ ПАРАМЕТРОВ  
ЭЛЕМЕНТОВ СВЧ ТРАКТА**

*Методические указания к практическим  
занятиям, курсовому и дипломному  
проектированию*



ПЕНЗА 1985

Министерство высшего и среднего специального  
образования РСФСР

Пензенский политехнический институт

ПРИМЕНЕНИЕ КРУГОВЫХ ДИАГРАММ  
ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ (ПРОВОДИМОСТЕЙ)  
ПРИ РАСЧЕТАХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ  
СВЧ ТРАКТА

Методические указания к практическим  
занятиям, курсовому и дипломному  
проектированию

Пенза 1985

Излагается методика расчета электрических параметров элементов волноводного СВЧ тракта на основе круговых диаграмм полных сопротивлений (проводимостей). Дана также методика обработки результатов при экспериментальных исследованиях.

Указания подготовлены на кафедре "Радиотехника" и предназначены для студентов специальностей 0701, 0705.

Ил. 9, библиогр. 6 назв.

Составители: А.В. Светлов, ассист.; В.И. Чернецов, канд. техн. наук, и.о. доц.

## В В Е Д Е Н И Е

Круговая диаграмма (рис. 1) представляет собой три семейства кривых, расположенных в одной плоскости [1-4]: 1) семейство окружностей нормированных активных составляющих сопротивления  $z' = \text{const}$  с центром на вертикальной оси. При этом характерной является окружность  $z' = 1$ , проходящая через центр диаграммы; 2) семейство дуг окружностей нормированных реактивных составляющих сопротивления  $x' = \text{const}$  с центрами на горизонтальной оси. Дуги, соответствующие положительным значениям  $x'$ , находятся справа от вертикальной оси, а дуги, соответствующие отрицательным значениям  $x'$ , - слева от вертикальной оси. На вертикальной оси диаграммы реактивные сопротивления (проводимости) равны нулю; 3) семейство концентрических окружностей коэффициентов бегущей волны  $K_{БВ} = \text{const}$  с центрами, соответствующими нулевому отражению  $\rho = 0, K_{БВ} = 0$  в центре диаграммы. Обычно для удобства работы значения  $K_{БВ}$ , соответствующие радиусам этих окружностей, наносят на прозрачную пластмассовую линейку с делениями, вращающуюся вокруг центра диаграммы. Таким образом, каждой точке плоскости диаграммы соответствует единственное значение комплексного нормированного сопротивления  $Z' = z' + jx'$ , определяемого точкой пересечения кривых семейств 1 и 2.

На внешней окружности диаграммы нанесены расстояния от начала координат (отсчета) до исследуемого сечения линии, выраженные в виде отношения  $\Delta l / \lambda_{в}$ .

Если исходить из того, что нормированное сопротивление  $Z'$  представляет собой последовательное соединение активных и реактивных составляющих, то в правой полуплоскости, где откладываются

положительные фазовые углы, реактивная составляющая полного сопротивления имеет индуктивный характер, а в левой полуплоскости, где откладываются отрицательные углы - емкостный характер.

Круговая диаграмма может быть использована для вычисления проводимости линии в исследуемом сечении, которая представляется как соединение активной и реактивной составляющих проводимостей

$$Y' = G' + jB'$$

В этом случае правой полуплоскости соответствует реактивная составляющая проводимости  $B'$  емкостного характера, а левой - проводимость индуктивного характера. Так, если известно, что полному нормированному сопротивлению линии в заданном сечении на круговой диаграмме (рис.2) соответствует точка А, то полной проводимости в том же сечении соответствует точка В.

### I. Расчет параметров линии передачи СВЧ энергии

Задача I.

Дано сопротивление нагрузки  $Z_H = R_H + jX_H$ , волновое сопротивление линии  $Z_B$ , длина линии  $l$  и длина волны  $\lambda$ .

Определить входное сопротивление линии  $Z_{вх}$  и значение КБВ.

Решение:

I. Найти нормированное значение сопротивления нагрузки

$$z'_H = \frac{Z_H}{Z_B} = r_H + jx_H$$

2. На диаграмме найти точку, соответствующую найденным значениям  $r_H$  и  $x_H$ .
3. Вращающийся указатель диаграммы установить таким образом, чтобы он проходил через найденную точку.

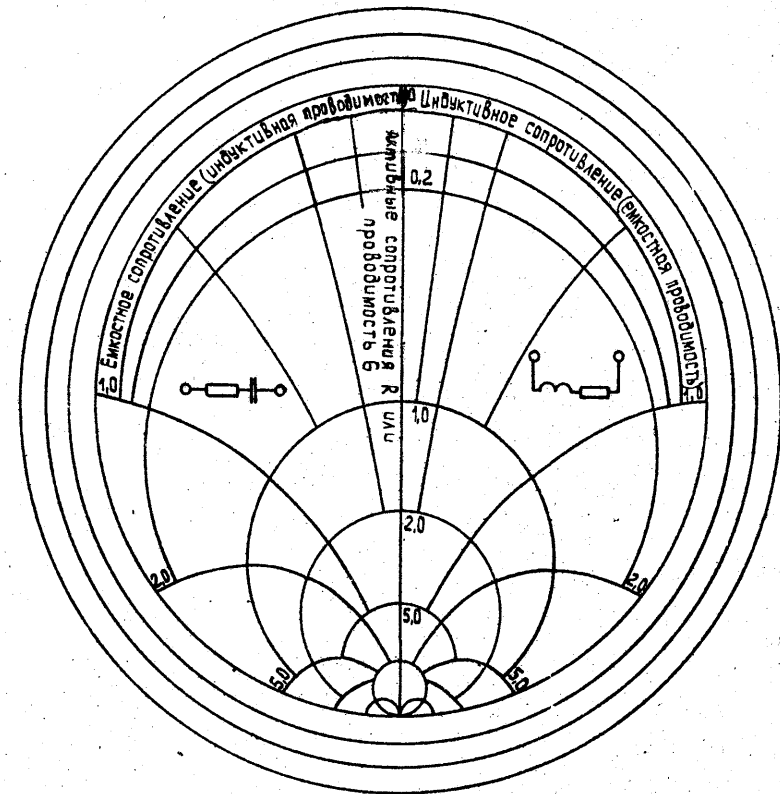


Рис. I

4. Повернуть указатель на угол, соответствующий длине линии  $l/\lambda$  в сторону генератора (по часовой стрелке) и найти новую точку на диаграмме, лежащую на окружности того же значения КБВ, что и исходная точка. Соответствующие этой точке

значения  $\gamma_{\delta x}$  и  $x_{\delta x}$  являются искомыми активной и реактивной составляющими нормированного входного сопротивления линии. Для получения абсолютных значений сопротивления найденные значения  $\gamma_{\delta x}$  и  $x_{\delta x}$  умножить на  $Z_B$ .

Пример.

Дано:  $Z_B = 600 \text{ Ом}$ ,  $Z_H = (300 + j300) \text{ Ом}$ ,  
 $\lambda = 30 \text{ см}$ ,  $l = 36 \text{ см}$ .

Найти:  $Z_{\delta x}$  и  $K_{BВ}$ .

Решение. 1. Определяем  $Z'_H = \frac{Z_H}{Z_B} = 0,5 + j0,5$ .

2. Находим на диаграмме точку А, соответствующую значению  $Z'_H$  (рис.2), находящуюся на пересечении дуг  $\gamma = 0,5$  и  $x = 0,5$ .

3. Устанавливаем вращающийся указатель диаграммы таким образом, чтобы он проходил через найденную точку, соответствующую

$Z'_H = 0,5 + j0,5$ . Подвижный визир на вращающемся указателе

устанавливаем на ту же точку. Поворачиваем указатель, совмещая его с осью (вертикальная линия, соответствующая  $x = 0$ ).

Отсчитываем на оси значение  $K_{BВ} = 0,38$  против визира. В случае использования диаграммы без подвижного визира на вращающемся указателе значения  $K_{BВ}$  можно найти, определив, на какой из дуг окружностей  $K_{BВ} = \text{const}$  находится найденная точка  $Z'_H$ .

(Дуги  $K_{BВ} = \text{const}$  обычно изображаются пунктиром). Снова устанавливаем вращающийся указатель на найденную точку  $Z'_H$  (точка А на рис.2). Находим отметку 0,088 на внешней окружности диаграммы, через которую проходит указатель. Поворачиваем указатель от этого положения по часовой стрелке на угол, соответствующий расстоянию  $\frac{l}{\lambda} = \frac{36}{30} = 1,2$ . Так как кривые сопротивления вдоль линии периодичны с периодом  $\lambda/2$ , то расстояние в целое число полуволн можно исключить, и поворот произвести на

длину  $1,2 - 1,0 = 0,2$ . Новая отметка на внешней окружности равна  $0,088 + 0,2 = 0,288$ . Искомое входное сопротивление находим как точку пересечения окружности  $K_{BВ} = 0,38$  с указателем, проходящим через отметку 0,288 (точка В на рис.2).

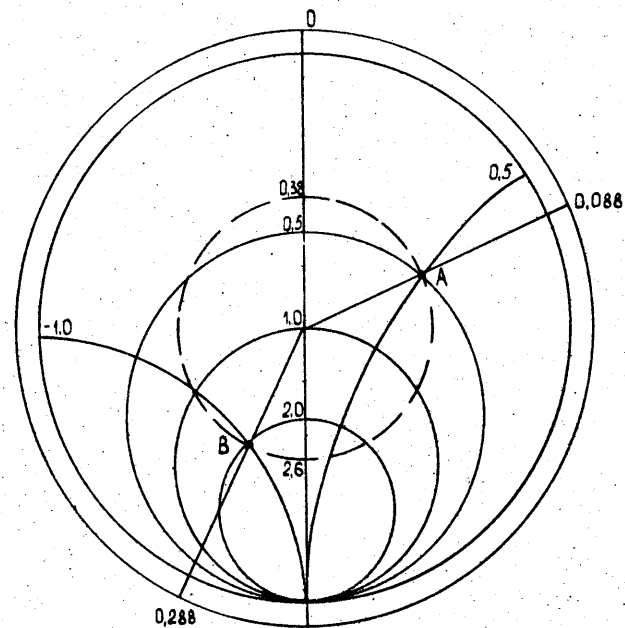


Рис.2

Найденной точке пересечения соответствуют  $\gamma'_{\delta x} = 2,0$ ;  $x'_{\delta x} = -1,0$ .

Таким образом,  $Z'_{\delta x} = 2 - j$ ,

$$Z_{\delta x} = 600(2 - j) = (1200 - j600) \text{ Ом}$$

### Задача 2.

По данным задачи I найти сопротивление в узле и в пучности напряжения.

Решение.

Коэффициент бегущей волны в предыдущей задаче (рис.2) был равен 0,38. Окружность КВВ = 0,38 пересекает вертикальную ось в двух точках:  $\gamma = 0,38$  и  $\gamma = 2,6$ . Таким образом, сопротивление в узле равно  $R_{\min} = 0,38 \cdot 600 = 228 \text{ Ом}$ , а сопротивление в пучности равно  $R_{\max} = 2,6 \cdot 600 = 1560 \text{ Ом}$ .

### Задача 3.

Дано входное сопротивление линии, длина линии, длина волны и волновое сопротивление линии.

Определить сопротивление нагрузки.

Решение.

Решение задачи проводится так же, как решение задачи I. Однако, в отличие от задачи I, в этой задаче вращающийся указатель диаграммы поворачивают в сторону нагрузки (против часовой стрелки).

### II. Определение сопротивлений (проводимостей) неоднородностей с помощью измерительной линии (метод В.В.Татарина)

Метод используется при экспериментальном определении электрических параметров неоднородностей волновода. Для этой цели используется измерительная схема, состоящая из генератора СВЧ колебаний и измерительной линии с подключенной к ней исследуемой неоднородностью (рис.3).

В ходе эксперимента вначале волновод в месте включения неоднородности пересекают сплошной токопроводящей пластиной, обеспечивая этим в волноводе режим чисто стоячих волн (режим

короткого замыкания). После этого с помощью подвижного зонда, подключенного к индикатору исследуют распределение СВЧ поля вдоль измерительной линии, а именно, отмечается положение  $\ell_1$  узлов (пучностей) напряжения и определяется расстояние между узлами (пучностями), равное половине длины волны в волноводе  $\lambda/2$ . Иногда с целью более точного определения длины волны  $\lambda$  усредняют найденные значения расстояний между несколькими узлами (пучностями). Затем к измерительной линии подключают исследуемую неоднородность и, чтобы исключить влияние на результат эксперимента возможных отражений от других неоднородностей волновода (от открытого конца волновода и т.п.), согласованную нагрузку. При этом в волноводе устанавливается режим смешанных волн: отраженных неоднородностью и бегущих, поглощаемых согласованной нагрузкой. Вновь исследуют распределение СВЧ поля с помощью

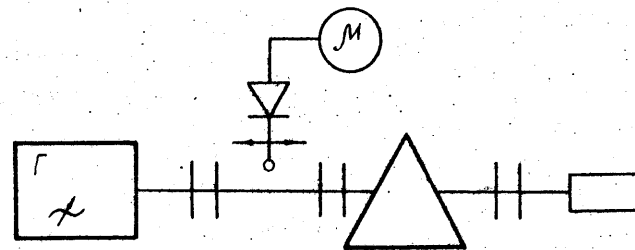


Рис.3

подвижного зонда. В результате этого по индикатору определяют максимальное  $U_{\max}$  и минимальное  $U_{\min}$  значения

напряжения (тока) в пучности и узле соответственно, а также положение  $l_2$  узла (пучности) СВЧ поля в волноводе.

По найденным значениям рассчитывают:

а) коэффициент бегущей волны

$$K_{БВ} = \frac{U_{\min} (I_{\min})}{U_{\max} (I_{\max})} \quad (1)$$

Примечание: при квадратичной характеристике детектора подвижного зонда  $K_{БВ}$  следует определять как

$$K_{БВ} = \sqrt{\frac{U_{\min} (I_{\min})}{U_{\max} (I_{\max})}}; \quad (2)$$

б) величину относительного смещения

$$\Delta = \frac{l_2 - l_1}{\lambda_B} = \frac{\Delta l}{\lambda_B} \quad (3)$$

или угла

$$\alpha = \frac{2\pi \cdot \Delta l}{\lambda_B} \quad (4)$$

Далее на внешней окружности диаграммы откладывают от нуля (от вертикальной оси) найденную величину относительного смещения  $\Delta$  или  $\alpha$ . При выборе направления, в котором откладываются величины  $\Delta$  или  $\alpha$ , руководствуются следующим:

- если смещение  $\Delta l$  при включении неоднородности произошло в сторону генератора, то величину  $\Delta$  ( $\alpha$ ) откладывают влево (на диаграмме - длины волн "к нагрузке");
- если смещение  $\Delta l$  произошло в сторону нагрузки, то величину  $\Delta$  ( $\alpha$ ) откладывают вправо (на диаграмме - длины волн "к генератору").

В полученную точку внешней окружности ориентируют поворотную прозрачную линейку с делениями, с помощью которой по найденному

значению  $K_{БВ}$ , полученному из формулы (1), отмечают точку на плоскости диаграммы. После этого находят значения  $\chi$  и  $X$ , как радиусы соответствующих окружностей, пересекающихся в данной точке. В случае, когда волновод невозможно закоротить токопроводящей пластиной точно в месте включения исследуемой неоднородности, схема эксперимента несколько изменяется (рис.4), а именно, отрезок

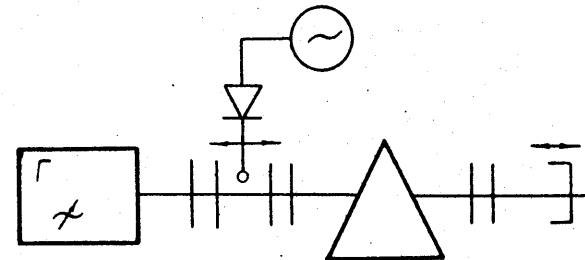


Рис. 4

волновода с неоднородностью нагружается подвижным короткозамыкающим поршнем. Перемещая поршень, добиваются установления в волноводе режима, в наибольшей степени приближающегося к режиму чисто стоячих волн. С этой целью находят такое положение поршня  $l_{п}$ , при котором значение  $K_{БВ}$  будет минимально. Это будет означать, что неоднородность находится в характерном сечении волновода (узле или пучности), и она либо не отражает СВЧ волн совсем, либо это отражение минимально. Так, при исследовании параметров излучающей цели такой режим достигается при установке короткозамыкающего поршня на расстоянии

- а)  $\frac{\lambda_B}{2} n$  до центра продольной цели - режим короткого замыкания;

б)  $\frac{\lambda \theta}{4} (2n-1)$  до центра поперечной щели - режим холостого хода,

где  $n = 1, 2, 3, \dots$  - число полуволн.

Далее с помощью подвижного зонда исследуют продольное распределение поля в волноводе, отмечая положение  $l_1$  узла (пучности) и измеряя длину волны в волноводе.

После этого короткозамыкающий поршень перемещают в любую сторону на величину  $\lambda/4$  от положения  $l_m$ . В результате шлейф, образованный короткозамыкающим отрезком, не пунтирует неоднородность и волновод оказывается нагруженным на нее. Далее с помощью подвижного зонда вновь исследуют распределение СВЧ поля вдоль волновода, определяя по найденным значениям  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  коэффициент бегущей волны, а по положению  $l_2$  узла (пучности) определяют и величину относительного смещения  $\Delta$  или угол  $\Delta$  см. формулы (3), (4).

После этого описанным выше способом по круговой диаграмме определяют электрические параметры (сопротивление или проводимость) неоднородности.

#### Задача I.

Было найдено положение узла при коротком замыкании. Затем включили неоднородность. Нашли расстояние от узла при коротком замыкании до его ближайшего положения при включенной неоднородности (это расстояние в дальнейшем мы будем называть смещением узла относительно его положения при коротком замыкании). Измерили  $K_{\text{ВВ}}$ .

Найти сопротивление неоднородности при известных  $\lambda$  и  $Z_{\text{В}}$ .

#### Пример I.

При включении неоднородности узел сместился относительно его положения при коротком замыкании в сторону генератора на величину

$$\Delta l = 0,06 \lambda, K_{\text{ВВ}} = 0,4, Z_{\text{В}} = 100 \text{ Ом.}$$

#### Решение.

Так как кривые сопротивления вдоль линии периодичны с периодом  $\lambda/2$ , то сопротивление неоднородности равно сопротивлению линии в любой точке, отстоящей от конца линии на целое число полуволн, т.е. равно сопротивлению линии в любой точке, соответствующей положению узла при коротком замыкании.

Поворачиваем вращающийся указатель диаграммы против часовой стрелки (к нагрузке) на угол, соответствующий расстоянию  $\Delta l = 0,06 \lambda$ . Нормированное сопротивление неоднородности определим как точку пересечения стрелки указателя с окружностью  $K_{\text{ВВ}} = 0,4$ . Оно равно  $Z'_n = 0,4 - j 0,32$ . Умножая  $Z'_n$  на  $Z_{\text{В}}$ , находим  $Z_n$ .

Ответ:  $Z_n = (40 - j 32) \text{ Ом.}$

#### Пример 2.

При включении неоднородности узел сдвинулся относительно его положения при коротком замыкании в сторону неоднородности (нагрузки) на величину  $\Delta l = 0,076 \lambda$ ;  $K_{\text{ВВ}} = 0,2$ .

Найти нормированное сопротивление неоднородности.

#### Решение.

Поворачиваем указатель по часовой стрелке (к генератору) на угол, соответствующий расстоянию  $\Delta l = 0,076 \lambda$ , находим точку пересечения стрелки указателя с окружностью  $K_{\text{ВВ}} = 0,2$ .

Ответ:  $Z'_n = 0,25 + j 0,5$

### III. Расчет параметров согласующих устройств

Обеспечение согласования в линиях передачи является одной из наиболее распространенных и важных задач в технике СВЧ. Самым эффективным методом согласования сопротивления нагрузки



с волновым сопротивлением линии является метод реактивных компенсирующих неоднородностей. Сущность этого метода заключается в следующем. Чтобы получить согласованный режим работы линии, т.е. устранить отраженную волну, в линию передачи около нагрузки включают согласующий реактивный элемент, который создает свою отраженную волну. Значение реактивного сопротивления (проводимости) согласующего элемента и местоположение этого элемента в линии можно подобрать так, что обе отраженные волны (от нагрузки и от согласующего элемента) будут иметь одинаковые амплитуды и противоположные фазы и потому погасят друг друга. В линии от генератора до места включения согласующего элемента будет существовать только бегущая волна. Другими словами, сопротивление нагрузки будет трансформировано согласующим элементом к сопротивлению, равному волновому сопротивлению линии [5,6].

Сущность метода согласования при использовании реактивных компенсирующих неоднородностей можно также объяснить, пользуясь понятиями эквивалентных сопротивлений и проводимостей. При заданной нагрузке вдоль линии устанавливается определенное распределение электрического и магнитного полей, а это эквивалентно распределению напряжений и токов. Зная величину тока и напряжения в каждой точке линии, нетрудно определить эквивалентную проводимость в любой точке (рис.5). Как видно из выражения

$$Y(l) = \frac{I(l)}{U(l)} = G + jB,$$

показанного рис.5, в линии на протяжении одной полузоны существуют две точки (сечения 1 и 2), где активная составляющая эквивалентной проводимости равна  $G = \frac{1}{Z_0}$ , а реактивная составляющая

имеет некоторое определенное значение  $B$ .

В точке 1 эквивалентное сопротивление линии носит емкостный характер, а в точке 2 — индуктивный. Включим в сечении 1 параллельно линии индуктивное сопротивление, равное по значению эквивалентному емкостному сопротивлению линии в этой точке.

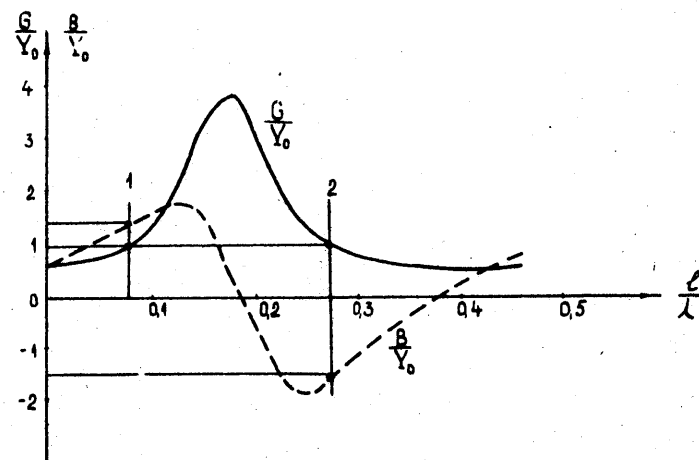


Рис. 5

Тогда суммарная проводимость будет чисто активной и равной

$$Y = G_0 = \frac{1}{Z_0}; \quad B = 0.$$

Следовательно, линия согласована на участке от точки включения согласующей реактивности до генератора. Аналогично можно добиться согласования и в точке 2, где согласующим элементом будет уже емкость.

Определение основных параметров согласующих устройств — значения сопротивления (проводимости) и места включения в линии — существенно облегчается при использовании круговых диаграмм полных сопротивлений.

Задача I.

Задано сопротивление нагрузки  $Z_n$ .

Найти значение и место включения в линию индуктивного сопротивления для получения в линии режима бегущей волны.

Решение

1. Найти на диаграмме точку, соответствующую сопротивлению нагрузки  $Z_n = r_n + jx_n$

2. Найти значение  $Y'_n = g_n + jb_n$ , для чего повернуть вращающийся указатель от точки  $Z'_n$  на  $180^\circ$ .

3. Для нахождения точки линии, в которой активная составляющая проводимости линии  $G = \frac{1}{Z_B}$ , а реактивная составляющая проводимости положительна (поскольку согласующий элемент - индуктивность), определить точку пересечения окружности КБВ, на которой находятся найденные точки  $Z'_n$  и  $Y'_n$ , с правой половиной окружности  $r = 1$  ( $g = 1$ ).

Определить угол, на который пришлось повернуть указатель, чтобы попасть в эту точку от точки  $Y'_n$ .

4. Найденная точка определяет проводимость линии в месте включения согласующего элемента  $Y = 1 + jB$ .

5. Проводимость элемента настройки равна  $Y_{настр.} = jB_{настр.} = -j \frac{b}{Z_B}$

6. Сопротивление элемента настройки равно  $Z_{настр.} = jX_{настр.} = j \frac{Z_B}{b}$ .

7. Расстояние, соответствующее углу, определенному в п.3, равно расстоянию  $l_1$ , от точки, в которой был узел при коротком замыкании, до точки, в которой надо параллельно подключить индуктивное сопротивление для настройки линии в режим бегущей волны. При этом, если при определении расстояния  $l_1$ , в п.3

указатель диаграммы поворачивался по часовой стрелке (в сторону генератора), то искомая точка находится на расстоянии  $l_1$ , от узла при коротком замыкании в сторону генератора (или на расстоянии  $\frac{\lambda}{2} - l_1$ , в сторону от нагрузки). Если указатель поворачивался против часовой стрелки (в сторону нагрузки), то искомая точка находится на расстоянии  $l_1$  от узла при коротком замыкании в сторону нагрузки (или на расстоянии  $\frac{\lambda}{2} - l_1$ , в сторону генератора).

Пример.

Дано  $Z_B = 500 \text{ Ом}$ ,  $Z_n = (90 - j80) \text{ Ом}$ .

Найти  $Z_{настр.}$  и  $l_1$ .

Решение

1. Находим  $Z'_n = \frac{Z_n}{Z_B} = 1,8 - j1,6$ . Соответствующая точка на диаграмме лежит на окружности КБВ = 0,3 (точка А на рис. 6).

2. Поворачивая указатель на  $180^\circ$ , находим точку  $Y'_n = 0,31 + j0,28$  (точка В на рис. 6). При этом указатель проходит через отметку 0,046 на внешней окружности диаграммы.

3. Находим пересечение окружности КБВ = 0,3 с правой половиной окружности  $r = g = 1$  (точка С на рис. 6).

4. Найденная точка пересечения определяет проводимость линии в месте включения согласующего элемента  $Y' = 1 + j1,3$ .

Указатель диаграммы, проходящий через эту точку, пересекает внешнюю окружность диаграммы в точке с отметкой 0,17.

5. Сопротивление индуктивного согласующего элемента должно быть равно

$$Z_{настр.} = j \frac{50}{1,3} = j 38,5 \text{ Ом}$$

6. Расстояние  $\ell_1$  в сторону генератора от точки, соответствующей узлу при коротком замыкании, до места включения согласующего элемента равно

$$\ell_1 = (0,17 - 0,046)\lambda = 0,124\lambda$$

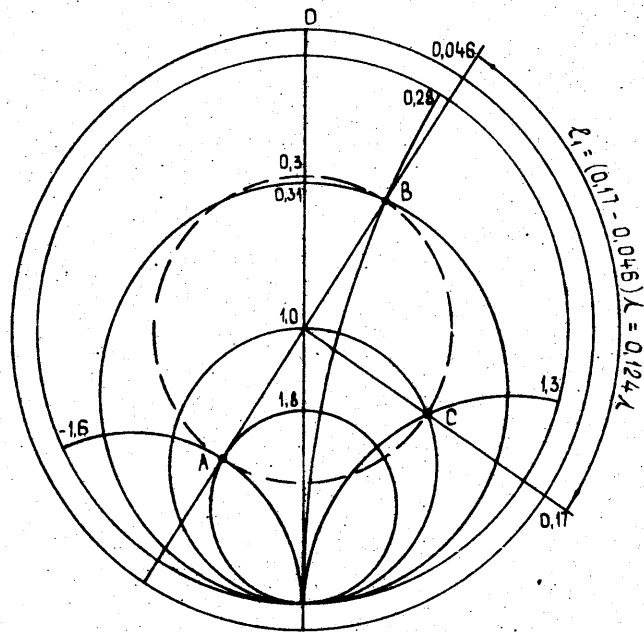


Рис. 6

Задача 2.

Задано сопротивление нагрузки  $Z_H$  и волновое сопротивление линии  $Z_B$ .

Найти значение и место параллельного включения емкостного сопротивления для получения в линии режима бегущей волны.

Решение.

Задача решается так же, как предыдущая. Отличие состоит в том, что в данном случае ищется пересечение соответствующей окружности  $K_{БВ} = \text{const}$  с левой половиной окружности  $\gamma = 1$ .

Одним из наиболее часто используемых согласующих устройств являются шлейфы. Принцип согласования сопротивлений при помощи шлейфового трансформатора полных сопротивлений аналогичен описанному выше. По заданному сопротивлению нагрузки  $Z_H$  и волновому сопротивлению линии  $Z_B$  необходимо определить место включения  $L$  шлейфа и длину шлейфа  $l_{шл}$  (рис. 7, 8). В диапазоне

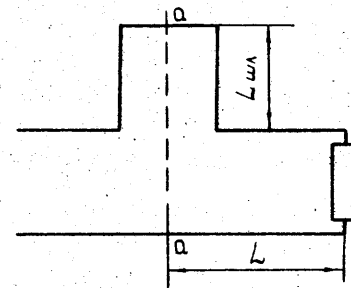


Рис. 7

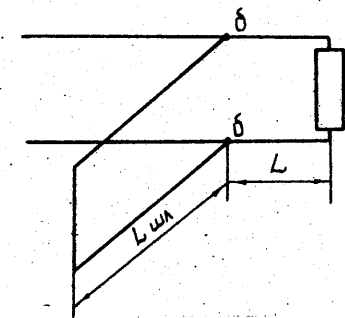


Рис. 8

СВЧ в связи с трудностью создания режима хлостого хода на конце разомкнутой линии обычно используются короткозамкнутые шлейфы из отрезков линий с таким же волновым сопротивлением, как у согласуемой линии ( $Z_{шл} = Z_B$ ).

В случае последовательного включения шлейфа (рис. 7) определяется сечение линии  $O-A$ , в котором активная составляющая сопротивления линии равна волновому сопротивлению линии, а затем в это сечение последовательно включается шлейф, т.е. реактивное сопротивление, равное по значению реактивной составляющей сопротивления линии в сечении  $A-B$  и противоположное ей по знаку.

В случае параллельного включения шлейфа (рис. 8) определяется сечение линии  $\delta-\delta$ , в котором активная составляющая входной проводимости равна волновой проводимости, а затем в этом сечении параллельно включается шлейф, т.е. реактивная проводимость, равная по значению реактивной составляющей проводимости линии в сечении  $\delta-\delta$  и противоположная ей по знаку.

Задача 3.

Согласовать с помощью шлейфа линию передачи с волновым сопротивлением  $Z_B = 500 \text{ Ом}$  с нагрузкой, имеющей сопротивление  $Z_H = (300 - j640) \text{ Ом}$ .

Решение

1. Нормируем сопротивление нагрузки

$$Z'_H = \frac{300 - j640}{500} = 0,6 - j1,28.$$

Находим на диаграмме точку  $A$ , соответствующую  $Z'_H$  (рис. 9).

2. По линии постоянного  $K_{SW}$  перемещаемся в сторону генератора на расстояние  $L$  до точки  $B$ , лежащей на окружности  $r=1$ . Получим, что на расстоянии  $L = 0,346\lambda$  от нагрузки активная составляющая нормированного сопротивления линии будет равна 1, а реактивная составляющая  $x = 1,8$ .

В точке  $C$  также  $r=1$ , но расстояние до нее от нагрузки больше, чем до точки  $B$ , а согласование всегда имеет смысл

проводить в сечении линии, как можно ближе расположенном к нагрузке.

Итак, в точке  $B$  можно включить последовательный шлейф.

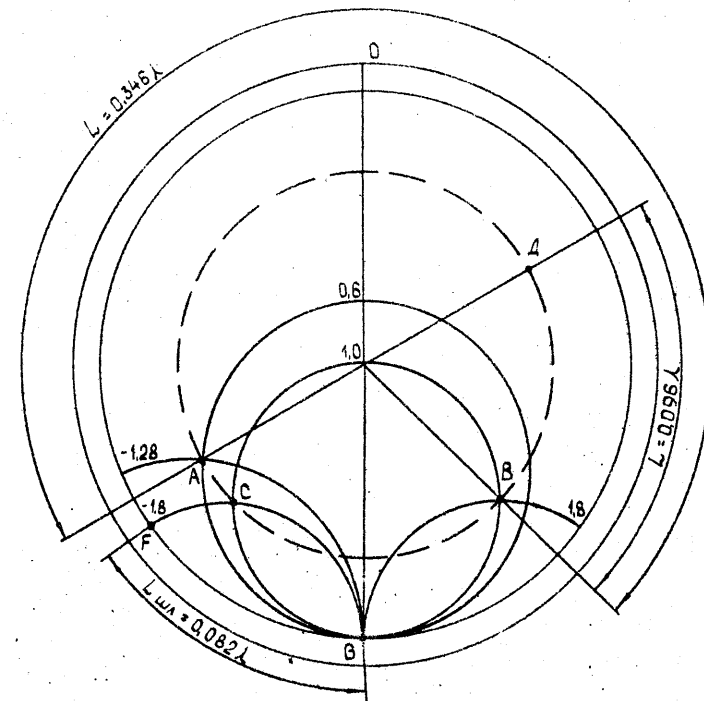


Рис. 9

3. Определим, где находится сечение, в котором можно включить параллельный шлейф. Для этого определим проводимость нагрузки, повернув вращающийся указатель на  $180^\circ$  (точка  $D$ ):

$$Y'_H = 0,38 + j0,9.$$

4. Расстояние от точки  $D$  до сечения линии, в котором активная составляющая проводимости линии равна волновой проводимости (точка  $B$ ), равно  $L = 0,096 \lambda$ .

Таким образом, в данном случае целесообразнее использовать параллельный шлейф, так как место его включения оказывается значительно ближе к нагрузке, чем место включения последовательного шлейфа.

5. Реактивная составляющая нормированной проводимости линии в месте включения шлейфа (точка  $B$ ) равна  $L = 1,8$ . Поэтому параллельный шлейф должен иметь реактивную проводимость  $b_{шл} = -1,8$  (точка  $F$ ). Короткозамкнутый шлейф с такой проводимостью имеет длину  $L_{шл} = (0,25 - 0,168) \lambda = 0,082 \lambda$  (от точки  $G$  до точки  $F$  в сторону генератора).

#### IV. Контрольные вопросы

1. Что такое коэффициент отражения, коэффициент бегущей волны и от чего они зависят?

2. Куда сдвигается ближайший минимум напряжения в линии по отношению к минимуму при коротком замыкании, при чисто емкостной нагрузке на конце линии?

Обосновать ответ с помощью круговой диаграммы полных сопротивлений, а также на основе графиков изменения вдоль линии эквивалентного сопротивления линии.

3. То же, что в п.2, но нагрузка чисто индуктивная.

4. То же, что в п.2, но нагрузка чисто активная. Рассмотреть три случая

- a)  $R > Z_B$ ,
- b)  $R = Z_B$ ,
- б)  $R < Z_B$ .

5. Рассчитать место включения и величину компенсирующей реактивности при заданном  $Z_n$ .

6. От чего зависит длина волны в волноводе?

7. Каким образом проводится анализ распространения волны в волноводах конечной длины?

8. Что называется эквивалентным нормированным сопротивлением длинной линии и волновода?

9. Поясните представление волновода длинной линией?

10. В чем состоит метод измерения сопротивления нагрузки линии?

11. Как производится согласование сопротивления нагрузки с волновым сопротивлением линии?

12. В чем состоит метод согласования линии с помощью реактивного штыря?

13. В чем состоит метод согласования с помощью четвертьволновой вставки?

14. Каков принцип действия емкостной и индуктивной диафрагм?

#### Л и т е р а т у р а

1. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. - М.: Наука, 1973. - 543 с.

2. Сазонов Д.М. и др. Устройства СВЧ. - М.: Высшая школа, 1981. - 295 с.

3. Конструкции СВЧ устройств и экранов /Под ред. А.М.Чернушенко. - М.: Радио и связь, 1983. - 400 с.

4. Смит Ф. Круговые диаграммы в радиоэлектронике /Пер. с англ. М.Н. Бергера, Б.Ю.Копилевича. - М.: Связь, 1976. - 144 с.

5. Вальднер О.А., Милованов О.С., Собенин Н.П. Техника сверхвысоких частот (учебная лаборатория). - М.: Атомиздат, 1974, с.30-37, III-II7.

6. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. - М.: Высшая школа, 1970, с.194-230.

