

Лекция 2: Методы и устройства согласования трактов СВЧ

План

- 1 Цели и методы согласования СВЧ-трактов [1, 2, 5, 6].
- 2 Узкополосные методы и устройства согласования трактов СВЧ [1, 2, 5, 6]:
 - согласующие $\lambda/4$ – трансформаторы для активных и комплексных нагрузок;
 - согласование трактов с помощью сосредоточенных реактивностей, согласующие реактивные шлейфы.
3. Широкополосные устройства согласования трактов СВЧ [1, 2, 5, 6]:
 - частотные компенсаторы;
 - ступенчатые трансформаторы;
 - плавные переходы.
4. Широкополосное согласование комплексных нагрузок [1].

1 ЦЕЛИ И МЕТОДЫ СОГЛАСОВАНИЯ СВЧ -ТРАКТОВ

1.1 СОГЛАСОВАНИЕ В ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ

Под согласованием понимают устранение в ЛП отражённых волн

Наличие отражённых волн в ЛП приводит к:

- 1) потерям мощности на отражение;
- 2) уменьшению максимально-допустимой мощности, передаваемой в нагрузку;
- 3) повышению вероятности электрического пробоя ЛП;
- 4) уменьшению рабочей полосы частот ЛП.

$$Z_{вх} = \frac{1 + \rho_{вх}}{1 - \rho_{вх}}, \quad \rho_{вх} = \rho_H e^{-j2\beta l}, \quad \beta = \omega/u_\phi$$

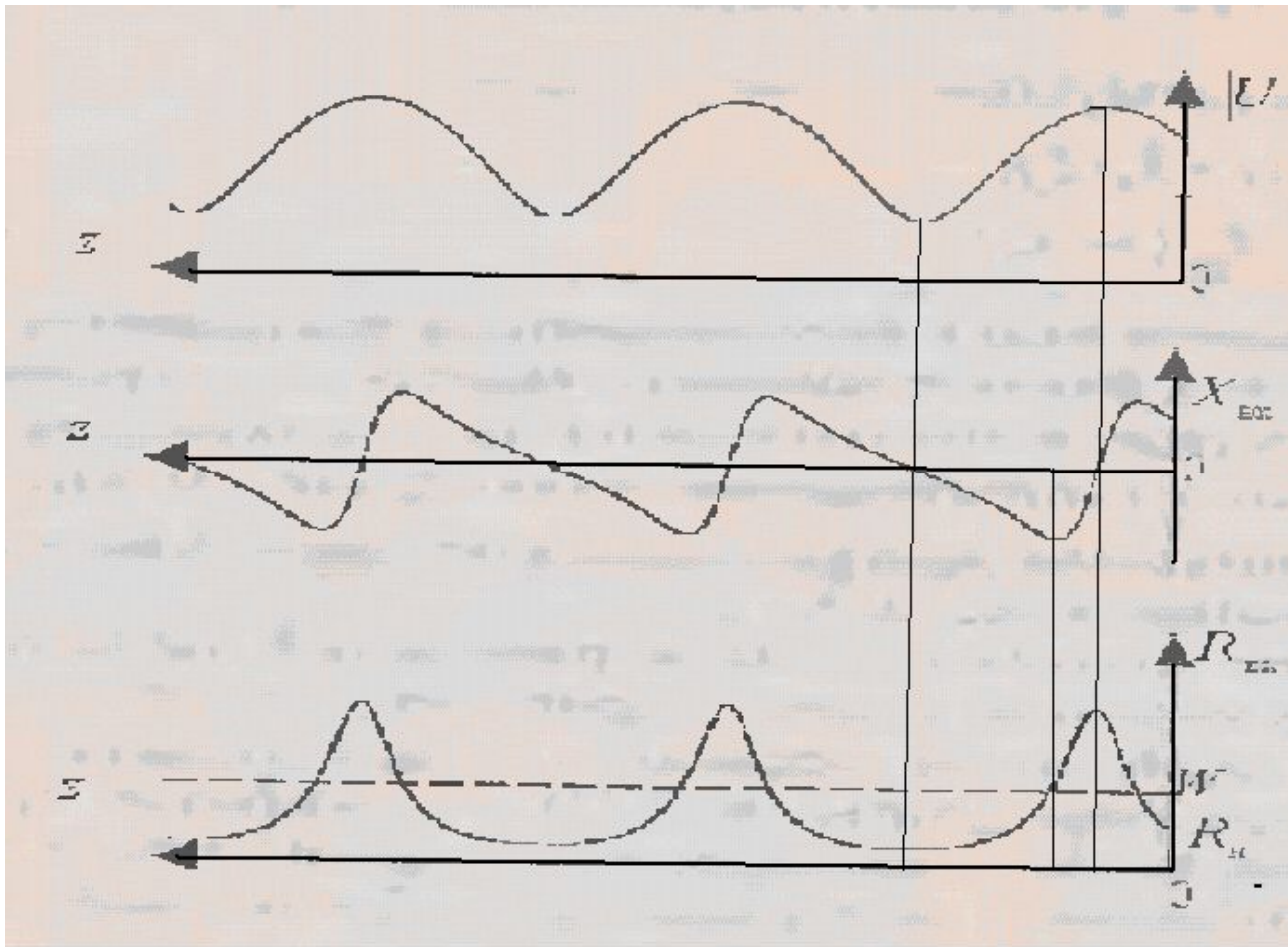
Условия согласования ЛП

$$Z_H = W_l = Z_\Gamma \Rightarrow R_H = R_\Gamma = W_l, \quad X_H = X_\Gamma = 0$$

1.2 МЕТОДЫ СОГЛАСОВАНИЯ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

- 1) метод поглощения отражённой волны (с помощью ферритового вентиля);
- 2) метод введения в тракт компенсирующих неоднородностей (одно- и многоступенчатые трансформаторы, реактивные шлейфы и др.);
- 3) применение согласующих устройств на основе отрезков нерегулярных линий передачи с медленно меняющимися параметрами;
- 4) применение согласующих устройств на основе отрезков неоднородных линий (с неоднородным диэлектрическим заполнением).

Эпюры распределения напряжения и входного сопротивления
вдоль линии, нагруженной на комплексное сопротивление



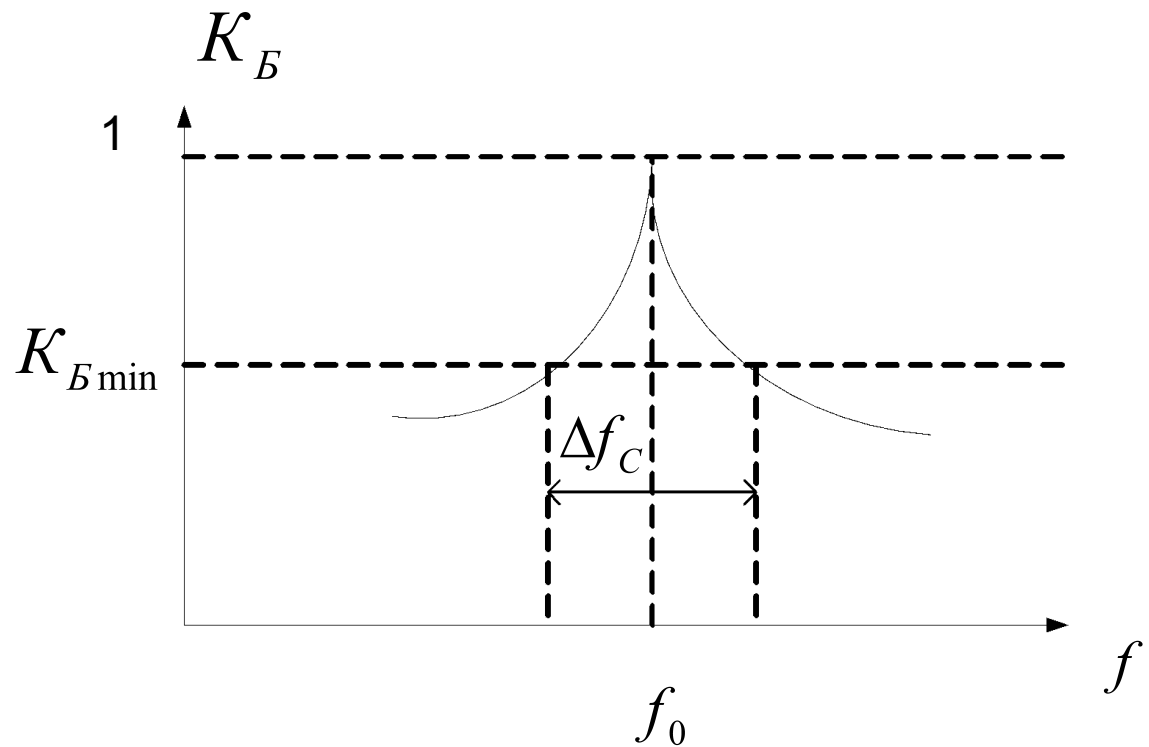
2 УЗКОПОЛОСНЫЕ МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА СОГЛАСОВАНИЯ ТРАКТОВ СВЧ

2.1 УЗКОПОЛОСНЫЕ МЕТОДЫ СОГЛАСОВАНИЯ

Требования к узкополосному согласованию

Условия для полосы согласования:

$$K_{\bar{\sigma}} \geq K_{\bar{\sigma}, \min}$$



2.2 УЗКОПОЛОСНЫЕ СОГЛАСУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

1. Трансформатор сопротивлений

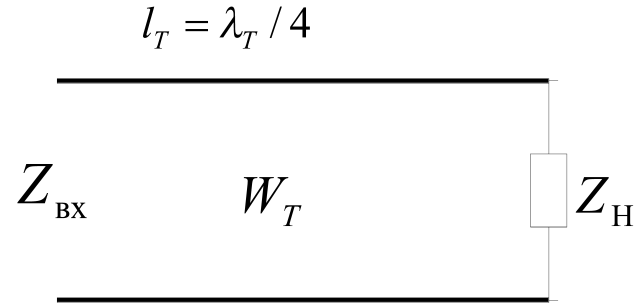
2. Сосредоточенные реактивности

Требования к размерам и месту расположения согласующего устройства:

- минимальная длина;
- расположение как можно ближе к нагрузке.

$\lambda / 4$ -ТРАНСФОРМАТОР (активная нагрузка)

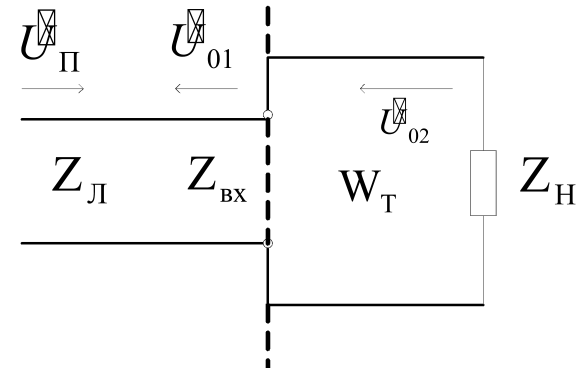
$$Z'_{\text{вх}} = \frac{1}{Z'_H} \Rightarrow Z_{\text{вх}} = \frac{W_T^2}{Z_H}$$



Условия согласования :

$$Z_{\text{Л}} = Z_{\text{ВХ}} \Rightarrow W_T = \sqrt{Z_{\text{Л}} Z_H}$$

$$W'_T = \sqrt{Z'_H}$$

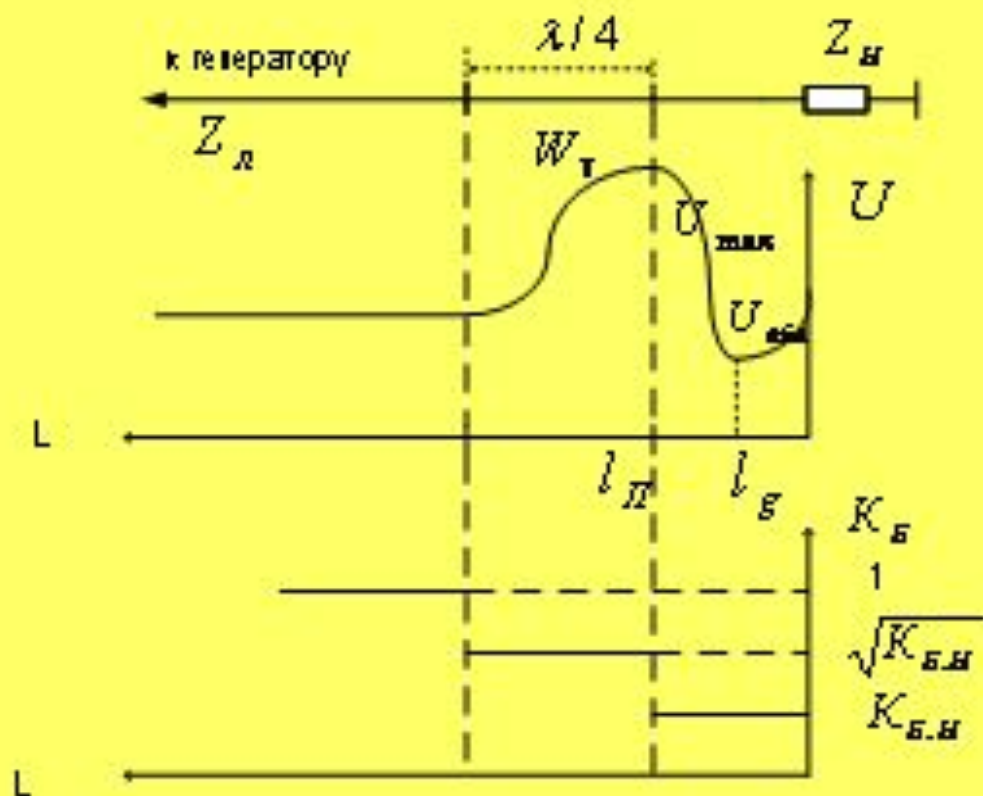


$$U_{\text{0}} = U_{\text{01}} + U_{\text{02}} = 0 \rightarrow U_{\text{01}} = -U_{\text{02}}$$

$\lambda/4$ - ТРАНСФОРМАТОР (комплексная нагрузка)

$$W_{T.П} = \sqrt{K_c}$$

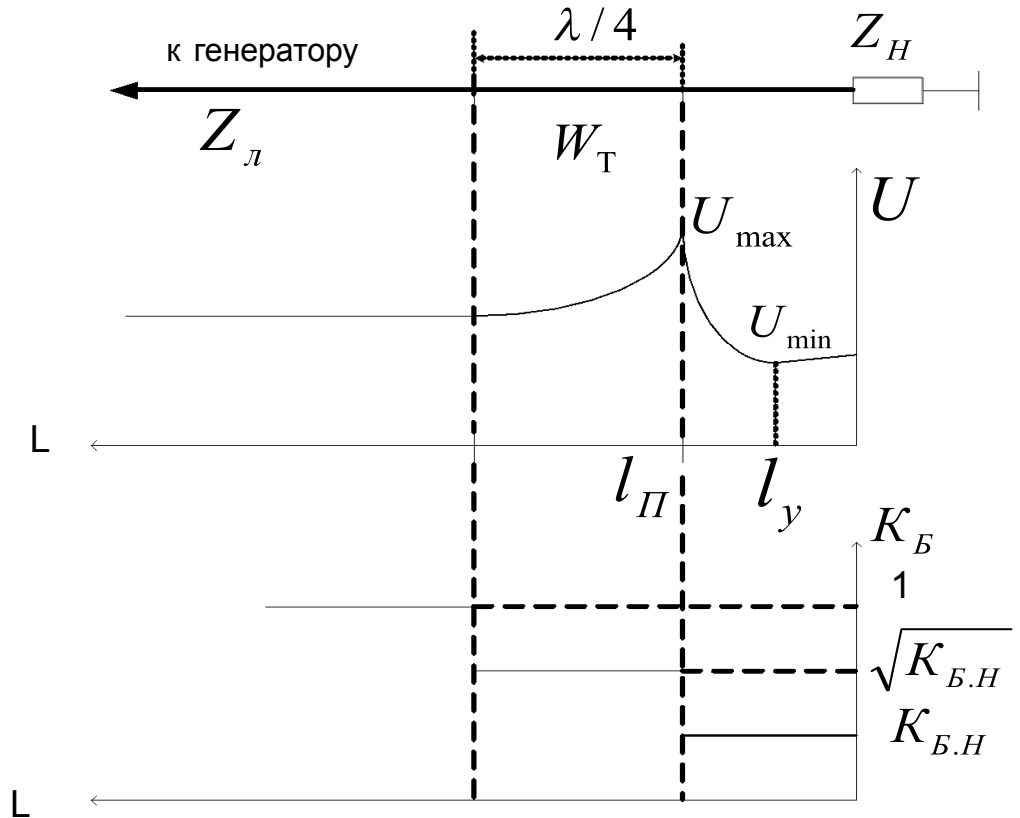
$$W_{T.Y.} = \sqrt{K_B}$$



$\lambda / 4$ -ТРАНСФОРМАТОР (комплексная нагрузка)

$$W'_{T.\Pi} = \sqrt{K_c}$$

$$W'_{T.Y} = \sqrt{K_b}$$

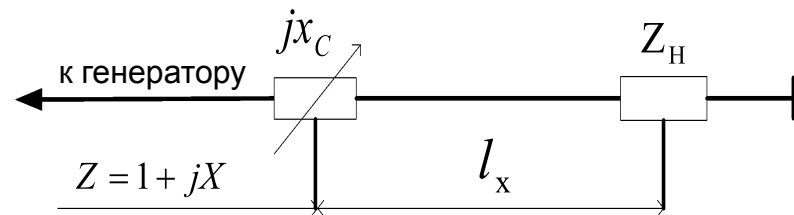


СОГЛАСОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ РЕАКТИВНОСТЕЙ (1931Г., В.В. Татаринов)

Последовательная реактивность

Условия согласования :

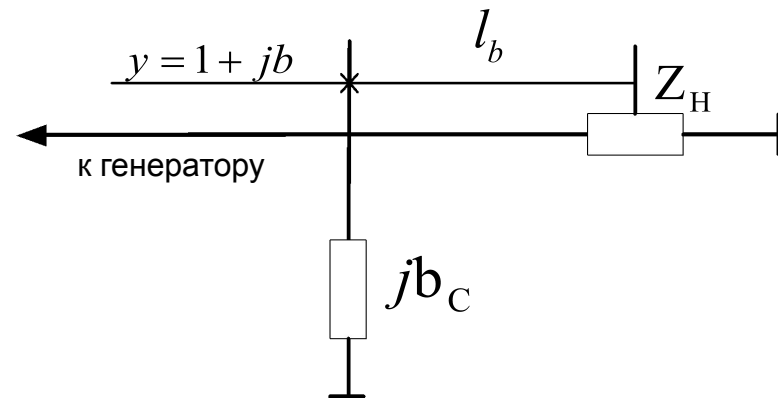
$$X_c = -X$$



Параллельная реактивность

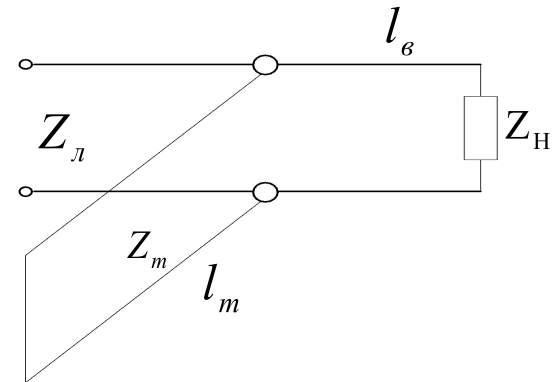
Условия согласования :

$$b_c = -b$$



ШЛЕЙФОВЫЕ СОГЛАСУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

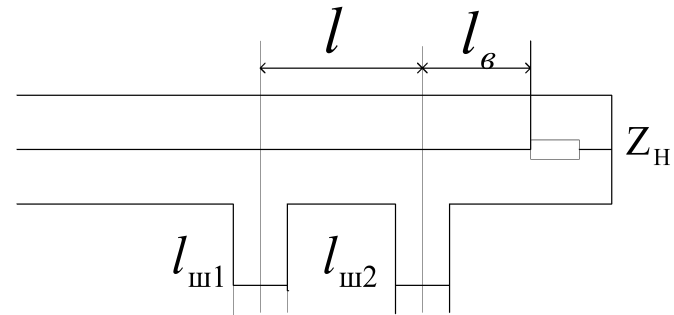
Одношлейфовые:
(ограничение)



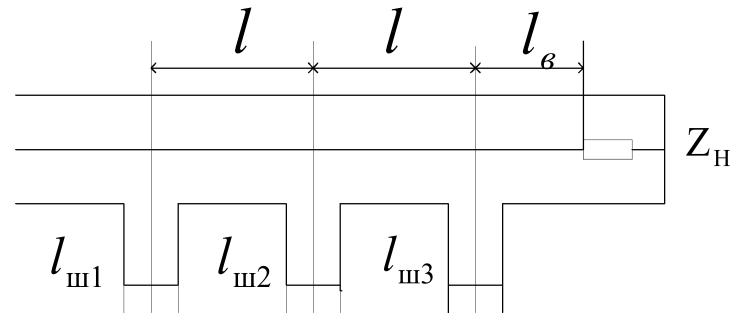
Двухшлейфовые:

$$l = \frac{\lambda_B}{4}; \frac{3}{8} \lambda_B$$

(ограничение)



Трёхшлейфовые



3 ШИРОКОПОЛОСНЫЕ УСТРОЙСТВА СОГЛАСОВАНИЯ ТРАКТОВ СВЧ

1. Основное требование к широкополосным согласующим устройствам:

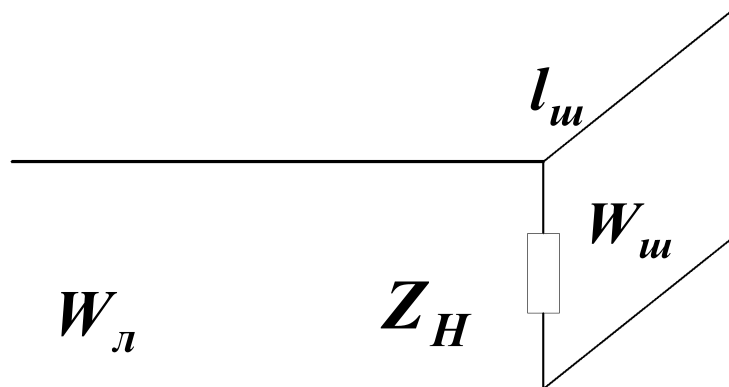
рассогласование в заданной полосе частот не должно превышать установленной величины.

2. Основные виды широкополосных согласующих устройств:

- широкополосные частотные компенсаторы;
- ступенчатые трансформаторы;
- плавные переходы (отрезки неоднородных линий)

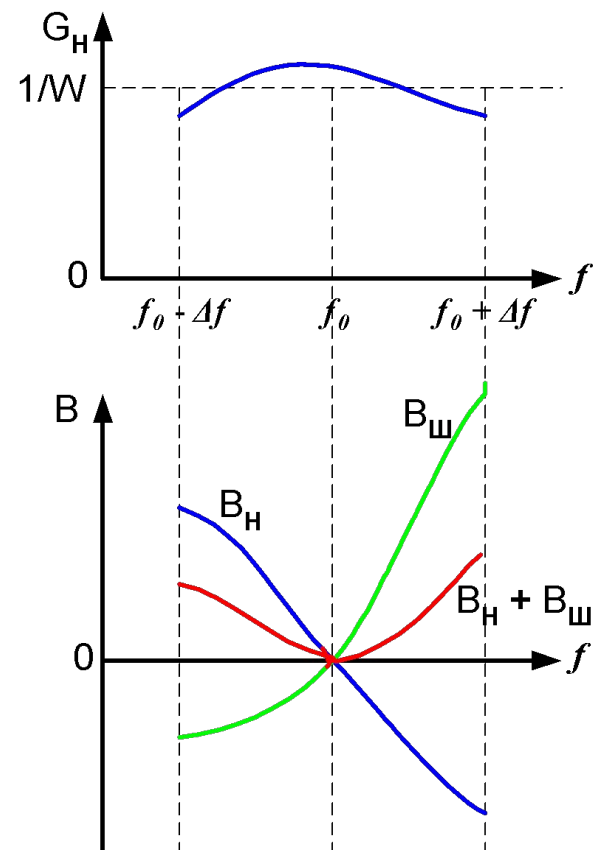
ЧАСТОТНЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ

Принцип работы основан на взаимной компенсации частотных изменений сопротивления нагрузки и согласующих элементов



Достоинство- имеется принципиальная возможность согласования линии с комплексной нагрузкой в полосе частот

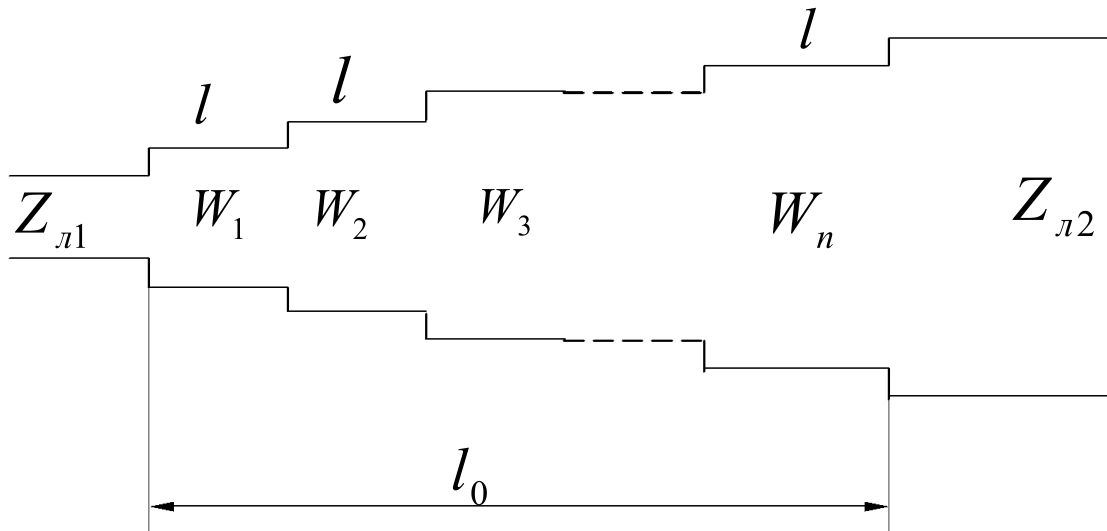
Недостаток- сложность изготовления



СТУПЕНЧАТЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Область применения:

- согласование линий с нагрузкой с небольшой реактивной составляющей;
- соединение линий с различным волновым сопротивлением.



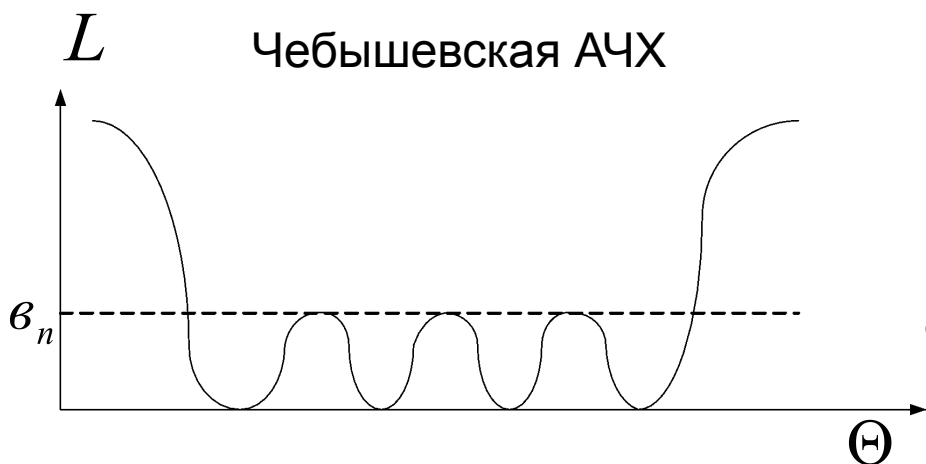
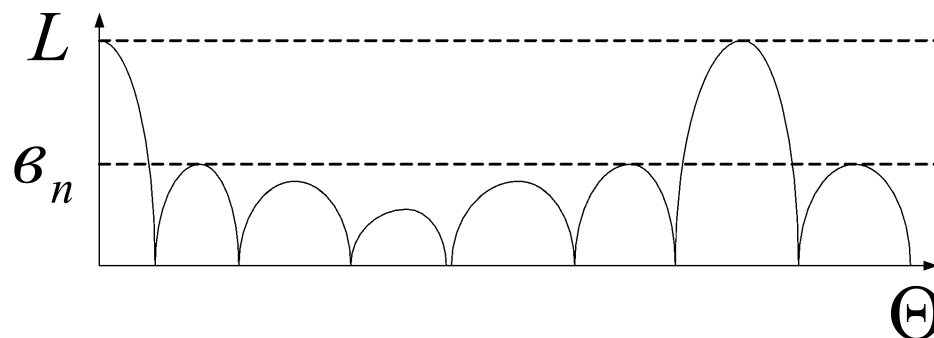
Чем больше l_0 и n , тем шире полоса частот согласования при заданном минимальном значении КБВ

ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТУПЕНЧАТОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Частотная характеристика - зависимость рабочего затухания L от электрической длины одной ступеньки

$$\Theta = 2\pi l / \lambda$$

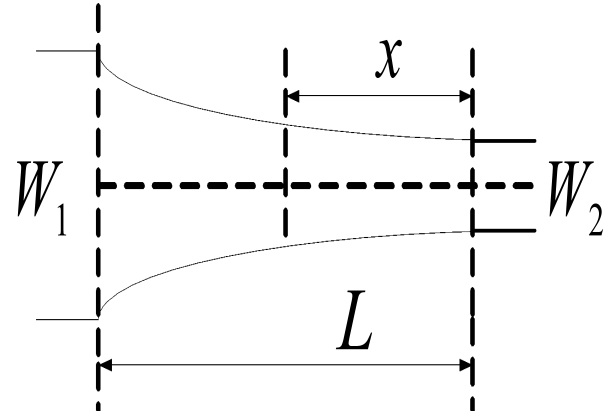
$$L = 1 + P^2 (\cos \Theta)$$



ПЛАВНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

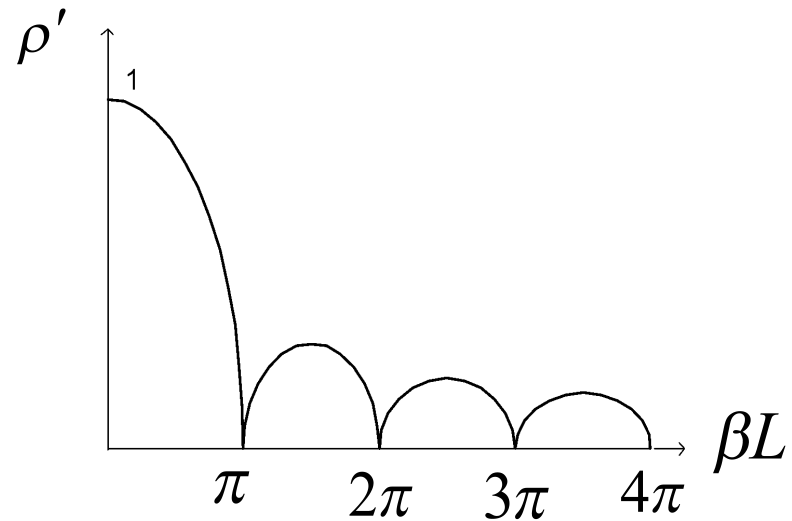
$$W_x = W_2 e^{bx}$$

$$W(x) = \sqrt{W_1 W_2} \exp\left(\frac{2x - L}{2L} \ln \frac{W_1}{W_2}\right)$$



$$\rho' = \frac{2 \left(\frac{W_1}{W_2} \right)}{\left| \ln \frac{W_1}{W_2} \right|} = \left| \frac{\sin \beta L}{\beta L} \right|$$

$$W_1/W_2 \leq 3$$



ОСОБЕННОСТИ ШИРОКОПОЛОСНОГО СОГЛАСОВАНИЯ

1. При конструировании ШСУ необходимо обязательно учитывать частотную зависимость нагрузки.
2. Если нагрузка имеет реактивную составляющую, то нельзя достичь полного согласования ($|ρ|=0$) в непрерывной, хотя и ограниченной полосе частот. Можно добиться полного согласования лишь в конечном числе точек частотного диапазона. При этом характеристика согласования $|ρ|=f(ω)$ имеет тем большие выбросы на отдельных частотах, чем лучшее приближение к идеальному согласованию имеется в других частотных точках.
3. Ширина полосы согласования $2Δω$ и допустимый коэффициент отражения $|ρ_{\text{доп}}|$ связаны между собой. Если задан допустимый коэффициент отражения, то уже нельзя произвольно задавать полосу согласования и наоборот (для заданной конструкции согласующего устройства).

Соотношение для максимальной ширины полосы согласования, не содержащей частот запираения, для нагрузки в виде последовательного или параллельного колебательного контура (согласно теории Р.М. Фано):

$$\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right)_{max} = - \frac{\pi}{Q \ln |\rho_{доп.}|}$$

где ω_0 – центральная частота полосы согласования;

Q – добротность нагрузки на частоте ω_0 ;

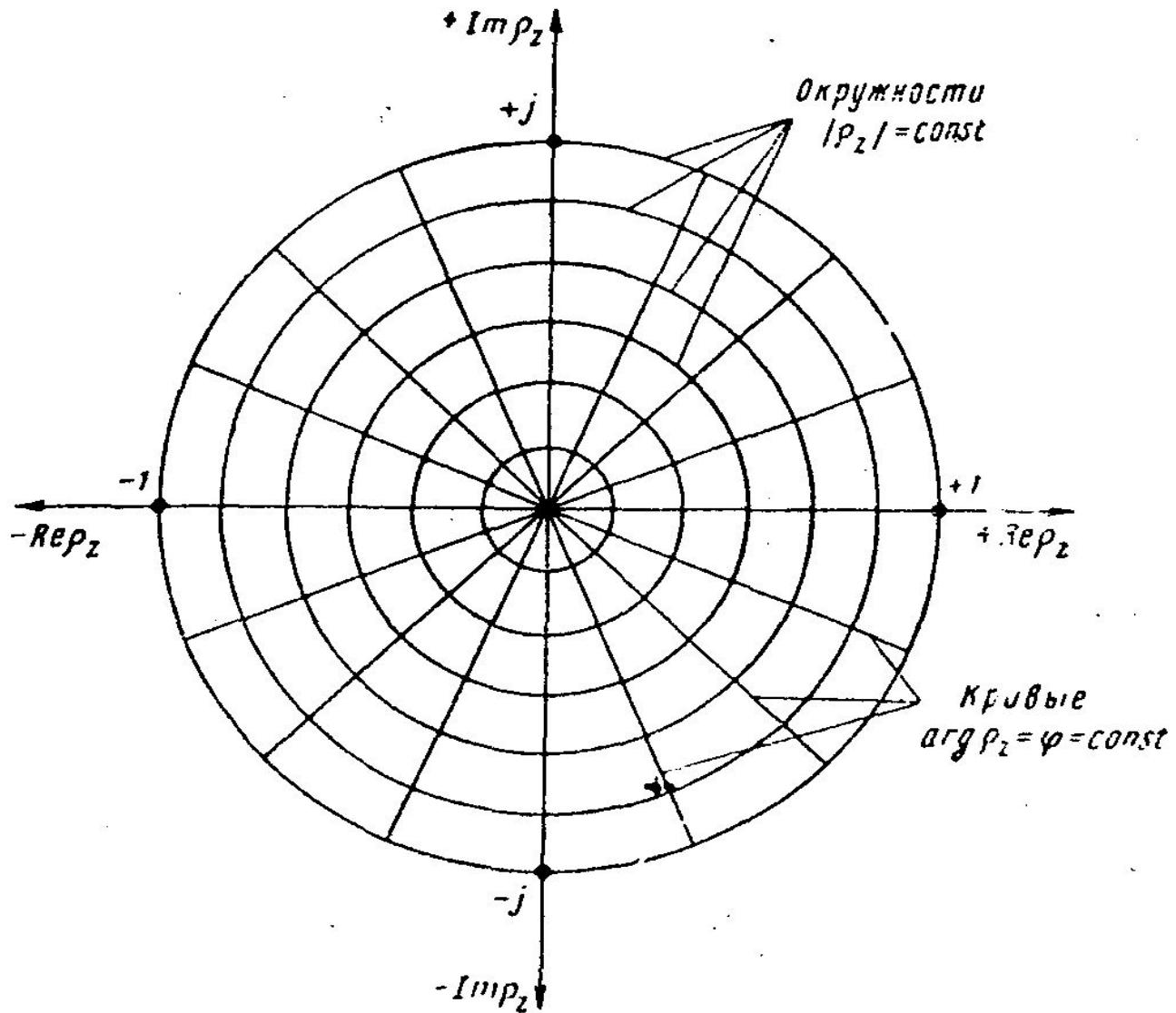
$|\rho_{доп.}|$ – максимально допустимое значение модуля коэффициента отражения от нагрузки

Задание для самостоятельного изучения

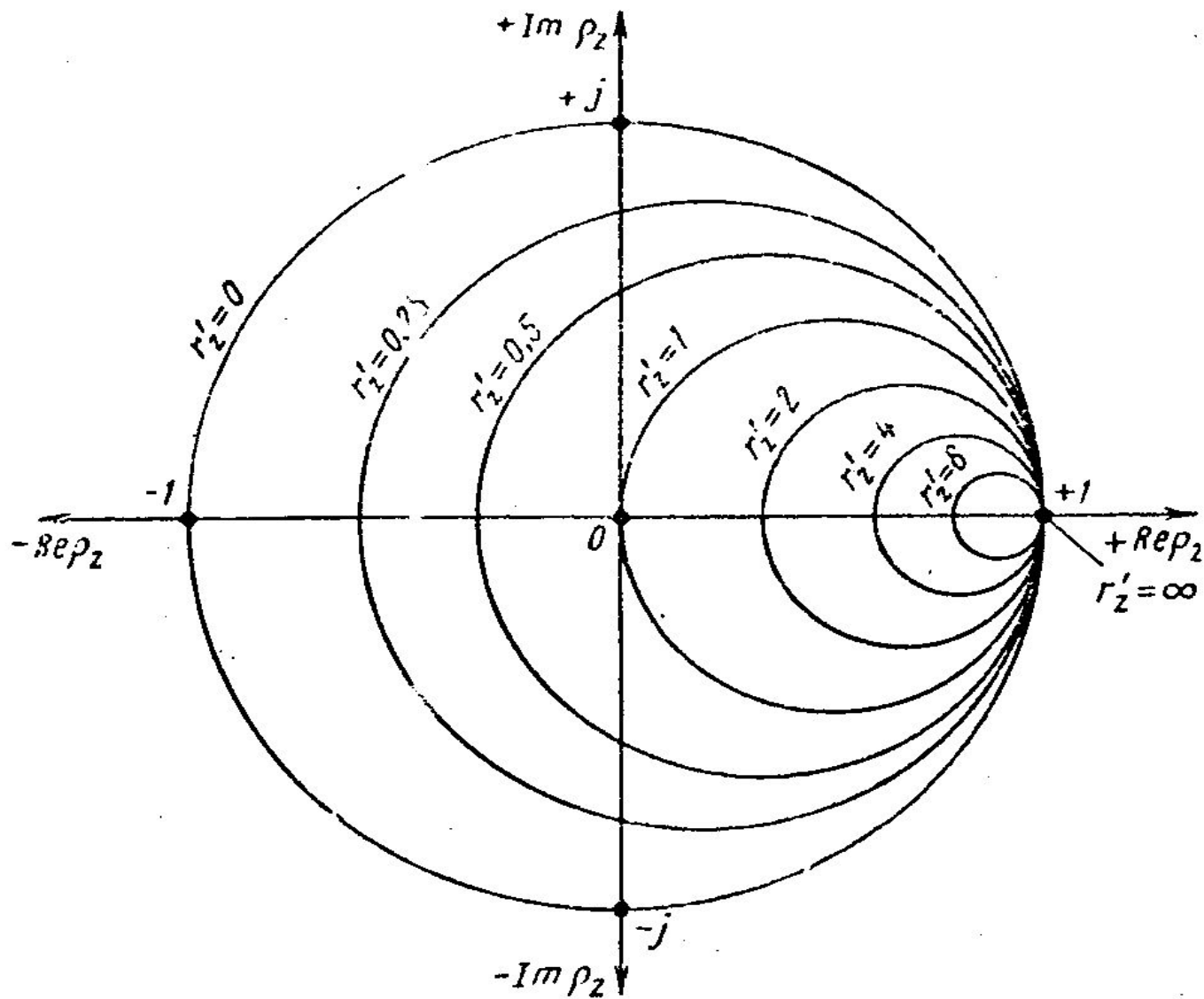
1. Широкополосное согласование комплексных нагрузок.
2. Рассогласование трактов СВЧ со многими нерегулярностями.
3. Согласованные и реактивные нагрузки.
4. Изоляторы для коаксиального тракта.
5. Разъёмы и сочленения в трактах СВЧ.
6. Переходы между линиями передачи различных типов.
7. Повороты линий передачи.
8. Отражающие препятствия в волноводных трактах.

Литература: [1,2, 4]

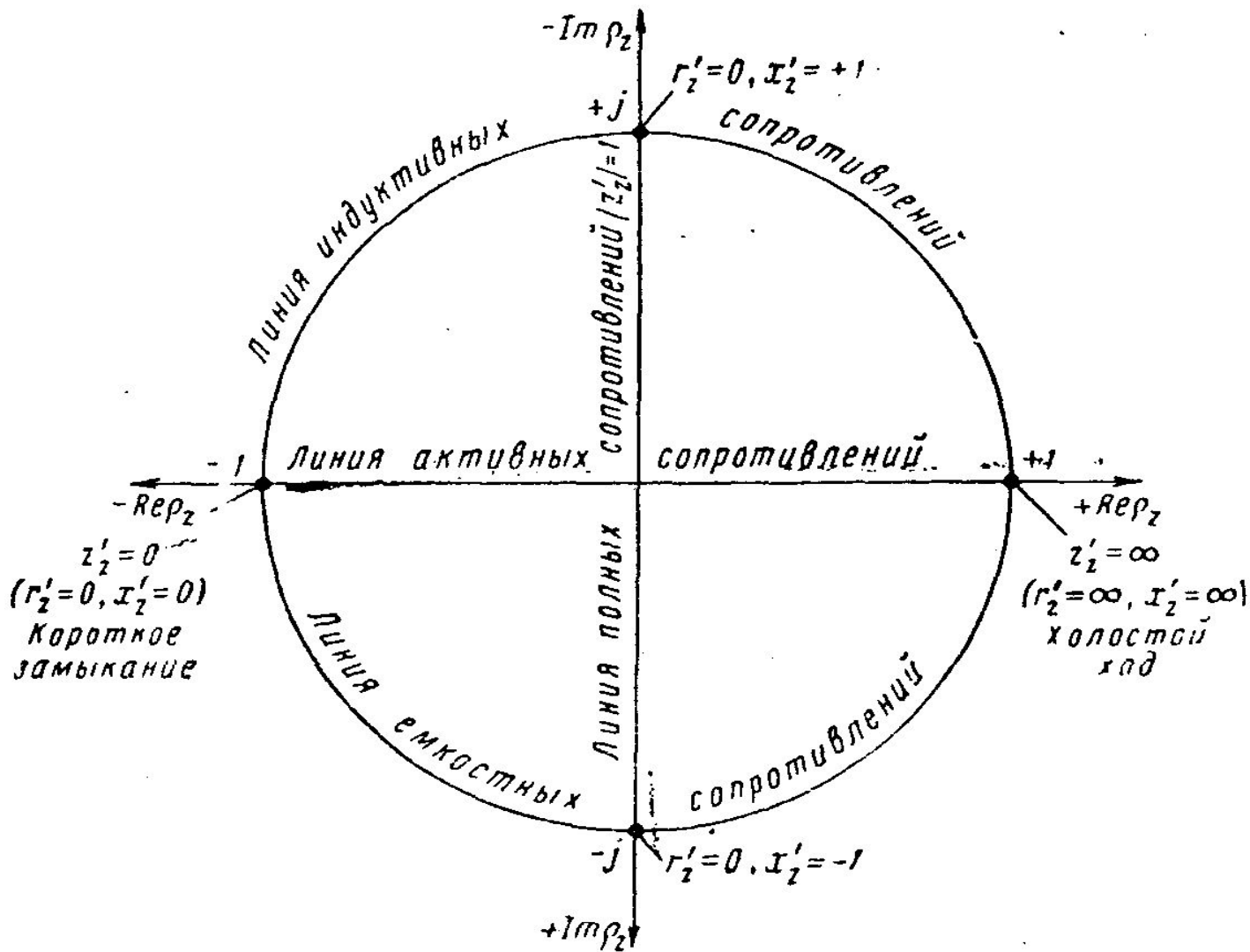
ПЛОСКОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ



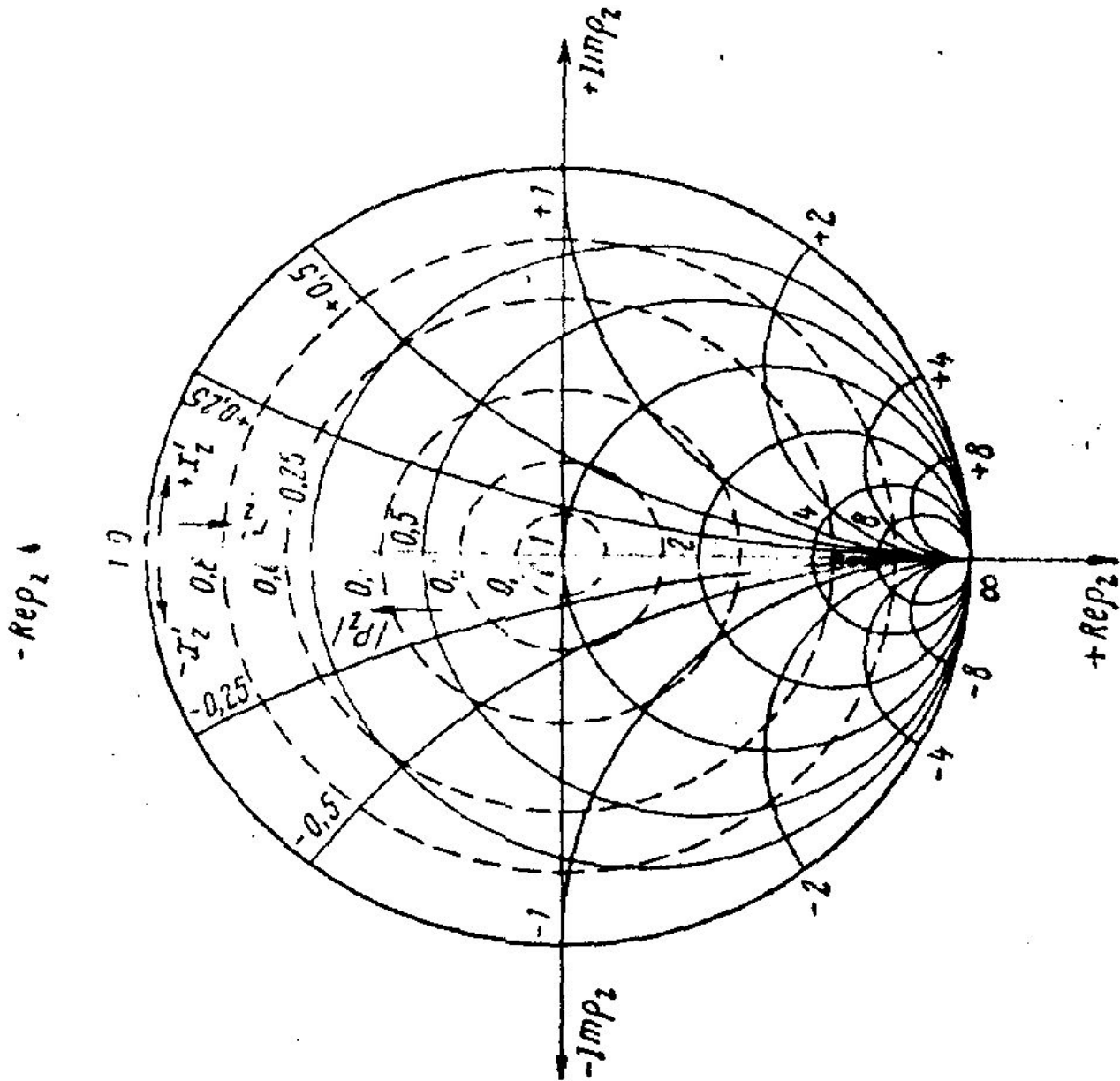
ОКРУЖНОСТИ ПОСТОЯННОГО АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ



ХАРАКТЕРНЫЕ ЛИНИИ И ТОЧКИ НОМОГРАММЫ ВОЛЬПЕРТА-СМИТА



НОМОГРАММА ВОЛЬПЕРТА-СМИТА



НОМОГРАММА ВОЛЬПЕРТА-СМИТА

