Estabilidade de Amplificadores

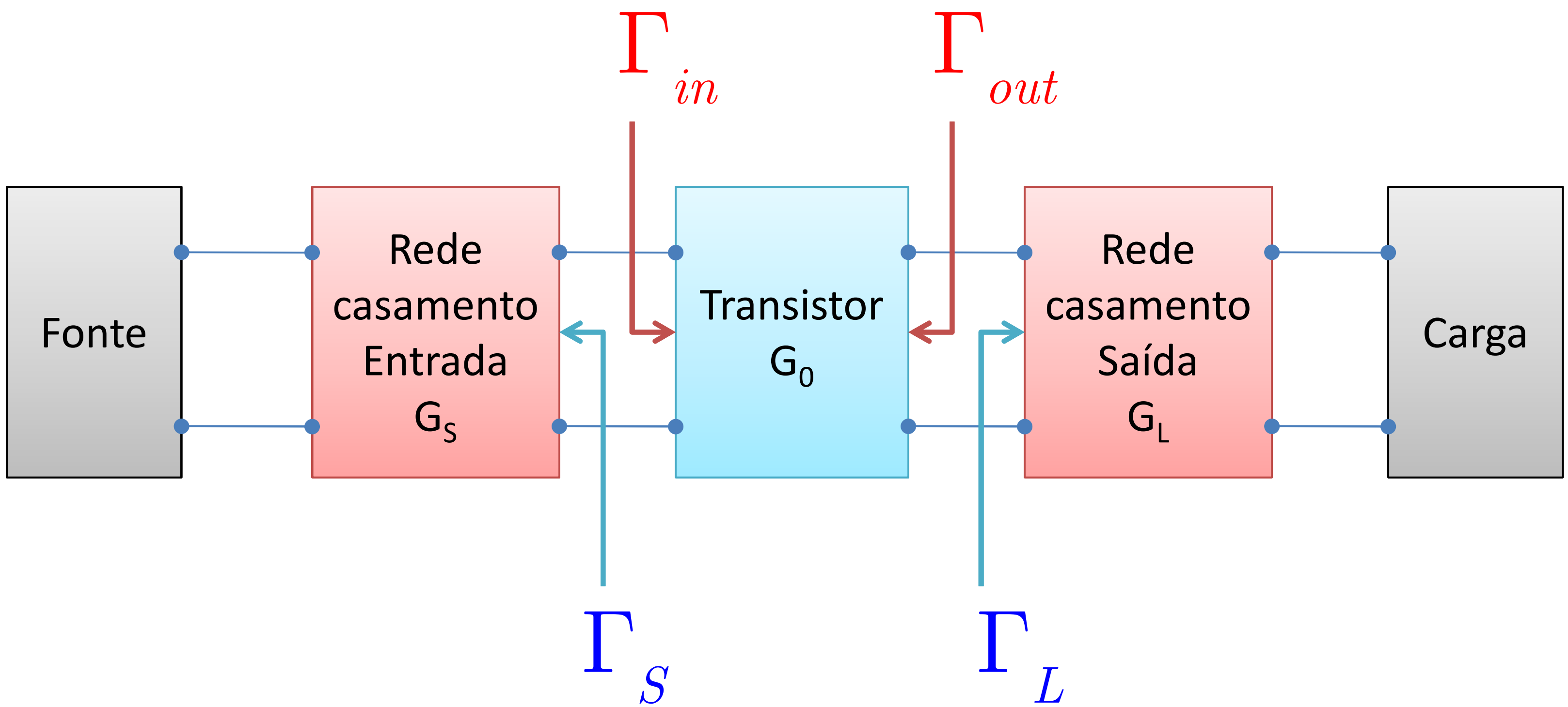
SEL 369 Micro-ondas/SEL5900 Circuitos de Alta Frequência

Amílcar Careli César
Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP

Atenção!

- Este material didático é planejado para servir de apoio às aulas de SEL-369 Micro-ondas, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de engenharia elétrica/eletrônica e SEL-5900 Circuitos de Alta Frequência, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de pós-graduação em engenharia elétrica.
- Não são permitidas a reprodução e/ou comercialização do material.
- solicitar autorização ao docente para qualquer tipo de uso distinto daquele para o qual foi planejado.

Diagrama de blocos de amplificador



$$G_S = \frac{1-|\Gamma_S|^2}{|1-\Gamma_{in}\Gamma_S|^2}\ ,\ G_0 = |S_{21}|^2\ ,\ G_L = \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}\Gamma_L|^2}$$

Condição de estabilidade-1

$$Z = R + jX$$

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} = \frac{\left(R - Z_0\right) + jX}{\left(R + Z_0\right) + jX}$$

$$\left|\Gamma\right| = \frac{\left|\left(R - Z_0\right) + jX\right|}{\left|\left(R + Z_0\right) + jX\right|} = \frac{\left[\left(R - Z_0\right)^2 + X^2\right]^{1/2}}{\left[\left(R + Z_0\right)^2 + X^2\right]^{1/2}}$$

$$= \left[\frac{\left(R - Z_0\right)^2 + X^2}{\left(R + Z_0\right)^2 + X^2}\right]^{1/2}$$

Condição de estabilidade-2

$$\Gamma = \left[\frac{\left(R - Z_0\right)^2 + X^2}{\left(R + Z_0\right)^2 + X^2}\right]^{1/2} = \left[\frac{R^2 + X^2 + Z_0^2 - 2RZ_0}{R^2 + X^2 + Z_0^2 + 2RZ_0}\right]^{1/2}$$

$$\left|\Gamma\right| = \sqrt{\frac{A - B}{A + B}} < 1$$

$$A = R^2 + X^2 + Z_0^2 \ ; \ B = 2RZ_0$$

$$R = -R$$

$$\left|\Gamma\right| = \sqrt{\frac{A + B}{A - B}} > 1$$

Condição de estabilidade-3

$$R > 0$$

$$|\Gamma| = \sqrt{\frac{A-B}{A+B}} < 1$$

$$R < 0 \ \text{(oscilação)}$$

$$|\Gamma| = \sqrt{\frac{A+B}{A-B}} > 1$$

Condição de estabilidade-4

$$\mathrm{Re}\{Z_{in}\}, \mathrm{Re}\{Z_{out}\} > 0 \qquad |\Gamma_{in}|, |\Gamma_{out}| < 1$$

$$\mathrm{Re}\{Z_{in}\}, \mathrm{Re}\{Z_{out}\} < 0 \qquad |\Gamma_{in}|, |\Gamma_{out}| > 1$$

Rede é incondicionalmente estável
Se para qualquer impedância passiva
De fonte ou carga

$$|\Gamma_{in}| \,\mathrm{e}\, |\Gamma_{out}| < 1$$

Rede é condicionalmente estável
Se para qualquer impedância passiva
De fonte ou carga

$$|\Gamma_{in}| \,\mathrm{ou}\, |\Gamma_{out}| > 1$$

Círculo de estabilidade

Define o limiar entre as regiões estável e instável
Carta de Smith

Lugar geométrico de Γ_S ou Γ_L que resulta em $\left|\Gamma_{in}\right| \text{ou} \left|\Gamma_{out}\right| = 1$

Condição de estabilidade incondicional

$$\left|\Gamma_{in}\right| = \left|S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}\right| < 1 \quad \text{e} \quad \left|\Gamma_{out}\right| = \left|S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}\right| < 1$$

Dispositivo unilateral, $S_{12}=0$

$$\left|\Gamma_{in}\right| = \left|S_{11}\right| < 1 \quad \text{e} \quad \left|\Gamma_{out}\right| = \left|S_{22}\right| < 1$$

Círculo de estabilidade de saída

$$\left|\Gamma_{in}\right| = 1 \qquad \left|\Gamma_{in}\right| = \left|S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}\right| = 1$$

$$\left|\Gamma_L - \frac{\left(S_{22} - \Delta S_{11}^*\right)^*}{\left|S_{22}\right|^2 - \left|\Delta\right|^2}\right| = \left|\frac{S_{12}S_{21}}{\left|S_{22}\right|^2 - \left|\Delta\right|^2}\right|$$

Equação da família de círculos

Centro

Raio

$$C_L = \frac{\left(S_{22} - \Delta S_{11}^*\right)^*}{\left|S_{22}\right|^2 - \left|\Delta\right|^2} \qquad R_L = \left|\frac{S_{12}S_{21}}{\left|S_{22}\right|^2 - \left|\Delta\right|^2}\right|$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{21}S_{12}$$

Círculo de estabilidade de entrada

$$\left|\Gamma_{out}\right| = 1 \qquad \left|\Gamma_{out}\right| = \left|S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}\right| = 1$$

Centro

Raio

$$C_S = \frac{\left(S_{11} - \Delta S_{22}^{*}\right)^{*}}{\left|S_{11}\right|^2 - \left|\Delta\right|^2} \qquad R_S = \left|\frac{S_{12}S_{21}}{\left|S_{11}\right|^2 - \left|\Delta\right|^2}\right|$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{21}S_{12}$$

Teste para definir região estável-1

$$\text{Supondo}\left|S_{11}\right| < 1;\text{fazendo}\, Z_L = Z_0$$
$$\rightarrow \Gamma_L = 0 \;\text{ e }\; \left|\Gamma_{in}\right| = \left|S_{11}\right|$$

$$\text{Se}\left|S_{11}\right| < 1 \rightarrow \left|\Gamma_{in}\right| < 1$$
$$\rightarrow \text{centro da carta de Smith é estável}$$

$$\text{Se}\left|S_{11}\right| > 1 \rightarrow \left|\Gamma_{in}\right| > 1$$
$$\rightarrow \text{centro da carta de Smith é instável}$$

Teste para definir região estável-2

Se a rede é incondicionalmente estável os círculos de estabilidade
Estão fora da carta de Smith

$$\left| \left| C_L \right| - R_L \right| > 1 \; para \left| S_{11} \right| < 1$$
$$\left| \left| C_S \right| - R_S \right| > 1 \; para \left| S_{22} \right| < 1$$

Teste para estabilidade incondicional

Condição de Rollet

$$K = \frac{1 - \left|S_{11}\right|^2 - \left|S_{22}\right|^2 + \left|\Delta\right|^2}{2\left|S_{12}S_{21}\right|} > 1$$

e

Condição auxiliar

$$\left|\Delta\right| = \left|S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}\right| < 1$$

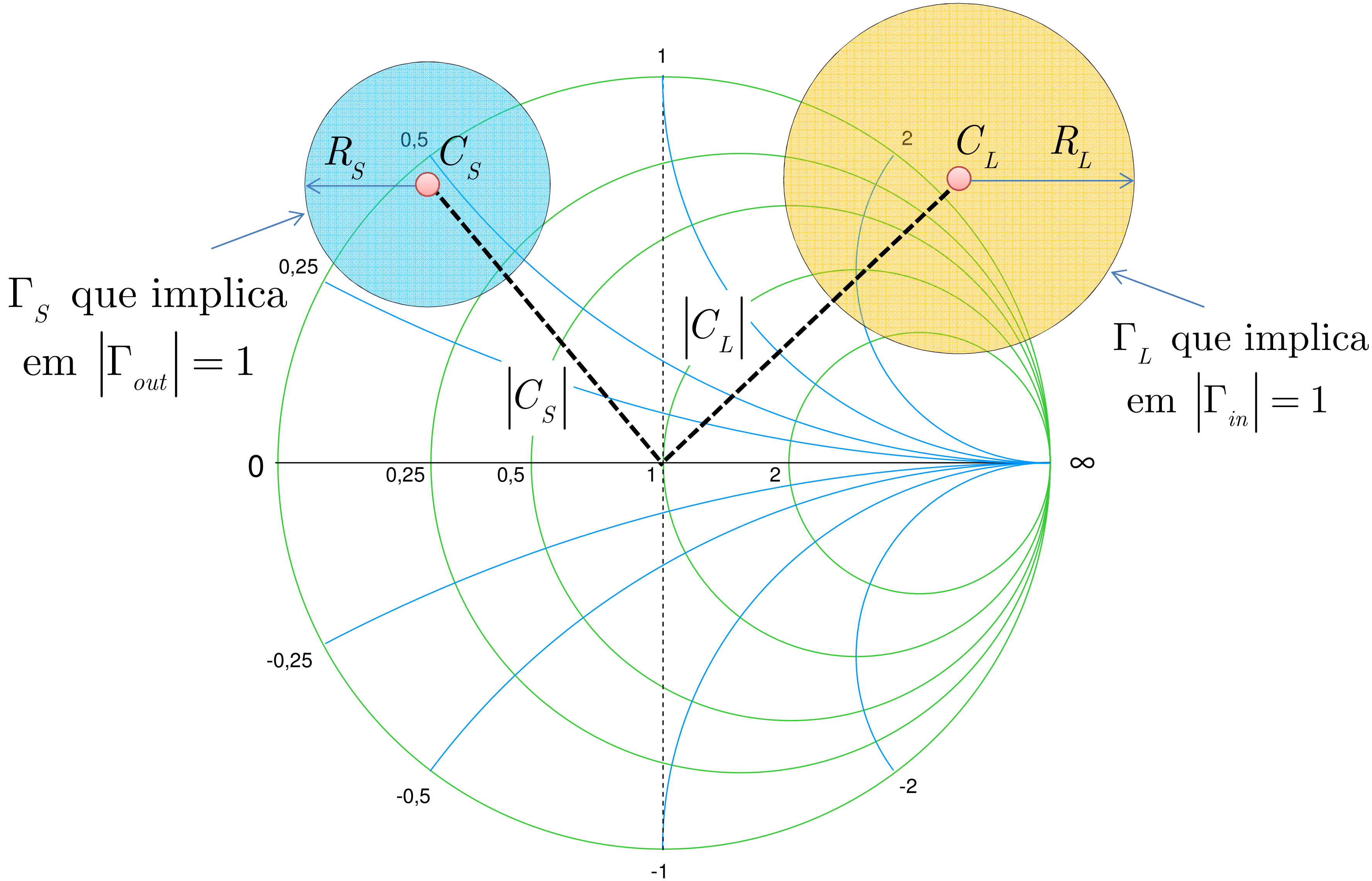
Teste do parâmetro μ

condição IE satisfaz

$$\mu = \frac{1 - \left|S_{11}\right|^2}{\left|S_{22} - \Delta S_{11}^*\right| + \left|S_{12} S_{21}\right|} > 1$$

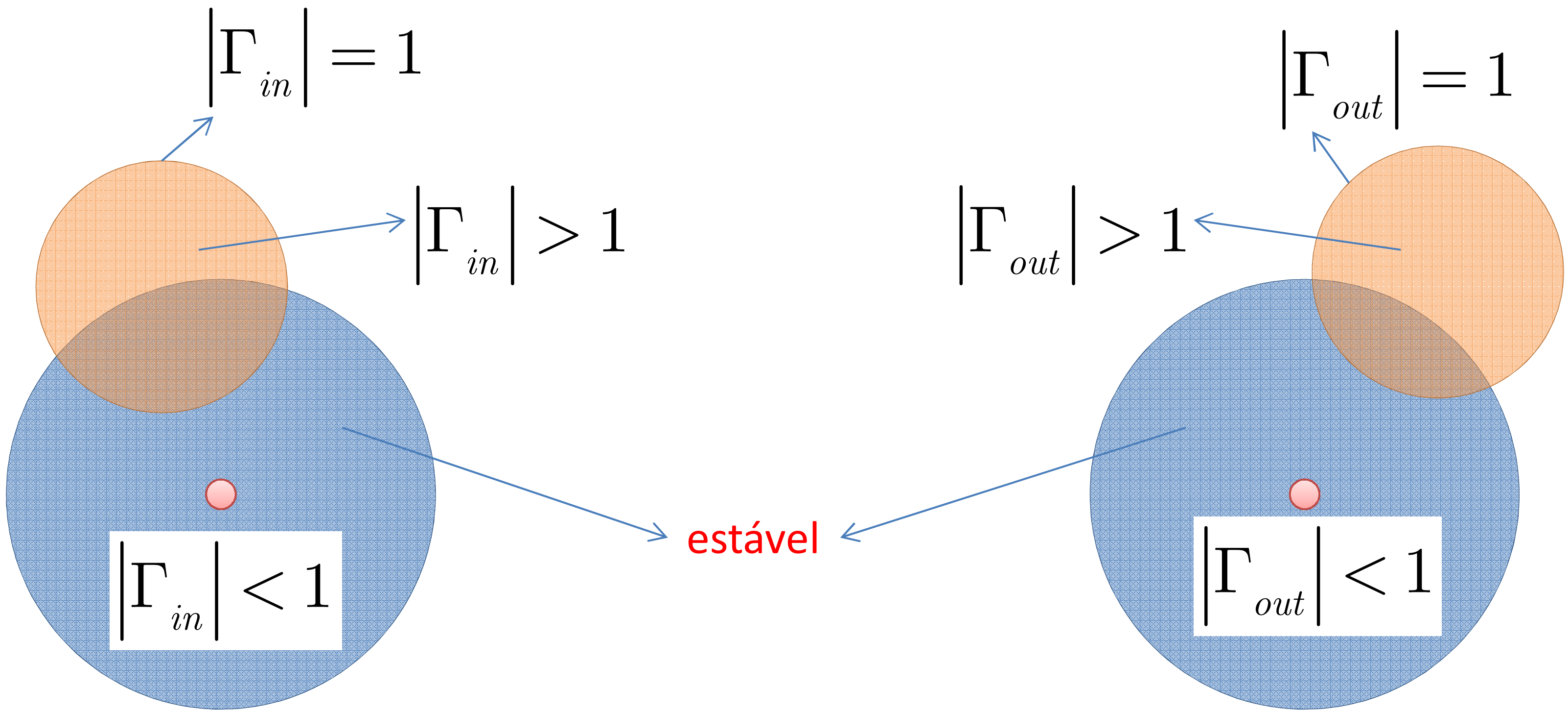
- quanto maior μ, mais estável é a rede
- utilizado para comparar 2 redes

Círculo de estabilidade de entrada e saída



Situação 1

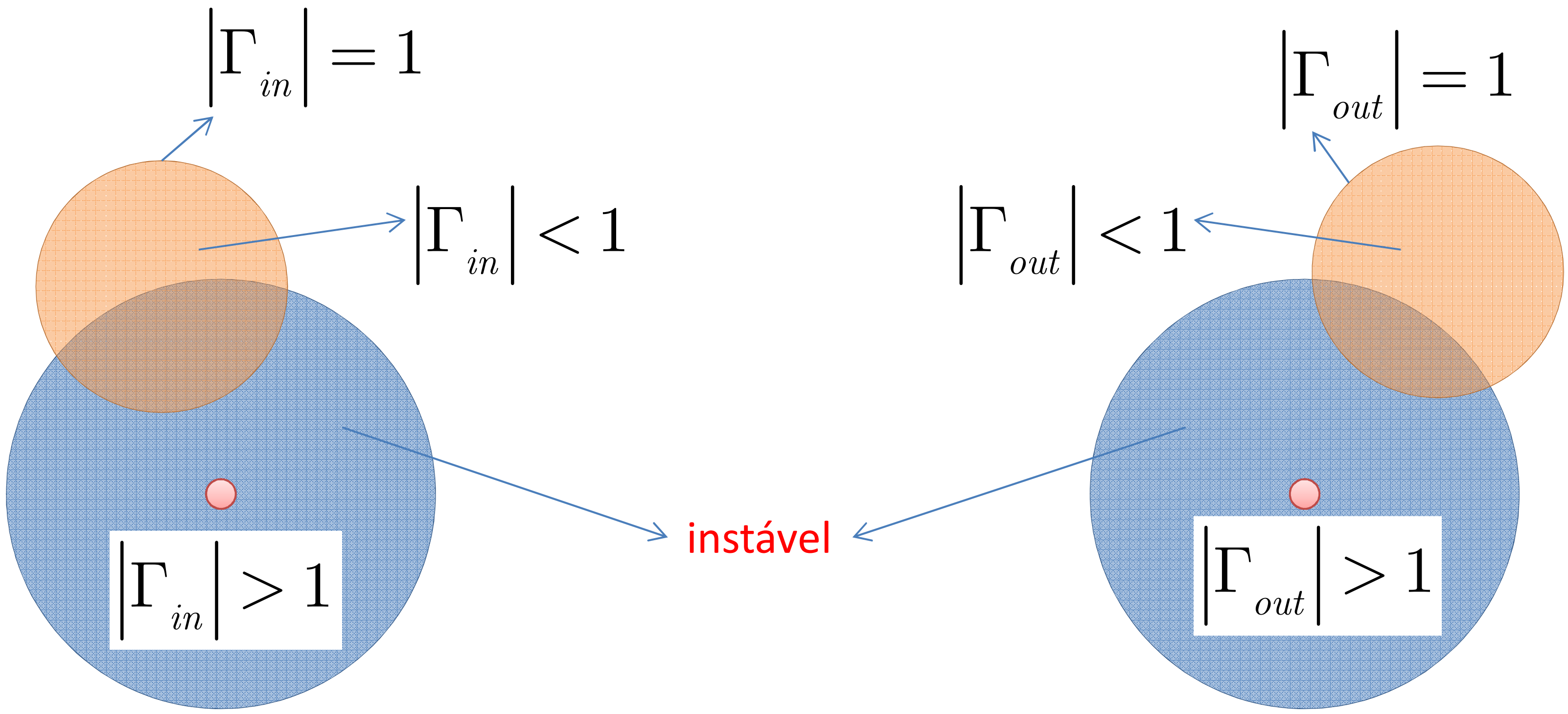
Se $Z_L = Z_0 \rightarrow \Gamma_L = 0$ e $|\Gamma_{in}| = |S_{11}| \;\; \therefore$ se $|S_{11}| < 1 \rightarrow |\Gamma_{in}| < 1$
o centro da carta de Smith é ponto de operação estável



Situação 2

Se $Z_L = Z_0 \rightarrow \Gamma_L = 0$ e $\left|\Gamma_{in}\right| = \left|S_{11}\right| \;\therefore\;$ se $\left|S_{11}\right| > 1 \rightarrow \left|\Gamma_{in}\right| > 1$

o centro da carta de Smith é ponto de operação instável



Determinação gráfica

- Com os parâmetros S em dada frequência calcular R_L, C_L, R_S e C_S e esboçar os círculos de estabilidade na carta de Smith

- Determinar a região estável, em que os valores de Γ_L produzem $\left|\Gamma_{in}\right| < 1$ e valores de Γ_S que produzem $\left|\Gamma_{out}\right| < 1$