

Filtros

Parte 1: Análise

SEL 369 Micro-ondas/SEL5900 Circuitos de Alta
Frequência

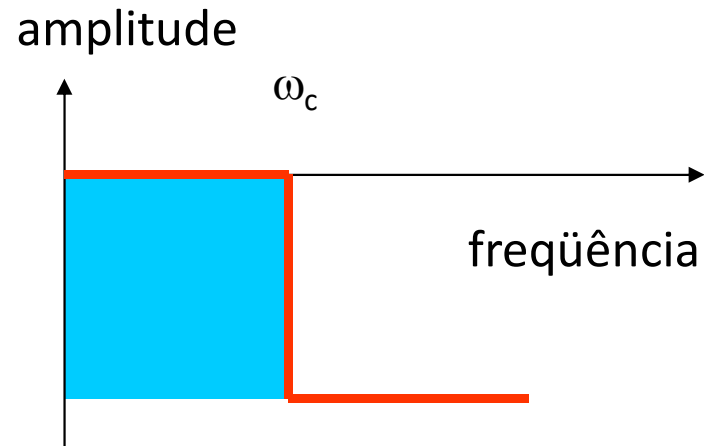
Amílcar Careli César
Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP

Atenção!

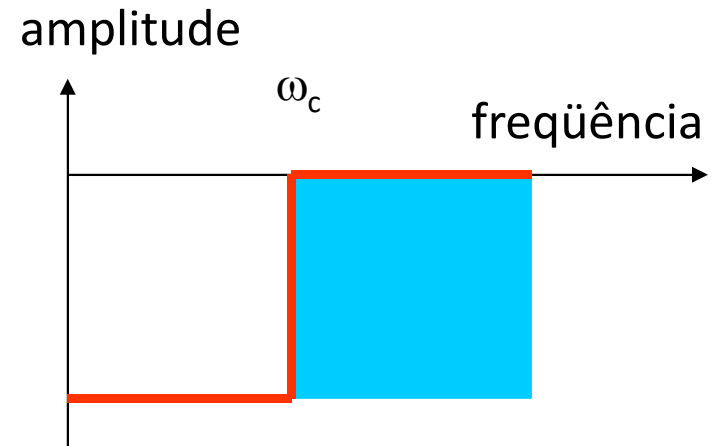


- ✓ Este material didático é planejado para servir de apoio às aulas de **SEL-369 Micro-ondas**, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de engenharia elétrica/eletrônica e **SEL-5900 Circuitos de Alta Frequência**, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de pós-graduação 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.

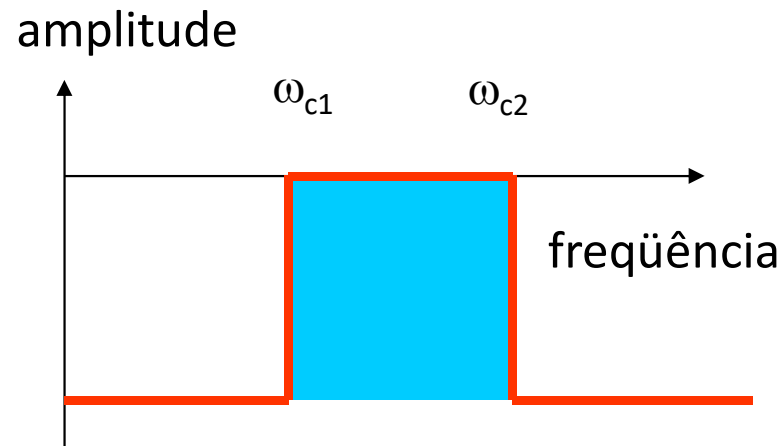
Resposta em frequências de filtros ideiais



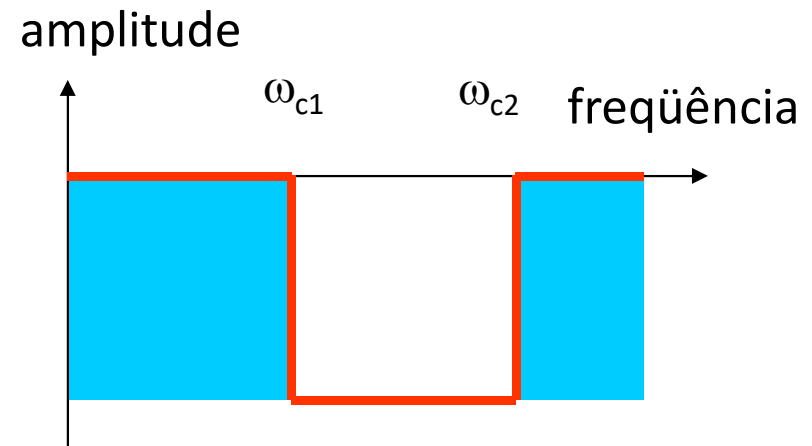
Passa-baixas



Passa-altas



Passa-faixa

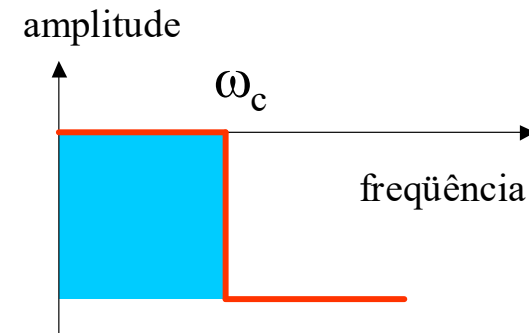


Rejeita-faixa

Aproximações para a função ideal

Como não é possível realizar a função ideal, aproximações podem ser feitas

$$\left| t(j\omega) \right|^2 = \frac{1}{1 + A_n(\omega^2)}$$



$$\text{onde } \begin{cases} A_n \ll 1 & \text{para } 0 \leq \omega/\omega_c < 1 \\ A_n \gg 1 & \text{para } \omega/\omega_c > 1 \end{cases}$$

$$\left| t(j\omega) \right|^2 \text{ deve ser uma função par de } \omega \text{ e } A_n \text{ uma função de } \omega^2$$

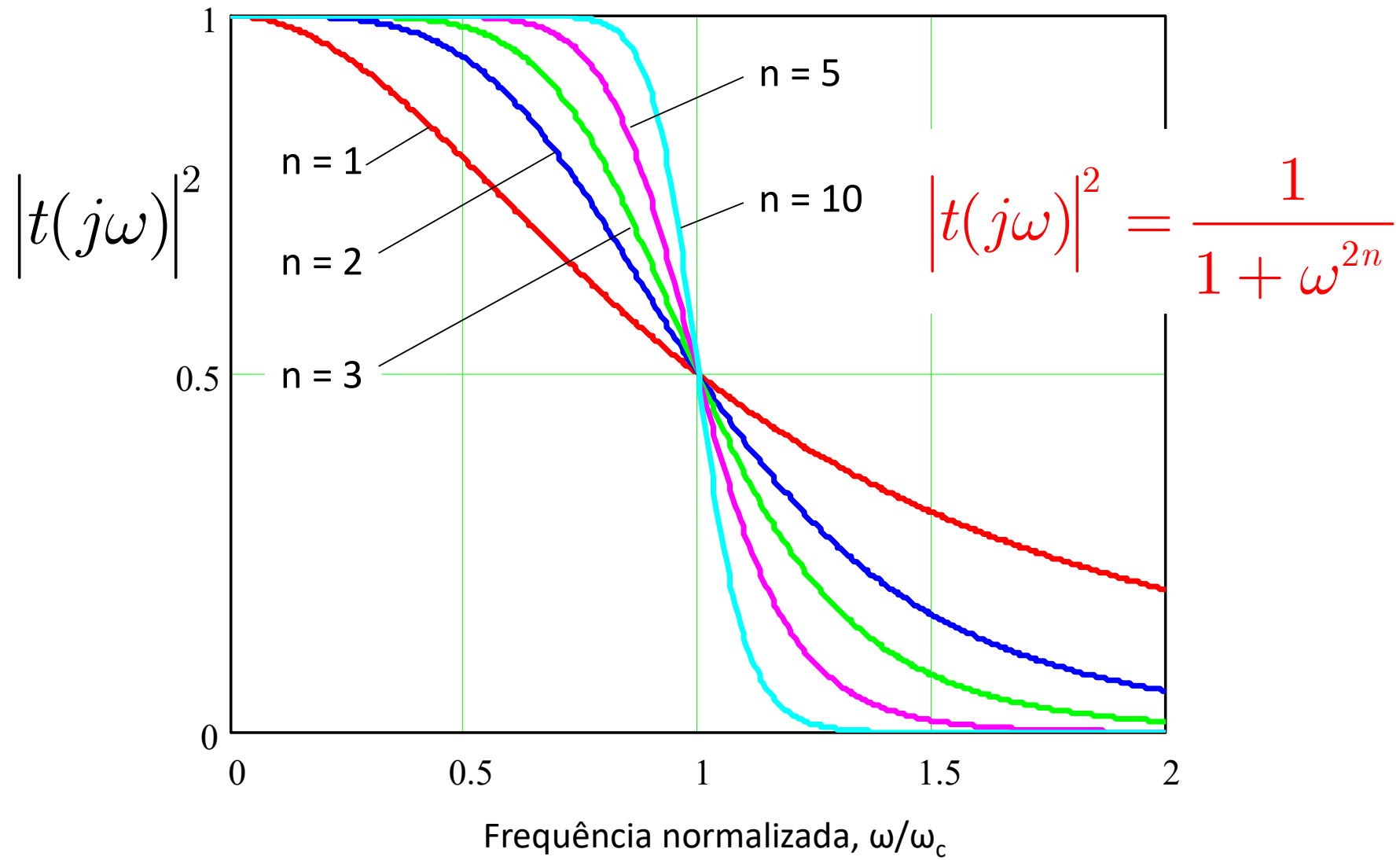
Filtro de Butterworth

Nesta realização de função ideal, $A_n = \omega^{2n}$ e

$$|t(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \omega^{2n}}$$

Na faixa passante a resposta é tanto mais plana quanto maior for o valor de n .

Filtro de Butterworth



Filtro de Tschebysheff

A função ideal é realizada por meio dos polinômios de Tchebyshev

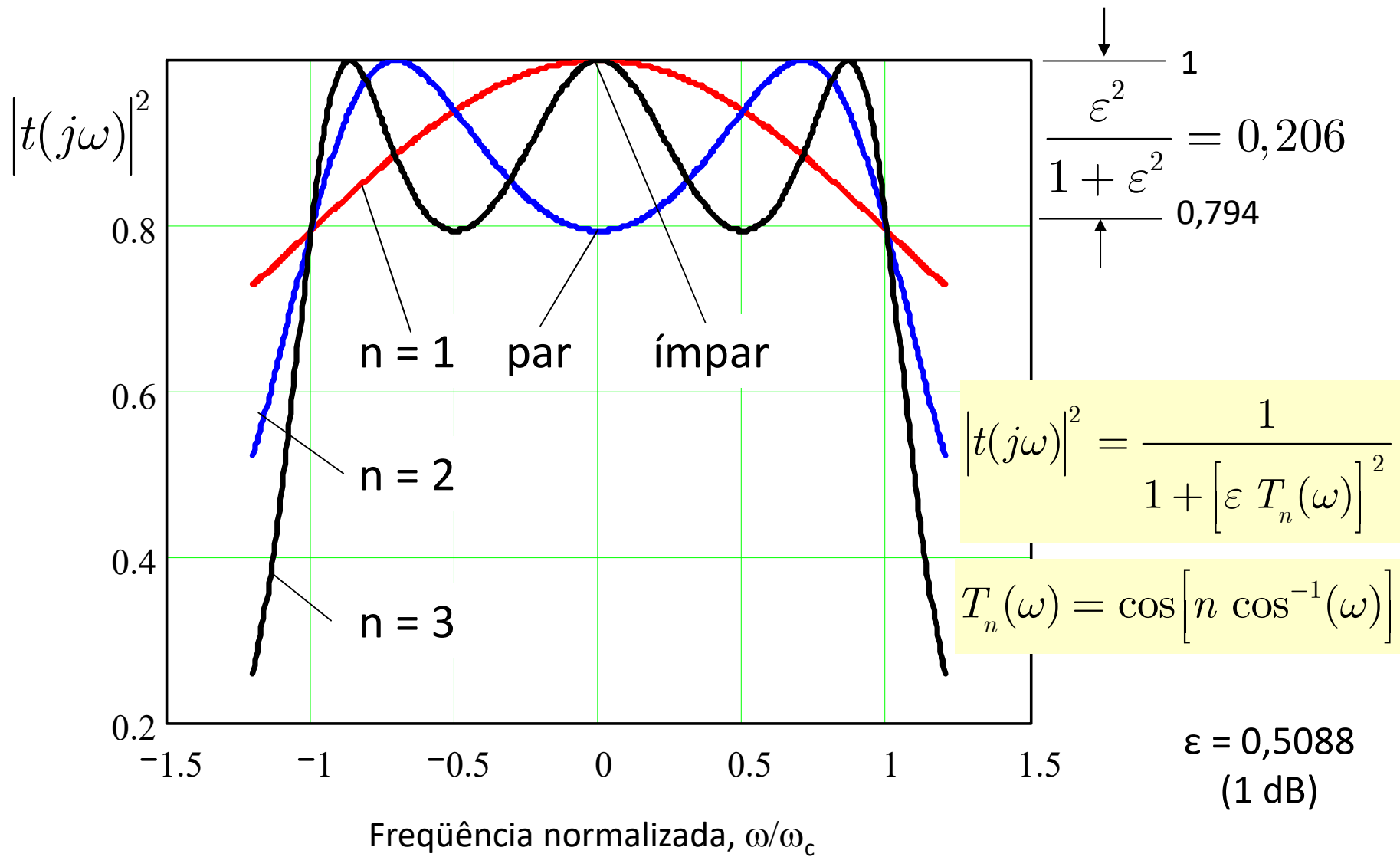
$$A_n = \left(\varepsilon T_n \right)^2$$

$$|t(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left[\varepsilon T_n(\omega) \right]^2}$$

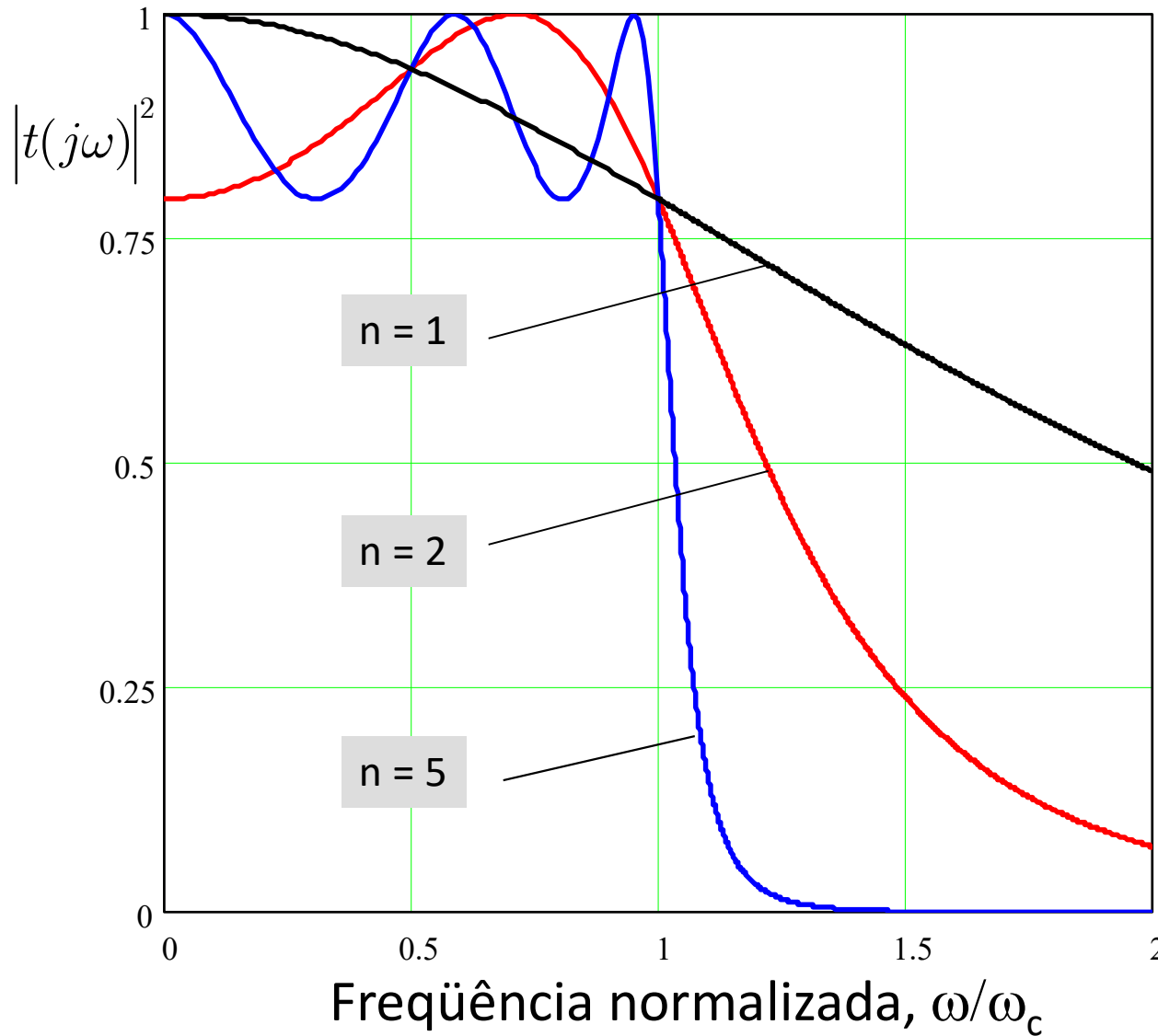
$$T_n(\omega) = \begin{cases} \cos \left[n \cos^{-1}(\omega) \right] & \text{para } 0 \leq \omega \leq 1 \\ \cosh \left[n \cosh^{-1}(\omega) \right] & \text{para } \omega > 1 \end{cases}$$

$10 \log(1 + \varepsilon^2)$ dB é a ondulação em dB

Filtro de Tschebyscheff



Filtro de Tschebyscheff



$$|t(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + [\varepsilon T_n(\omega)]^2}$$

$$0 \leq \omega \leq 1$$

$$T_n(\omega) = \cos[n \cos^{-1}(\omega)]$$

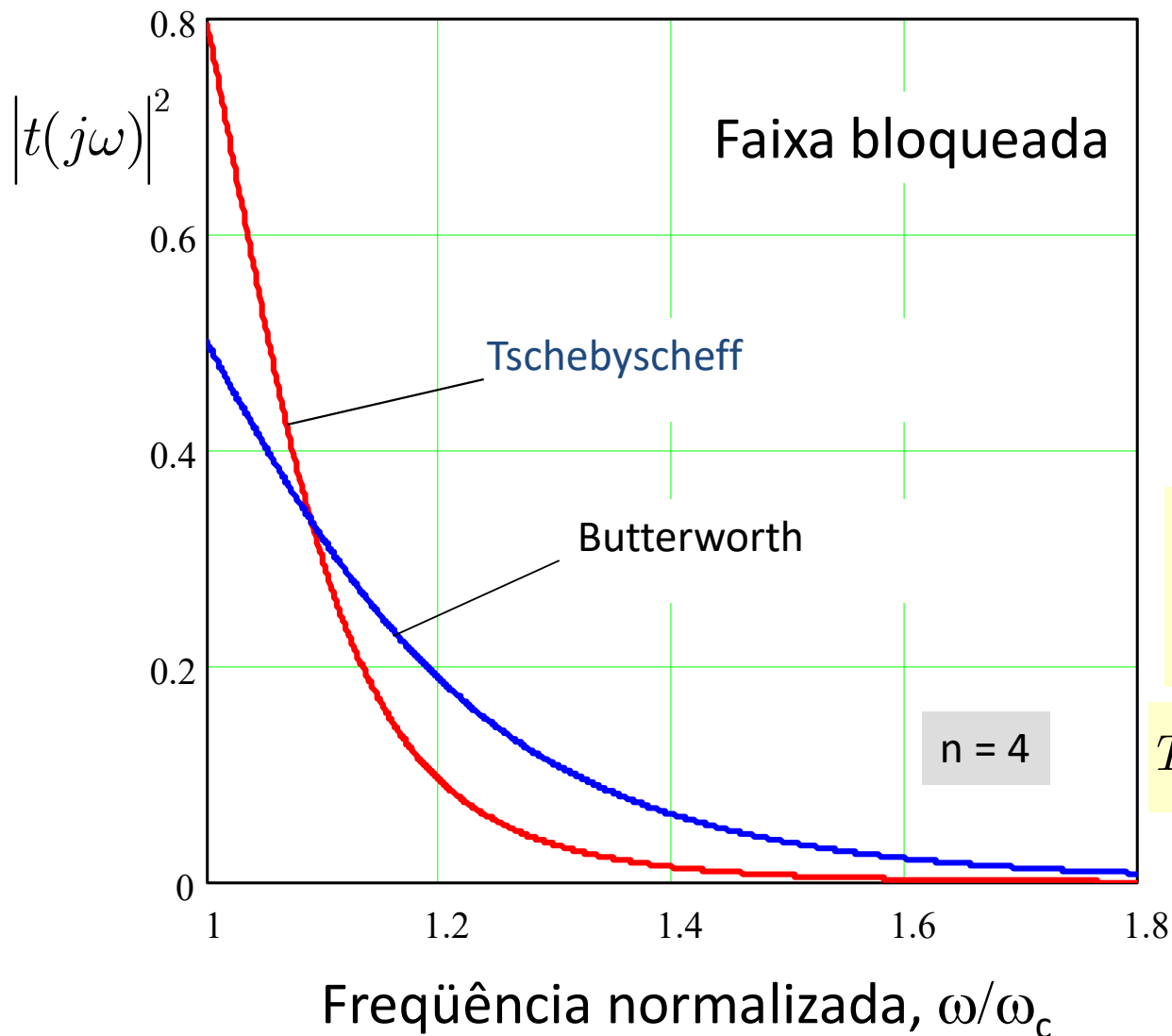
$$\omega \geq 1$$

$$T_n(\omega) = \cosh[n \cosh^{-1}(\omega)]$$

$$\varepsilon = 0,5088$$

(1 dB)

Butterworth vs. Tschebyscheff -1



Butterworth

$$|t(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \omega^{2n}}$$

Tschebyscheff

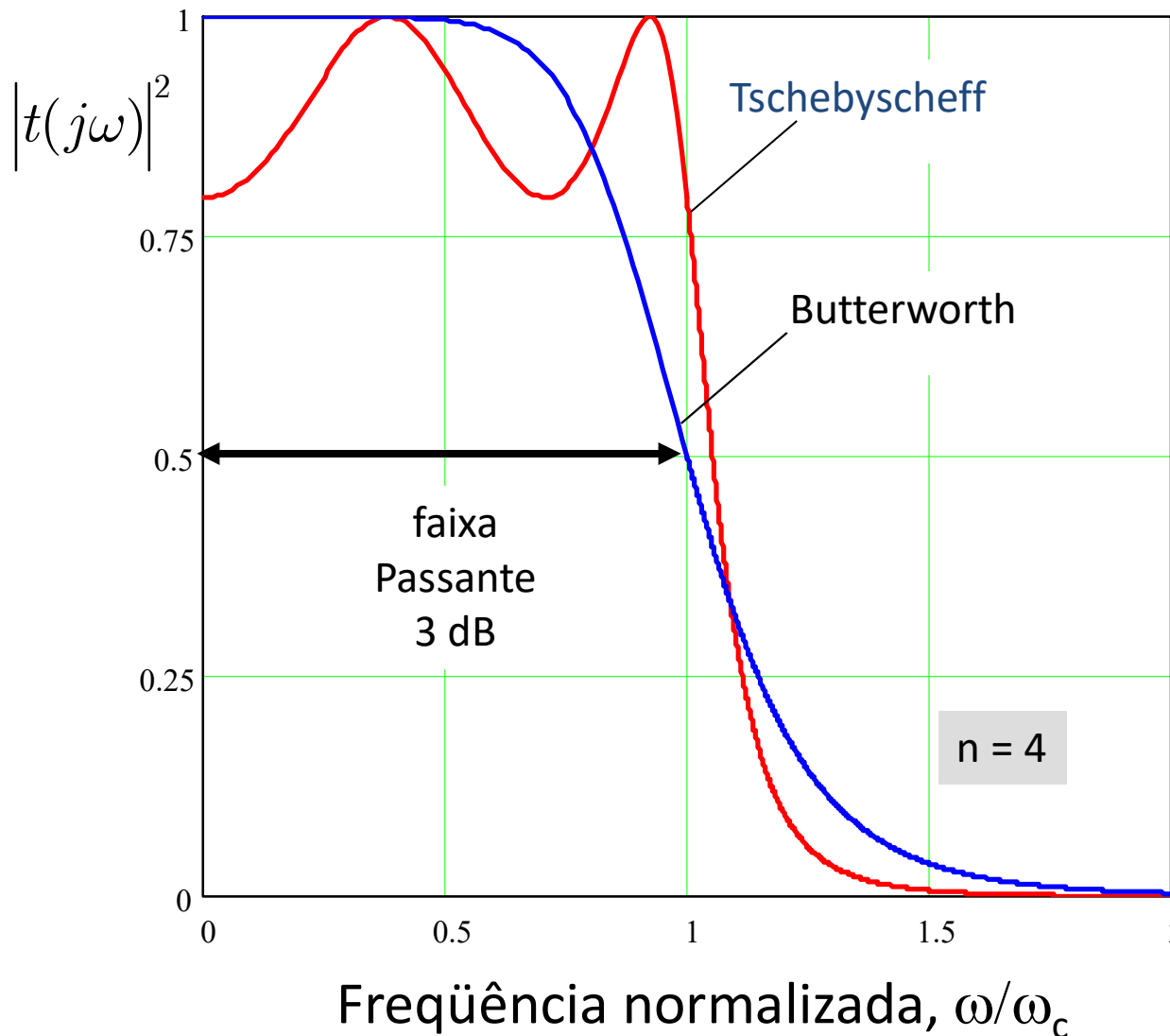
$$|t(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + [\varepsilon T_n(\omega)]^2}$$

$$T_n(\omega) = \cosh[n \cosh^{-1}(\omega)]$$

$$\varepsilon = 0,5088$$

(1 dB)

Butterworth vs. Tschhebyscheff -2



Butterworth

$$|t(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \omega^{2n}}$$

Tschhebyscheff

$$|t(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + [\varepsilon T_n(\omega)]^2}$$

$$T_n(\omega) = \cosh[n \cosh^{-1}(\omega)]$$

$$\varepsilon = 0,5088$$

(1 dB)