

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

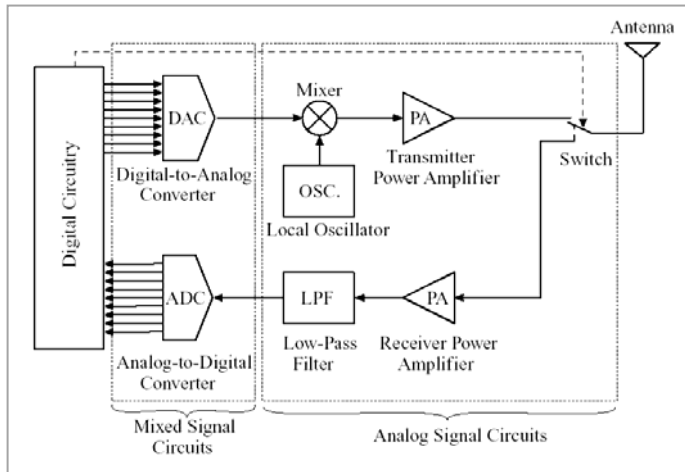
1.1 OBJETIVOS DO CURSO

Objetivo principal: Fornecer ao estudante fundamentos teóricos e aspectos práticos necessários ao projeto de circuitos analógicos que operam em frequências na faixa de rádio-frequência (RF) e de microondas (MW).

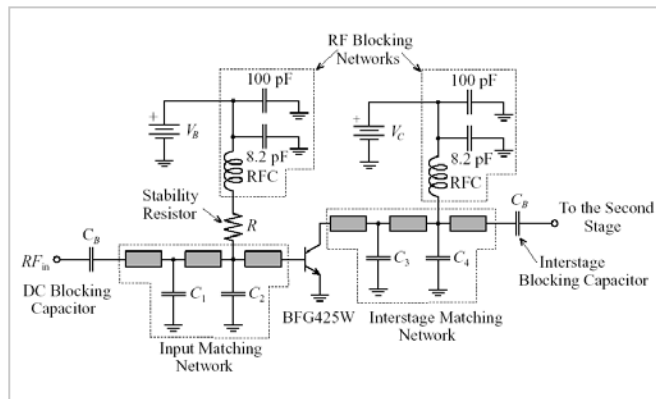
Responder às seguintes perguntas:

1. A partir de qual frequência a análise de circuitos convencional se torna inadequada?
2. Que características fazem com que os componentes tenham comportamentos distintos em alta e baixa frequência ?
3. Qual “nova” teoria de circuitos deve ser empregada?
4. Como essa teoria é aplicada ao projeto de circuitos analógicos de rádio-frequência?

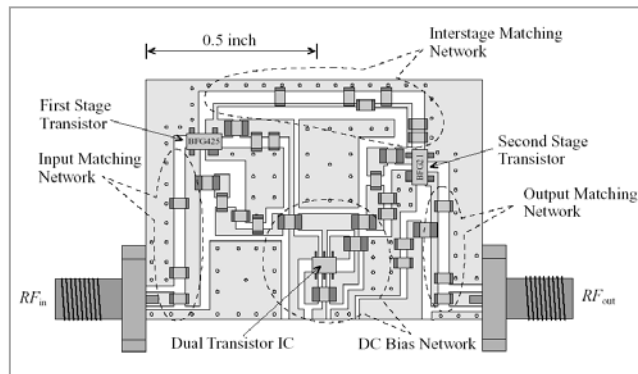
DIAGRAMA EM BLOCOS DE UM SISTEMA DE RF GENÉRICO



CIRCUITO SIMPLIFICADO DE UM AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA PARA TELEFONE CELULAR (2 GHz)

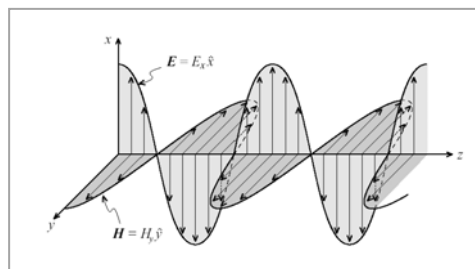


LAYOUT DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO DO AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA



1.2 UNIDADES E DIMENSÕES

Representação de uma onda eletromagnética



$$\begin{aligned} E_x &= E_{0x} \cos(\omega t - \beta z) \\ H_y &= H_{0y} \cos(\omega t - \beta z) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_x &= E_{0x} \cos(\omega t - \beta z) \\ H_y &= H_{0y} \cos(\omega t - \beta z) \end{aligned}$$

ω - frequência angular

β - constante de propagação

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

λ - comprimento de onda

$$\frac{E_x}{H_y} = Z_0 = \sqrt{\mu/\epsilon} = \sqrt{\mu_0\mu_r/\epsilon_0\epsilon_r} = 377\Omega\sqrt{\mu_r/\epsilon_r}$$

Z_0 - impedância intrínseca

μ - permeabilidade

ϵ - permissividade

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

V_p - velocidade de fase

1.3 ESPECTRO DE FREQÜÊNCIA

Frequency Band	Frequency	Wavelength
ELF (Extreme Low Frequency)	30–300 Hz	10,000–1000 km
VF (Voice Frequency)	300–3000 Hz	1000–100 km
VLF (Very Low Frequency)	3–30 kHz	100–10 km
LF (Low Frequency)	30–300 kHz	10–1 km
MF (Medium Frequency)	300–3000 kHz	1–0.1 km
HF (High Frequency)	3–30 MHz	100–10 m
VHF (Very High Frequency)	30–300 MHz	10–1 m
UHF (Ultrahigh Frequency)	300–3000 MHz	100–10 cm
SHF (Superhigh Frequency)	3–30 GHz	10–1 cm
EHF (Extreme High Frequency)	30–300 GHz	1–0.1 cm
Decimillimeter	300–3000 GHz	1–0.1 mm
P Band	0.23–1 GHz	130–30 cm
L Band	1–2 GHz	30–15 cm
S Band	2–4 GHz	15–7.5 cm
C Band	4–8 GHz	7.5–3.75 cm
X Band	8–12.5 GHz	3.75–2.4 cm
Ku Band	12.5–18 GHz	2.4–1.67 cm
K Band	18–26.5 GHz	1.67–1.13 cm
Ka Band	26.5–40 GHz	1.13–0.75 cm
Millimeter wave	40–300 GHz	7.5–1 mm
Submillimeter wave	300–3000 GHz	1–0.1 mm

1.4 COMPORTAMENTO DE ELEMENTOS PASSIVOS EM RF

Análise convencional de circuitos em corrente alternada

- Resistência (R) independe da frequência

- Capacitância (C) $X_C = \frac{1}{\omega C}$

- Indutância (L) $X_L = \omega L$

Em alta frequência um fio de cobre ou uma linha de cobre em um circuito impresso possui uma resistência dependente da frequência e uma indutância.

Exemplo: Fio de cobre cilíndrico de raio a , comprimento l e condutividade σ_{cond} tem uma resistência DC

$$R_{DC} = \frac{l}{\pi a^2 \sigma_{\text{cond}}}$$

Em DC toda a seção transversal é usada para a condução de corrente.

Em AC a corrente tende a fluir mais próxima à superfície do condutor a medida que a frequência aumenta.

A densidade de corrente é dada por

$$J_z = \frac{pI}{2\pi a} \frac{J_0(pr)}{J_1(pa)}$$

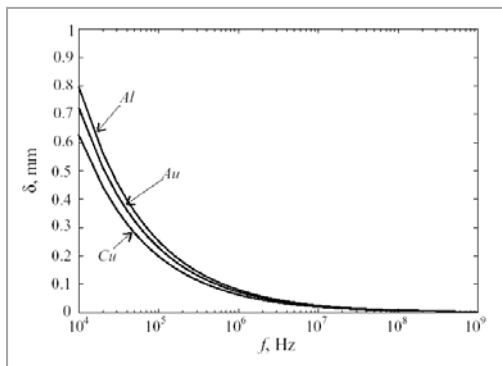
onde $p^2 = -j\omega\mu\sigma_{cond}$ e $J_0(pr)$, $J_1(pa)$

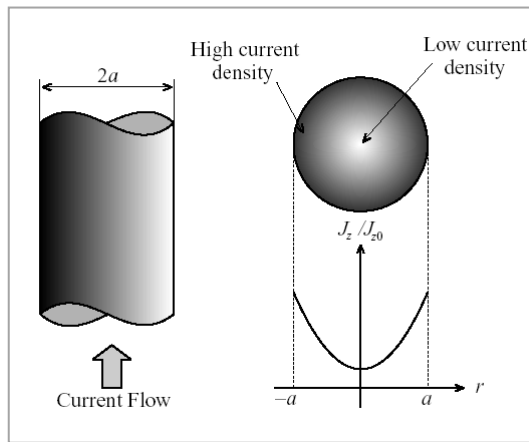
são funções de Bessel de ordem 0 e de primeira ordem respectivamente.

A resistência e a indutância normalizadas em alta frequência ($f \geq 500\text{MHz}$) são dadas por:

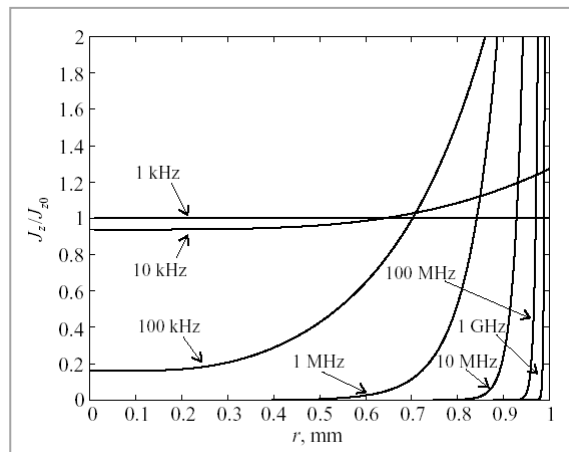
$$R/R_{DC} \cong a/(2\delta) \quad \omega L/R_{DC} \cong a/(2\delta) \quad \text{Para } \delta \ll a$$

$$\delta = (\pi f \mu \sigma_{cond})^{-1/2} \quad \text{Profundidade pelicular}$$





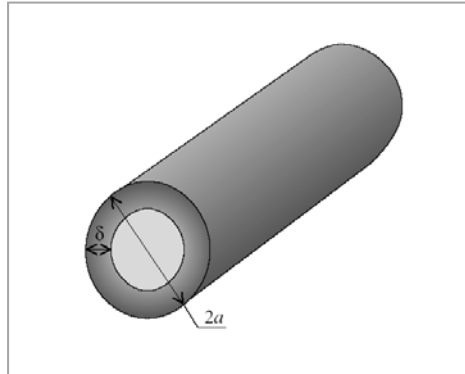
Densidade de corrente normalizada para um fio de cobre de 1mm de diâmetro.



Aproximação para a densidade de corrente em alta frequência

$$J_z = \frac{\rho I}{j2\pi a \sqrt{r}} e^{-(1+j)\frac{a-r}{\delta}}$$

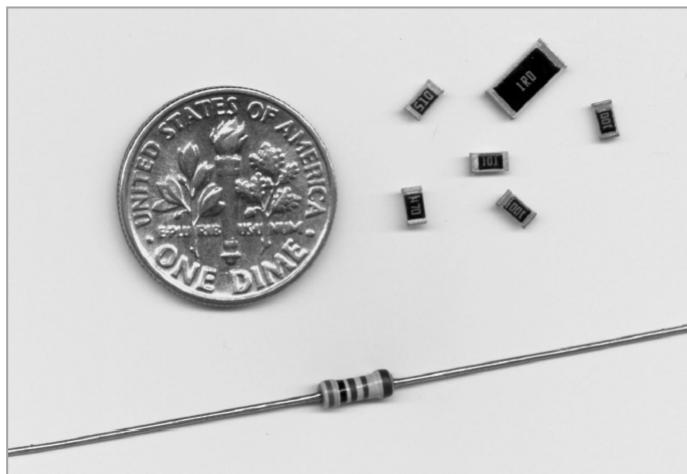
$$R = R_{DC} \frac{a}{(2\delta)} = R_{DC} \frac{\pi a^2}{2\pi a \delta}$$



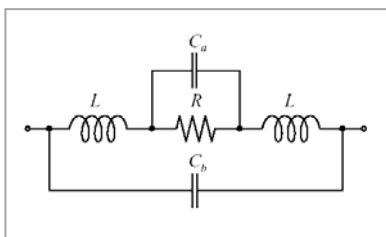
1.4.1 RESISTORES EM ALTA FREQÜÊNCIA

Tipos de resistores

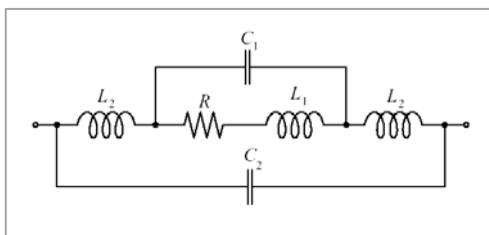
- Resistores de carbono
- Resistores de fio
- Resistores de filme metálico
- Resistores de filme fino de alumínio ou berílio



Circuitos equivalentes para resistores em alta freqüência

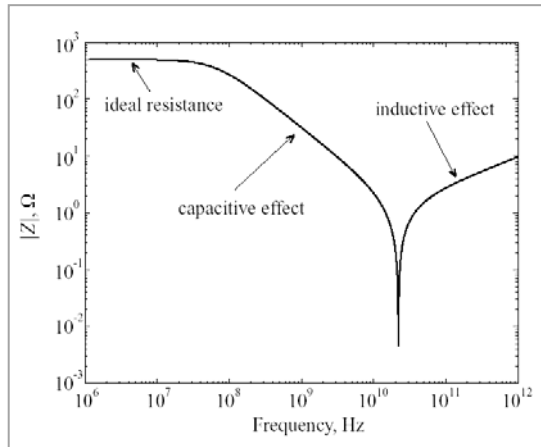


Resistores de filme



Resistores de fio

Exemplo: Determinar a variação da impedância com a frequência de um resistor de filme metálico de 500Ω , com conexões de fio de cobre de 2,5 cm de comprimento e raio de $2,032 \times 10^{-4}$ m e uma capacitância parasita de 5pF.



1.4.1 CAPACITORES EM ALTA FREQÜÊNCIA

Capacitor de placas planas e paralelas

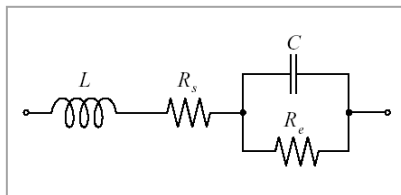
$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

Em alta frequência

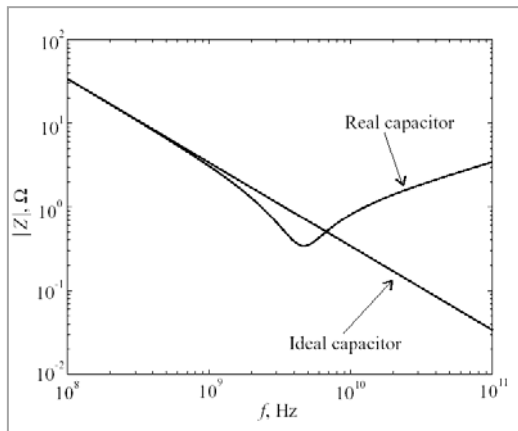
$$Z = \frac{1}{G_e + j\omega C}$$

$$G_e = \frac{\sigma_{diel} A}{d} = \frac{\omega \epsilon A}{d \tan \Delta_s} = \frac{\omega C}{\tan \Delta_s}$$

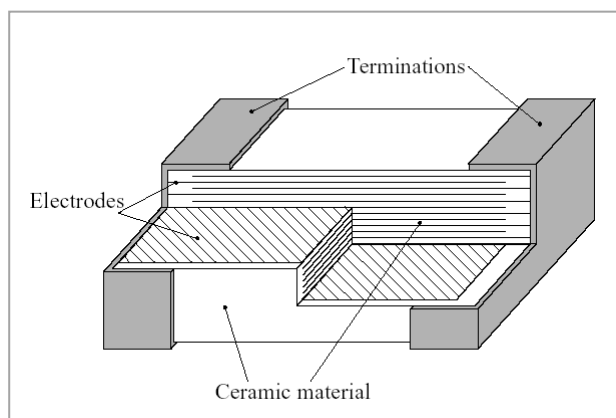
$$\tan \Delta_s = \frac{\omega \epsilon}{\sigma_{diel}}$$



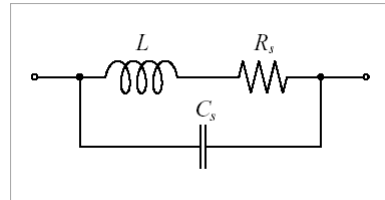
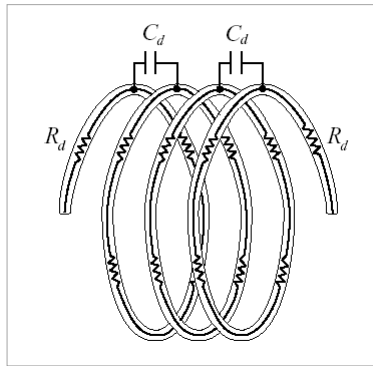
Exemplo: Determinar a impedância de um capacitor de 47 pF cujo dielétrico é óxido de alumínio ($\tan \Delta_s = 10^{-4}$) e cujas conexões são de fio de cobre de $2,032 \times 10^{-4}$ m de raio e 1,25 cm de comprimento.



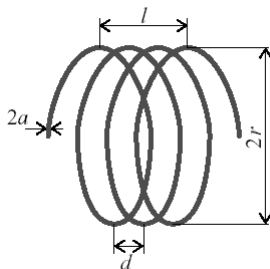
Construção de um capacitor cerâmico para montagem em superfície

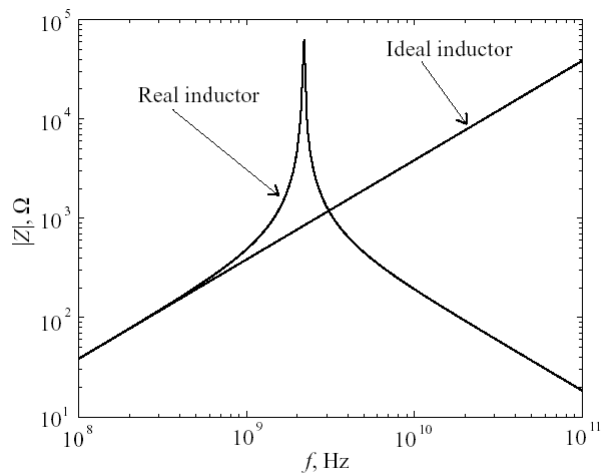


1.4.1 INDUTORES EM ALTA FREQUÊNCIA



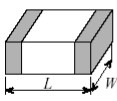
Exemplo: Estimar a resposta em frequência de um indutor formado por 3,5 espiras de fio de cobre de acordo com a figura abaixo.

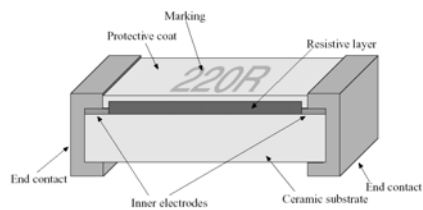




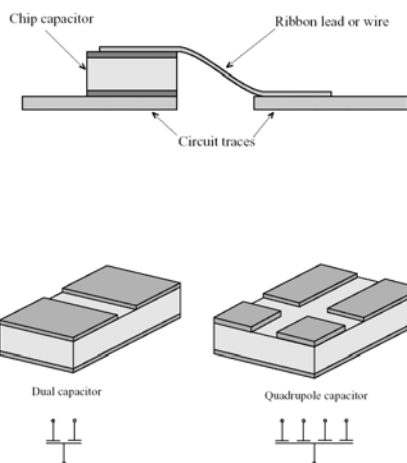
1.5 COMPONENTES REAIS

1.5.1 RESISTORES

Geometry	Size Code	Length L, mils	Width W, mils
	0402	40	20
	0603	60	30
	0805	80	50
	1206	120	60
	1218	120	180



1.5.2 CAPACITORES



1.5.3 INDUTORES

