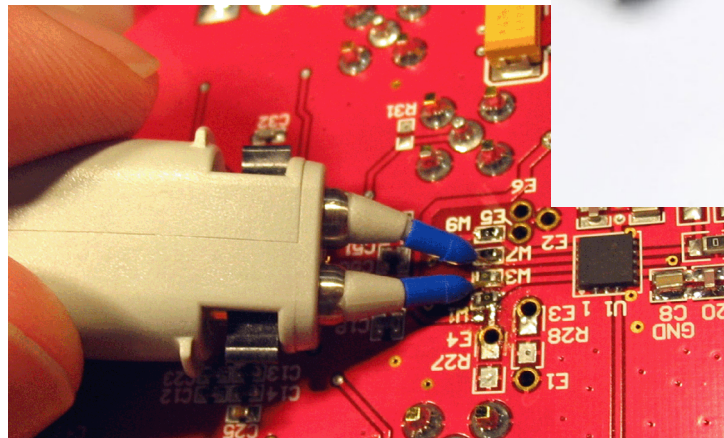


Pontas de prova para instrumentos

- São denominados pontas de prova o conjunto de cabos, conectores e terminações que fazem a conexão entre os instrumentos e os circuitos a serem analisados.



Pontas de prova para instrumentos

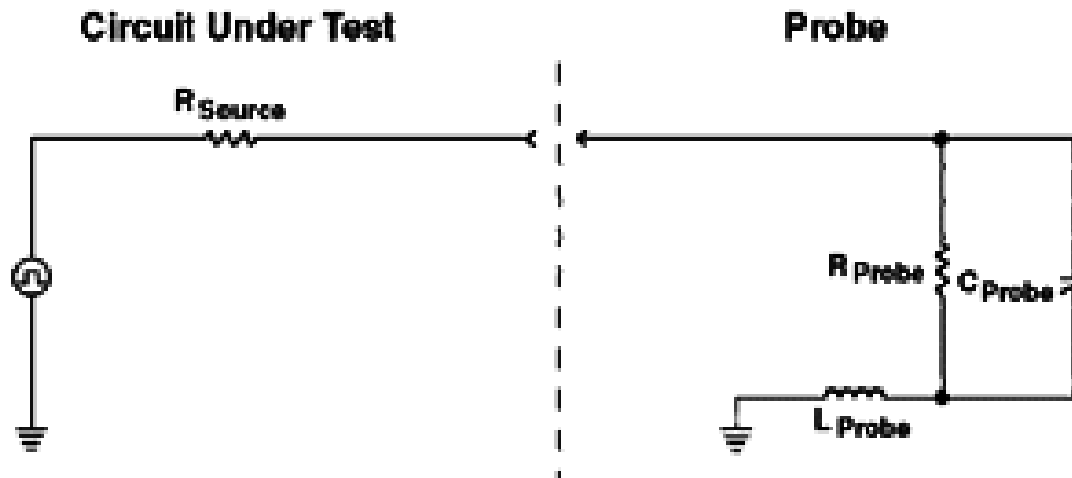
- Tipos principais:
 - Pontas Passivas: apenas cabos e elementos R, L, C
 - Alta impedância
 - Baixa impedância
 - Pontas Ativas: possuem amplificador interno (devem ser alimentadas)
 - Alta impedância, alta frequência
 - Entrada diferencial

Pontas de prova para instrumentos

- Características principais:
 - Tensão máxima: define a máxima tensão que pode ser aplicada sem que haja danos ou fugas de corrente
 - Banda passante: define a frequência máxima de utilização (- 3 dB)
 - Impedância: impedância complexa que o circuito percebe quando conectado à ponteira

Pontas de prova para instrumentos

- Circuito equivalente típico:
 - Uma ponta de prova pode ser modelada por seus elementos de circuito R, L, C equivalentes:



Pontas de prova para instrumentos

- Circuito equivalente típico:
 - A impedância “vista” pelo circuito a ser medido varia com a frequência
 - Em altas frequência os elemento C e L são preponderantes sobre o R
 - A resposta em frequência está diretamente ligada aos elementos R, L e C
 - Erros de medida significativos podem ocorrer em altas frequências

Pontas de prova passivas

- Pontas de alta impedância:

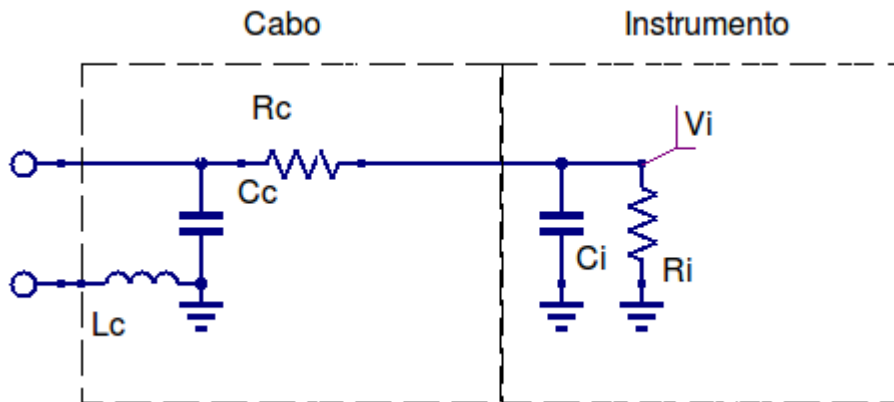
- São formadas por cabos coaxiais acoplados diretamente ao circuito de entrada do instrumento no modo de alta impedância ($1\text{ M}\Omega$)
- Não existe casamento de impedâncias entre cabo-carga-fonte
- O condutor central do cabo é de alta resistência para atenuar as reflexões devidas ao descasamento
- São limitadas a baixas e médias frequências (até $\sim 50\text{ MHz}$)



Pontas de prova passivas

- Pontas de alta impedância:

- Circuito equivalente:



Valores típicos:

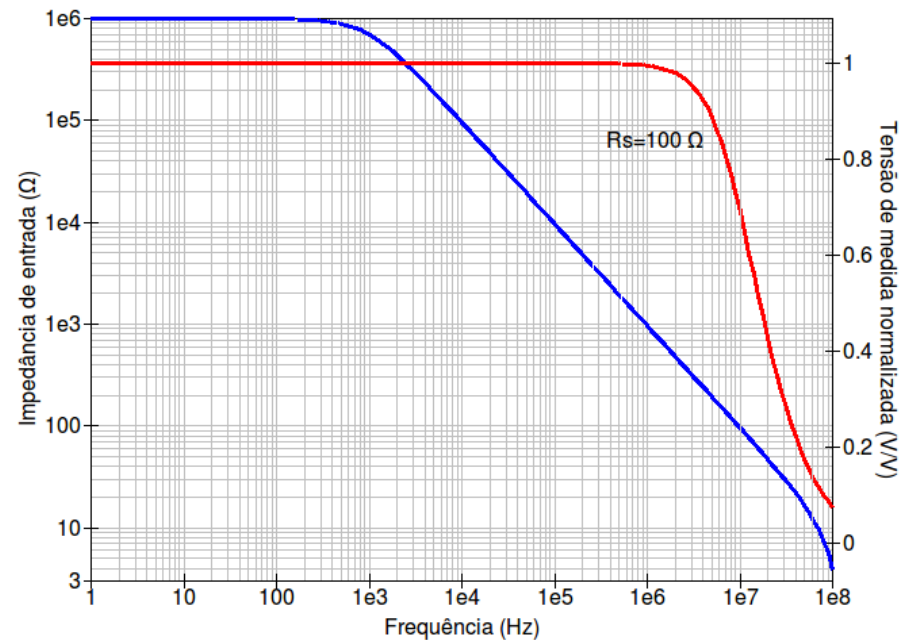
R_c : 200 Ω

R_i : 1 M Ω

C_c : 150 pF

C_i : 20 pF

L_c : 10 nH

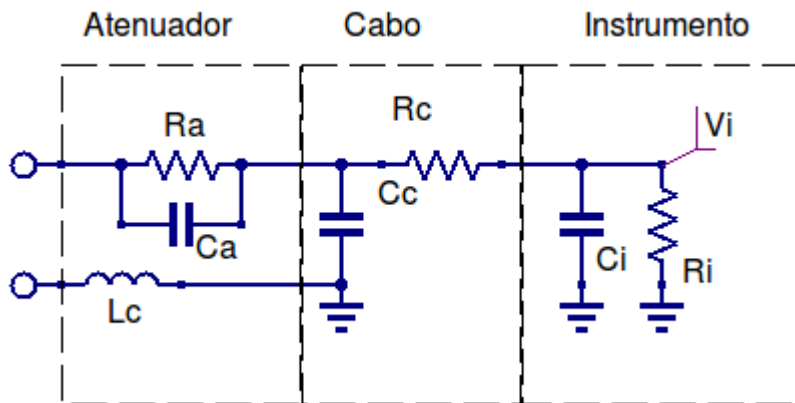


Pontas de prova passivas

- Pontas de alta impedância com atenuador:
 - Atenuador resistivo/capacitivo acoplado à entrada da ponteira
 - Atenuações padrão: x10, x100, x1000
 - Aumento da tensão máxima de medida
 - Aumento da impedância de entrada, redução do erro de medida
 - Aumento da banda passante (até ~500 MHz)
 - Necessário ajuste da capacitância de compensação

Pontas de prova passivas

- Pontas de alta impedância com atenuador:
 - Circuito equivalente:

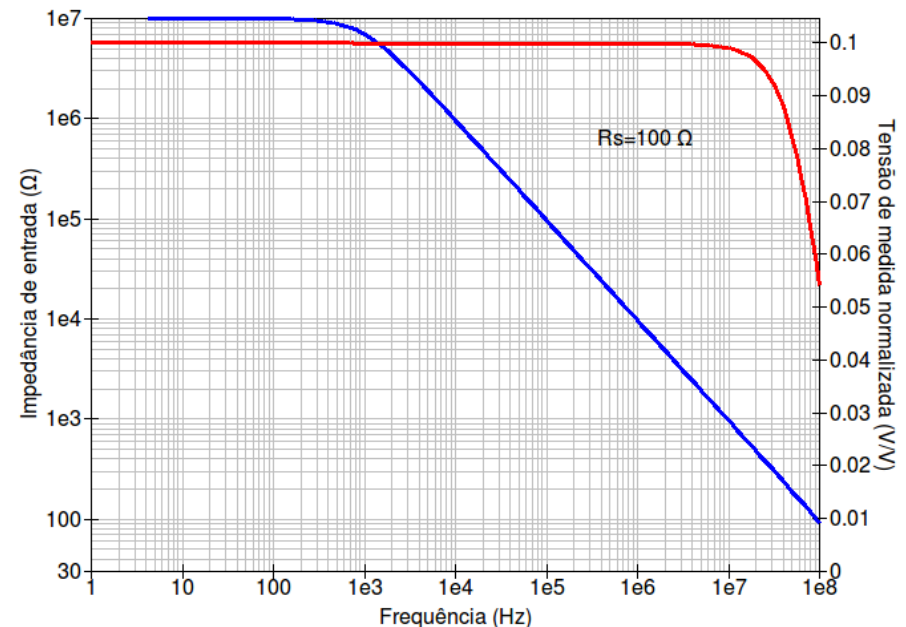


Valores típicos atenuador x10:

R_a : 9 M Ω

C_a : 20 pF

L_c : 10 nH



Pontas de prova passivas

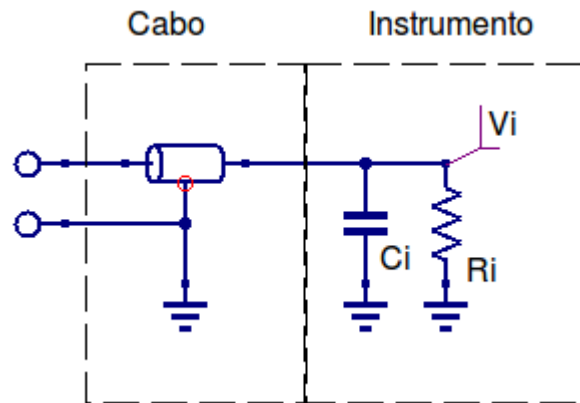
- Pontas de baixa impedância:

- São formadas por cabos coaxiais de baixas perdas acoplados diretamente ao circuito de entrada do instrumento no modo de baixa impedância (50Ω)
- Existe casamento de impedâncias entre cabo e instrumento
- Os conectores também possuem geometria adequada para manter a impedância do cabo (BNC, SMA, tipo N, etc)
- São usados em qualquer faixa de frequências (até ~ 20 GHz)

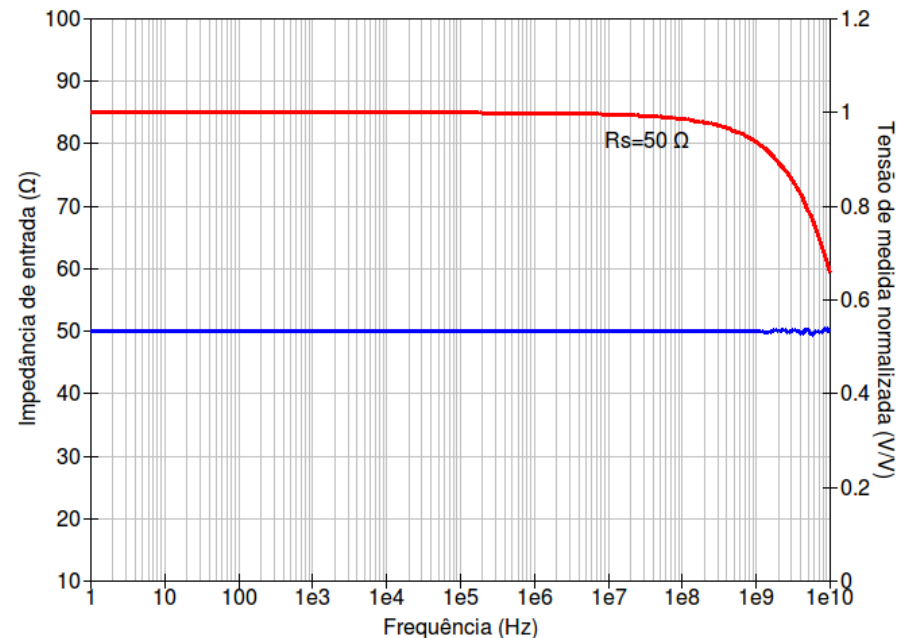


Pontas de prova passivas

- Pontas de baixa impedância:
 - Circuito equivalente:



Valores típicos:
 R_i : 50 Ω
 C_i : 1 pF

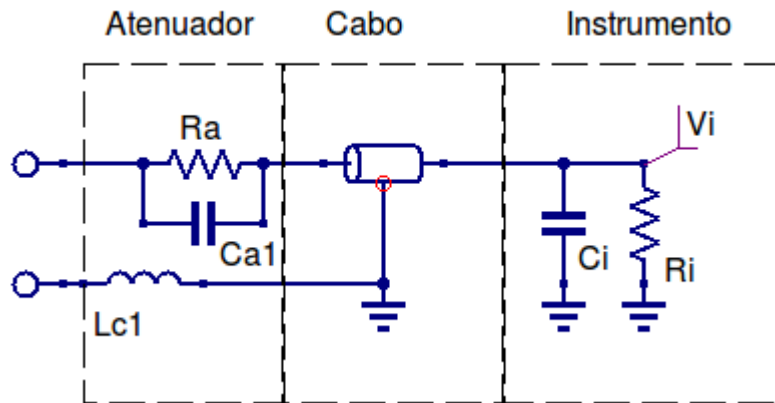


Pontas de prova passivas

- Pontas de baixa impedância com atenuador:
 - Atenuador resistivo/capacitivo acoplado à entrada da ponteira
 - Atenuações padrão: x10, x100
 - Aumento da tensão máxima de medida
 - Aumento da impedância de entrada, redução do erro de medida em circuitos de alta impedância
 - Banda passante até ~10 GHz

Pontas de prova passivas

- Pontas de baixa impedância com atenuador:
 - Circuito equivalente:

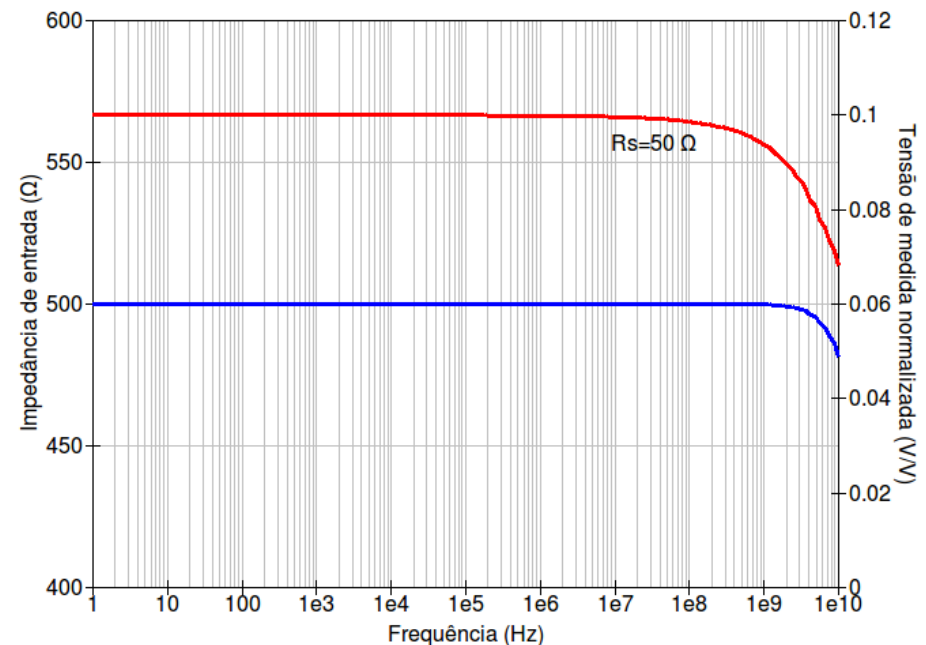


Valores típicos atenuador x10:

R_a : 450 Ω

C_a : 0.02 pF

L_c : 1 nH



Pontas de prova ativas

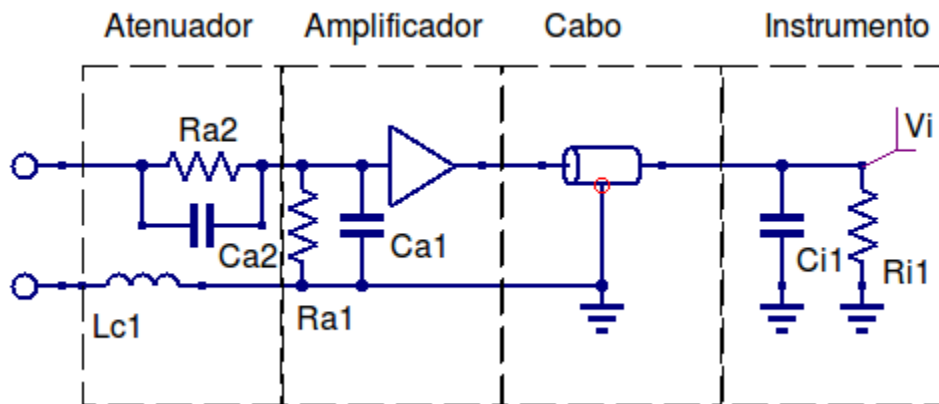
- Pontas ativas de modo comum:
 - São formadas por um amplificador de alta impedância acoplado a cabo coaxial de baixas perdas, conectado ao instrumento no modo de baixa impedância (50Ω)
 - Existe casamento de impedâncias entre cabo e instrumento
 - Possibilitam medidas de circuitos de alta impedância em altas frequências
 - São usados em qualquer faixa de frequências (até ~ 2 GHz)
 - Necessitam de uma alimentação DC, custo elevado



Pontas de prova ativas

Pontas ativas de modo comum:

□ Circuito equivalente:



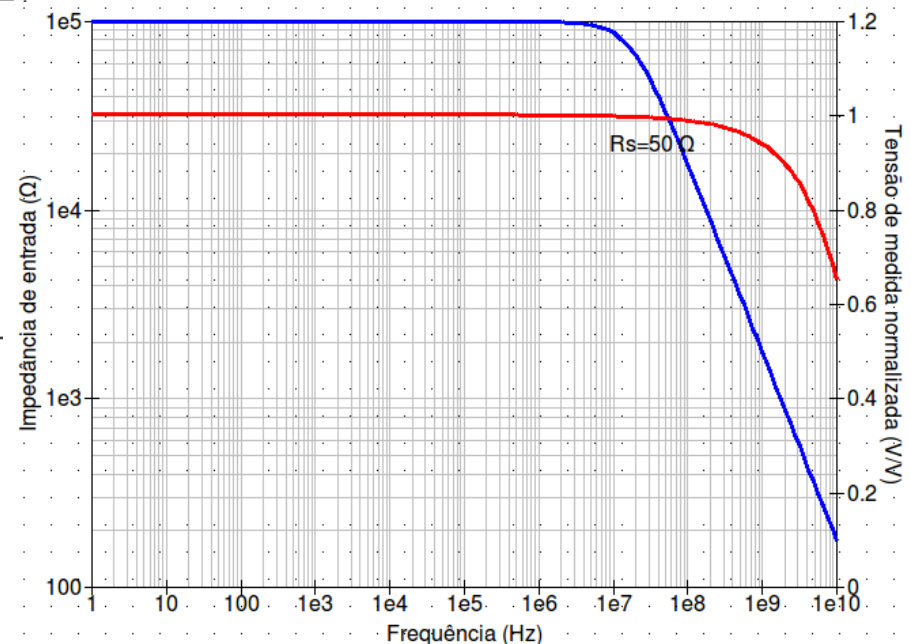
Valores típicos:

$Ra1$: 10 k Ω

$Ra2$: 90 k Ω

$Ca1$: 1 pF

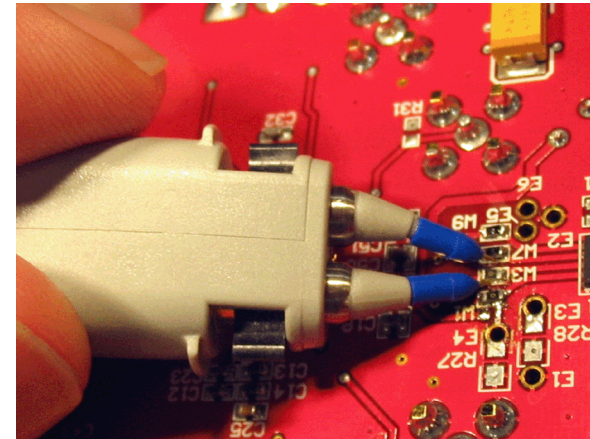
$Ca2$: 0.11 pF



Pontas de prova ativas

- Pontas ativas de modo diferencial:

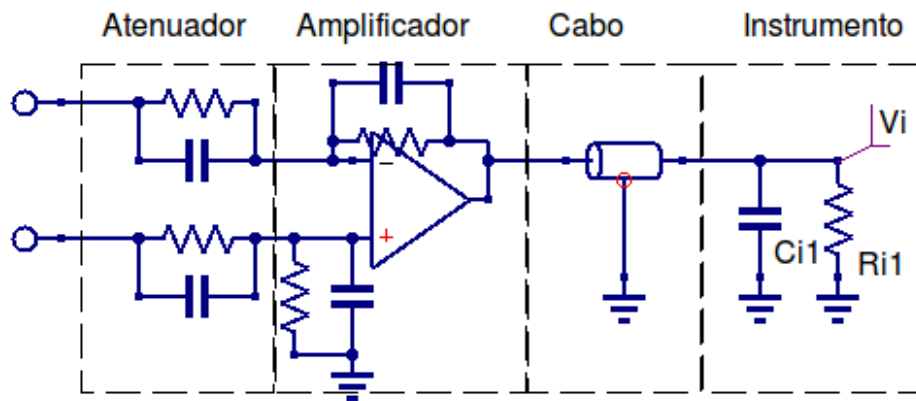
- São formadas por um amplificador diferencial de alta impedância acoplado a cabo coaxial de baixas perdas, conectado ao instrumento no modo de baixa impedância (50Ω)
- Não necessitam da conexão com o “terra”
- Possibilitam medidas de circuitos de alta impedância em modo diferencial e altas frequências
- Redução do ruído de modo comum
- São usados em qualquer faixa de frequências (até ~ 2 GHz)
- Necessitam de uma alimentação DC, custo elevado



Pontas de prova ativas

Pontas ativas de modo comum:

□ Circuito equivalente:



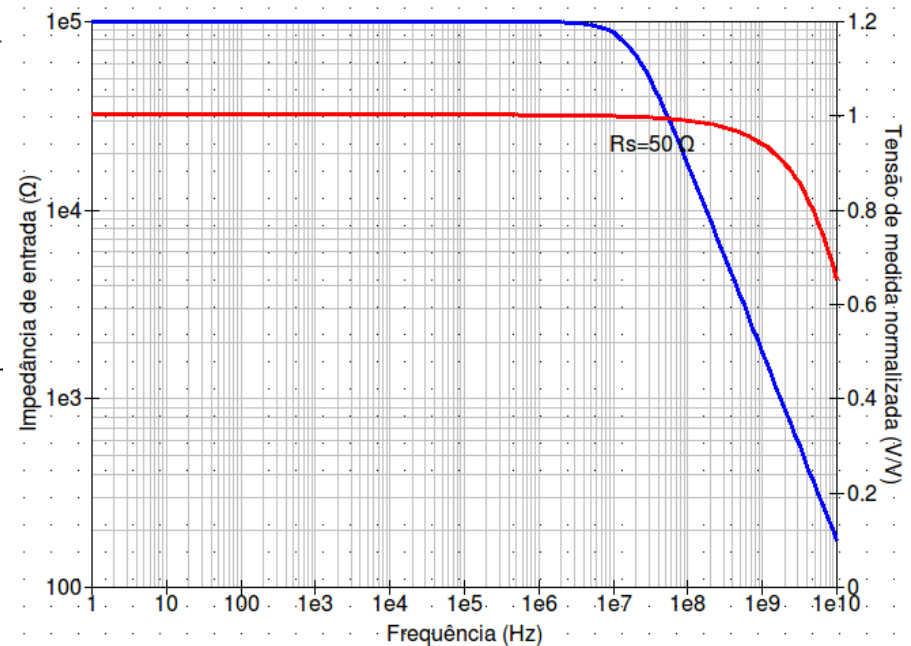
Valores típicos:

R_{a1} : 10 k Ω

R_{a2} : 10 k Ω

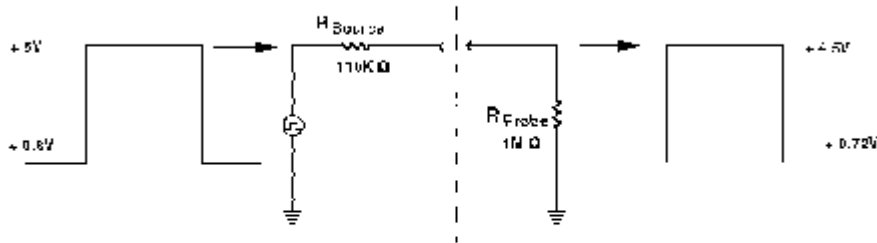
C_{a1} : 1 pF

C_{a2} : 0.1 pF



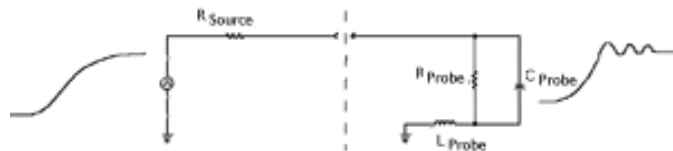
Pontas de prova - Sobrecarga

Resistive Loading



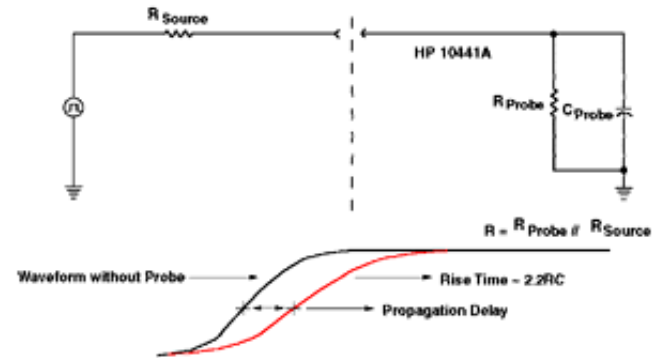
- The amplitude and DC offset at the node under test are reduced by the probe's resistive loading.

Inductive Loading



- Ringing is induced because of the inductive effects of the probe ground lead.
- Measurements will be wrong due to ringing.

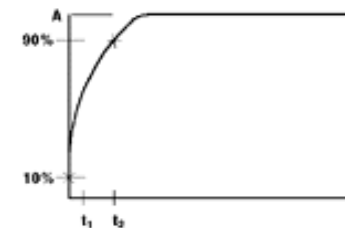
Capacitive Loading



- Rise Time is slowed and Propagation Delay is increased due to Capacitive Loading of HP 10411A

Single Pole Rise Time Calculation

T_r = time between 10% and 90% of amplitude = $t_2 - t_1$



$$V(t) = A(1 - e^{-t/RC})$$

$$V(t_1) = .1A = A(1 - e^{-t_1/RC})$$

$$\ln .9 = -\frac{t_1}{RC}$$

$$t_1 = .11RC$$

$$\text{Similarly } t_2 = 2.30RC$$

Substituting into T_r equation;

$$T_r = 2.3RC - .11RC$$

$$T_r = 2.2RC$$

Pontas de prova

Exercício 6:

Seja uma ponta de prova passiva com atenuação 10x usada em um osciloscópio, com as seguintes características: $Z_0=100 \Omega$, $l=1 \text{ m}$, $C_T=50 \text{ pF}$.

Determine o circuito de atenuação de entrada da ponta de prova, a resistência e indutância por unidade de comprimento do cabo de modo que ele opere com a maior banda passante possível.

Dados adicionais:

- impedância de entrada equivalente do osciloscópio: $1 \text{ M}\Omega // 20 \text{ pF}$
- utilize o modelo de linha de transmissão com parâmetros concentrados adaptado para operação até 500 MHz
- efetue simulações no domínio do tempo e da frequência para analisar a tensão na entrada do osciloscópio e a impedância da ponta de prova em função da frequência