

# Filtros

(Estudo Técnico 5: Proteção de equipamentos de assinantes.)

# Filtros.

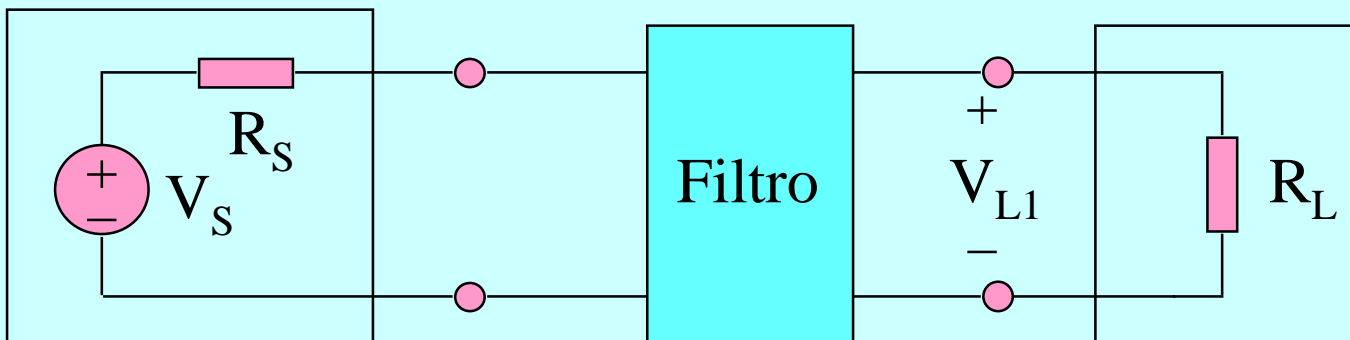
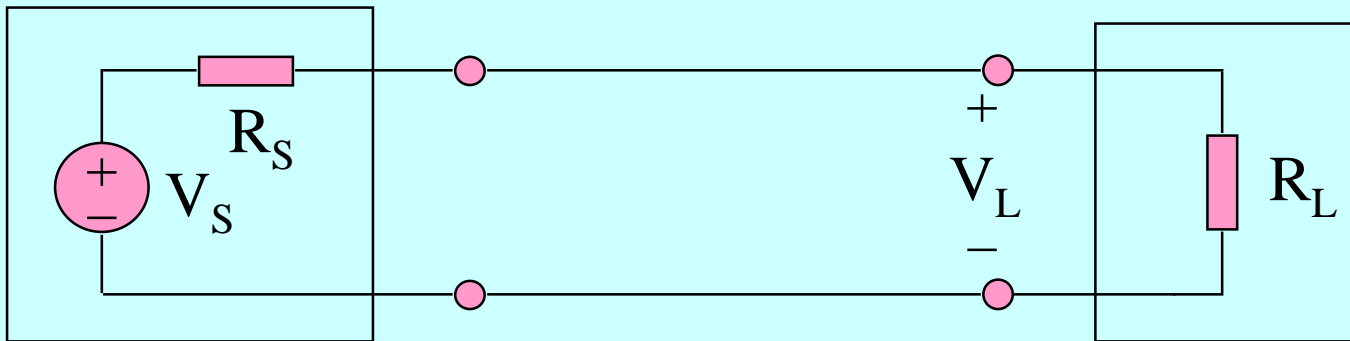
Passivos.

Ativos:

Analógicos;

Digitais.

## Propriedades Gerais: perdas por inserção - PI



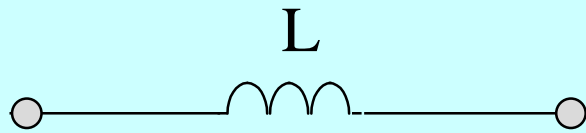
## Propriedades Gerais: perdas por inserção - PI

$$PI_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_L}{P_{L1}}\right)$$

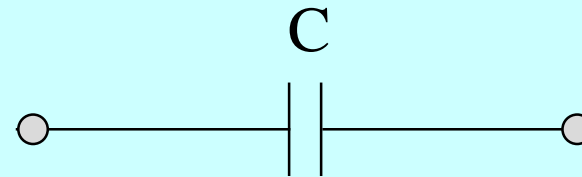
$$PI_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{V_L^2 / R_L}{V_{L1}^2 / R_L}\right)$$

$$PI_{dB} = 20 \cdot \log\left(\frac{V_L}{V_{L1}}\right)$$

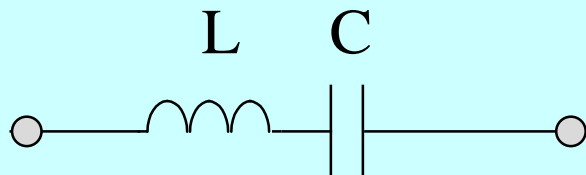
## Filtros simples.



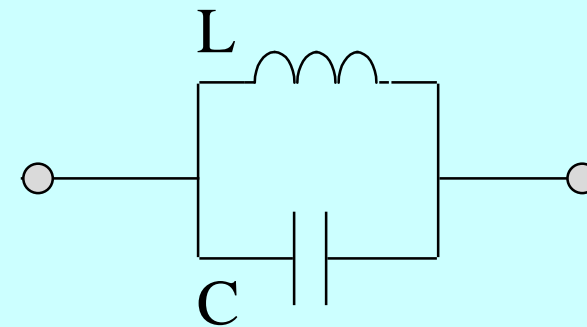
Passa baixa



Passa alta



Passa faixa



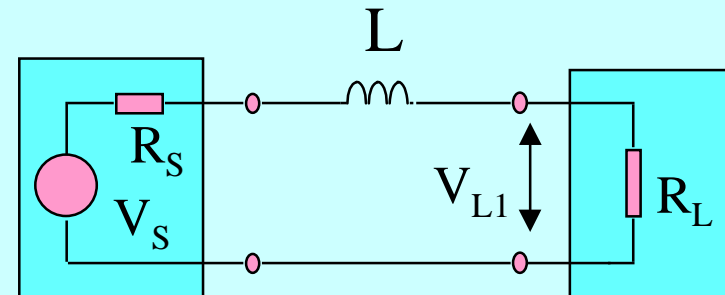
Rejeita faixa

## Filtros simples.

$$V_L = \frac{R_L}{R_S + R_L} \cdot V_S$$

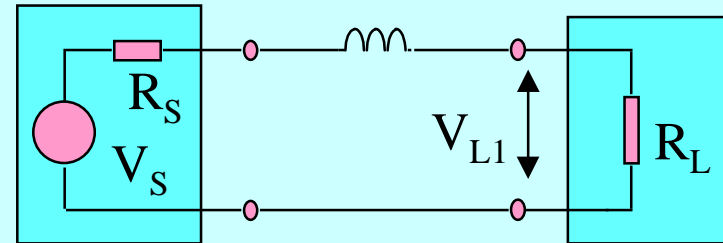
$$V_{L1} = \frac{R_L}{R_S + j\omega L + R_L} \cdot V_S$$

$$V_{L1} = \frac{R_L}{R_S + R_L} \cdot \frac{1}{1 + j\omega L / (R_S + R_L)} \cdot V_S$$



## Filtros simples.

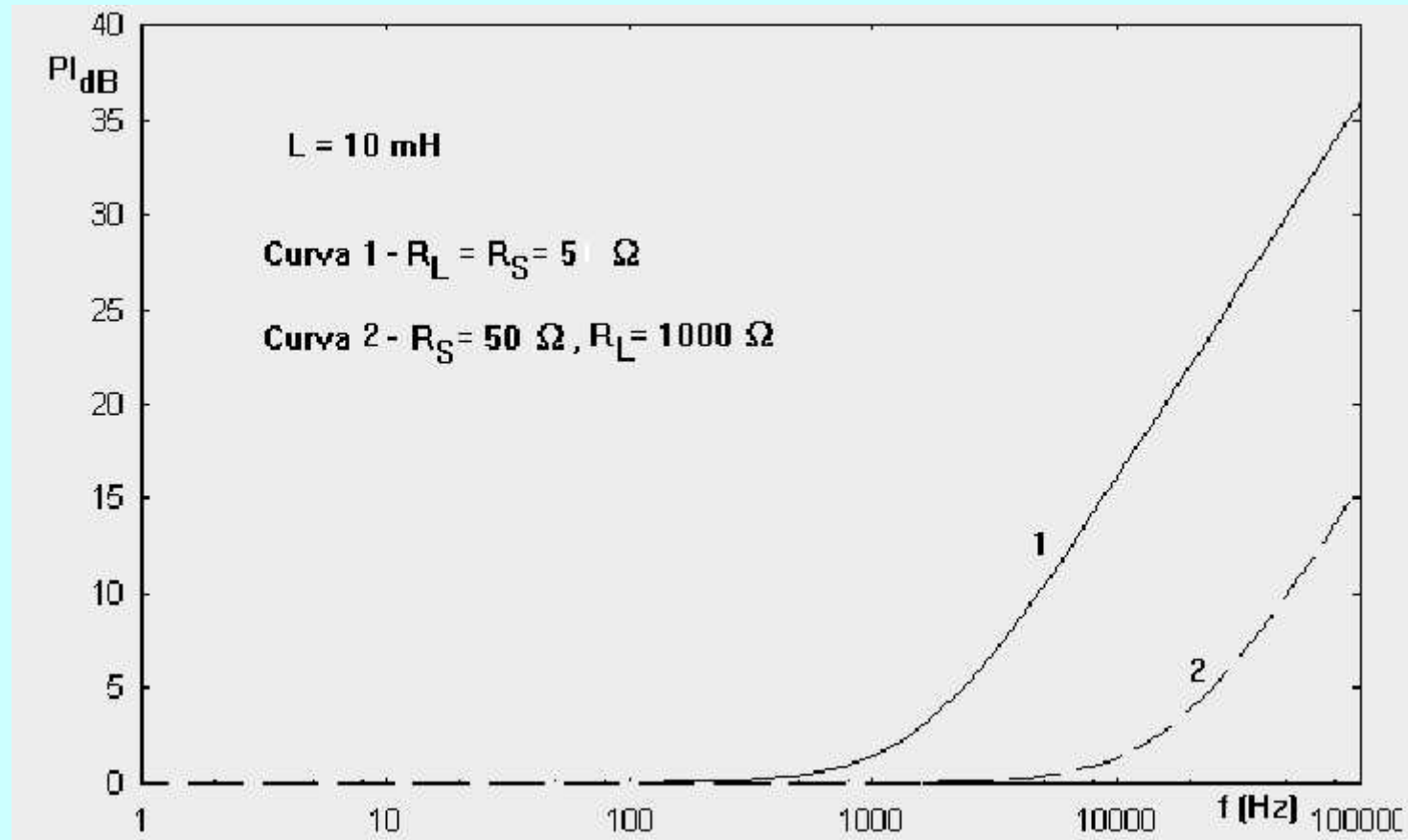
$$PI = 20 \log \left| 1 + \frac{j\omega L}{R_S + R_L} \right|$$



$$PI = 20 \log \left[ \sqrt{1 + (\omega\tau)^2} \right] = 10 \log \left[ 1 + (\omega\tau)^2 \right]$$

$$\tau = \frac{L}{R_S + R_L} \Rightarrow \text{Constante de tempo.}$$

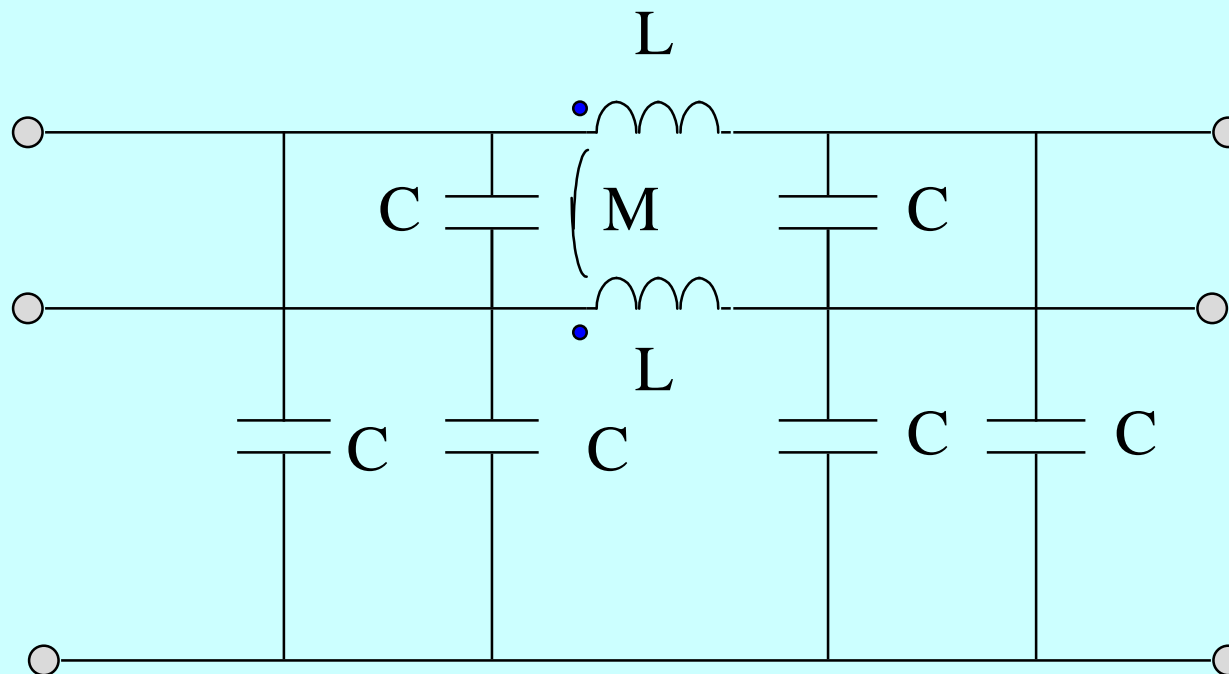
## Filtros simples.



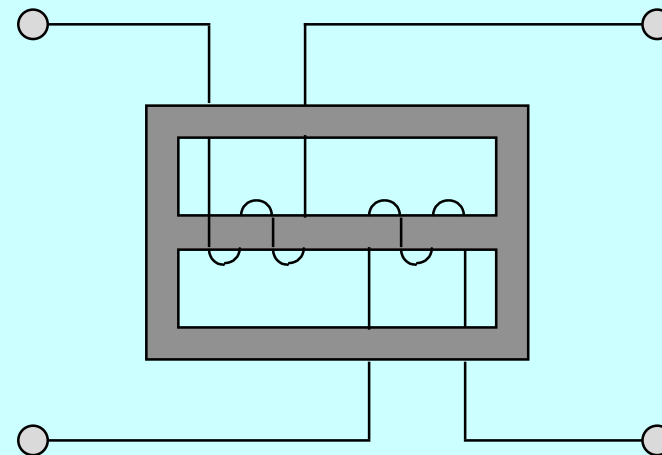
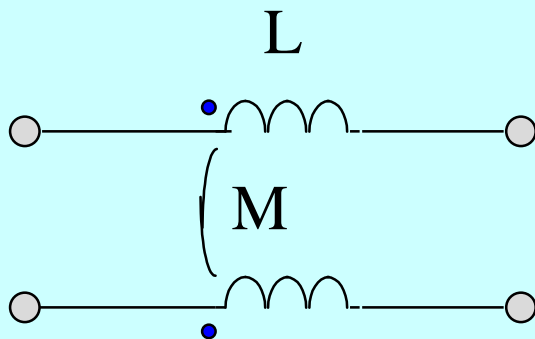
## Detalhe importante:

A perda por inserção de um filtro depende das impedâncias da fonte e da carga!

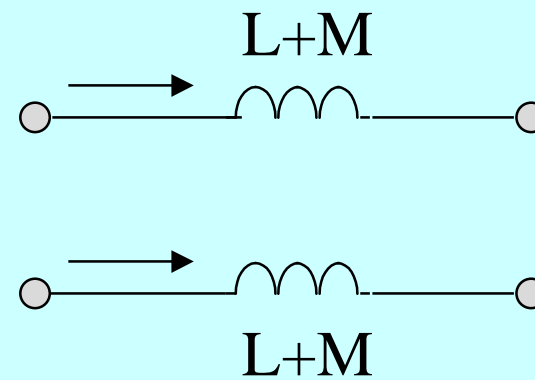
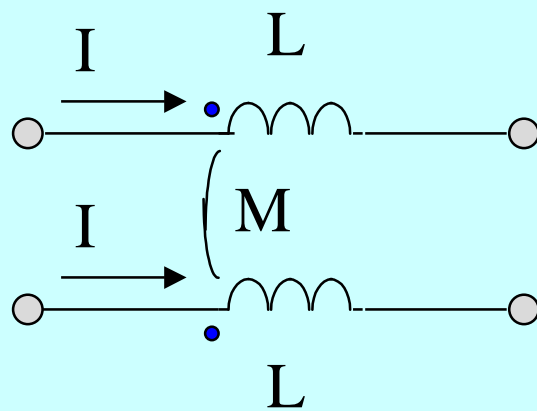
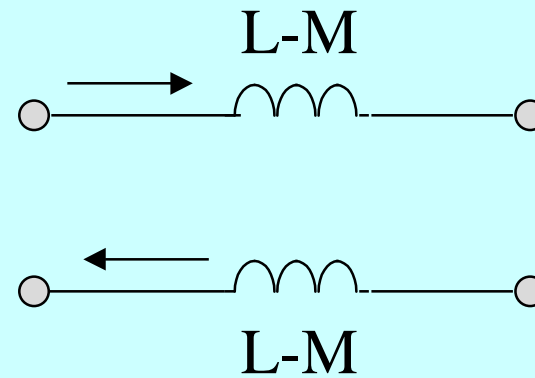
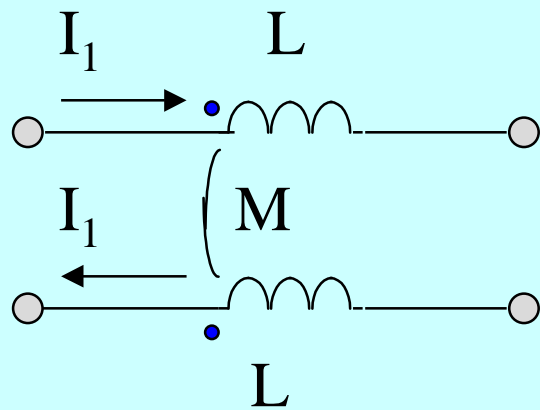
Perdas por inserção:  
modo diferencial e modo comum.  
Filtro típico.



## Perdas por inserção: Filtro de modo comum.



## Perdas por inserção: Filtro de modo comum.



## Filtro de modo comum.

Modo comum:

$$\Delta V = j\omega L.I + j\omega M.I = j\omega(L + M).I$$

Modo diferencial:

$$\Delta V_1 = j\omega L.I_1 - j\omega M.I_1 = j\omega(L - M).I_1$$

Se  $L = M \dots$

# Meios de proteção elétrica: Protetores

Os resultados apresentados neste trabalho são parte integrante das pesquisas realizadas pelo Eng. Ronaldo Kascher Moreira para a elaboração de sua dissertação de mestrado defendida na UFMG.

## Protetores contra sobretensão.

### **Principais Supressores:**

Centelhadores;

Varistores;

Componentes com Coeficiente de Temperatura

Positivo (PTC);

Diodo de Supressão;

Diodo Zener;

Componentes com Coeficiente de Temperatura

Negativo (NTC);

Protetores integrados.

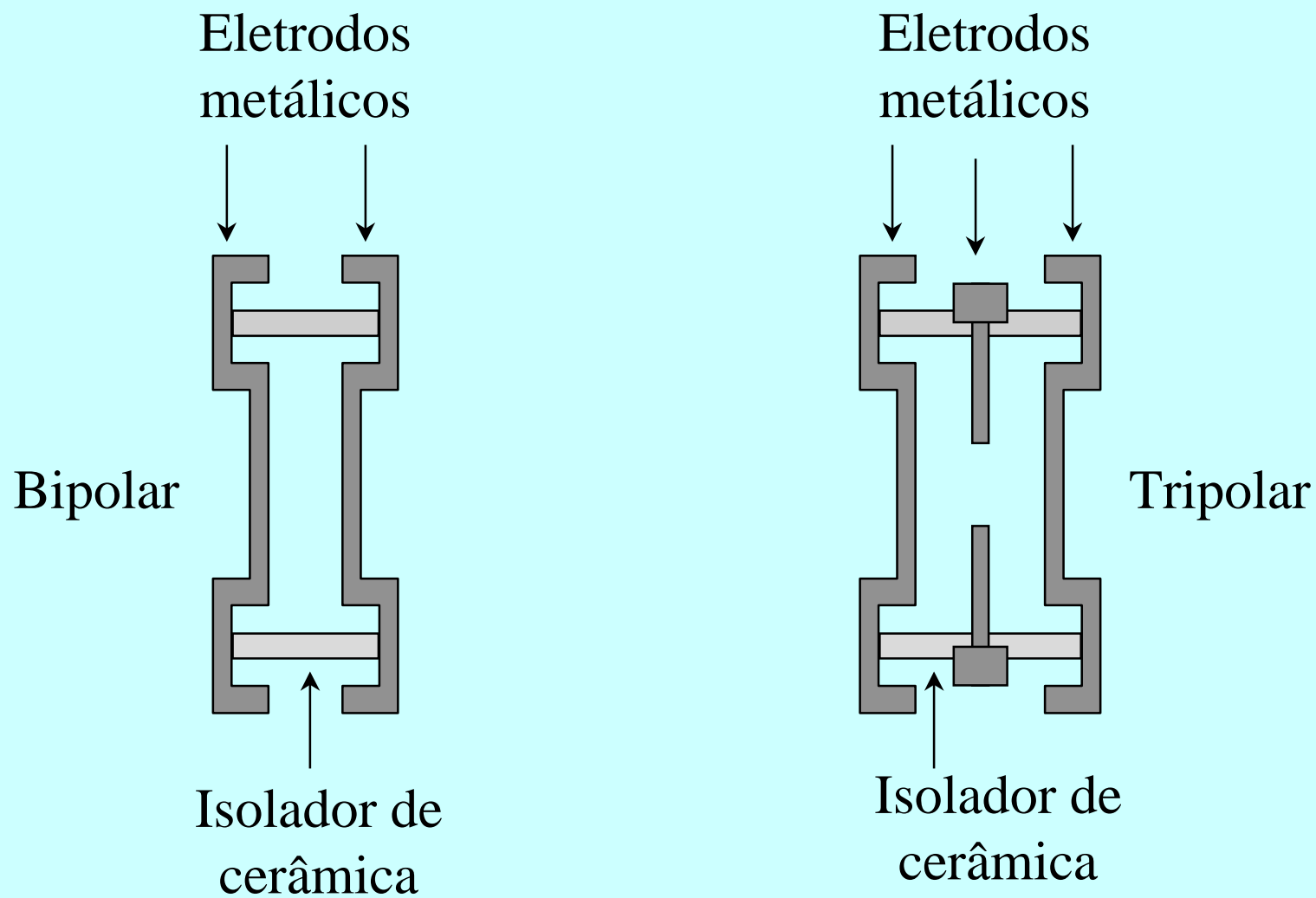
## CENTELHADOR COM ATMOSFERA DE GASES NOBRES

Este centelhador tem como princípio de funcionamento a ignição de um arco controlado em sua câmara contendo gás nobre. Isto irá ocorrer toda vez que a tensão entre seus eletrodos ultrapassar determinado limite, ou seja, ele atua como uma chave dependente da tensão.

Na tensão nominal sua resistência é da ordem de  $10\text{ G}\Omega$ , por ocasião da sobretensão a resistência fica em torno de  $0.1\Omega$ , praticamente curto-circuitando o sistema.

Não possui corrente de fuga.

## Centelhador a gás



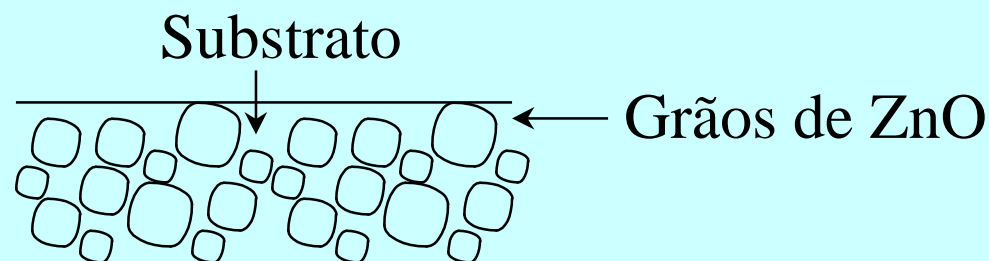
## Centelhador a gás

O Centelhador pode drenar correntes de até 60 kA. Sua tensão de operação pode variar de 70 V a 1400 V. Quando sujeito a surtos de elevada taxa de crescimento, o centelhador apresenta variação em sua tensão disruptiva, devido ao tempo para ionização do gás.

Quando utilizado em associação com outros elementos protetores, o centelhador representa a primeira linha de defesa pois pode manipular elevados valores de corrente, mas seu tempo de resposta é da ordem de 500 ns.

## VARISTORES DE ÓXIDOS METÁLICOS

Após um tratamento térmico (ou processo de sinterização) o óxido de zinco é associado com outros óxidos metálicos, tais como: óxido de antimônio, bismuto, cobalto, manganês. Este material apresenta uma resistência extremamente dependente da tensão aplicada. O denominado efeito varistor.



## VARISTORES DE ÓXIDOS METÁLICOS

Os grãos de óxido de zinco são bons condutores (1 a 10 ohm.cm a 25 C).

As impurezas entre os grãos de óxido de zinco são de elevada resistividade ( $10^{13}$  ohm.cm a 25C).

Existe circulação de corrente capacitiva e resistiva.

Duplicando a espessura da cerâmica, duplica-se também, o nível da tensão. Pois os varistores em série serão o dobro.

Caso duplicarmos a superfície, duplica-se a capacidade de descarga da corrente, pois as vias de condução serão duplicadas.

## VARISTORES DE ÓXIDOS METÁLICOS

A característica  $V \times I$ , pode ser descrita pela seguinte expressão:

$$I = k V^\alpha$$

onde:

$I$  = corrente no varistor;

$V$  = tensão no varistor;

$k$  = constante da cerâmica (tipo);

$\alpha$  = expoente não linear (1,2,3,.....,38,...)

## VARISTORES DE ÓXIDOS METÁLICOS

Em tensão nominal a resistência do varistor é da ordem de  $1\text{M}\Omega$  e a resistência passa para menos de  $1\Omega$  , em um tempo em torno de  $25\text{ns}$ . Apesar do tempo de resposta do material ser da ordem de pico-segundos, a indutância da conexão é que leva o tempo de operação para nano-segundos.

Deve-se então conectar o varistor o mais próximo possível do dispositivo a ser protegido, a fim de se reduzir a indutância

O varistor pode drenar correntes de até  $50\text{ kA}$ .

## VARISTORES DE ÓXIDOS METÁLICOS

Podem ser conectados em série e paralelo (observando as tolerâncias do material).

Apresenta corrente de fuga, o que pode levar a degradação térmica.

Capacitância elevada, o que acarreta problemas para utilização em altas frequências.

Sujeitos a avalanche térmica quando submetidos a correntes elevadas.

## COMPONENTES COM COEFICIENTE DE TEMPERATURA POSITIVO (PTC)

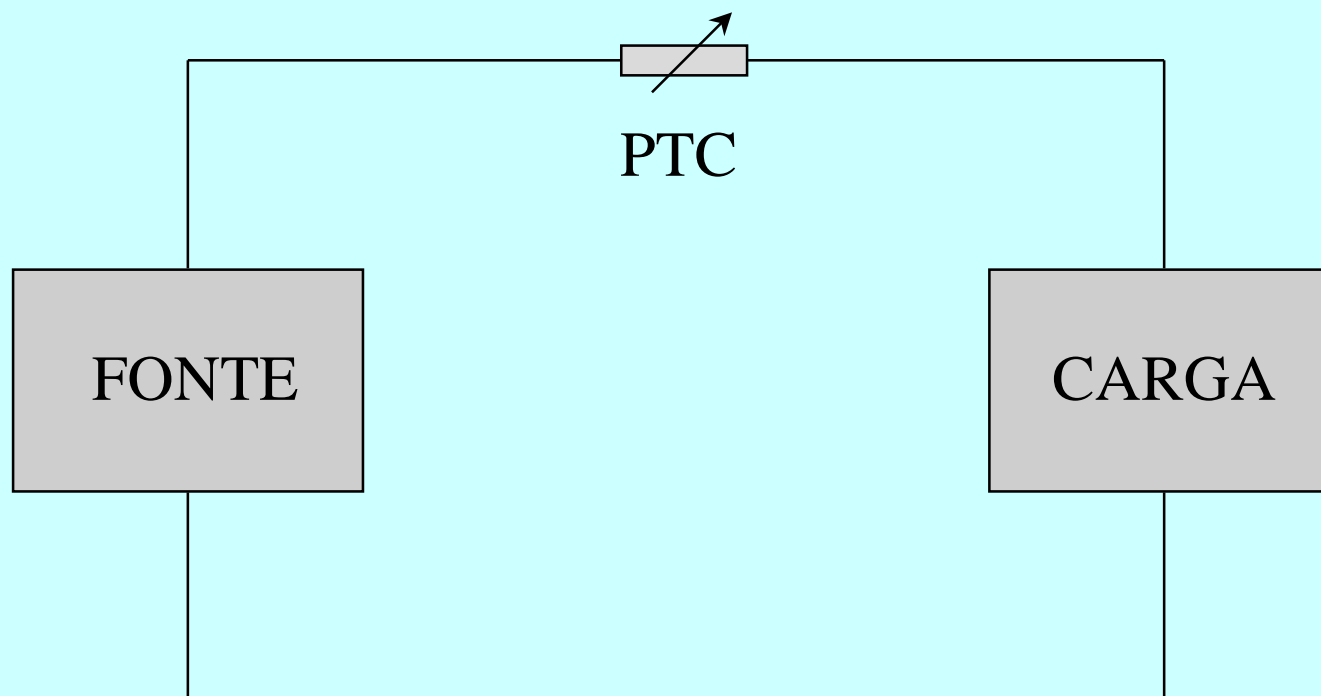
Este tipo de protetor difere do fusível comum devido a sua capacidade de recuperação.

Operam da seguinte forma:

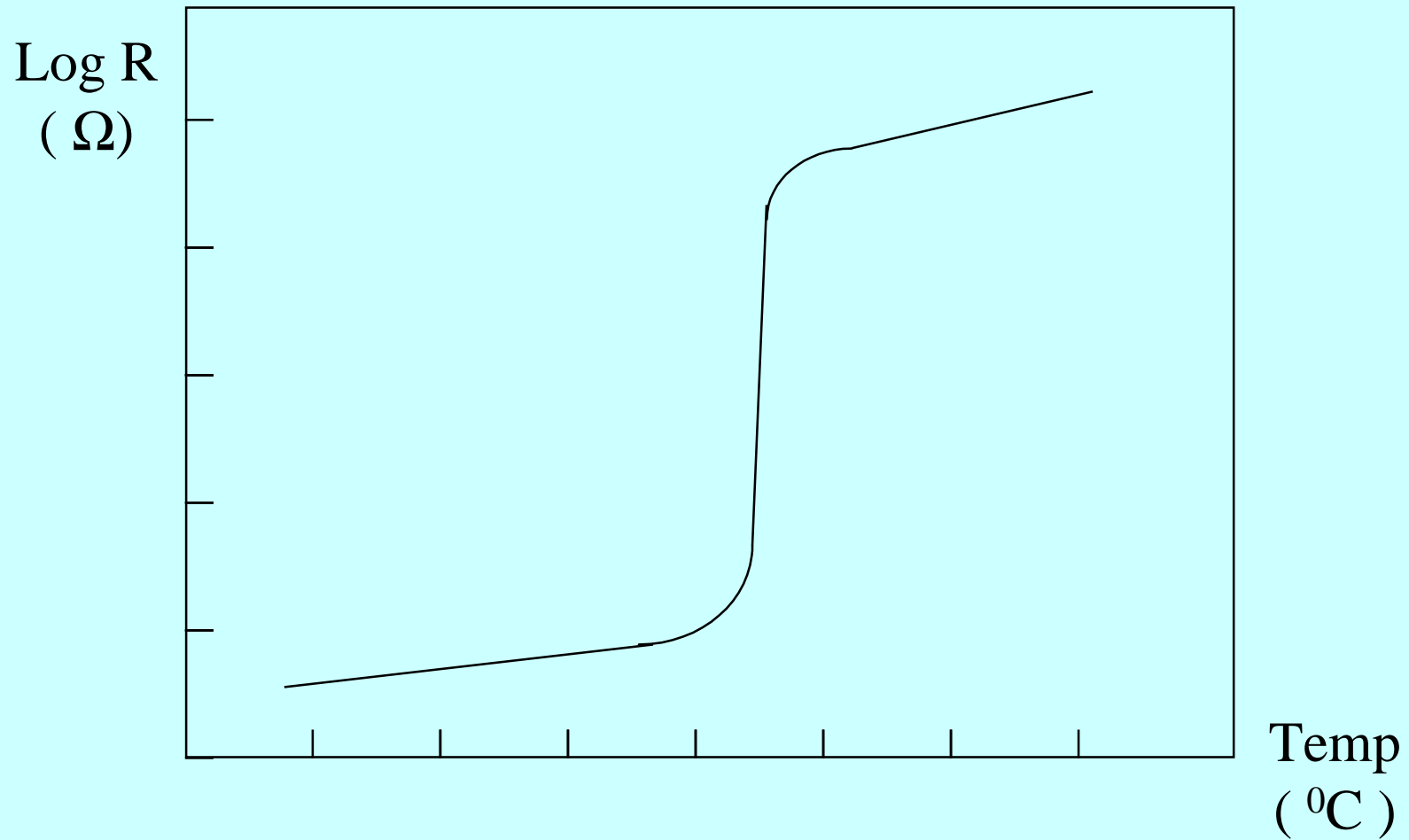
Durante a operação normal do sistema possuem baixa resistência, em caso de sobretensões apresentam elevados valores de resistência limitando o fluxo de corrente através do dispositivo a ser protegido.

O componente é feito de um polímero condutor que possui uma resistência que aumenta bruscamente para uma estreita variação de temperatura.

## COMPONENTES COM COEFICIENTE DE TEMPERATURA POSITIVO (PTC)



## COMPONENTES COM COEFICIENTE DE TEMPERATURA POSITIVO (PTC)



## DIODOS ZENER

Estes diodos são projetados para conduzir correntes no sentido reverso.

O mecanismo de condução é o efeito Zener, abaixo de 6V. Acima deste valor o principal mecanismo é o efeito avalanche.

Dissipam a energia estabilizando a tensão.

Suas principais características são:

- Tensão de proteção de 3 a 200 V;

- Corrente de surto 200 A;

- Tempo de resposta menor que 25 ns.

## DIODOS SUPRESSORES

São de dimensões menores que o Zener, mas devido a diferença de tecnologia podem manusear correntes mais elevadas e possuem um tempo de resposta menor.

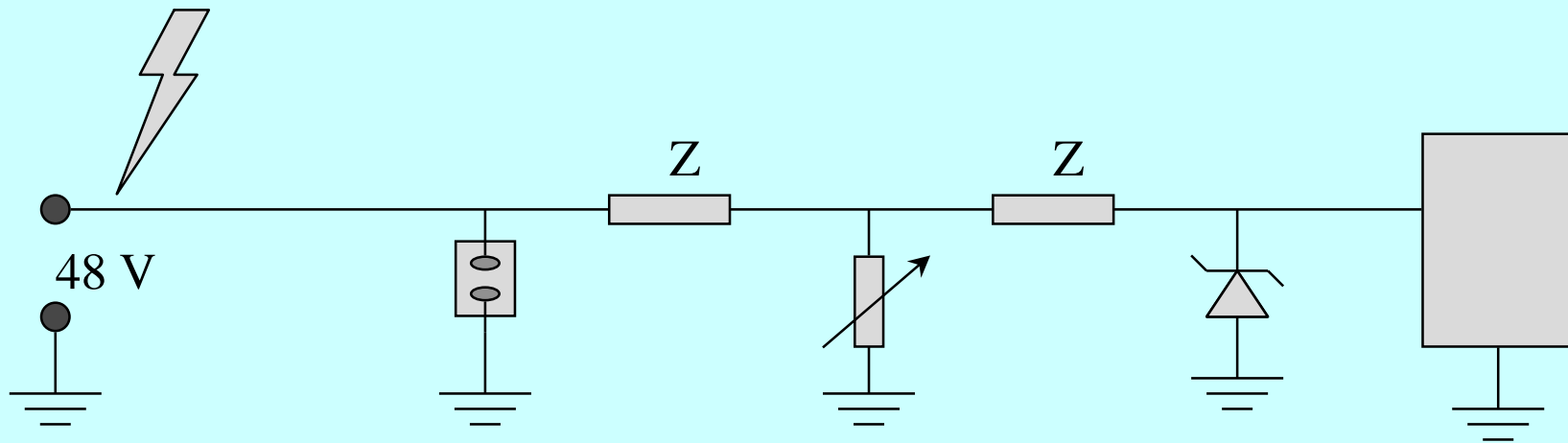
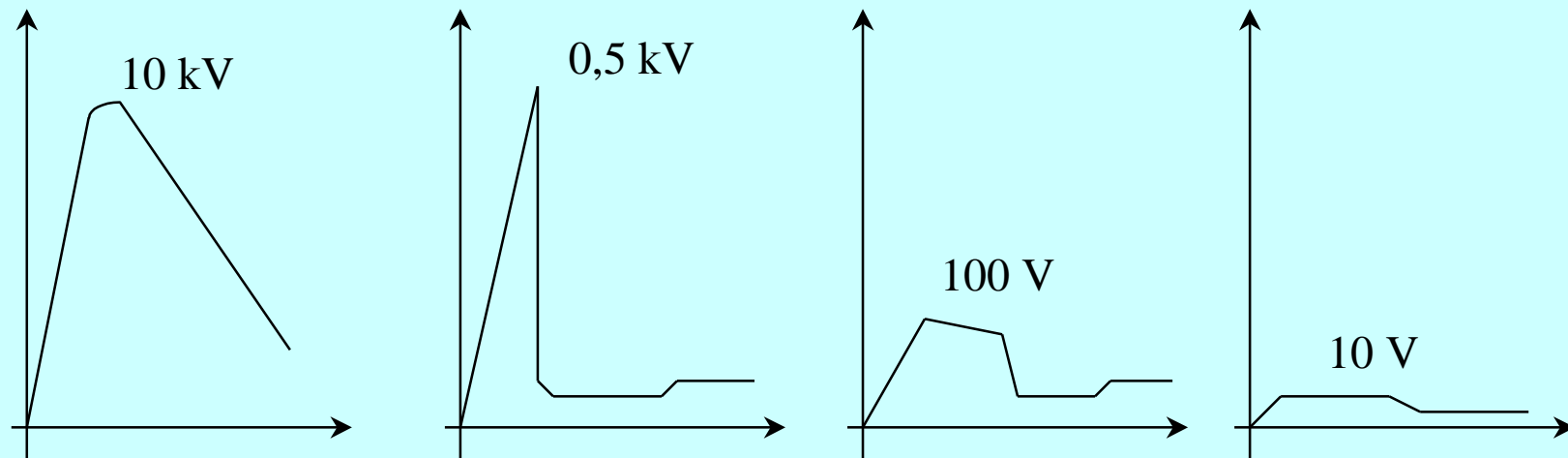
Principais características:

Tensões de trabalho de 6 a 190 V;

Corrente de surto até 1 kA;

Tempo de resposta menor que 10 ps.

## Protetores em cascata



Centelhador

Varistor

Diodo

## Ensaaios em protetores

Foram testados :

- a - Centelhadores a gás 150 V/10 kA;
- b - Diodos de avalanche rápidos (transzorb);
- c - Varistores;
- d - Protetores híbridos em várias configurações.

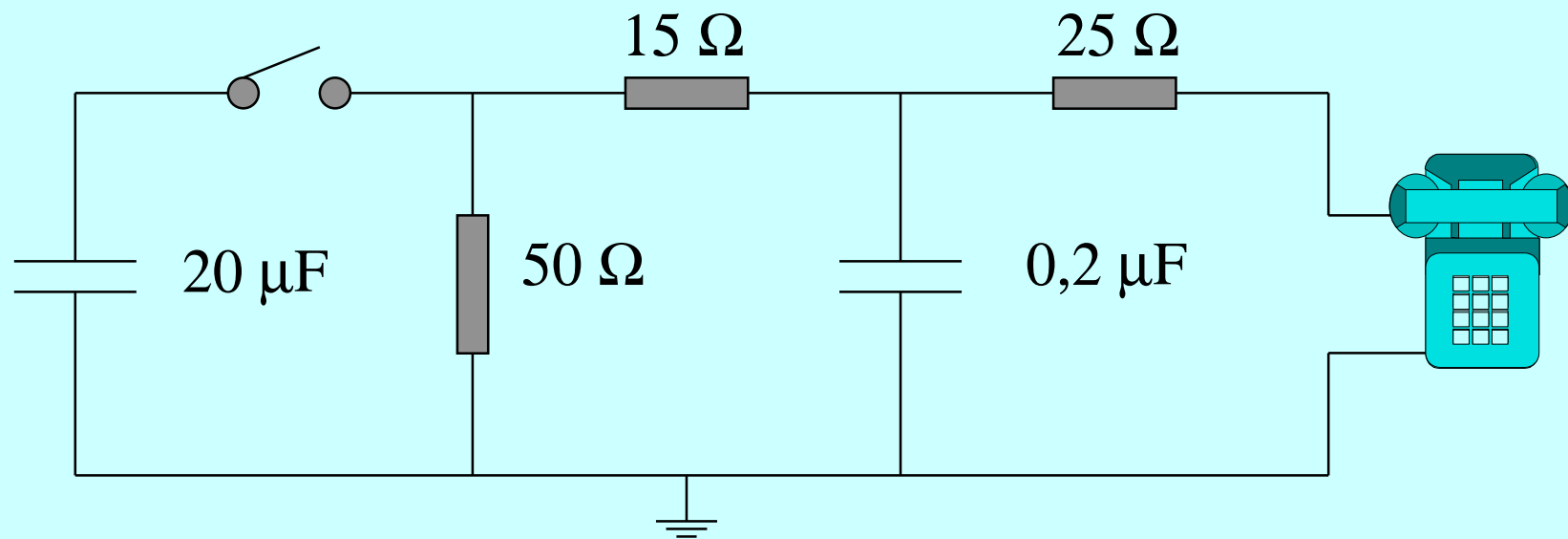
## O gerador de impulsos.

O gerador utilizado nos testes produz impulsos de tensão e o circuito utilizado é o sugerido pelas recomendações K-20 e K-21 do ITU/CCITT.

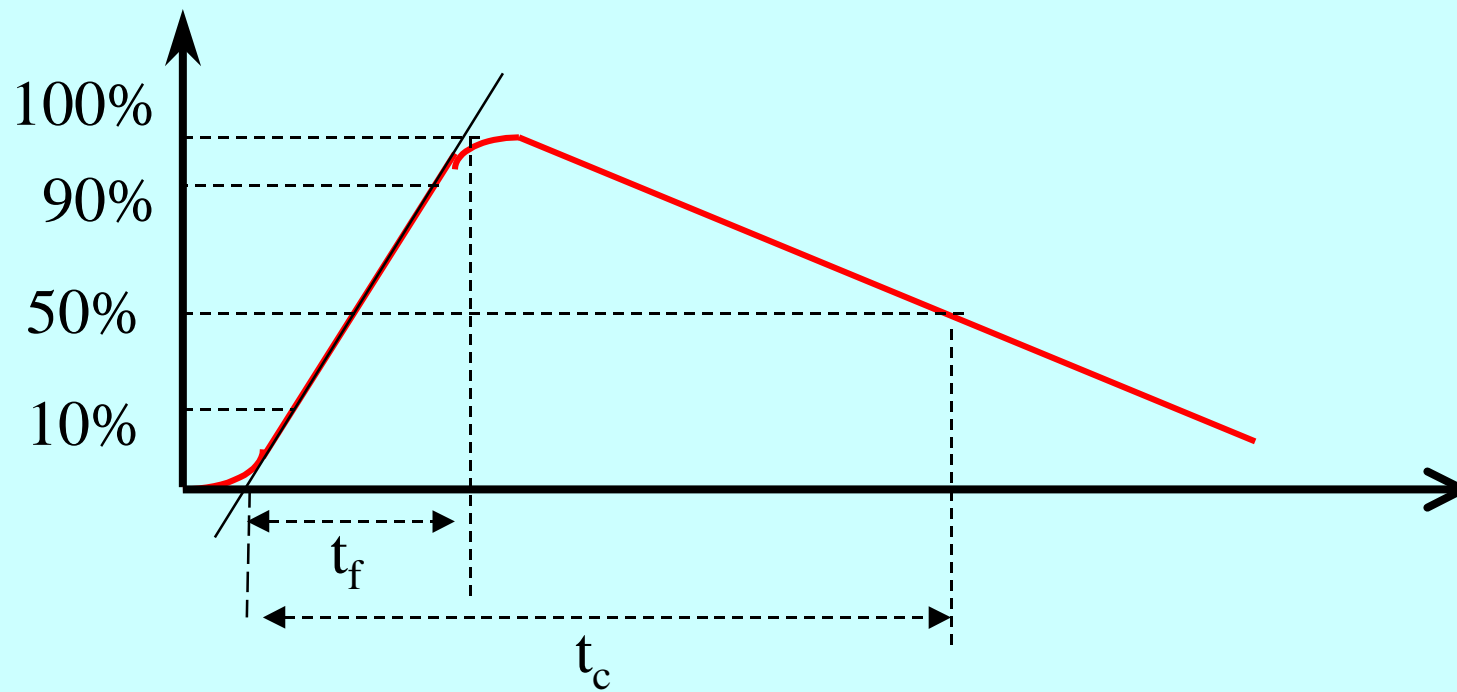
O impulso padronizado apresenta tensões de crista variáveis de 1 a 4 kV, tempo de frente de 10µs e tempo de meia cauda de 700 µs.

Esta forma de onda foi escolhida pelo ITU/CCITT a partir da análise de uma série de dados obtidos em medições realizadas em vários países.

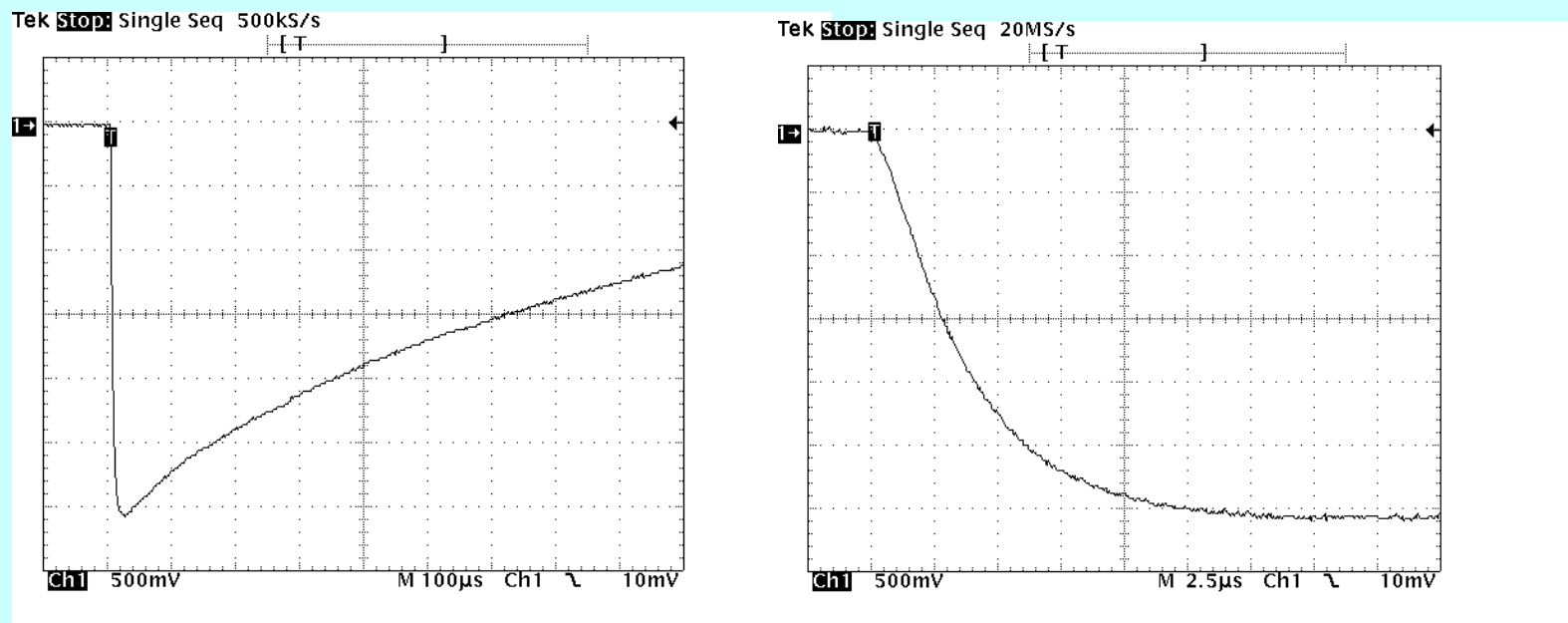
## O circuito do gerador



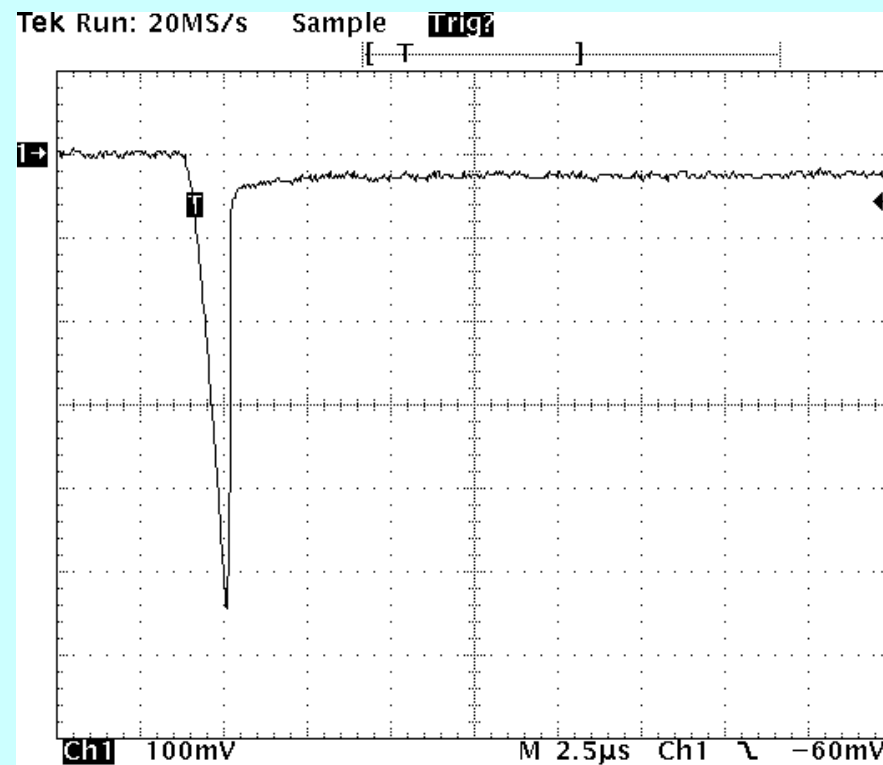
## Calibração da forma de onda.



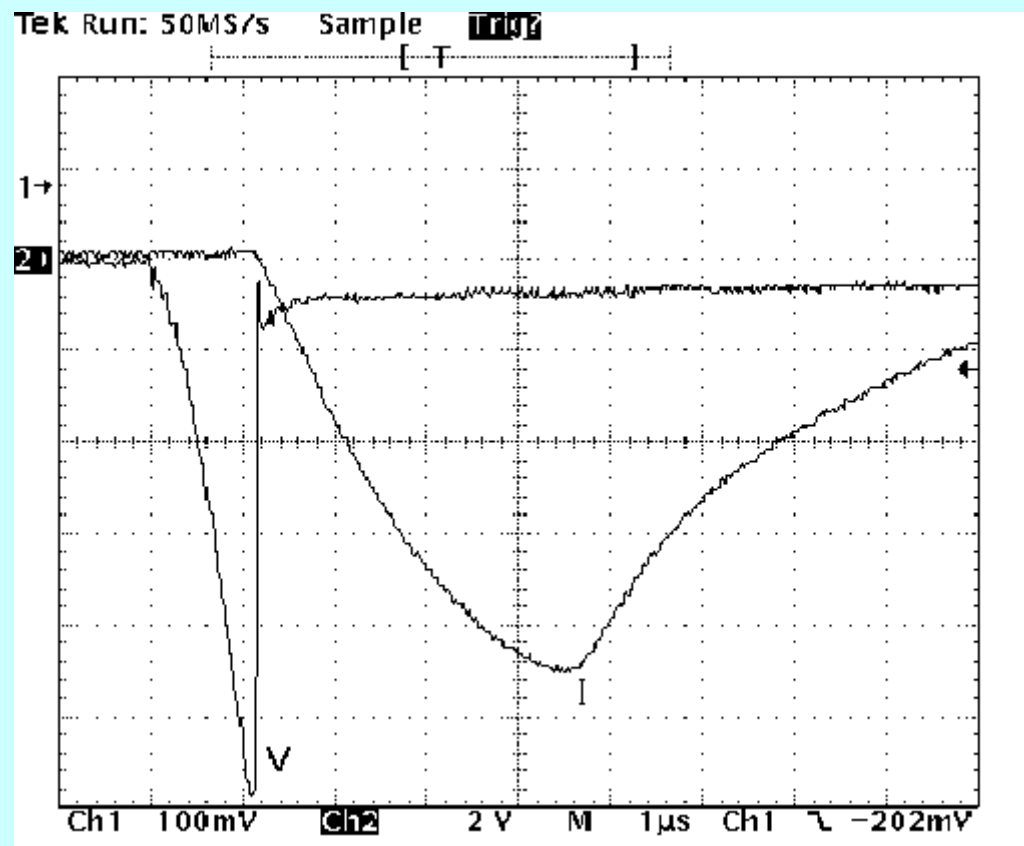
## Gerador à vazio ( $V_p = 3,0 \text{ kV}$ )



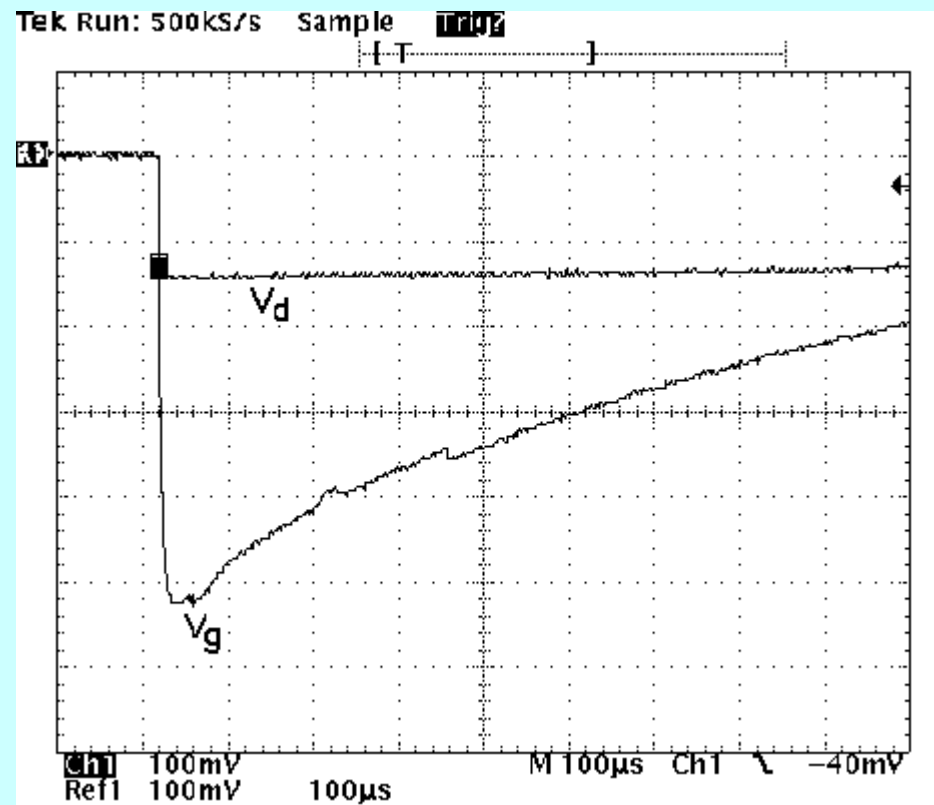
Centelhador - 150 V e 10 kA.  
Tensão aplicada igual a 3,0 kV. Tempo: 2,5 us/divisão.  
Tensão: 100 V/divisão.



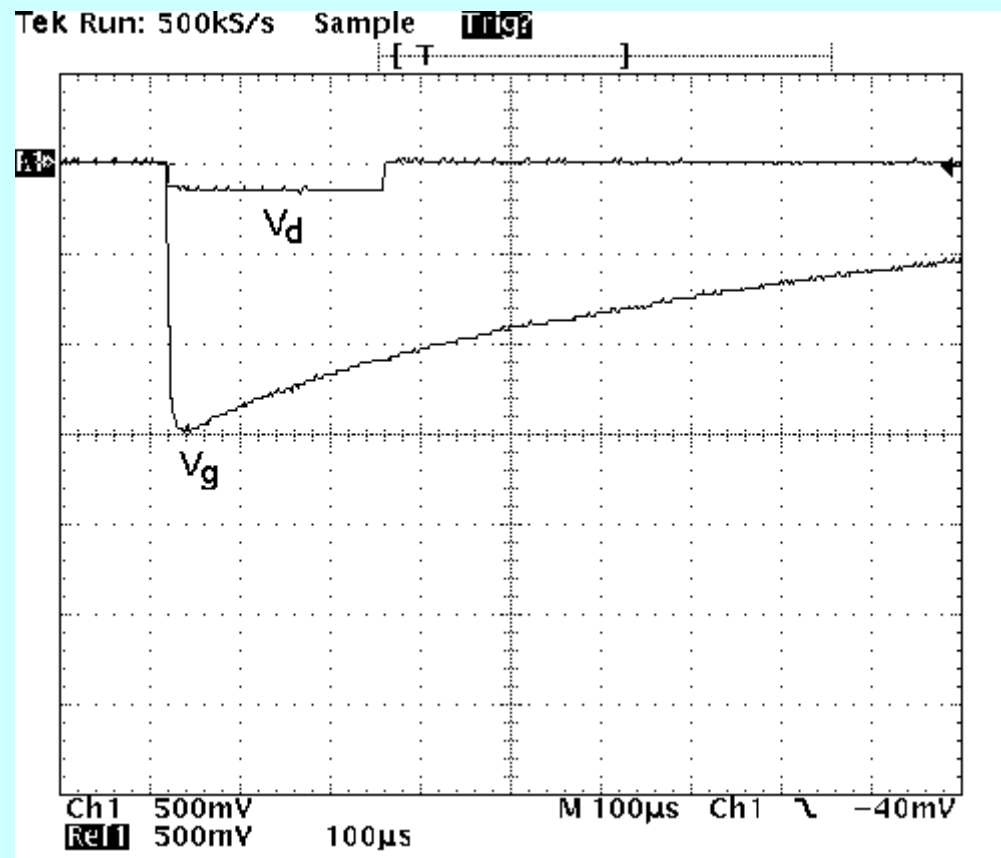
Centelhador - 150 V e 10 kA.  
Tensão aplicada igual a 4,0 kV. Tempo: 1 us/divisão.  
Tensão: 100 V/divisão. Corrente: 20 A/divisão.



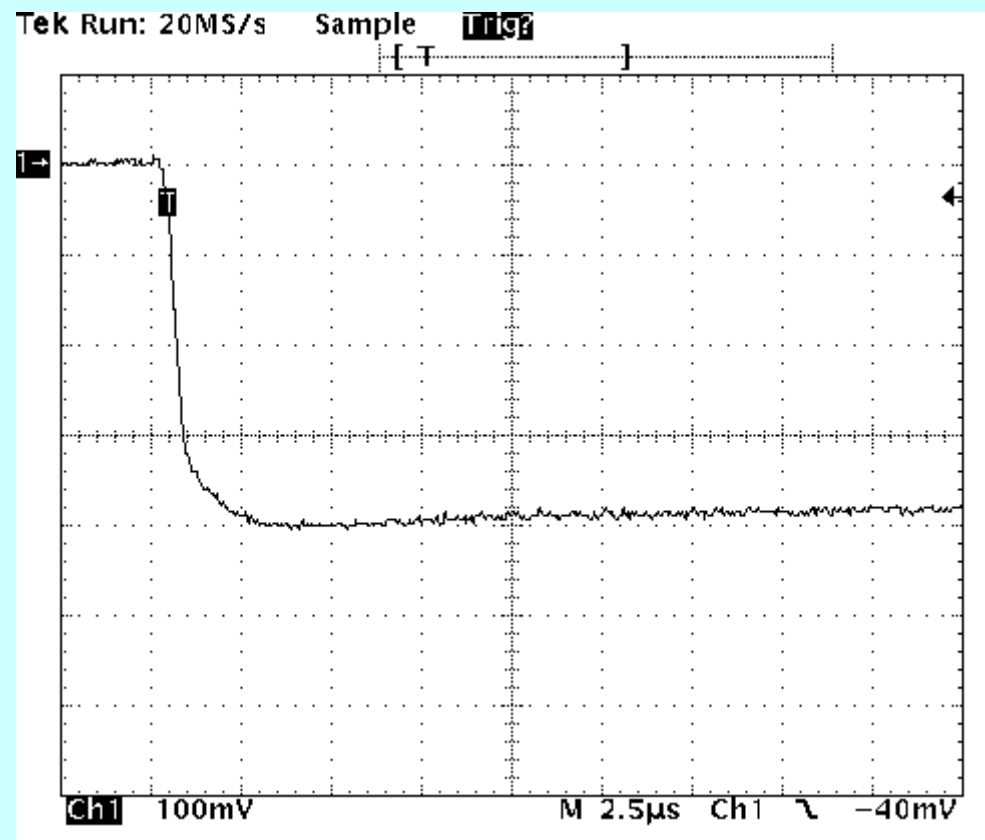
Diodos “transzorbs”, modelo TPX-789 da GI.  
Tensões aplicada (500 V) e desenvolvida no diodo.  
Tempo: 100 us/divisão. Tensão: 100 V/divisão



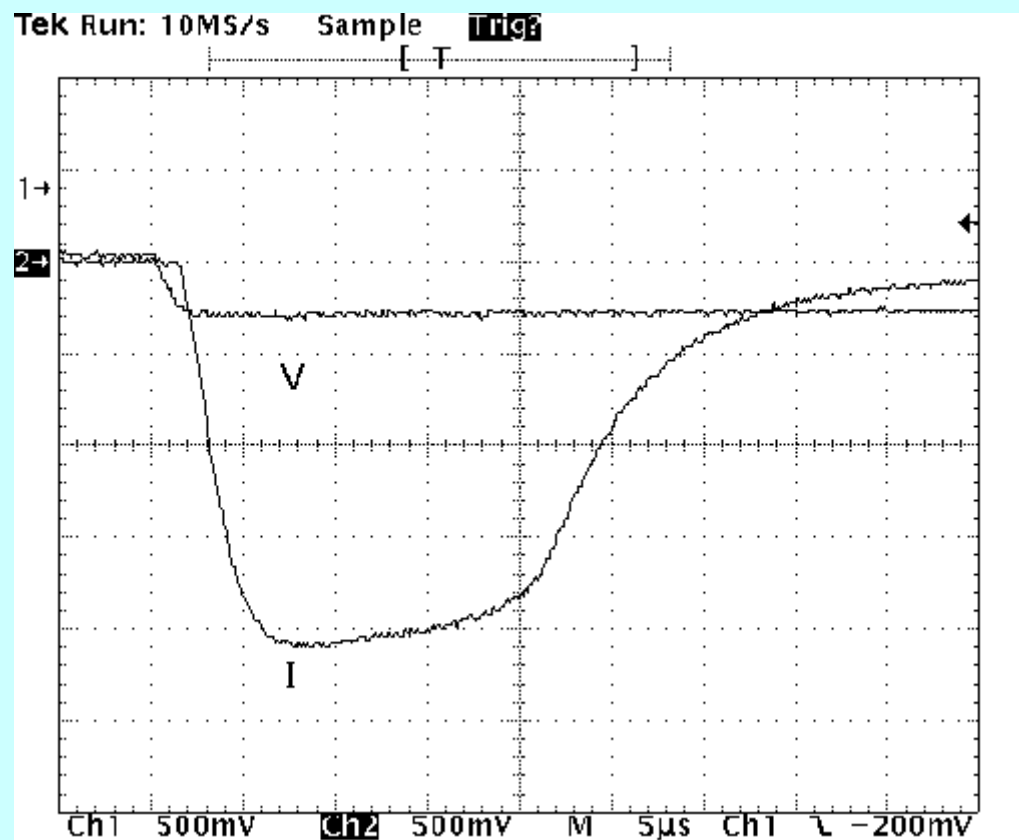
Diodos “transzorbs”, modelo TPX-789 da GI.  
Tensões aplicada (1,5 kV) e desenvolvida no diodo.  
Tempo: 100 us/divisão. Tensão: 500 V/divisão.



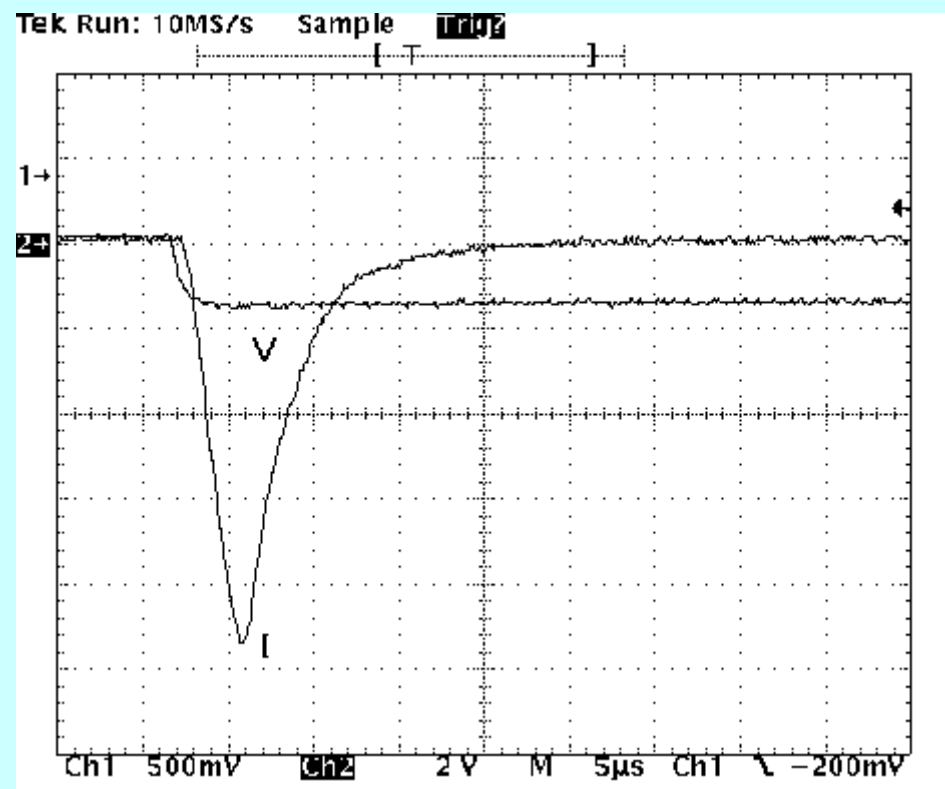
Varistor de 6,5 kA/150 V da GE.  
Tensão aplicada de 5,0 kV. Tempo: 2,5 us/divisão. Tensão:  
100 V/divisão



Varistor de 6,5 kA/250 V da GE.  
Tensão aplicada de 1,0 kV. Tempo: 5 us/divisão. Tensão:  
500 V/divisão. Corrente: 5 A/divisão.



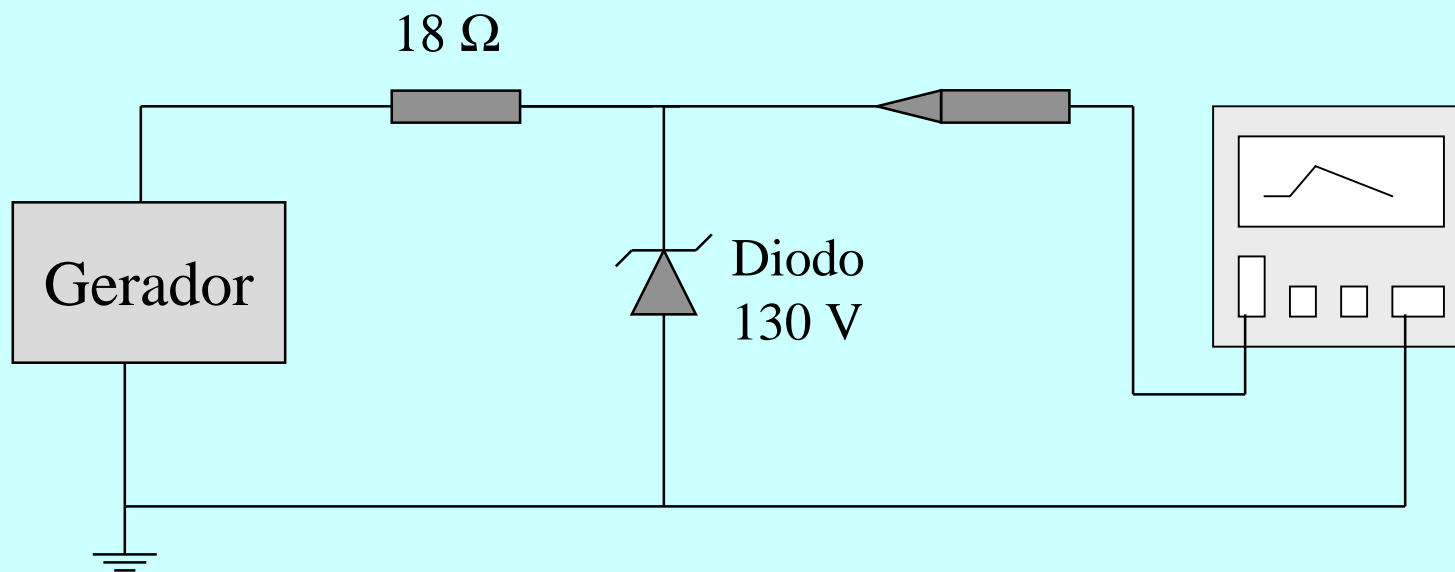
Varistor de 6,5 kA/250 V da GE.  
Tensão aplicada de 5,0 kV. Tempo: 5 us/divisão. Tensão:  
500 V/divisão. Corrente: 20 A/divisão.



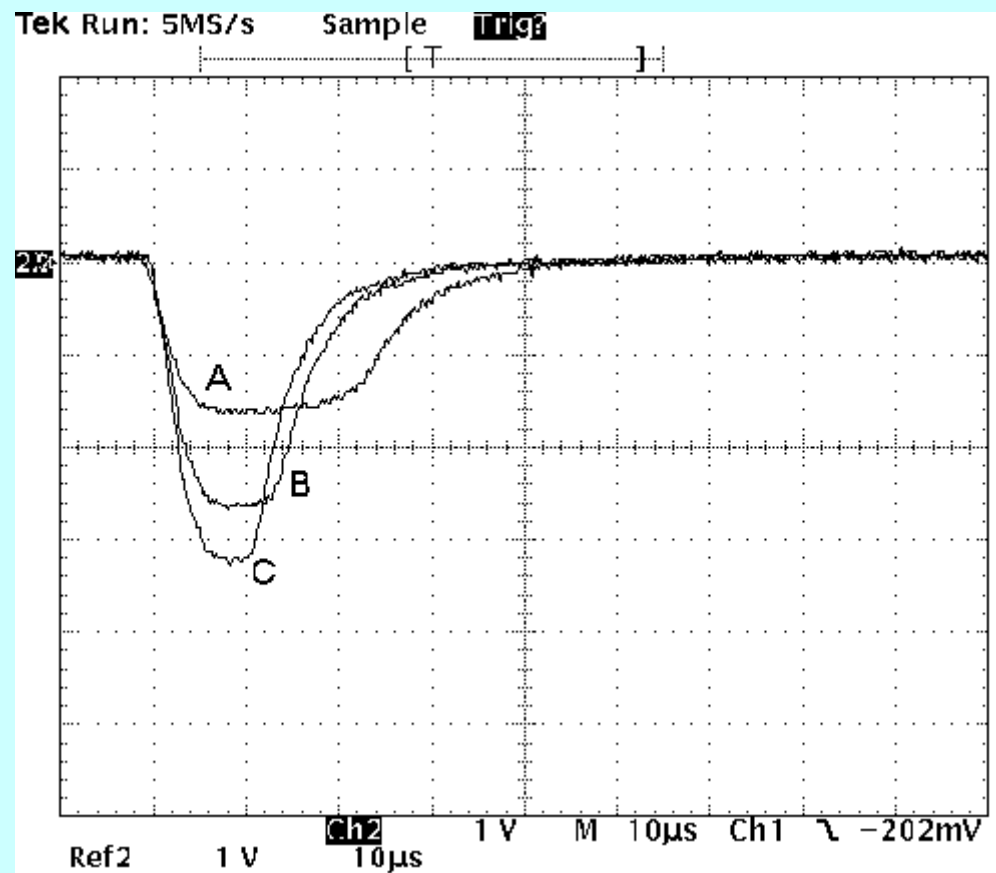
## Protetores híbridos.

- a - Resistor - diodo;
- b - Centelhador - resistor - diodo;
- c - Centelhador- resistor - indutor - diodo;
- d - Centelhador - varistor;
- e - Resistor - varistor.

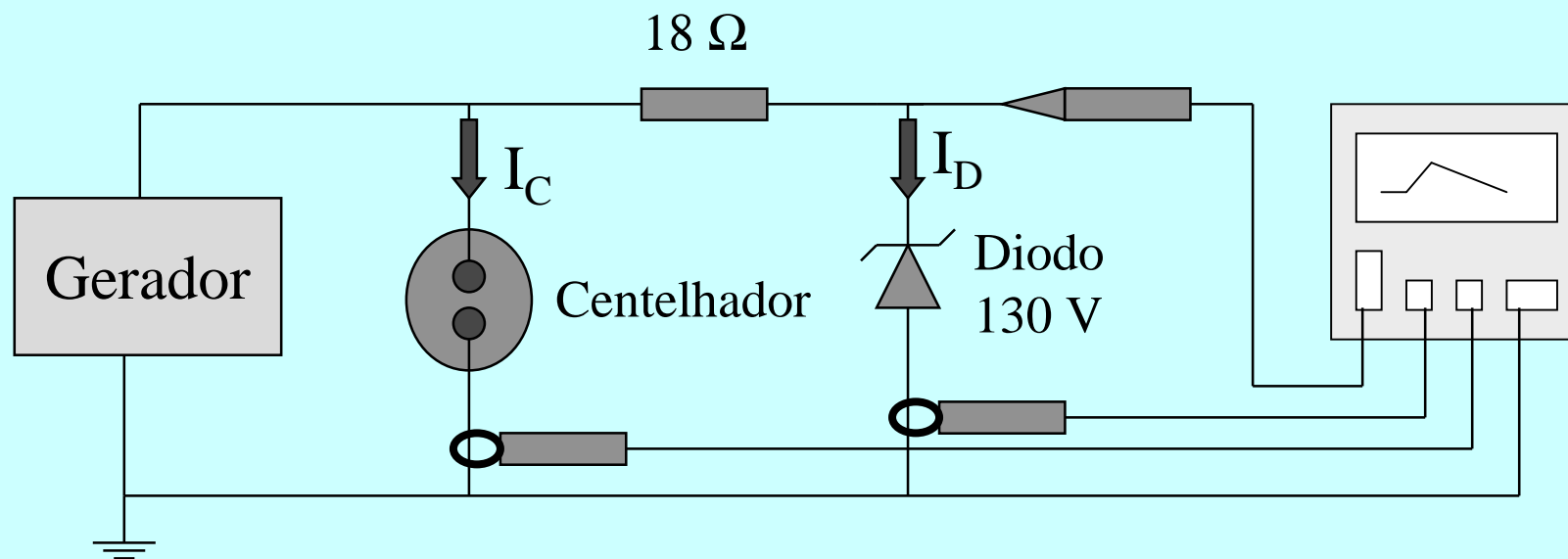
## Associação de resistor e diodo rápido



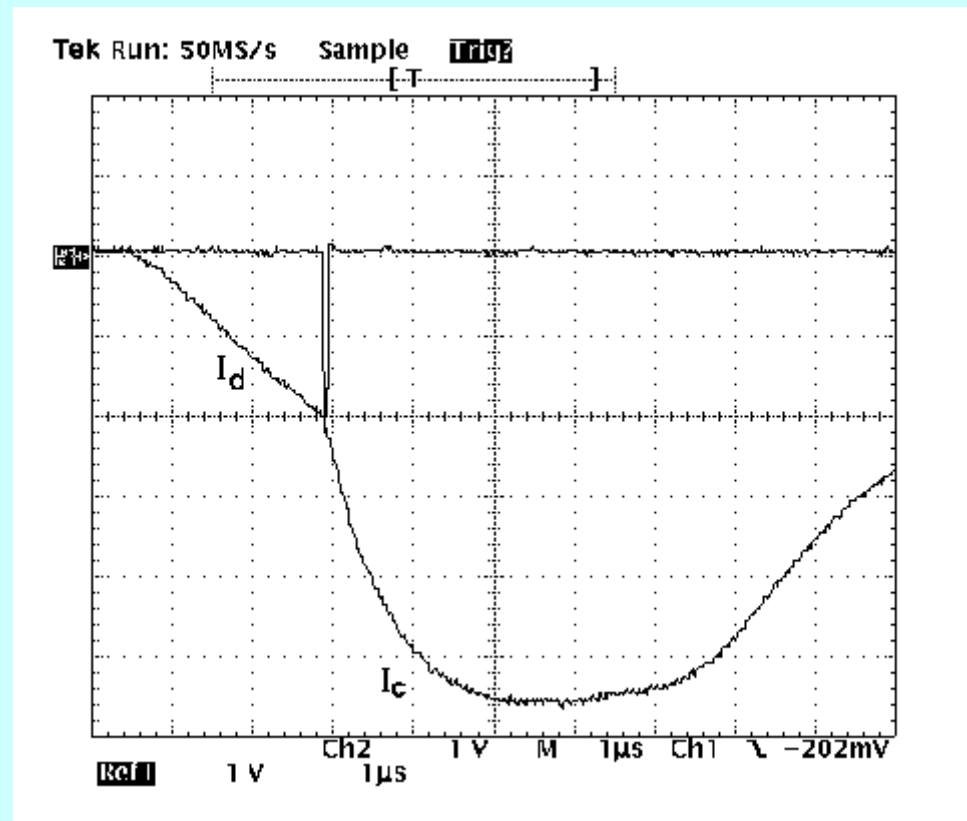
Tensões no transzorb para tensões aplicadas de 1 (A); 1,5 (B) e 2 kV (C). Tempo: 10  $\mu$ s/divisão. Tensão: 1 kV/divisão.



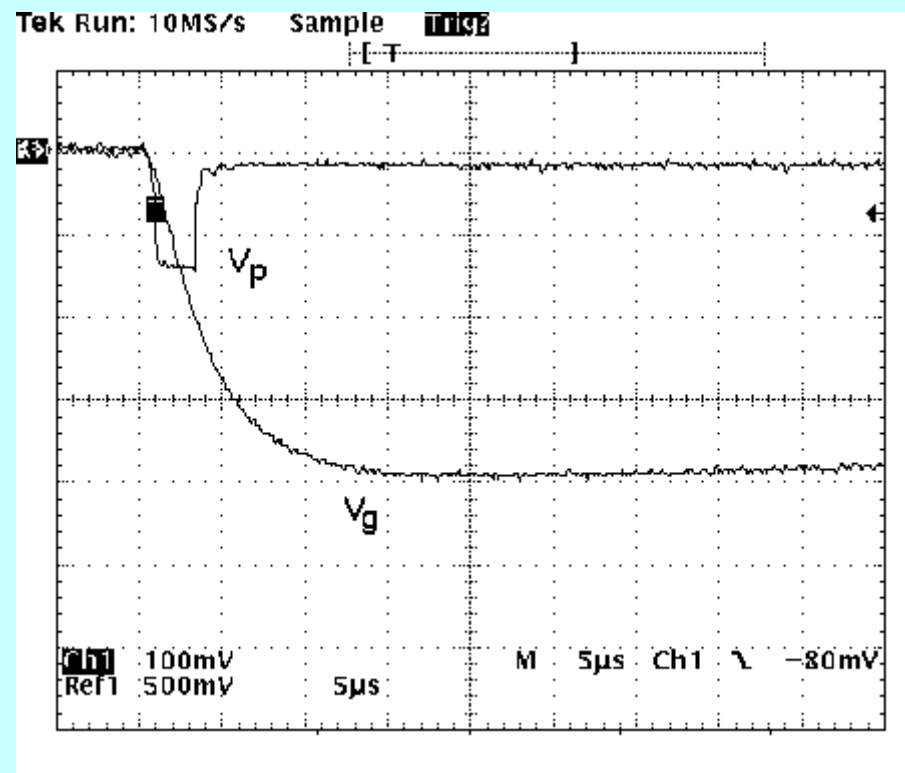
## Associação de centelhador e diodo rápido - Coordenação por resistor.



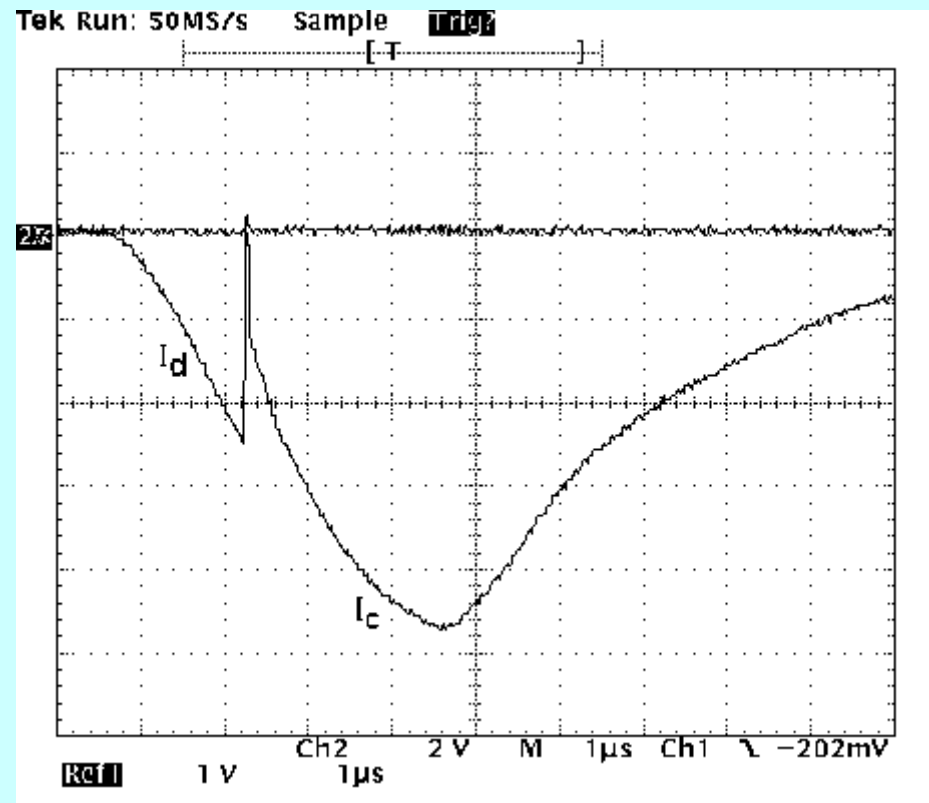
Correntes no centelhador ( $I_c$ ) e no diodo ( $I_d$ ) para uma tensão aplicada de 2 kV. Tempo: 1  $\mu$ s/divisão. Corrente: 10 A/divisão



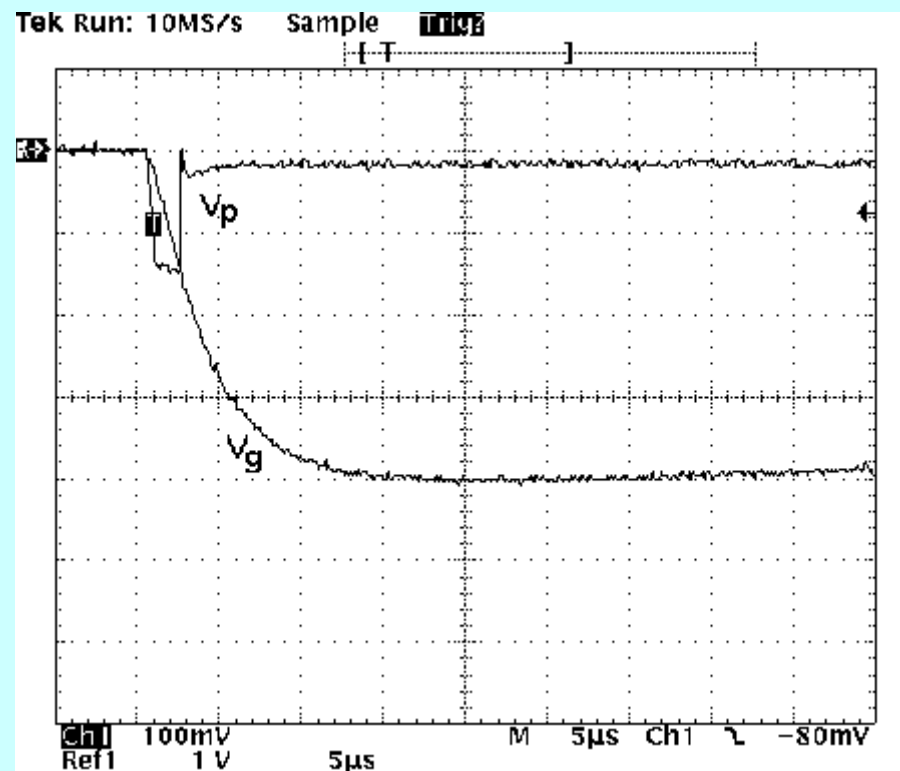
Tensão na entrada ( $V_g$ ) e na saída do protetor ( $V_p$ ). para um tensão palicada de 2 kV. Tempo: 5 us/divisão. Tensão: 500 V/divisão ( $V_g$ ). Tensão: 100 V/divisão ( $V_p$ ).



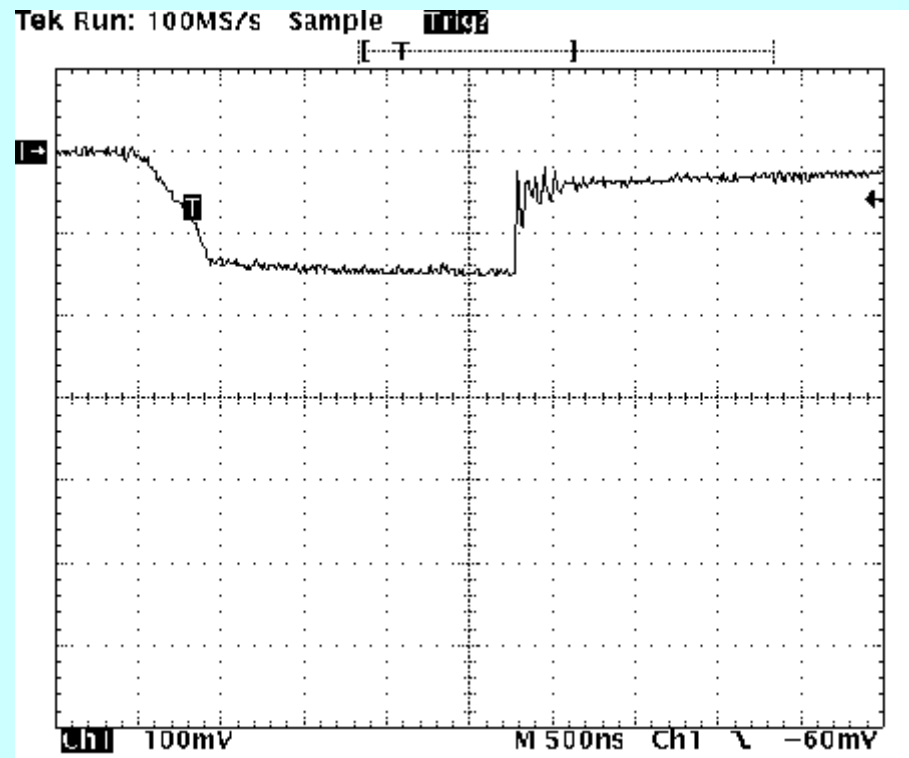
Correntes no centelhador ( $I_c$ ) e no diodo ( $I_d$ ) para uma tensão aplicada de 4 kV. Tempo: 1  $\mu$ s/divisão. Corrente: 10 A/divisão ( $I_d$ ), 20 A/divisão ( $I_c$ ).



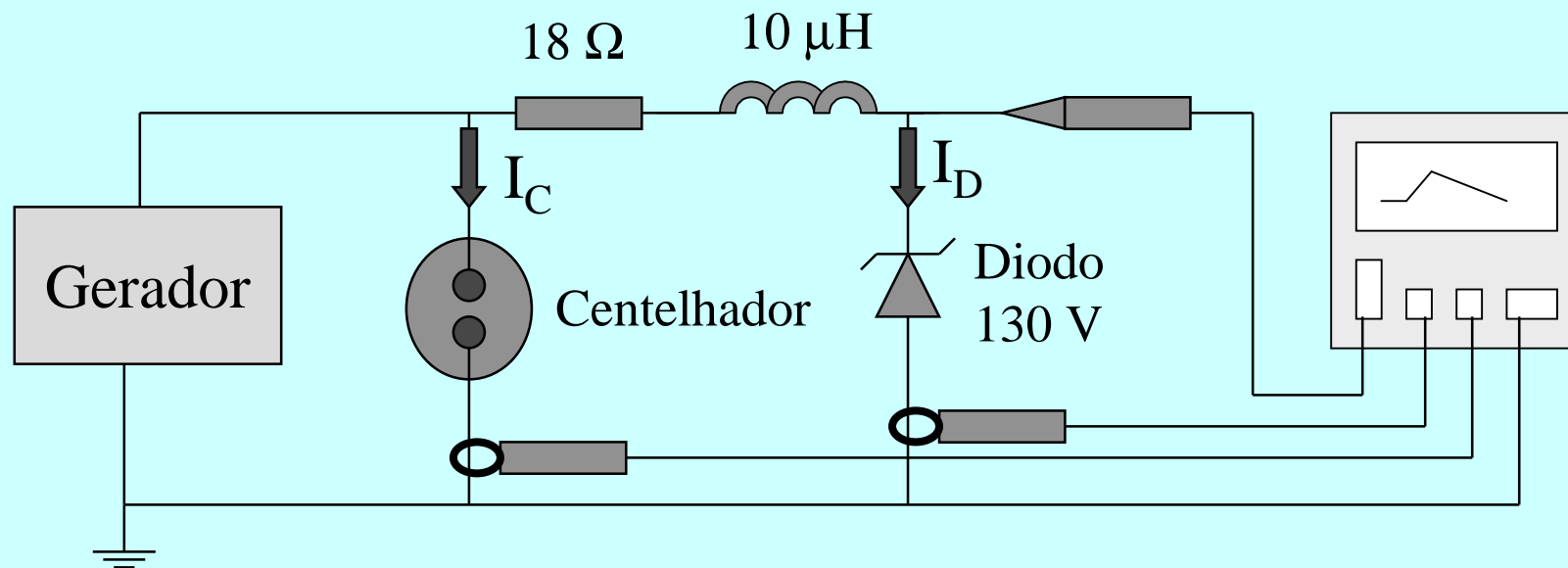
Tensões na entrada ( $V_g$ ) e na saída do protetor ( $V_p$ ) para uma tensão aplicada de 4 kV. Tempo: 5 us/divisão.  
Tensão: 1 kV/divisão ( $V_g$ ). Tensão: 100 V/divisão ( $V_p$ ).



Tensão na saída do protetor para uma tensão aplicada de 3 kV. Tempo: 0,5 us/divisão. Tensão: 100 V/divisão.



## Associação de centelhador e diodo rápido - Coordenação por resistor / indutor.



Resultados idênticos aos obtidos no caso de coordenação por resistor.

## CONCLUSÕES.

O centelhador a gás:

Grande capacidade de condução de corrente;

Elevada sobretensão residual;

Tempo de resposta muito grande;

Sua tensão após disparo (tensão de arco) é muito pequena, não sendo aconselhável sua utilização em linhas de alimentação.

## Conclusões.

### O varistor:

Boa estabilidade de saída em toda a excursão do impulso;  
Tensão de “grampeamento” para ondas rápidas, bem acima de sua tensão nominal.

### O diodo tipo “transzorb”:

Tempo de resposta muito pequeno;  
Máxima tensão de crista: de 1 kV.

## Conclusões.

As configurações híbridas: utilizando centelhador e diodo ou centelhador e varistor, devidamente sincronizados, possuem a vantagem de agregar as boas características dos dois componentes. Os tempos de resposta e sobretensões residuais são os mesmos dos componentes do último estágio tomados isoladamente e a capacidade energética do conjunto é praticamente a provida pelo centelhador a gás.

## Conclusões.

Outras características não avaliadas neste trabalho, tais como banda passante, atenuação, admitância e distorção são bastante diferenciadas em cada uma das configurações testadas.