

# **O RUÍDO NO ESPECTRO DE HF E AS FONTES CHAVEADAS**

Prof. ME. Jean Hugo Callegari

PY3JHC

Bento Gonçalves RS, julho de 2019

## PROLEGÔMENO

Este pequeno “ajuntamento” de informações não tem a menor pretensão de ser um trabalho voltado à academia, muito menos de ser a palavra definitiva ou completa sobre o assunto. Por isso, convenções e formalidades relativas não serão aqui consideradas. As opiniões aqui expostas estão embasadas nos autores citados.

Com o intuito de compartilhar informações, indisponíveis ao hobbysta e amadores em nossa língua mãe, não aprofundarei o assunto com cálculos e teorias complexas. O desejo é de manter o texto digerível para os menos afeitos às teorias da eletrônica. Porém,

conhecimentos básicos são necessários para a compreensão. Engenheiros e interessados em cálculos e aprofundamentos teóricos, deverão buscar na bibliografia a saciedade para seus intentos.

Aos revisores de plantão, afirmo que sou receptivo para a colaboração construtiva, ou cooperação (PIAGET. 1996, p. 5), pois sou adepto e praticante da ética hacker, definida por Levy (1994) e Himanen (2001). Compreenda-se aqui a palavra *hacker* como o modificador, o transformador, aquele que busca conhecer as entranhas de um dispositivo, por vezes desmotando-o, para transforma-lo em algo melhor. Segundo eles, pode-se ser um *hacker* de astronomia, automóveis, rádios, etc.. Os que roubam senhas, invadem computadores, são *crackers*.

[...] pessoas que *trabalham* de forma entusiasmada, e que acreditam que o compartilhamento de informações é um bem positivo e que é um dever ético dos *hackers* compartilhar seus expertises, pelo desenvolvimento de *suas descobertas* e pela facilitação do acesso as informações e recursos [...], sempre que possível. (HIMANEN, 2001, prefácio, tradução nossa, *adaptado*).

Nasci póstumo.

Nietzsche

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUÇÃO .....  | 4  |
| 1. RUÍDO .....  | 3  |
| 1.1. O QUE É RUÍDO? .....   | 3  |
| 1.2. ALGUNS PROBLEMAS CAUSADOS PELO RUÍDO .....                         | 3  |
| 1.3. O RUÍDO E SUA PROPAGAÇÃO .....                                     | 6  |
| 1.4. ORIGEM DO RUÍDO NAS FONTES CHAVEADAS .....                         | 7  |
| 1.6. RUÍDO IRRADIADO E RUÍDO CONDUZIDO .....                            | 9  |
| 1.7. RUÍDO DE MODO COMUM E DE MODO DIFERENCIAL .....                    | 10 |
| 1.8. COMO REDUZIR OS RUÍDOS CRIADOS PELAS FONTES CHAVEADAS ..           | 10 |
| 2. ELEMENTOS FILTRANTES BÁSICOS .....                                   | 12 |
| 2.1. FILTROS DE MODO DIFERENCIAL .....                                  | 12 |
| 2.1.1. Filtro em L .....  | 12 |
| 2.1.2. Filtro T .....   | 12 |
| 2.1.3. Filtro em PI ( $\pi$ ) .....                                     | 13 |
| 2.2. FILTROS DE MODO COMUM .....  | 14 |
| 2.2.1. Filtro em Z .....  | 14 |
| 2.3. FILTROS UTILIZADOS EM EQUIPAMENTOS COMERCIAIS .....                | 16 |
| 2.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONSTRUÇÃO DO FILTRO, NO MUNDO<br>REAL ..... | 17 |
| 3. OS TRANSIENTES .....   | 20 |
| 3.1. SPIKE .....  | 20 |
| 3.2. O PULSO .....  | 21 |
| 3.3. O TRAPEZOIDAL .....  | 21 |
| 3.4. COMO LIDAR COM OS TRANSIENTES .....                                | 22 |
| 3.5. VARISTORES DE ÓXIDO METÁLICO (MOV) .....                           | 23 |
| 3.6. TUBOS DE DESCARGA DE GÁS .....                                     | 24 |
| 3.7. DIODOS ZENER .....   | 26 |
| 3.8. DIODOS TVS, TRANSORBS ou DIODOS DE PROTEÇÃO DE SURTO .....         | 26 |
| 3.9. LIMITADORES DE CORRENTE NTC .....                                  | 27 |
| REFERÊNCIAS .....   | 29 |

## INTRODUÇÃO

Estas informações básicas são necessárias para a compreensão das formas de supressão de ruídos gerados em fontes chaveadas. As descrições aqui postadas têm como escopo a utilização de fontes chaveadas em sistemas de rádio e áudio, e como lidar com os seus pontos negativos.

Inicia-se este “ajuntamento” pela definição de ruído, descrevendo alguns dos problemas que ele pode causar e sua origem, descreve-se sua forma de propagação e sua geração e propagação nas fontes chaveadas.

Em seguida apresentam-se os tipos de elementos filtrantes, descrevendo-se brevemente suas características, alguns tipos de filtros comerciais e dicas de caráter prático para sua confecção.

Finalmente descrevem-se transientes e dispositivos de proteção contra eles.

## 1. RUÍDO

### 1.1. O QUE É RUÍDO?

Nordquist (2019) define ruído, no estudo de comunicação e na teoria de informação, como qualquer coisa que interfere no processo de fluxo de informação entre o “locutor” e a “audiência”. Também pode ser entendido como algo que dificulta a completa compreensão da mensagem, ou interferência.

Sob a ótica da eletrônica, ruído causa um efeito similar, causando problemas na compreensão das comunicações.

Keim (2018, tradução nossa) define ruído elétrico como “uma palavra genérica que se refere a variações em tensão ou corrente, usualmente de baixa amplitude, e sempre indesejáveis”. Afirma que a amplitude do ruído pode ser grande, como nos gerados por transientes, raios, etc... Também podem existir ruídos “do bem”, utilizados em ajustes eletrônicos, como o ruído rosa e ruído branco, utilizados no ajuste de equipamentos de som.

### 1.2. ALGUNS PROBLEMAS CAUSADOS PELO RUÍDO

Os aficionados pela escuta de rádio, em ondas curtas, sofrem com a poluição do espectro de radiofrequência, especialmente na faixa que vai até os 30MHz. Esta poluição tem se agravado com o advento das fontes chaveadas, utilizadas em praticamente todo equipamento eletrônico moderno. Lâmpadas, LED's, carregadores de bateria (celular), televisores, computadores, eletrodomésticos, centrais de alarme, são uns dos poucos exemplos de equipamentos que utilizam fontes chaveadas.

Mas então, a fonte chaveada é um invento ruim? A resposta correta é não. A fonte chaveada possibilita a produção de tensões baixas em altas correntes CC, com a utilização de componentes pequenos e leves. O custo das fontes despencou vertiginosamente e sua disponibilidade banalizou-se.

Então qual o problema da fonte chaveada? O ruído gerado internamente.

Isso inviabiliza o uso destas fontes? Claro que não, a solução está no uso de filtros específicos e blindagens, para que o ruído gerado internamente não seja conduzido, ou irradiado, para fora do ambiente da fonte. Existe, inclusive, legislação específica que regulamenta estes aspectos, mas a fiscalização é praticamente inexistente. Além disto, a importação informal (descaminho) age intensamente no mercado dos eletroeletrônicos.

Um exemplo comum que vem causando problemas de interferência na recepção de ondas hertzianas é a fonte de computador. Algumas fontes consideradas simples, de uso residencial, ainda possuem a forma de filtragem original, na sua entrada, representada na figura 01 e destacada pelo traço vermelho.

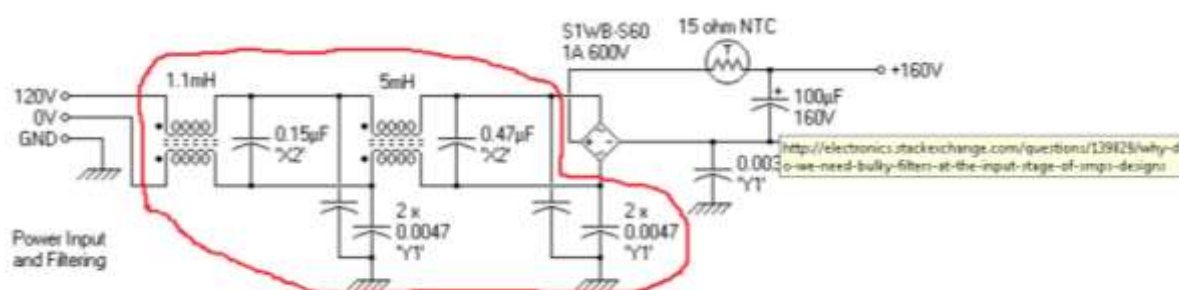


Fig.01: Circuito de filtragem na entrada de CA, de uma fonte chaveada.

Fonte: <https://electronics.stackexchange.com/>

Com a franca abertura para os fornecedores chineses, tem-se observado o barateamento destas fontes para computador, para circuitos de LEDs e câmaras de monitoramento. Mas como eles conseguem isto? Diminuindo os componentes para o extremamente necessário para seu funcionamento. Como os filtros só afetam a irradiação de sinais espúrios para o ambiente e muito pouco afetam o funcionamento do equipamento a elas conectado, estes filtros acabam por ser suprimidos. É muito simples, imagine que a quantidade de fontes fabricadas num único dia deve ser de muitos milhares. Suprimindo os dispositivos de filtragem, uma possível economia de um real por peça, no final do dia representa a economia de milhares de reais. Multiplique isto por 21 dias e compreenderás os motivos deles.

A imagem abaixo, figura 02, apresenta a entrada de alimentação CA de uma fonte de computador onde o indutor foi substituído por dois jumpers de fio e os capacitores associados foram suprimidos, na fábrica.



Fig.02: entrada de alimentação CA de uma fonte de computador.

Fonte: o autor.

Além da supressão de componentes, encontram-se falsificações descaradas. Na imagem abaixo, figura 03, apresenta-se um indutor que compõe o filtro de uma fonte, onde o enrolamento foi suprimido e um fio simplesmente passa por dentro do carretel. Se ao menos este fio desse algumas voltas em torno do núcleo, algum efeito existiria. Esta é uma economia difícil de compreender.



Fig. 03: Indutor de um filtro, falsificado.

Fonte: O autor

### 1.3. O RUÍDO E SUA PROPAGAÇÃO

Segundo Brown (2001, p.241, tradução nossa), ruído é criado sempre que existe uma rápida transição em formas de onda de voltagem e/ou corrente. Muitas formas de onda, especialmente em fontes chaveadas, são periódicas, ou seja, o sinal contém pulsos de alta frequência que se repetem numa “frequência de repetição de pulsos (PRF) previsível”. Para trens de pulso retangulares, o inverso do período determina a frequência fundamental, e a transformada de Fourier de uma onda retangular gera uma gama de harmônicas desta frequência fundamental. Devemos esclarecer que harmônicas são múltiplos da frequência fundamental, por exemplo, se a frequência de chaveamento da fonte for de 100kHz, as harmônicas existirão em 200kHz, 300kHz,..., 1MHz, 1.1MHz,..., 50MHz,... E assim por diante. Ou seja, as harmônicas são definidas por  $f_h = f_f \times n$ , onde  $f_h$  é a frequência da harmônica,  $f_f$  é a frequência fundamental de oscilação e  $n$  é qualquer número inteiro maior que 1 (2, 3,...,  $n$ ). É exatamente assim que funciona o calibrador de 100kHz de um rádio antigo, quando ligado, podemos escutar seu forte sinal em 7MHz, 7,100MHz, e assim por diante.

Pode-se traçar uma analogia aos antigos problemas de escuta de rádio AM nos carros da era do carburador. O platinado chaveava a bobina de ignição, numa forma de onda quadrada, gerando ruído detectado pelo rádio. O tal do “condensador” ajudava a diminuir esta mazela, curtucircuitando as ondas de alta frequência geradas.

As fontes chaveadas usam tecnologia de modulação por largura de pulsos (PWM), alterando a largura destes pulsos de onda quadrada, continuamente, em resposta as condições variáveis de operação da fonte. O resultado é a geração de energia que se assemelha ao ruído branco, com alguns picos e, amplitude que diminui com o aumento da frequência (BROWN, 2001, p.242, tradução nossa). Ruído branco é um ruído que se distribui de forma homogênea em todo espectro de RF, aquele “chiado” típico de um rádio FM fora da sintonia de uma estação.

Na figura 04, pode-se observar a plotagem no espectro, de um ruído gerado e irradiado por uma fonte chaveada, de um conversor de flyback em



estado de repouso. No eixo vertical observa-se a amplitude (intensidade) e no eixo horizontal, a frequência.

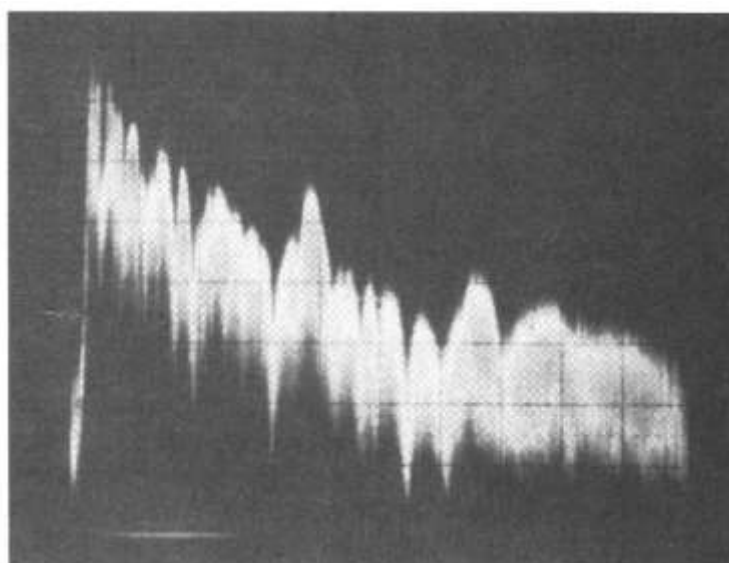


Fig.04 – Plotagem espectral do sinal irradiado por uma fonte chaveada.

Fonte: Brown (2001, p.242)

#### 1.4. ORIGEM DO RUÍDO NAS FONTES CHAVEADAS

Brown (2001, p.241) afirma que ruído, nas fontes chaveadas, tem origem no elo formado pela conexão, na placa de circuito impresso, entre a fonte de corrente de alta frequência e a carga que consome corrente.

“Técnicas apropriadas de desenvolvimento da placa e componentes corretos na filtragem ajudam a diminuir a geração deste ruído. Porém, isto está distante do alcance do consumidor final.” (BROWN, 2001, p.241, tradução nossa).

O autor (BROWN, 2001, p.241) garante que o controle de geração e irradiação de ruído de alta frequência é a mais difícil tarefa dos fabricantes de fontes chaveadas. O autor sugere que a maioria dos fabricantes não pode suportar os custos de construção de laboratórios para análise de ruídos, destinados ao atendimento das regulamentações pertinentes.

### 1.5. COMO O RUÍDO SE PROPAGA PARA FORA DA FONTE CHAVEADA

Para que se possa compreender a dificuldade que é lidar com este problema, por incrível que possa parecer, Brown (2001, p. 245) afirma que até o dissipador de calor da fonte pode ser um caminho para a irradiação do ruído de chaveamento da fonte. Como o dissipador costuma ser aterrado na carcaça, o ruído pode ser irradiado pelo terminal de terra, devido ao acoplamento capacitivo entre os componentes e o dissipador (figura 05).

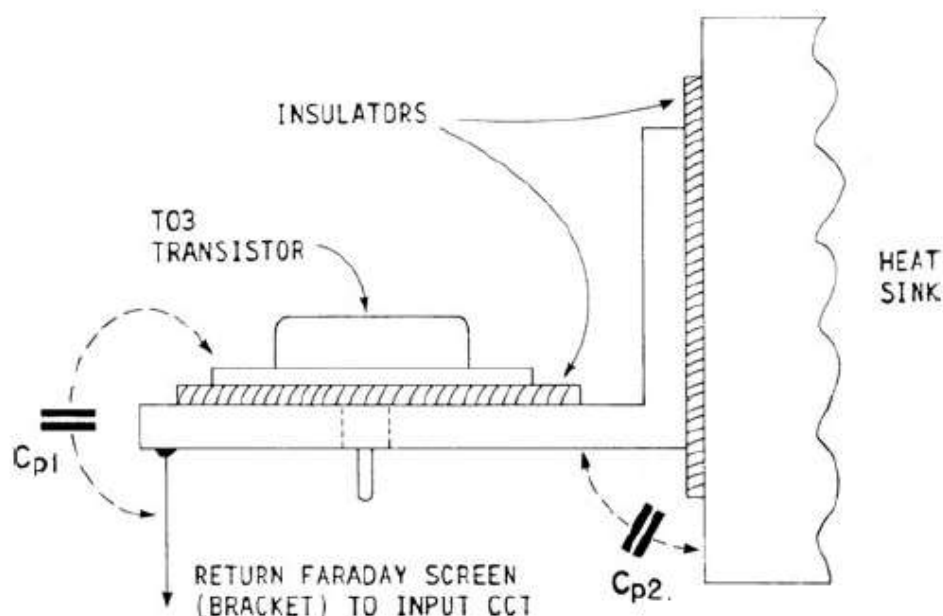


Fig.05: Acoplamento capacitivo entre o dispositivo de chaveamento e o dissipador.

Fonte: Billings e Morey (2011, p.1.35).

Qualquer condutor que tenha caminho para fora da fonte e que seu caminho tenha proximidade com uma fonte geradora de ruído, pode ser o meio de propagação deste ruído, para fora da fonte. A intensidade desta indução depende da distância entre a fonte e o condutor, representado por  $R_r$  na figura

06. Quanto mais próximo do gerador, maior o campo magnético e maior a indução.

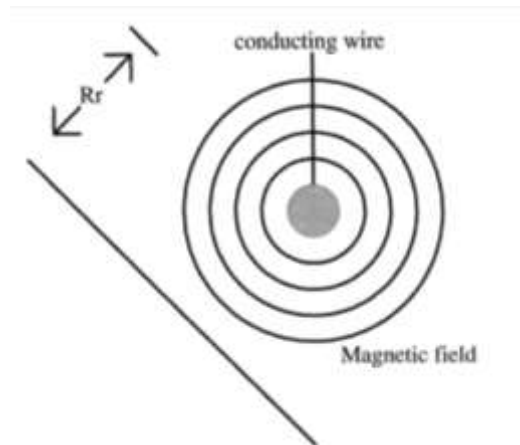


Fig. 06: Indução de ruído

Fonte: Ozembaugh (2001, p.163).

Então, para que se possa combater esta “mazela” das fontes chaveadas, faz-se necessário compreender os tipos de ruído, seus modos de propagação e os filtros e dispositivos utilizados na sua atenuação.

#### 1.6. RUIDO IRRADIADO E RUIDO CONDUZIDO

Billings e Morey (2011, p.1.33) afirmam que existem dois tipos de ruído nas fontes, o irradiado e o conduzido. O ruído irradiado também causa interferências, mas os autores (BILLINGS E MOREY, 2011, p.1.33) alegam que ele é mais facilmente contornável pelo uso de boas técnicas de blindagem, como a utilização de choques e transformadores blindados, bem como a utilização de caixas blindadas.

O ruído conduzido encontra caminho pelos cabos de entrada e saída de corrente, e pelos cabos de conexão. Billings e Morey (2011, p.1.33) afirmam que este ruído pode ser minimizado por técnicas apropriadas de layout e fiação que reduzam a indutância, e com a utilização de cabos em pares trançados, sempre que possível. Um método eficaz, utilizado nos projetos mais confiáveis, é a utilização de filtros específicos para cada tipo de ruído, na entrada de

corrente alternada e na saída de corrente contínua, para ruídos de modo comum e modo diferencial, explicados adiante.

### 1.7. RUÍDO DE MODO COMUM E DE MODO DIFERENCIAL

Faz-se necessário definir os tipos de ruído que chegam aos nossos rádios receptores. Ozembaugh (2001, p.15) afirma que a definição é bastante controversa, gerando animosidades entre os teóricos. Aqui se utiliza o postulado por Ozembaugh (2001, p.15), apenas para compreensão dos seus efeitos, respeitando posições contrárias.

O modo diferencial é o modo que costuma transferir o ruído pela linha. Ozembaugh (2001, p.15) afirma que este pode ser chamado de modo “normal”, e que é uma tensão que circula pela linha, com a corrente fluindo em um dos condutores e no sentido oposto, no outro condutor. Este é o ruído de modo diferencial, comum nas linhas de alimentação de tensão. Billings e Morey (2011, p.1.33) afirmam que é o componente de ruído de RF que existe entre qualquer dos dois condutores de entrada ou de saída da fonte e que esta interferência age em série com a entrada ou saída de tensão.

O modo comum, segundo Ozembaugh (2001, p.15), significa que uma tensão é induzida em ambos os fios, ou mais quando for polifásico. Esta tensão existe entre as linhas e uma referência, usualmente o terra. Se existe apenas um condutor, então o pulso de tensão existe entre este fio e a referência (terra). A corrente flui nos condutores no mesmo sentido e então retorna para a referência (terra). O mesmo é afirmado por Billings e Morey (2011, p.1.33).

Sabe-se que o modo comum pode criar ruído de modo diferencial (OZEMBAUGH 2001, p.23).

### 1.8. COMO REDUZIR OS RUÍDOS CRIADOS PELAS FONTES CHAVEADAS

Billings e Morey (2011, p.1.31) afirmam que as fontes chaveadas são uma rica fonte de ruídos, e que boas práticas de projeto podem diminuir, em grande monta, a propagação destes ruídos para o ambiente. Porém, como já

afirmado, nem todas as fontes obedecem às normas estabelecidas para este quesito. O que pode ser feito, então, por parte do usuário?

Conforme já afirmado, filtros e blindagens podem ser agregados às fontes existentes, melhorando seu desempenho com relação à propagação dos ruídos gerados internamente. E a relação custo x benefício continua sendo boa, para as fontes importadas e disponíveis em nosso mercado.

A blindagem é fácil de resolver, basta colocar a caixa original da fonte dentro de outra caixa metálica, completamente fechada (excetuando a ventilação) e com uma boa conexão de terra.

Os filtros são um pouco mais complicados, porém com os conhecimentos e componentes necessários, podem ser construídos em casa. Para tanto, apresentam-se em seguida, alguns tipos de filtro mais usados em fontes comerciais.

## 2. ELEMENTOS FILTRANTES BÁSICOS

Os filtros classificam-se pela forma de construção (L, T, PI, Z, etc.) e pelo modo de atuação (modo comum e modo diferencial).

### 2.1. FILTROS DE MODO DIFERENCIAL

#### 2.1.1. Filtro em L

É o filtro mais utilizado em fontes. As fontes conhecidas pro “marmitinha”, de origem chinesa, utilizam este filtro em seus terminais de saída de CC. Ozembaugh (2001, p.74) afirmam que a atenuação é de mais de 12dB por oitava, acima da frequência de corte projetada e que, para cargas que apresentam alto chaveamento de carga, um único filtro em L tem alta desempenho, pois a carga “enxerga” a baixa impedância do capacitor, que deve ser de alta qualidade e alta SRF (frequência de auto ressonância). O autor ressalta que se múltiplas unidades de filtros L forem utilizadas em cascata, o valor dos capacitores em paralelo com a carga diminui, apresentando uma maior impedância para os circuitos de chaveamento da carga. Um filtro L, simples, pode ser visto na figura 07.

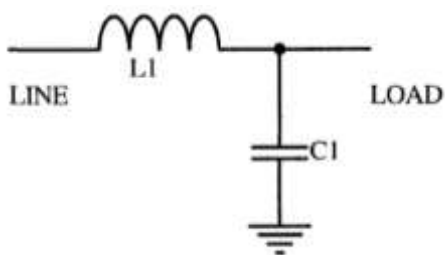


Fig. 07: Filtro L.

Fonte: Ozembaugh (2001, p.74)

#### 2.1.2. Filtro T

Ozembaugh (2001, p.73) diz que o filtro T tem ótima atenuação em linhas de baixa impedância, pois a alta corrente implica em indutores menores, uma vez que indutores de elevado valor causam um amortecimento em altas

correntes, resultando em queda de tensão. O autor também afirma que este filtro não deve ser utilizado em sistemas com carga que utilize altas taxas de chaveamento. O filtro em T, simples, está representado na figura 08.

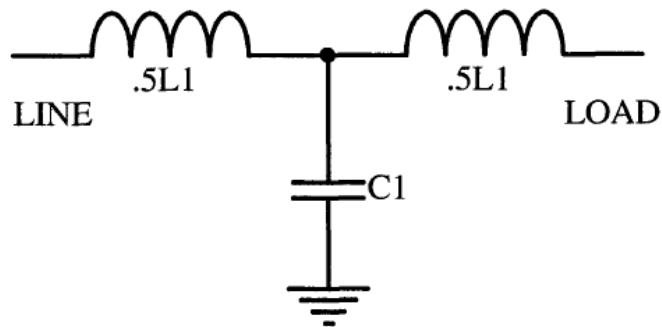


Fig. 08. Filtro L.

Fonte: OZEMBAUGH (2001, p.73)

### 2.1.3. Filtro em PI ( $\pi$ )

O filtro em Pi tem como característica a boa atenuação de baixas frequências, por utilizar capacitores em paralelo com os terminais de entrada e saída. Segundo Ozembaugh (2001, p.67), cumprem muito bem esta tarefa, especialmente em circuitos multifases, especialmente quando o requisito for de medição de uma fase com as demais aterradas.

O filtro em Pi pode ser utilizado para um único condutor em relação ao terra, figura 09, ou para múltiplos condutores em relação ao terra, figura 10.

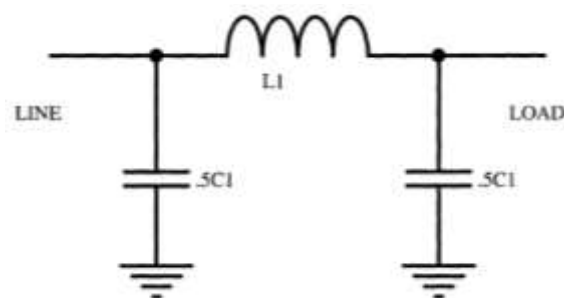


Fig. 09: Filtro Pi para um único condutor.

Fonte: Ozembaugh (2001, p.67)

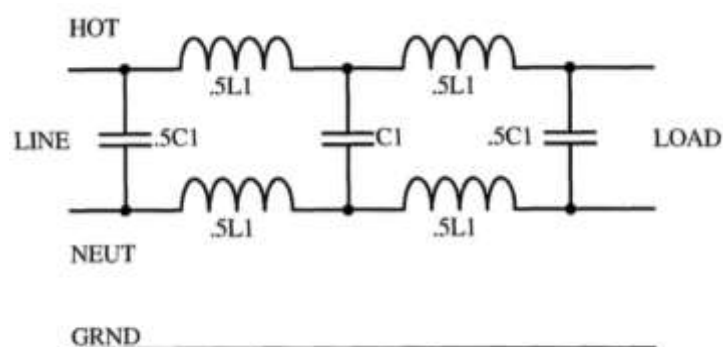


Fig. 10: Filtro Pi para dois condutores.

Fonte: Ozembaugh (2001, p.67)

## 2.2. FILTROS DE MODO COMUM

O filtro de modo comum é utilizado, essencialmente, para atenuar os ruídos gerados entre dois terminais de alimentação e uma referência (terra), fase e neutro ou entre fases.

“No filtro de modo comum, os enrolamentos do “transformador” estão em fase, mas a corrente CA fluindo pelos enrolamentos está fora de fase. O resultado é que o fluxo CA de modo comum (ruído) que passa pelo núcleo se cancelam, pois tem amplitudes iguais e estão em antifase, nos dois fios de alimentação.” (BROWN, 2001, p.249, tradução nossa).

O problema destes filtros está normalmente associado a características dos componentes, que tem pouca atuação em altas frequências. Capacitância entre espiras do indutor podem provocar o “vazamento” destas frequências mais altas, principalmente acima da chamada frequência de auto ressonância dos indutores.

### 2.2.1. Filtro em Z

Um filtro amplamente utilizado comercialmente, mas que pouco se apresenta na literatura pesquisada, é o filtro em Z. Neste filtro o indutor é construído sobre um núcleo toroidal de ferrite, portanto de alta permeabilidade relativa, com os enrolamentos em antifase, figura 11.



Billings e Morey (2011, p.3.5) estipulam que o indutor deste filtro tem dois enrolamentos isolados, com o mesmo número de espiras. A sua construção faz com que estes enrolamentos estejam em “antifase” para correntes em modo série. Então, os campos magnéticos resultantes do modo série, em CA ou mesmo em CC, se cancelarão resultando em zero. Neste tipo de conexão a única indutância aparente às correntes de modo série, será o “vazamento” entre os dois enrolamentos, por acoplamentos não desejados. Assim, a corrente de linha em baixa frequência não saturará o núcleo e materiais de alta permeabilidade poderão ser utilizados sem a necessidade de uso de “air gap” (espaçamento entre as partes do núcleo). Desta forma, altas indutâncias podem ser obtidas com poucas espiras, eliminando problemas de amortecimento no indutor.

O modelo de filtro Z utilizável na filtragem de ruídos pode ser visto na figura 12.

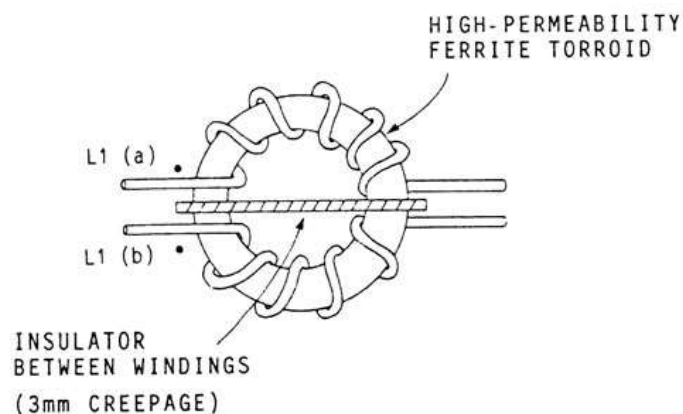


Figura 11: Representação da construção do indutor do filtro Z.

Fonte: Billings e Morey (2011, p.3.5).

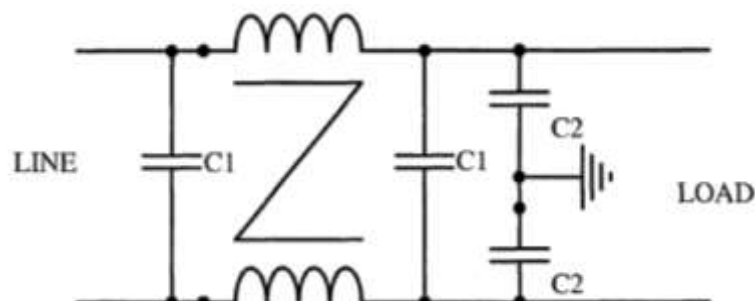


Figura 12: Filtro em Z.

Fonte: Ozembaugh (2001, p.77).

### 2.3. FILTROS UTILIZADOS EM EQUIPAMENTOS COMERCIAIS.

“Este é o filtro típico utilizado em equipamentos de teste, computadores, televisores, etc., onde o fabricante precisa obter aprovação de organismos certificadores como UL, TUV, VDE, CSA, FCC, etc...” (OZEMBAUGH, 2001, p.65, tradução nossa) e Inmetro.

Estes filtros balanceados em pi são do tipo de modo comum, com capacitores colocados entre fase e neutro, na entrada e na saída, e entre estes e o terra.

Os filtros mais elaborados são montados em caixas metálicas de blindagem, utilizando os caros capacitores de passagem (feed-through), otimizando sua performance.

Na figura 13 pode-se observar um filtro comercial externo para CC, bem elaborado, que utiliza vários tipos de filtros em cascata. O filtro colocado à esquerda é um filtro Z, após um filtro tipo L e por último um filtro em pi. Na saída encontram-se dois capacitores de passagem de .02 uF, conectados entre os dois terminais de saída de energia (fase e neutro ou entre fases) e o terra.

Na figura 14 aparece filtro para CA, em Z, menos elaborado e mais barato, normalmente utilizado na placa de circuito interno de fontes. Sua atenuação de ruídos é menor que o modelo anterior, porém é uma solução funcional.

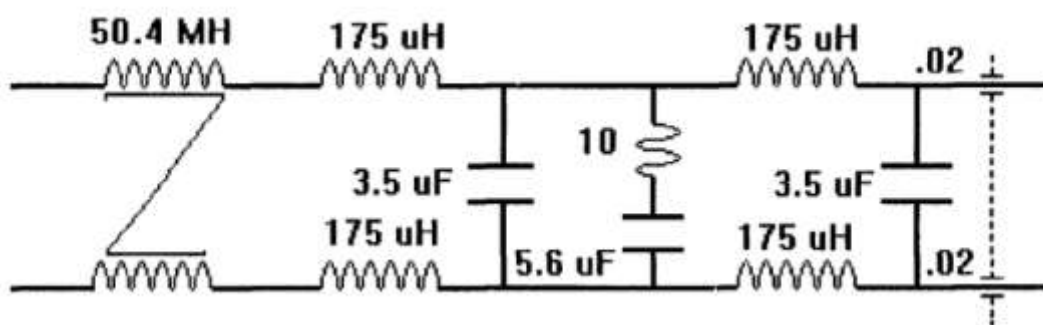


Fig. 13: Filtro comercial.

Fonte: Ozembaugh (2001, p.225).

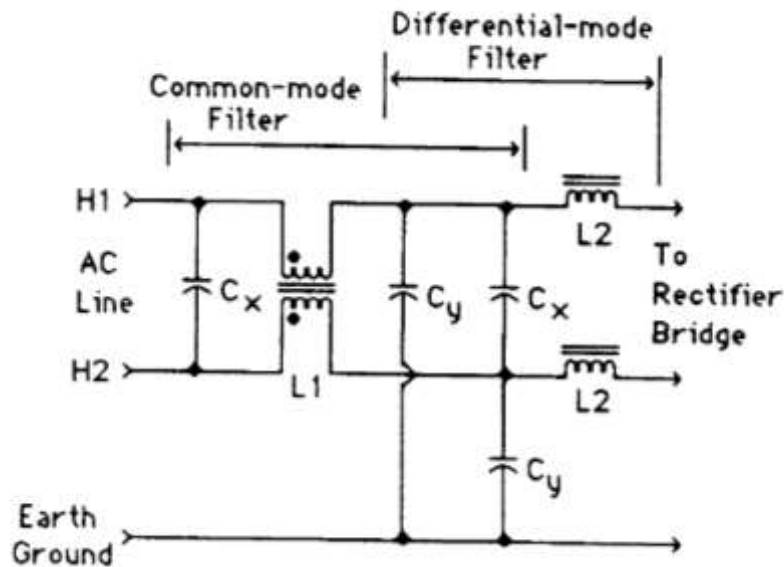


Fig. 14: Filtro comercial.

Fonte: Braun (2001, p.249).

#### 2.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONSTRUÇÃO DO FILTRO, NO MUNDO REAL.

Para os montadores, algumas considerações sobre a montagem, que são prática comum entre os fabricantes de filtros:

1. Prefira a utilização de núcleos toroidais, pois o campo magnético em sua vizinhança é mínimo.
2. Utilize núcleos de alta permeabilidade (ferrite) para os filtros Z, o que diminui a resistência ôhmica do enrolamento, mantendo a indutância.
3. Se um núcleo E-E for utilizado, não permita a existência de entreferro (air-gap), mantendo as superfícies de contato limpas, polidas e bem alinhadas.
4. O enrolamento deve ser de duas bobinas e o núcleo não deve ser completamente cheio de fios dos enrolamentos, mantendo uma distância mínima de 2 a 4 mm entre as bobinas.
5. Nos filtros de modo diferencial, as bobinas são enroladas em núcleos separados, garantindo o mínimo acoplamento entre elas. Para tanto, os núcleos toroidais são desejáveis.

6. Nos filtros de modo diferencial use núcleos de pó de ferro, de baixa permeabilidade.
7. Núcleos de barra podem ser utilizados para baixar os custos, desde que se garanta que não exista acoplamento magnético entre elas.
8. Sempre que possível, utilize capacitores de passagem (feed-through). Quando não for possível sua utilização, prefira os capacitores cerâmicos.
9. Use uma caixa blindada (metálica) para alojar a fonte e os filtros, garantido boas conexões de terra.
10. Mantenha a fiação e filtros de entrada bem separados dos de saída. Se possível, use uma blindagem entre eles.
11. O uso de cabo blindado para a entrada de corrente alternada é recomendado.
12. Para especificação da tensão de trabalho dos capacitores, siga as sugestões de Ozembhaug (2001, p.85): capacitores para uso em corrente alternada (CA), devem ter tensão de trabalho 4,2 vezes superior à tensão RMS da rede. Por exemplo, em 220VCA o capacitor deve ter tensão de trabalho mínima de 924 volts, usualmente utiliza-se 1000V. Para operação em corrente contínua (CC) o fator de multiplicação é 2,5 vezes, por exemplo, para tensões de 50VCC, a tensão mínima do capacitor deve ser de 125V.
13. Selecionar o valor ideal de capacitor para o dispositivo. É usual no senso comum que quanto maior o valor do capacitor, melhor. Isto é uma inverdade, pois o processo construtivo do componente introduz reatâncias, que diminuem sua efetividade nas frequências altas, como demonstrado na figura 15.

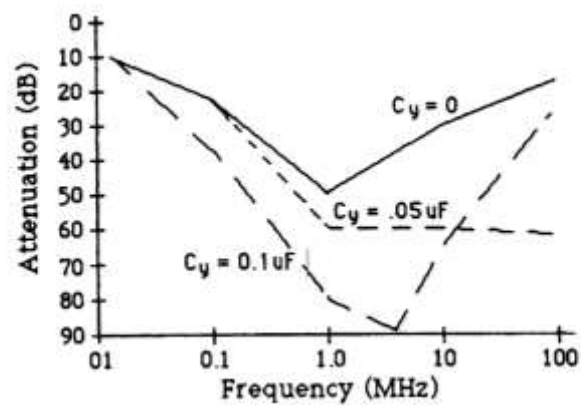


Fig. 15 – Resposta em frequência de diversos capacitores.

Fonte: Braun (2001, p.249).

### 3. OS TRANSIENTES

Whitaker (2001, p.403, tradução nossa) define transiente como “uma variação repentina de corrente ou tensão a partir de um valor de estado de repouso. Um transiente resulta, normalmente, de mudanças na carga ou efeitos relacionados à ação de chaveamento.” Eles têm alta energia, maior que a do ruído, e curtíssima duração.

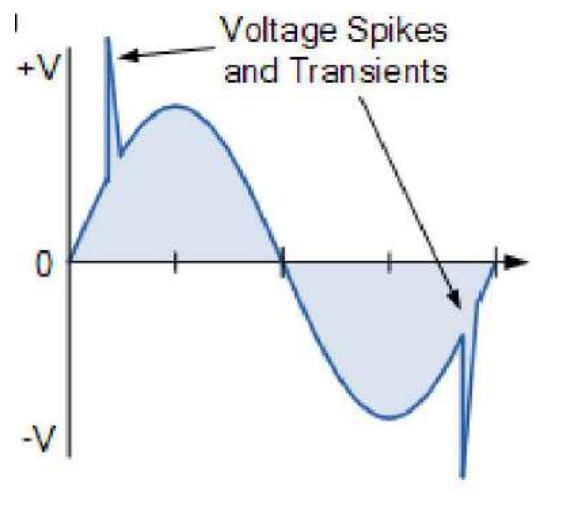


Fig. 16: Spikes e transientes de tensão em uma onda senoidal.

Fonte: <https://www.eletronics-tutorials.ws/power/transiente-supression.html>

Os transientes podem assumir diferentes formas de onda, como o de *Spike*, pulso, trapezoidal, etc...

#### 3.1. SPIKE

Ozembagh (2001, p.157) define o *Spike* como uma das formas mais comuns de fonte de ruído encontradas. Ela tem origem no chaveamento, enquanto um circuito é ligado e outro é desligado. Costuma ocorrer duas vezes por ciclo de chaveamento, tendo, portanto o dobro da frequência do chaveamento e corrente maior que a do próprio chaveamento. Se não corretamente tratado, pode inviabilizar o chaveamento da fonte. Sua forma de onda está representada na figura 17.

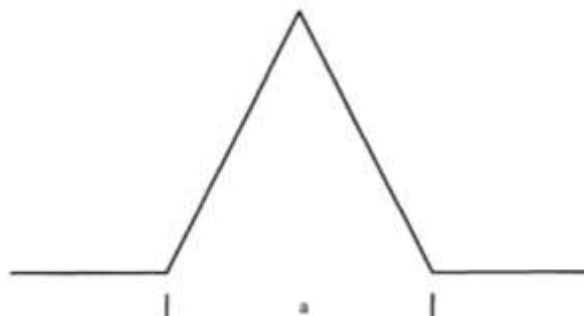


Fig. 17- Transiente tipo *Spike*.  
 Fonte: Ozembaugh (2001, p.157)

### 3.2. O PULSO

O pulso é similar ao *Spike*, diferenciando deste pela manutenção em energia máxima por um tempo maior. Também se apresenta com o dobro da frequência do chaveamento. Está representado na figura 18.

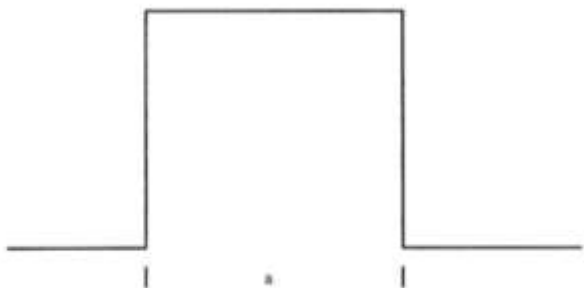


Fig. 18- Transiente tipo pulso  
 Fonte: Ozembaugh (2001, p.158)

### 3.3. O TRAPEZOIDAL

Segundo Ozembaugh (2001, p.159) o trapezoidal é mais realista que os outros tipos de pulso, pois seu tempo de subida, manutenção no máximo e decaimento são diferentes de zero. Sua energia de interferência eletromagnética é menor que a dos outros, porém a eficiência da fonte é

diminuída, pois existe maior dissipação de potência no tempo de subida e decaimento. Está representado na figura 19.

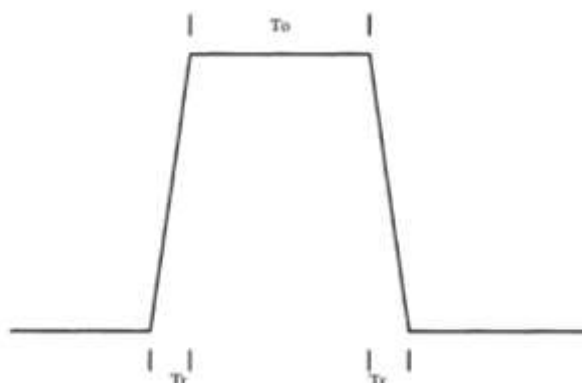


Fig. 19 - Transiente tipo trapezoidal

Fonte: Ozembaugh (2001, p.159)

### 3.4. COMO LIDAR COM OS TRANSIENTES

De acordo com Ozembaugh (2001, p.138), os filtros não são os dispositivos adequados para lidar com transientes, pois tem tensão elevada, usualmente acima da tensão presente nos terminais da fonte, e duração curtíssima. Para estes, deve-se utilizar dispositivos que limitam a tensão, como os Varistores de Óxido Metálico (MOV), Transzorbs ou tubos de descarga de gás.

Estes dispositivos são dependentes de tensão, mantendo uma resistência elevada até a tensão de disparo. Ao atingir a referida tensão, a resistência entre seus terminais cai abruptamente, dissipando o excesso de tensão em seu corpo e nos terminais de conexão, o que pode levar a um curto circuito e sua total destruição. Por isso devem ser precedidos de fusíveis, para a proteção do circuito e condutores.

Alguns projetistas utilizam capacitores em paralelo com os dispositivos, o que, segundo Ozembaugh (2001, p.138) pode retardar o disparo destes dispositivos, e provocar a destruição do capacitor, especialmente os do tipo filme metalizado.

Sobre o local de instalação destes dispositivos, Ozembaugh (2001, p.138, tradução nossa) afirma que existem várias teorias, alguns dos puristas



afirmam que não são necessários, e que é trabalho do filtro suprimir estes pulsos e transientes. Isto pode ser verdade, se o filtro for projetado para tanto. Assim, o indutor deve ser dimensionado para suportar a tensão completa do pulso sem que exista arco voltaico. Os capacitores também devem suportar o dobro da tensão do pulso.

Outro grupo de puristas afirma que os dispositivos de proteção devem ficar no final do filtro, para proteger o equipamento a ele ligado. A desvantagem deste tipo de montagem é que o pulso provavelmente vá queimar os componentes do filtro.

Pessoalmente prefiro utilizar os dispositivos de proteção na entrada do filtro, protegendo o filtro e o equipamento. Na pior das hipóteses, podemos colocar os dispositivos mais elaborados na entrada e um mais simples na saída do filtro.

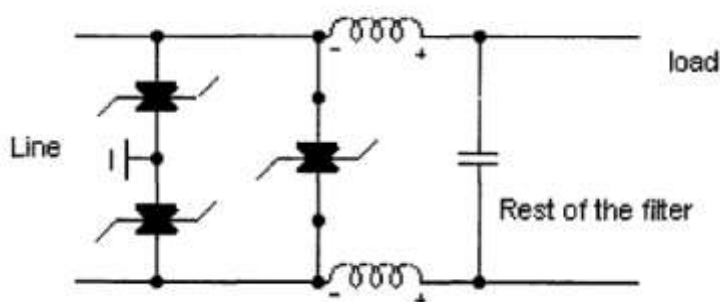


Fig. 20 - Sistema de proteção de transientes instalado na entrada do filtro.

Fonte: Ozembaugh (2001, p.143)

### 3.5. VARISTORES DE ÓXIDO METÁLICO (MOV)

Como sugerido pelo nome, MOV's são resistores variáveis. Diferente dos potenciômetros (que são ajustados manualmente), a resistência de um varistor varia automaticamente em resposta a tensão presente em seus terminais.

Harris (1998, tradução nossa) afirma que varistores são dispositivos monolíticos constituídos de grãos de óxido de zinco, misturados com outros materiais, comprimidos em uma pastilha, assemelhando-se a uma junção P-N. Quando o MOV é polarizado, alguns grãos são diretamente polarizados e outros são reversamente polarizados. Conforme a tensão cresce, um numero

maior de grãos inversamente polarizados exibem avalanche reversa e começam a conduzir. Através de um apurado controle de produção, a maioria das junções P-N pode ser feita para provocar a avalanche na mesma tensão. A resposta dos MOV é praticamente instantânea, dependendo da forma de onda do pulso ou transiente.

Um erro de julgamento com relação aos varistores é de que eles são lentos na resposta. Segundo Harris (1998, tradução nossa) os retardos estão normalmente associados à indutância nos terminais do varistor. Por isso, a sua instalação deve ser feita com terminais o mais curtos possível.

Varistores tem elevada capacidade de dissipação, suportando de forma satisfatória os impactos sofridos.



Fig.: 21- Varistores de diversas capacidades de dissipação.

Fonte:

<https://www.electronicaembajadores.com/pt/Subfamilias/Productos/RSVA/resistencias-e-potenciometros/varistores-vdr>

### 3.6. TUBOS DE DESCARGA DE GÁS

São dispositivos amplamente utilizados nos antigos sistemas de telefonia por fio e, quase exclusivamente, na proteção de sistemas de antenas de rádio. É constituído de dois condutores metálicos, separados por frações de milímetros, envelopadas em vidro ou cerâmica. O envelope é preenchido com gás, para manter as condições ambientais do sistema controladas. Existem

tipos destinados para operação em corrente alternada de rede, suportando elevadas taxas de corrente de descarga.

Seu funcionamento é semelhante aos antigos faiscadores utilizados em antenas, ou mesmo das velas de ignição, amplamente utilizadas como faiscadores, no passado. O inconveniente destes dispositivos abertos é que as condições do ar que as rodeia varia, em temperatura e humidade, sem que se possa controlar ou intervir. Isto faz com que a tensão de disparo do dispositivo varie, não tendo controle preciso.

Harris (1998, tradução nossa) alega que os fabricantes afirmam tempo de resposta baixíssimo, na casa de poucos picossegundos. Afirma que na prática o tempo de resposta está associado à indutância parasita do componente e conexões associadas.

Apesar de ter a propriedade de suprimir transientes, o diodo zener não consegue sobreviver a surtos de potência instantânea significativa.



Fig. 22 – Tubo de descarga de gás, duplo.

Fonte: Sunbank Co.



Fig. 23 – Sistema de proteção de descargas atmosférica, coaxial, para uso em antenas. O tubo de descarga de gás é substituível, removendo o parafuso na lateral.

Fonte: Mouser Elect.

### 3.7. DIODOS ZENER

O diodo zener, conhecido do público pela utilização em estabilização de tensão de fontes CC, também é utilizado na supressão de transientes. Quando a tensão atinge determinado valor, num diodo zener polarizado inversamente, diz-se que o diodo “quebra” (*break down*) e conduz corrente nesta direção. Este fenômeno é chamado de “avalanche”. Esta tensão é chamada de tensão reversa de avalanche, ou tensão zener.

Quando um transiente se propaga em uma linha e a tensão excede a tensão zener, o diodo conduz e o transiente é retido. Diodos zener de elevada potência são extremamente caros, limitando sua aplicação.

### 3.8. DIODOS TVS, TRANSORBS ou DIODOS DE PROTEÇÃO DE SURTO.

SEMTECH (2000) afirma que os diodos TVS são dispositivos de estado sólido, com uma junção pn, desenvolvidos especificamente para proteger

dispositivos semicondutores de efeitos danosos provocados por transientes de tensão.

Sua capacidade de dissipação de surto de potência e de condução de corrente é proporcional ao tamanho da junção semicondutora. Por isso são construídos com uma junção proporcionalmente maior.

SEMTECH (2000) garante que seu tempo de resposta é na casa de Pico segundos, embora afirme que esta medição é de difícil realização. São desenvolvidos para ter resposta “quase imediata”. A velocidade pode ser afetada pela indutância de seus terminais e da placa de conexão.

Uma peculiaridade é de que podem ser unidirecionais, para aplicações em corrente contínua, ou bidirecionais, para aplicações em corrente alternada. Estão disponíveis em tensões que variam de 2,8V a 440V.

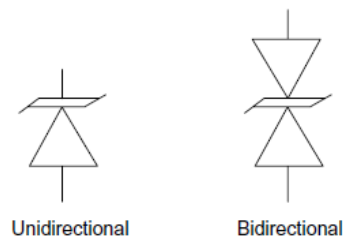


Fig. 24 – Símbolo esquemático de diodos STV.

Fonte: SEMTECH 2000



Fig. 25 – Diodos STV, aspecto físico.

Fonte: EBay

### 3.9. LIMITADORES DE CORRENTE NTC

Segundo o manual de aplicação de NTC da G.E. (2013), o NTC é um dispositivo que limita o surto de corrente, funcionando como um resistor de

potência, que cai de uma alta resistência a frio para uma baixa resistência quando aquecido pela corrente que circula por ele.

Os NTC são utilizados em série com a carga, sendo amplamente utilizados nas fontes chaveadas, atuando de forma semelhante aos “soft-start”, dos amplificadores lineares.



Fig. 26 – NTC, aspecto físico.

Fonte: G.E. 2013

## REFERÊNCIAS

BILLINGS, Keith. MOREY, Taylor. **Switchmode Power Supply Handbook**. Third Edition. The McGraw-Hill Companies. E-book. 2011.

BROWN, Marty. **Power Supply CookBook**, Second edition. Newnes. 2001.

GE. NTC. **Inrush Current Limiter Thermometrics Thermistors**. General Electric Company. 2013. Disponível em: <[www.ge-mcs.com](http://www.ge-mcs.com)>. Acesso em maio de 2019.

HARRIS Supression Products. **AN9308.2**. Apllication Note. January 1998. Disponível em <[www.littelfuse.com](http://www.littelfuse.com)>. Acesso em 27 de junho de 2019

HIMANEN, Pekka. **Hacker Ethic and the spirit of the Information Age**. *Translated by Anselm Hollo and Pekka Himanen*. Random House Inc. New York. 2001.

KEIM, Robert . **What Is Electrical Noise and Where Does It Come From?** June 21, 2018. Disponível em: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/electrical-noise-what-causes-noise-in-electrical-circuits/>. Acesso em maio de 2019.

LEVY, Steven. **Hackers: Heroes of the Computer Revolution**. Dell Publishing. New York. 1994.

NORQUIST, Richard. **Noise and Interference in Various Types of Communication**. 2019. Disponível em: <<https://www.thoughtco.com/noise-communication-term-1691349>>. Acesso em maio de 2019.

OZENBAUGH, Richard Lee. **EMI Filter Design**. 2nd Ed. Marcel Dekker Inc., New York USA. 2001

PIAGET, Jean. **O Procedimento da Educação Moral**. Cinco Estudos de Educação Moral. Coleção Psicologia e Educação. Organizador: Lino de Macedo. Casa do Psicólogo. São Paulo. 1996.

SEMTECH – **SI96-01**. TVS Diode Aplication Note. Revision 9. 2000. Disponível em: <[www.semtech.com](http://www.semtech.com)>. Acesso em maio de 2019.

WHITAKER, Jerry C. “Frontmatter”, **The Resource Handbook of Electronics**. Ed. Jerry C. Whitaker. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001.