

## Módulos de proteção e sinalização para interfaces e relés Finder



**Objetivos:** Analisar os componentes utilizados nos módulos de proteção e sinalização Finder, bem como mostrar sua utilização.

*Dispositivos utilizados nos módulos de proteção/sinalização.*

Antes de descrevermos os dois principais dispositivos de proteção, vamos precisar comentar sobre os três tipos de materiais elétricos: Isolantes, condutores (metais) e semicondutores:

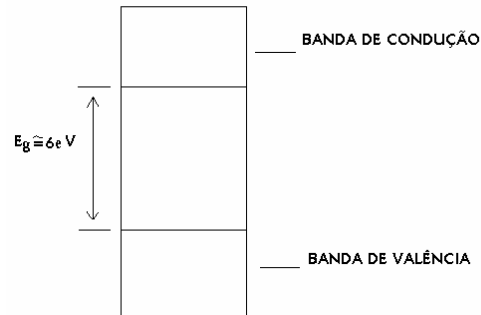
- Um condutor “pobre” de eletricidade é chamado isolante; um excelente condutor é um metal, e uma substância cuja condutividade está situada entre estes 2 extremos é um semicondutor. Um material pode ser colocado em uma destas classes, dependendo de sua estrutura de bandas de energia.

- As bandas de energia são níveis de energia que os elétrons podem ocupar nos materiais, estas bandas são determinadas pelas leis da mecânica quântica, e nos materiais temos as bandas de valência e de condução (responsável pela condução elétrica). Entre estas duas bandas de energia, temos bandas de energia proibidas, na qual os elétrons do material não podem ocupar.

- Dependendo da “distância” entre estas duas bandas de energia, podemos classificar os materiais quanto a condutividade elétrica.

## 1- Isolante

Um isolante possui uma grande banda proibida, para o diamante por exemplo, a região entre a banda de valência e condução é em torno de  $E_g \approx 6\text{eV}$ , esta grande banda separa a região de valência cheia de elétrons da banda de condução vazia. Se aplicarmos um campo elétrico, este deve fornecer uma grande energia para que este passe da banda de valência para a banda de condução, onde acontece a condução de corrente elétrica.



## 2- Semicondutor

Uma substância que possui a largura de banda relativamente pequena (em torno 1eV) é um semicondutor. A grafite tem uma forma cristalina, mas com simetria diferente do diamante, possui um pequeno  $E_g$  e por este motivo é um semicondutor. O  $E_g$  típico do germânio e silício são 0,785eV e 1,21eV, respectivamente a uma temperatura de 0° k.

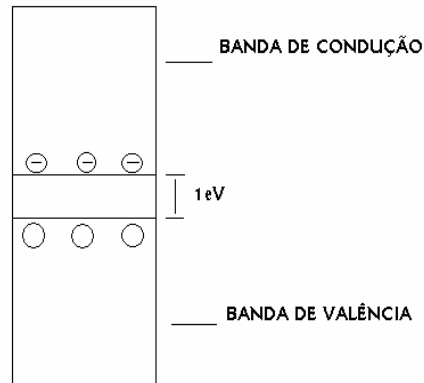
Energias desta ordem não podem ser normalmente obtidas de um campo elétrico aplicado e, assim a banda de condução permanece vazia e a banda de valência cheia de elétrons, ou seja, a baixas temperaturas temos um isolante.

A temperatura aumentando, alguns elétrons de valência adquirem energia térmica maior, que  $E_g$  e, assim vão para banda de condução, tornando-se elétrons livres. O material que antes era isolante torna-se ligeiramente condutor. A ausência de um elétron na banda de valência é chamada de "buraco". Buraco refere-se a níveis de energia "preenchidos com vazio" (ausência de alguns elétrons).

O buraco é útil como portador de eletricidade, comparável ao elétron livre.

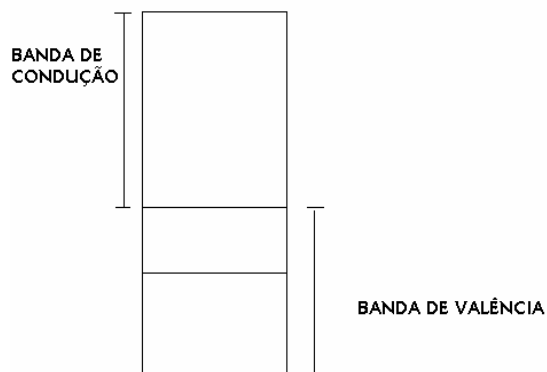
A largura da banda proibida do cristal é função do espaçamento interatômico, não é surpreendente que  $E_g$  dependa de alguma maneira da temperatura, determinou-se experimentalmente que  $E_g$  diminui com a temperatura.

Um semicondutor pode ser dopado com outros elementos químicos, de modo a aumentar mais ainda a condutividade, este é um semicondutor extrínseco (impuro), um semicondutor puro é chamado de semicondutor intrínseco.



## Metal

Um sólido que apresenta estrutura de bandas parcialmente preenchida é chamado metal. Sob influência de um campo elétrico, os elétrons podem adquirir uma energia adicional e mover-se para os estados superiores (de maior energia) visto que estes elétrons constituem a corrente, esta região parcialmente preenchida é a banda de condução. Um exemplo da estrutura de bandas do metal, mostrando superposição das bandas de valência e condução.



## Semicondutores

Condutividade, é função da temperatura e da concentração  $n$  de elétrons livres (banda de condução). Para um bom condutor,  $n$  é grande ( $\sim 10^{28}$  elétrons /  $m^3$ ). Para um isolante,  $n$  é muito pequeno ( $\sim 10^7$  elétrons /  $m^3$ ). Os elétrons de valência em um semicondutor não estão livres para se deslocarem como se estivessem em um metal, mas encontram-se capturados em uma ligação covalente entre íons adjacentes.

O fato de cada elétron de valência ser utilizado para ligar um átomo com o mais próximo resulta que o elétron de valência fique fortemente ligado aos núcleos atômicos. Assim apesar da disponibilidade de elétrons na camada de valência, o cristal possui baixa condutividade.

Em temperaturas muito baixas, ( $0^{\circ}$  K) a estrutura cristalina comporta-se como isolante, pois não possui portadores livres de eletricidade. A temperatura ambiente, algumas ligações covalentes são quebradas devido a energia térmica, podendo então ocorrer condução. Para um cristal semiconductor como o germânio é em torno de  $0,72\text{eV}$  e para o silício  $1,1\text{eV}$ . A ausência de elétrons na ligação covalente é chamada buraco, sendo este de vital importância pois é efetivamente um portador de eletricidade, comparável ao elétron livre.

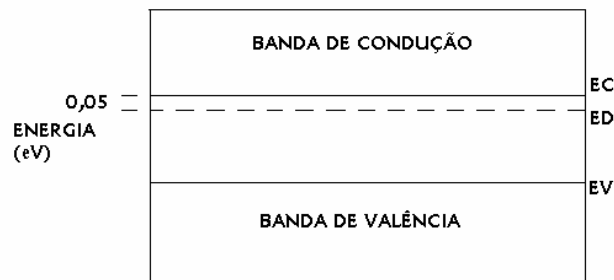
Este mecanismo se baseia no fato de que quando uma ligação é incompleta tal que exista um buraco, é relativamente fácil de ser preenchida por um elétron de valência que deixa uma ligação covalente de um átomo vizinho, este elétron ao sair da ligação covalente deixa outro buraco. Assim o buraco se move em direção oposta ao elétron, este buraco nesta nova posição, pode ser preenchido por um elétron oriundo de outra ligação covalente. Temos assim um mecanismo de condução da eletricidade que não envolve elétrons livres.

### Impurezas doadoras e aceitadoras

Se ao silício ou germânio intrínseco, for adicionado uma pequena quantidade de átomos trivalentes ou pentavalentes, teremos um semiconductor dopado extrínseco. Dopando o semiconductor, fazemos existir nele, mais elétrons ou buracos, com isto aumentaremos a condutividade do material.

### Doadores

Se o elemento que será "misturado" ao semiconductor possui único elétron de valência, sendo pentavalente, os átomos de impurezas deslocarão alguns átomos de germânio (por exemplo) na rede cristalina, quatro dos cinco elétrons de valência ocuparão ligações covalentes e o quinto elétron ficará não ligado e será utilizado como um portador de corrente. A energia necessária para deslocar esse quinto elétron para a camada de condução é de  $0,01\text{eV}$  para o germânio ou  $0,05\text{eV}$  para o silício. Exemplos de impurezas pentavalentes são o antimônio, fósforo e arsênio. Tais impurezas doam excesso de elétrons, sendo portanto, conhecida como impurezas doadoras tipo N. Quando impurezas doadoras são adicionadas a um semiconductor, níveis de energia permitidos são introduzidos a uma pequena distância abaixo da banda de condução. Esses novos níveis permitidos são essencialmente níveis discretos (dentro da estrutura do cristal), e assim sua interação é pequena, para o Ge é  $0,01\text{eV}$  e para o Si é  $0,05\text{eV}$ , abaixo da banda de condução, portanto a temperatura ambiente quase todos os "quinto" elétrons do material doador estão situados na banda de condução, como figura abaixo para o silício:

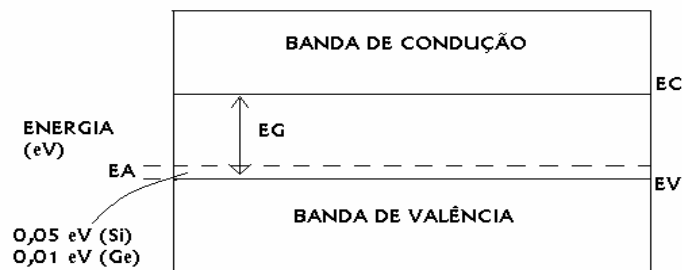


Este tipo de semicondutor é denominado por tipo N.

### Aceitadores

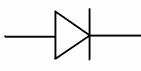
Se uma impureza trivalente (boro, gálio ou índio) é adicionada a um semicondutor puro, três ligações covalentes podem ser preenchidas, e a ausência de um elétron na quarta ligação representa um buraco. Tais impurezas produzem portadores positivos disponíveis, pois criam um buraco que pode aceitar elétrons. Estas impurezas são conhecidas como aceitadoras ou do tipo P.

Quando aceitadores, ou impurezas tipo P, são adicionadas a um semicondutor intrínseco, produzem um nível de energia (discreto) permitido que esteja a uma pequena distância acima da banda de valência como figura abaixo. Visto que uma pequeníssima quantidade de energia é necessária para um elétron deixar a banda, de valência e ocupar um nível de energia aceitador, segue-se que os buracos gerados na banda de valência por esses elétrons, constituem o maior número de portadores do material semicondutor.



Este tipo de semicondutor é denominado tipo P.

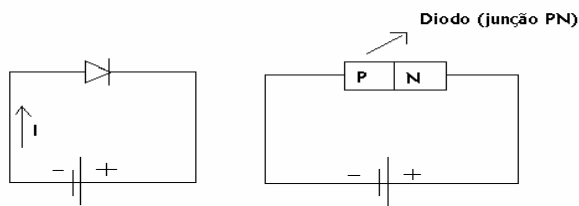
## Junção P-N – Diodo

Símbolo : 

Se impurezas doadoras são introduzidas em um lado de uma barra de cristal semicondutor e impurezas aceitadoras no outro lado, forma-se uma junção P-N, ou diodo.

Após este processo, através da junção que é estabelecida, buracos se difundirão para o lado tipo N e elétrons se difundirão para o lado tipo P. Assim, buracos neutralizam íons aceitadores próximos da junção, no silício tipo P, desaparecem como resultado da combinação com elétrons que se difundiram através da junção, de maneira análoga, os elétrons são neutralizados no silício tipo N, combinam-se com buracos que cruzam a junção saindo do lado P para o N. Os íons são neutralizados nas vizinhanças de junção são conhecidos como cargas fixas e como a região da junção é repleta de cargas móveis é conhecida como região de depleção ou região de carga espacial.

### Diodo polarizado reversamente



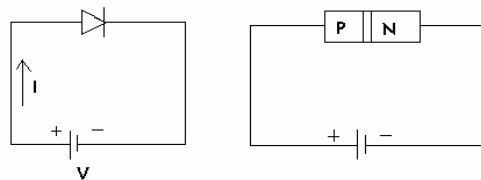
Quando o terminal negativo de uma bateria é ligado ao lado P da junção e o lado positivo ao lado N, temos o diodo polarizado inversamente pois tal conexão faz com que os buracos do lado P e os elétrons do lado N se desloquem para longe da junção, conseqüentemente, as regiões de densidade de cargas negativa e positiva são estendidas. Contudo, este processo de extensão é limitado pois para haver um fluxo contínuo de buracos, deve existir um fornecimento de buracos do lado N passando pela junção. Existem poucos buracos do lado N e assim temos uma corrente resultante nominalmente nula. Realmente flui uma pequena corrente, pois um pequeno número de pares elétron-buracos são gerados no cristal devido a energia térmica. Os buracos, assim que formados no silício do lado P, serão afastados, e de modo análogo, os elétrons formados no silício P, são também afastados. Esta pequena corrente é a corrente reversa de saturação do diodo e é representada por  $I_0$ . Esta corrente

reversa aumentará com o aumento da temperatura, e a resistência reversa do diodo diminuirá com o aumento da temperatura.

O mecanismo de condução reversa pode ser descrita também: quando não existe tensão aplicada ao diodo, a barreira de energia potencial através da junção é  $V_0$ . Quando uma tensão  $V$  é aplicada com polaridade reversa [- (P) e + (N)] a altura da barreira da energia potencial é aumentada de uma quantidade de  $q.V$ . Este aumento da altura da barreira reduz o fluxo de portadores majoritários ( buracos no lado P e elétrons no lado N) entretanto os minoritários (buracos lado N e elétrons lado P) não são influenciados pelo aumento da altura da barreira.

Esta tensão aplicada é definida como tensão reversa ou de bloqueio e quando isto acontece quase não existe corrente no circuito ( somente a de portadores minoritários), fazendo o diodo se comportar como um circuito aberto.

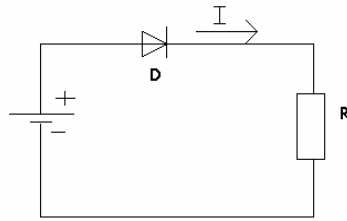
### Diodo polarizado diretamente



Uma tensão externa aplicada com (+ em P e - em N) é chamada polarização direta. Para um diodo ideal, não há queda de tensão ao longo do cristal e, assim a tensão  $V$  aplicada contribuirá totalmente para que a barreira de potencial na junção seja diminuída, o equilíbrio das forças que tendem a produzir a difusão de portadores majoritários e a influência da barreira de potencial ( que tende a frear esses portadores) na junção será perturbado, sendo assim, para a polarização direta, os buracos que provêm do lado P e vão para o lado N através da junção constituem a corrente de minoritários injetados. De maneira análoga os elétrons que cruzam a junção em sentido contrário constituem uma corrente de minoritários injetados no lado P.

Os buracos vão do lado P para o N e constituem uma corrente na mesma direção que os elétrons, movendo do lado N para o P, assim a corrente que cruza a junção é a soma **da corrente de portadores minoritários (buracos e elétrons)**.

Quando em um diodo aplicamos uma tensão direta, este se comporta como uma chave fechada e idealmente a tensão no componente é nula. Para não haver um curto-circuito devemos associar ao diodo uma carga  $R$ .



$V_T$  = tensão equivalente da temperatura  
 $k$  = constante de Boltzmann em joules por grau kelvin  
 $T$  = temperatura em grau kelvin  
 $q$  = carga elétrica do elétron

### Corrente em um diodo

A corrente em um diodo é devido a corrente de minoritários (devido a fenômenos de difusão, com influência da temperatura) e da corrente de portadores de carga majoritária, devido a polarização direta do diodo. A equação de correntes num diodo devido a estas duas correntes são:

$$I = I_0 ( e^{V/V_T} - 1 ) \text{ onde:}$$

$V$  é a tensão devido a polarização direta  
 $V_T$  = tensão equivalente da temperatura  
 $V_T = k.T / q$ .

Um  $V$  positivo indica uma polarização direta e  $V$  negativo, indica uma tensão de polarização reversa cuja amplitude é grande comparada com  $V_T$  (aproximadamente 26mV à temperatura ambiente)  $I \rightarrow -I_0$ . A corrente  $I_0$  é chamada corrente de saturação reversa, sendo  $I_0$  função de  $T$  (temperatura).

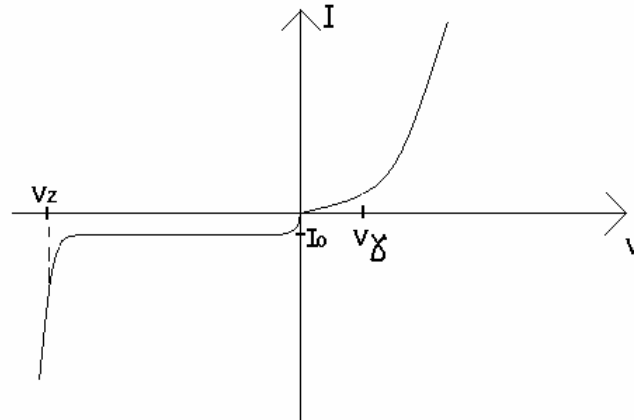
### Característica Volt-Ampere de um diodo

Para uma tensão  $V$ , aplicada em um diodo a corrente  $I$ , relacionada com a tensão  $V$  é:

$$I = I_0 ( e^{V/V_T} - 1 ) .$$

Um valor de  $I$  significa que a corrente flui do lado P para o N do diodo, indicando polaridade direta para  $V$  positivo, ou seja, o lado P da junção é positivo em relação ao lado N.

A forma da curva volt-ampere, para um diodo será:



$I_0$  é a corrente de saturação reversa

$V_\gamma$  é a tensão de limiar, abaixo da qual a corrente do diodo é muito pequena. Para o silício a tensão de limiar é em torno de 0,6V e para o germânio 0,2V

$V_z$  é a tensão de ruptura (breakdown).

Quando um portador gerado termicamente (parte da corrente reversa de saturação) se desloca no sentido decrescente da barreira de potencial, adquirindo energia do potencial aplicado. Este portador adquire grande aceleração, devido ao campo elétrico aplicado e ao colidir com um íon do cristal quebra a ligação covalente. Além do portador original, um novo par elétron-buraco é gerado. Estes portadores também são acelerados pelo campo elétrico intenso e quebram outras ligações e criando outros pares elétron-buraco que quebrarão outras ligações. Este processo acumulativo é conhecido como efeito por multiplicação avalanche, pois em uma tensão  $V_z$ , a uma temperatura  $T$ , ocorre o efeito avalanche.

## Cuidados com diodos

### 1-Polarização direta

Com uma tensão direta  $V$ , a corrente direta aplicada a um diodo não pode ultrapassar uma corrente o valor de corrente nominal especificada pelo fabricante do dispositivo, pois o diodo pode suportar uma potência máxima de:

$$P_{\text{máx}} = V \cdot I_{\text{Dmáx}} \quad I_{\text{Dmáx}} = I_f = \text{Forward current}$$

Onde:  $P_{\text{máx}}$  é a potência máxima que o dispositivo consegue dissipar  
 $V$  é a tensão direta aplicada ao dispositivo

$I_{Dm\acute{a}x}$  é a corrente nominal máxima ( corrente máxima que o diodo pode conduzir continuamente sem se danificar).

O dispositivo pode suportar também uma corrente direta de pico não repetitiva, especificada nos datasheets pelos fabricantes.

Para o diodo retificador 1N4007, fabricado por diversos fabricantes de semicondutores temos uma corrente  $I_{Dm\acute{a}x}$  de 1A e uma corrente de pico não repetitiva de 30A. Se a corrente  $I$  for maior que  $I_{Dm\acute{a}x}$  ou maior que a de pico ou a corrente de pico se repetir, o diodo será danificado

## 2-Polarização indireta

Quando o diodo está reversamente polarizado, devemos evitar que a tensão reversa fique acima da tensão  $V_z$ , tensão de ruptura. Caso isso aconteça, a corrente reversa de saturação eleva-se muito , fazendo a potência dissipada pelo diodo ser muito alta, pois a tensão em seus terminais é elevada. Conseqüentemente , o diodo será danificado, pois **não suporta dissipar a potência tão elevada.**

Para um diodo retificador 1N4007, a tensão  $V_z = V_r$  é de 1000VDC.

Existem diodos projetados para trabalhar na polarização reversa, são os diodos zener.

Outras informações sobre diodos como tempos de chaveamento, capacitância, resistência, consultar bibliografia indicada.

## Varistores

Varistores VDR (Voltage Dependent Resistor) são resistores não lineares (curva tensão em função da corrente não é uma reta como estabelecida pela lei de ohm,  $V= R.I$ ). Sua resistência é altamente dependente da tensão aplicada, por causa da resistência de contato variável entre os cristais misturados que o compõem. Sua característica elétrica é determinada por complicadas redes série e paralelo de materiais cerâmicos como o óxido de zinco  $ZnO$ .

A principal função do varistor é na proteção de equipamentos eletro-eletrônicos de uso industrial e residencial e em reles na eliminação de sobretensões geradas pelas bobinas destes componentes.

As características fundamentais de cada região de um varistor de  $ZnO$  são: região linear de baixa corrente , que se caracteriza por seu comportamento ôhmico, sendo a corrente nesta região composta de uma corrente capacitiva e uma corrente resistiva, que são controladas pela impedância dos contornos do grão. Região não linear, na qual a corrente varia amplamente e o potencial correspondente tem pouca variação. Esta região é caracterizada pela difusão do zinco, do oxigênio e dos elementos dopantes durante o processo de operação do varistor ( nesta região que utilizamos como proteção), dando origem à formação da barreira de potencial nos contornos de grão.

A característica de não linearidade  $I \times V$  no varistor é atribuída aos fenômenos que ocorrem nos contornos de grãos. Para melhorar a característica de não linearidade, é acrescentada na formulação uma série de dopantes  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{CoO}_3$ , e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , etc. e é sintetizada em um patamar fixo de temperatura em presença de oxigênio. A medida que passa o tempo, esses elementos se difundem através do cristal e esta incorporação modifica as características elétricas e microestruturais do varistor.

A última região é a linear de alta corrente, na qual o comportamento é linear e similar ao da primeira região, sendo esta região controlada pela impedância do grão de  $\text{ZnO}$ .

Para este tipo de dispositivo semiconductor o tempo de vida média depende das características elétricas microestruturais e da temperatura de operação do varistor. Um dos parâmetros que mais influencia a vida dos varistores é a corrente de fuga ( $I_R$ ), que se manifesta através de efeito joule. Este parâmetro está relacionado com a potência dissipada pelo dispositivo, se esta potência for menor do que a densidade limite  $P_L$ , o varistor atingirá sua autodestruição, sendo  $P_L$  uma característica do dispositivo, sendo assim, a potência dissipada pode ser incrementada não somente pela aplicação de potencial elétrico mas também pelo aumento da temperatura. Por exemplo, se o potencial se mantiver constante e a temperatura ambiente variável com tendência a aumentar, então, sob estas condições poderia ocorrer a destruição do varistor.

Esses tipos de varistores apresentam a propriedade de dissipação de calor (transforma excesso de energia elétrica em energia térmica), sendo que esta propriedade está relacionada com as características termoelétricas da área superficial do dispositivo e do meio ambiente, (fazendo existir um fluxo de calor entre o dispositivo e o ambiente).

Se o potencial aplicado for muito elevado e este pulso (por exemplo  $1,2/50\mu\text{s}$ ) contiver muita energia além do que o varistor pode dissipar, também ocorrerá a destruição do dispositivo.

Outro modo de ocorrer a degradação do dispositivo é manter-se uma temperatura alta em torno de  $150^\circ\text{C}$ , este potencial com amplitude constante começa a variar de modo cíclico, tipo liga e desliga, após um certo tempo, o componente apresenta-se degradado.

A degradação significa que o dispositivo não recupera seu estado natural quando se interrompe a aplicação do potencial elétrico e/ou temperatura.

A região de interesse para aplicações práticas com varistores, é a região não linear (região ativa), que apresenta a tensão em função da corrente, dada pela equação:

$$v = Ci^\beta$$

onde  $\beta$  depende da composição do material utilizado e do processo de fabricação com valores que variam de 0,05 a 0,40. A constante  $C$  depende da temperatura e das características geométricas do varistor, com dimensão de  $\Omega$ , pode ter valores de 15 a 1000  $\Omega$ .

Apesar de  $v$  ser uma função exponencial, podemos utilizar logaritmos e determinar as constantes  $C$  e  $\beta$ , através da linearização da equação:

$$\begin{aligned}v &= Ci^\beta \\ \log v &= \log Ci^\beta \\ \log v &= \log C + \log i^\beta \\ \log v &= \log C + \beta \log i\end{aligned}$$

Se:  $y = \log v$ ;  $A = \log C$ ;  $x = \log i$  e  $B = \beta$

$$y = A+Bx \text{ onde:}$$

$\beta=B$  = Coeficiente angular da reta.

$\log C=A$  = Coeficiente linear da reta

$$\text{Determina-se } \beta: \beta = \frac{\Delta \log v}{\Delta \log i} = \frac{\log v_2 - \log v_1}{\log i_2 - \log i_1}$$

O coeficiente linear  $\log C$  é facilmente determinado, traçando o gráfico linearizado e observando onde a reta cruza o eixo  $\log v$ .

No apêndice, mostraremos a dedução matemática da ação de um varistor protegendo um equipamento eletrônico como um temporizador microcontrolado ligado a rede elétrica.

Varistores comerciais, acima de um valor de tensão RMS estabelecida pelo fabricante apresenta baixa impedância dissipando em forma de calor a energia armazenada por exemplo em uma bobina em seu campo magnético. Quando um varistor de 30V, por exemplo, tem a tensão em seus terminais acima de 30V, ele entra na região de baixa impedância dissipando ( transformando) em calor o excesso de energia de forma rápida, para atuar leva ns (nano segundos), e a tensão pode ter qualquer polaridade +/- ou -/+, sendo adequado tanto para circuitos de tensão AC quanto para circuitos de tensão DC.

### Parâmetros para utilização de varistores

- 1- *Máxima tensão de serviço permitida ( $V_G$ ):* é a máxima tensão senoidal (para se obter o valor DC, multiplica-se por  $\sqrt{2}$ , ou seja, raiz de 2) a que pode ser submetido o componente (incluindo variação de rede) sem ter sua resistência diminuída (estado ativo e não ôhmico).
- 2- *Tolerância de tensão:* é a variação que pode apresentar o componente na tensão de varistor ( $V_{ref}$  = tensão de referencia para definir a tolerância, a qual é especificada quando o varistor é percorrido por uma corrente de fuga de 1mA).

- 3- *Máxima corrente de choque ( $I_C$ )*: é o valor máximo de corrente que o componente pode suportar (absorver energia) em um determinado regime de aplicação. Este parâmetro define a vida útil do componente. A corrente de choque momentânea define a tensão final sobre o varistor, e conseqüentemente sobre o componente a ser protegido. A tensão final é adquirida utilizando curvas  $V \times I$  do varistor. Deve-se considerar a tolerância do componente para avaliar o maior e menor valor possível. A corrente de choque deve ser estimada para um pior caso.
- 4- *Diâmetro do componente*;
- 5- *Máxima absorção de energia*: define a máxima energia que o corpo do varistor pode receber sem se destruir:  $E_{máx} = V_S \cdot I_C \cdot t$  [J]

$V_S$  = Máxima tensão de serviço.

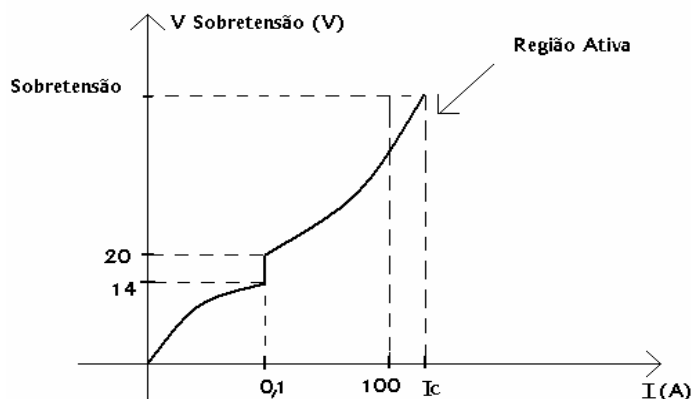
$I_C$  = Corrente de choque.

$t$  = tempo de surto.

Portanto para seleção de um varistor, temos que determinar:

- Tensão máxima de serviço do componente;
- Estimar corrente de choque;
- Utilizando curvas ( $V \times I$ ) das fabricantes, determina-se o valor máximo de sobretensão a que pode ser submetido o componente. Caso o valor de sobretensão do varistor seja maior, deve-se escolher um outro varistor com corrente de choque maior.
- Estima-se a energia máxima submetida ao componente, a qual tem que ser menor do que a máxima absorvida.

Exemplo varistor de 14V



## Módulos de proteção a diodo e a varistor utilizados em interfaces com relés eletromecânicos

Relés eletromecânicos são elementos, que comandam cargas (resistivas, indutivas, capacitivas, lâmpadas, ou mistas) através da força magnética gerada por uma bobina com núcleo ferromagnético, que “esticam” elementos elásticos como molas necessárias para fazer o componente voltar ao estado de não acionamento, assim que a força magnética gerada pela corrente elétrica deixa de existir no componente.

As bobinas que fazem parte dos relés eletromecânicos, são elementos reativos que armazenam energia em seu campo de indução magnética que é gerado pela corrente elétrica que percorre a bobina. Quando interrompemos ou variamos a corrente elétrica na bobina pela lei de Faraday (que está dentro da teoria básica da eletrodinâmica), aparece uma força eletromotriz  $v$ , que se opõe a variação de corrente elétrica, e cuja constante de proporcionalidade é a indutância da bobina, como mostrado pela equação abaixo:

$$v = - L \frac{di}{dt}$$

$v$  = Tensão gerada na bobina

$-L$  = Indutância da bobina

$\frac{di}{dt}$  = derivada temporal da corrente (taxa de variação da corrente)

Sinal negativo indica, que a tensão gerada pela bobina é invertida da tensão que a alimentava.

Portanto quando abrimos cargas indutivas é gerada uma tensão reversa que é função da taxa de variação de corrente, velocidade com que a corrente varia  $di/dt$  e da constante  $L$ , que é a indutância. Ao contrário das bobinas utilizadas em sistemas de telecomunicações, por exemplo circuitos ressonantes, ou até em sistemas de potência, como em fontes chaveadas, as bobinas de relés possuem indutância de dezenas de Henry's e não micro ou mili Henry, isto significa que são cargas indutivas e a energia que essas cargas armazenam, voltam para as “chaves” que acionam os relés, por exemplo, transistores nas saídas de PLC, ou contatos de relés menores.

O que limita a energia devolvida pela carga são as resistências da bobina, e da fiação, convertendo a energia elétrica em energia térmica:

Energia armazenada na bobina é dada por:

$$E = \frac{L \cdot i^2}{2}$$

$L$  = indutância da bobina e da fiação.

$i$  = corrente elétrica que a percorre.

$E$  = energia armazenada no campo magnético.

**Para as resistências a energia dissipada na forma de calor será:**

$$Q = R \cdot \int_0^t i^2 dt.$$

Onde Q é a energia dissipada de 0 a t (tempo de descarga), R são as resistências da bobina e da fiação e i é a corrente elétrica que passa pela fiação.

A relação em R e L nos mostra o quanto uma carga é indutiva ou resistiva, ou seja, o que predomina é o efeito indutivo ou resistivo.

Quando cargas indutivas são interrompidas, a variação de corrente de i para 0, gera um pulso de sobretensão nos contatos de um relé por exemplo, este pulso pode ser modelado por um pulso retangular com uma amplitude A.

Estes pulsos possuem harmônicas de 0Hz, (tensão contínua), a GHz (na faixa de microondas), parte dessa energia é irradiada pelo ar na forma de ondas eletromagnéticas funcionando a própria fiação como antena, as harmônicas mais baixas (frequências mais baixas), induzem energia nas fiações próximas. Estes ruídos podem causar interferências em uma série de equipamentos eletrônicos, e dependendo da corrente e indutância da carga que se deseja interromper, podemos ter aparelhos eletrônicos que estejam ao redor destruídos, como um temporizador microcontrolado, ligado em paralelo com uma carga muito indutiva.

Pequenos relés podem ter sua vida elétrica muito diminuída e transistores (bipolares ou powermosfet's) podem ser danificados, devido a grande tensão gerada por bobinas.

Um pequeno relé tipo 40.52.7.012.0000 de 12 VDC na bobina gera no momento de interrupção em torno de -354V, porém em nano segundos ou seja, é um transiente com pouca energia (Burst), porém bobinas maiores, associadas a cabos de potência podem gerar tensões com tempos em micro segundos, os surtos que contém mais energia e podem destruir facilmente outros componentes ligados próximos. Os ensaios contra transientes e surtos são descritos pelas normas de compatibilidade eletromagnética IEC61000-4-4 e IEC61000-4-5.

Portanto para eliminarmos interferências indesejadas que cargas indutivas de relés eletromecânicos podem causar, devemos utilizar módulos que eliminam na origem "na própria bobina" a interferência gerada. Caso esses módulos fossem usados longe da origem (varistor no contato de um relé por exemplo) uma fiação transmitindo uma infinidade de harmônicas, seria uma boa antena irradiando energia eletromagnética por todo o ambiente próximo.

Em geral nos módulos utilizados nas interfaces, além da proteção contra ruídos causados pela bobina, existem a presença de led's (diodos emissores de luz) que indicam a presença de tensão na interface, o real atracamento do contato é indicado pelo indicador mecânico do relé.

Também não é recomendável utilizar cargas indutivas (grandes cargas indutivas), sem proteção alguma em paralelo com interfaces equipadas com módulos de proteção EMC e sinalização, pois grandes cargas indutivas geram pulsos de grande energia, que podem danificar os módulos de sinalização e proteção EMC, tanto de módulos que utilizam diodos como dos módulos que utilizam varistores. Ou seja, caso utilizemos um conjunto de interfaces com módulos é fortemente recomendável a utilização de algum tipo de supressor na carga indutiva, ligado em paralelo as interfaces, pois caso isso não ocorra, além da carga indutiva estar gerando ruídos (bursts ou até surtos), por exemplo na linha DC, estes ruídos podem chegar ao ponto de danificar os módulos das interfaces.

Mesmo componentes que não estejam ligados via fiação, as interfaces podem causar problemas. Por exemplo um transformador que seja ligado no instante que a tensão senoidal da rede AC estiver no valor máximo, isto faz essa tensão interagir com a indutância e capacitância do secundário gerando um transiente no secundário do transformador, caso a fiação da interface esteja próxima ao secundário do transformador, podemos ter esse transiente induzido na fiação do circuito da bobina, gerando um transiente para o módulo e deixando a fiação “desse” efeito sujeito a ruídos, interferências eletromagnéticas. Um modo barato de eliminar isso, é afastar o transformador dessas interfaces e de sua fiação, quando isso não é possível, pode-se recorrer a uma blindagem do transformador, que é uma solução muito mais cara, mas muitas vezes necessárias.

Um outro exemplo de problemas gerados por elementos que não estejam ligados juntamente com a interface, mas podem causar problemas, é quando juntamos em uma mesma “calha” fios de sinais que acionam as interfaces e fios de potência, por exemplo fiação que sai dos contatos de relés de potência, como por exemplo para acionar como carga indutiva de 125 VDC, com corrente de 1A e uma constante indutiva  $L/R = 40\text{ms}$ . O pulso gerado quando os contatos são abertos (com a extinção do arco voltaico), ou em algum acidente, e essa carga entrar em curto-circuito, teremos induzido na fiação de sinal surtos, que podem destruir os módulos, e até causar problemas de funcionamento no próprio relé que equipa essas interfaces, portanto fiação de sinal e fiação de potência, devem estar separados, aliás os cabos de sinais também em geral (sistemas elétricos e principalmente sistemas eletrônicos) devem ser separados de acordo com sua tensão, corrente e frequência. O sinal mais fraco, deve ter pelo menos  $\frac{1}{4}$  da tensão e  $\frac{1}{4}$  da corrente do sinal mais forte. Isto geralmente separa os cabos em quatro grupos:

- 1- Alimentação AC, retornos AC, aterramento de chassi;
- 2- Alimentação DC, retornos DC, referências DC;
- 3- Sinais digitais e seus retornos;
- 4- Sinais analógicos e seus retornos.

Existe uma infinidade de ruídos, gerados por outros elementos que podem gerar interferência e fazer dos módulos de sinalização e proteção, EMC vítimas de seus efeitos.

Os módulos EMC eliminam somente os burts gerados pelas bobinas dos relés eletromecânicos que estão juntamente acoplados a eles, portanto se todos os relés possuírem módulos, os ruídos gerados serão mínimos, deixando o sistema com pouca interferência eletromagnética, mas mostramos também que podemos ter todas as interfaces com módulos e caso existam outros elementos gerando transientes, teremos o sistema todo cheio de interferências eletromagnéticas e dependendo da energia desses transientes, podemos ter destruídos os diodos e varistores que fazem parte de módulos EMC das interfaces.

A seguir vamos verificar com detalhes, as topologias básicas dos circuitos dos módulos EMC, baseados em diodos e varistores.

*Topologia Básica dos circuitos dos módulos EMC a diodo e a varistor.*

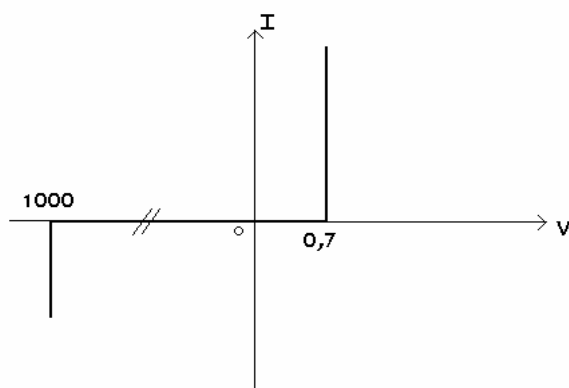
## 1-Módulo a diodo

Diodos podem ser utilizados em diversos tipos de circuitos, como em fontes (lineares, chaveadas) moduladores, multiplicadores de tensão, lógica digital, como lógica DTL, etc.

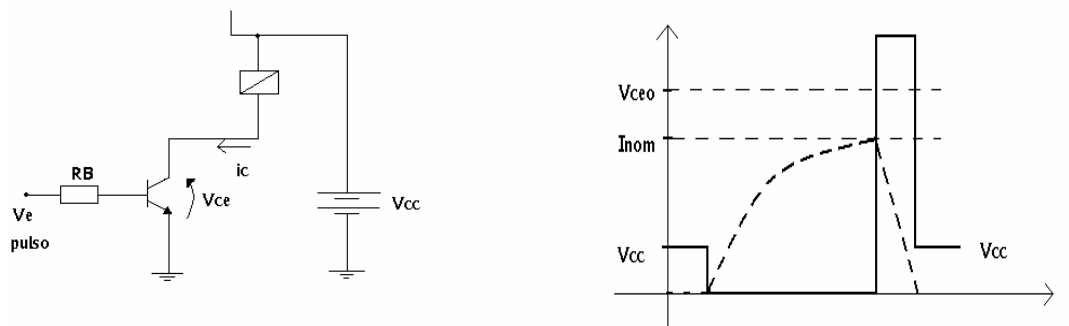
Mas podemos utilizá-los, juntamente com bobinas de relés, para eliminar a tensão reversa gerada por essas bobinas quando essas são desenergizadas. Vamos adotar para o diodo o seguinte modelo:

Abaixo de 0,7V o diodo é um circuito aberto (diretamente polarizado), acima de 0,7V, o diodo se comportará como um curto-circuito, apresentando uma queda de 0,7V. Com tensão reversa, o diodo é um circuito aberto até que esse entre na região de avalanche, em torno de 1000V e ele conduza com tensão alta e corrente alta sobre ele, sendo portanto destruído, devido a grande energia que o componente irá dissipar, no tópico de diodos, descrevemos os cuidados que tomar com os diodos.

A curva do modelo descrito será:



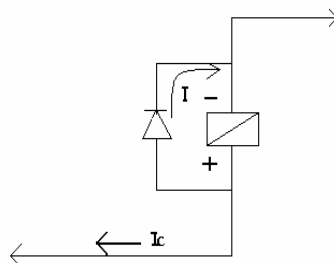
Quando por exemplo, um transistor liga/desliga um relé, teremos a seguinte forma de onda:



Acima da tensão  $V_{CE0}$ , o transistor irá se danificar. Se é um transistor de saída de um PLC, devido ao componente se danificar, iremos precisar fazer a manutenção do PLC.

As modernas interfaces a relés, já vem na bobina com um diodo em paralelo que quando a tensão reversa (momento do desligamento do relé) é gerada e atinge 0,7V, o diodo entra em ação, se tornando um curto-circuito, fazendo a energia armazenada na bobina, se dissipar na própria resistência do fio da bobina.

Teremos então:



Tensão entre coletor emissor do transistor será no máximo  $V_{cc}$  (tensão da fonte) mais 0,7V, tensão no diodo, ou seja, o componente não será danificado. Como os diodos nas interfaces se encontram junto a bobina, eles também irão eliminar os ruídos que essa bobina iria gerar na fiação, deixando o sistema em acordo com as normas de compatibilidade eletromagnética.

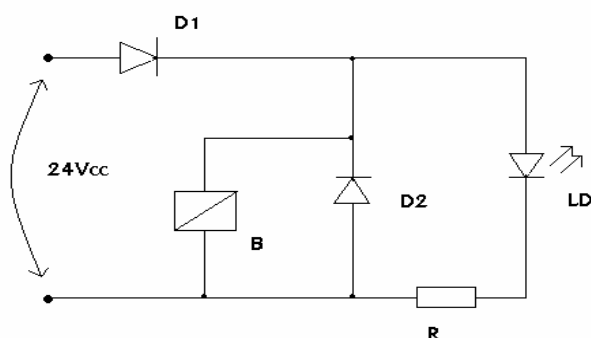
Esse sistema somente pode ser usado em CC, pois em AC o diodo iria retificar a tensão AC, não funcionando.

Um outro inconveniente é que caso ligarmos errado a fiação na interface, teremos um curto-circuito na linha, pois o diodo “roda livre”, ficará em estado de condução, o que irá causar por exemplo, a queima do transistor chaveador de um PLC. A maneira de se eliminar esse problema é a utilização de um outro diodo em série com todo

circuito da interface, que caso a inversão (+) e (-) aconteça, ele bloqueia a corrente, para evitar acidentes.

Juntamente com esses 2 diodos, temos também a utilização de um led e um resistor, que indicará a presença de alimentação na interface, indicando que essa deverá ser acionada. Mas a certeza do acionamento somente ocorrerá com o indicador mecânico do relé, indicando que os contatos NA (normalmente abertos), foram acionados.

O circuito completo de um módulo utilizado, por exemplo, na interface 4C.02.9.024.0050 da Finder será:



No módulo 99.02.9.024.99, temos o diodo D1, que evita acidentes de inversão de polaridade, temos o diodo D2, que “elimina” a tensão reversa gerada pela bobina, temos o resistor R que limita corrente para acionamento do led LD, e a bobina do relé B que comanda os contatos do relé.

## 2- Módulo a varistor

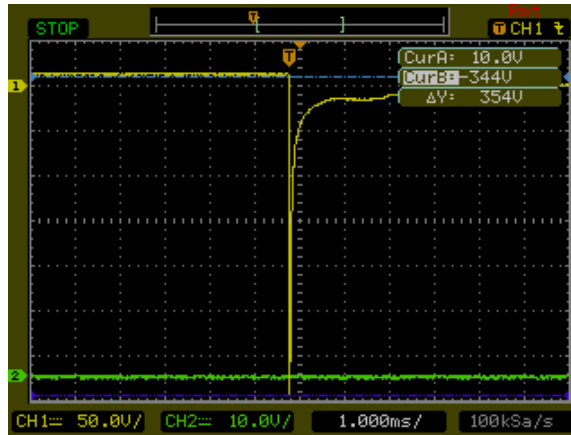
Varistores podem também ser utilizados em módulos para interfaces, para eliminar tensões reversas induzidas, geradas pelas bobinas dos relés eletromecânicos, quando as interfaces são desacionadas.

Ao contrário dos módulos a diodo, os módulos a varistor podem ser utilizados tanto em bobinas de corrente alternada quanto em bobinas de corrente contínua, pois para o varistor atuar (entrar na região ativa), basta existir uma diferença de potencial entre seus terminais, maior que a máxima tensão de serviço, não havendo polaridade.

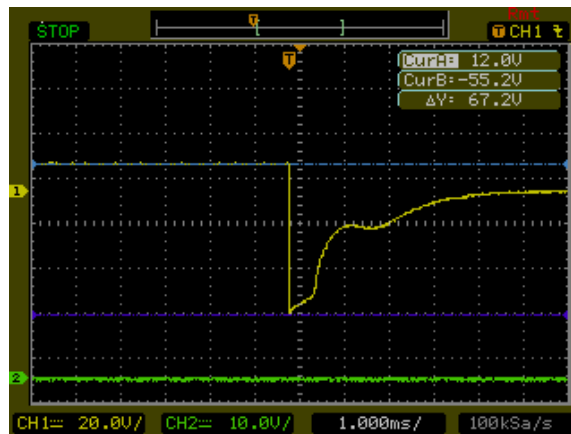
Uma das desvantagens dos módulos a varistores em relação a módulos a diodos, utilizados em DC, é que quando no diodo tivermos uma diferença de potencial entre seus terminais de 0,7V, polarização direta, o diodo já entra em ação ceifando a tensão reversa. Para um módulo a varistor, o varistor somente entrará na região ativa quando a tensão em seus terminais ultrapassar a tensão de serviço, por exemplo 30V, ou seja até 30V passará pela cabeaço.

Abaixo as formas de onda de uma bobina de um relé de 12 VDC, sem módulo, com módulo a varistor e com módulo a diodo, no momento que há desacionamento:

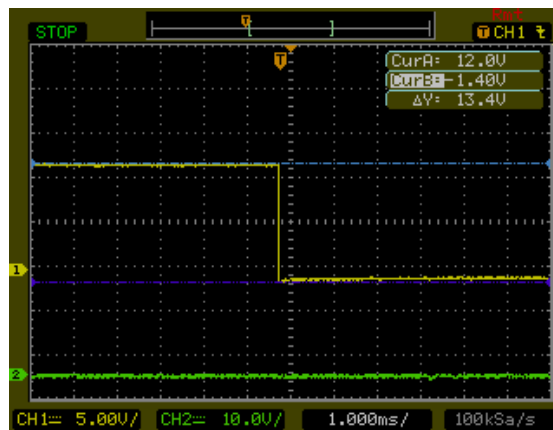
### 1-Sem módulo



### 2-Módulo a Varistor



### 3-Módulo a diodo



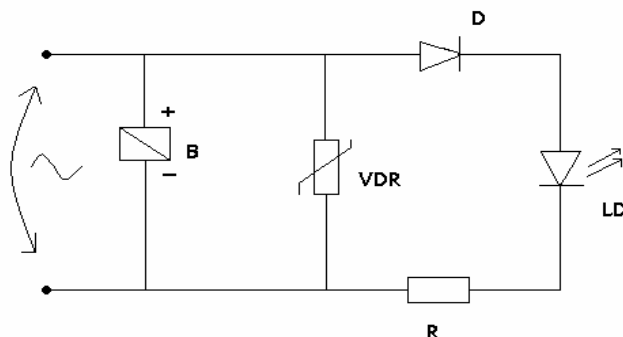
Em DC, verificamos que os módulos a diodos são mais eficazes na eliminação de ruídos, deixando o ambiente próximo tanto meio aéreo, quanto a cabeaçção, praticamente sem interferência eletromagnética. Com módulos a varistores, existe um certo ruído, porém muito menor que em uma interface sem módulo. Porém em corrente alternada, quando ligamos e desligamos as bobinas dos relés, um transitório é estabelecido para iniciar ou finalizar o “equilíbrio dinâmico” que é estabelecido, que para um circuito indutivo, como a bobina de um relé em AC, é a defasagem da senóide da corrente em relação a senóide da tensão, no circuito indutivo temos a corrente defasada em relação a tensão.

Para o varistor, temos que na região ativa, a equação:

$$V = C.I^{\beta}$$

Nas interfaces, os módulos a varistor possuem além do próprio varistor, um diodo retificador para gerar corrente em meia onda ( DC) para alimentar um LED, e um resistor, cuja função é limitar a corrente no LED. Como já foi observado, o LED indicará presença de tensão na interface, mas não o real fechamento dos contatos dos relés, indicados somente pelo indicador mecânico.

Para a interface da Finder 4C.02.8.230.0060 SPA (por exemplo), utiliza o módulo a varistor 99.02.0.230.98, cujo circuito está abaixo:



D = Diodo retificador que gera tensão DC pulsando para o LED.

LD = LED

R = Resistor para limitar corrente para o LED

VDR = Varistor para eliminar sobretensão da bobina.

B = Bobina do relé

Quando alimentado em AC, o módulo a varistor possui polaridade, pois apesar da bobina do relé e do varistor não possuírem polaridade, o diodo retificador do led, quando inversamente polarizado, faz com que o led não indique.

Em DC, a vantagem de se utilizar módulo a varistor, é que esse componente praticamente não aumenta a desexcitação da bobina, já o diodo aumenta a desexcitação da bobina, atrasando

significativamente o tempo de abertura dos contatos, isso é devido a forma de como esses 2 componentes dissipam a energia armazenada no campo magnético da bobina. O diodo faz a corrente circular no circuito, fazendo a energia dissipar na própria resistência do fio da bobina, e enquanto a corrente não cair suficientemente, o relé não irá abrir o contato NA. Já o módulo a varistor, dissipa a energia no próprio varistor, fazendo a corrente no circuito da bobina cair rapidamente, fazendo os contatos NA abrirem como se nem houvesse nenhum supressor na bobina.

Apesar dessa diferença de tempo de desexcitação, a vantagem do diodo em circuitos DC é maior, pois como mostramos anteriormente esse componente elimina praticamente toda interferência eletromagnética gerada pela bobina do relé, já o varistor não elimina toda a interferência, o que torna o módulo a diodo muito mais adequado para circuitos em DC.

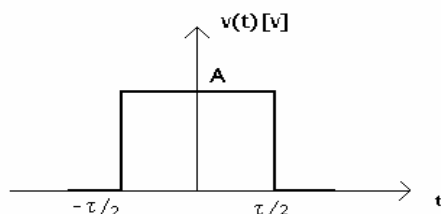
Além de diodos e varistores, pode-se utilizar junto as bobinas módulos RC (snubber), contudo, não abordamos aqui nesse artigo os módulos RC, pois em geral não possuem sinalização (presença de tensão) e por isso são menos utilizados que módulos a diodo ou a varistor, mas junto a bobinas, módulos RC podem ser utilizados tanto em AC quanto DC.

## APÊNDICES

- 1- Transformada de Fourier de um pulso indutivo
- 2- Módulos- desexcitação de um diodo
- 3- Proteção varistor
- 4- Perguntas e respostas

### **TRANSFORMADA DE FOURIER DE UM PULSO INDUTIVO GERADO NOS CONTATOS DE UM RELÊ**

Quando fazemos a abertura de uma carga indutiva por um relé, quando a corrente varia rapidamente, temos um pulso de tensão nos contatos que podemos modelar:



Podemos fazer esse sinal em função da freqüência, utilizando a transformada de Fourier, e com isso saberemos as harmônicas nas diversas freqüências presentes nesse sinal.

A definição da transformada de Fourier será:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} .dt$$

$$V(\omega) = \int_{-\tau/2}^{\tau/2} A e^{-i\omega t} .dt \rightarrow V(\omega) = A e^{-i\omega t} / -i\omega \Big|_{-\tau/2}^{\tau/2}$$

$$V(\omega) = \frac{2A}{\omega} \left[ \frac{e^{i\omega\tau/2} - e^{-i\omega\tau/2}}{2i} \right]$$

$$\text{sen} (\omega \tau / 2) = \frac{e^{i\omega\tau/2} - e^{-i\omega\tau/2}}{2i}$$

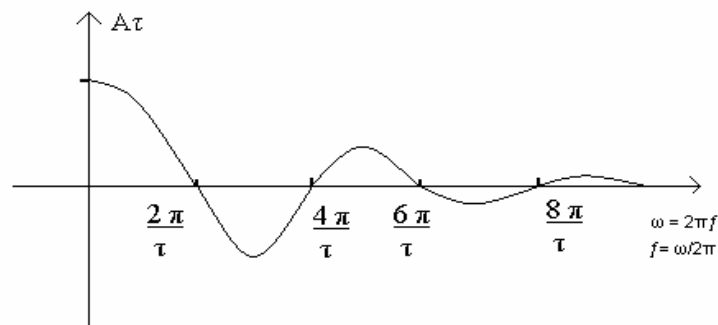
$$V(\omega) = \frac{2A}{\omega} \frac{\text{sen}(\omega \tau / 2) \times (\tau / 2)}{\tau / 2}$$

Obs:  $\omega = 2\pi f$   
 $f = \omega / 2\pi$

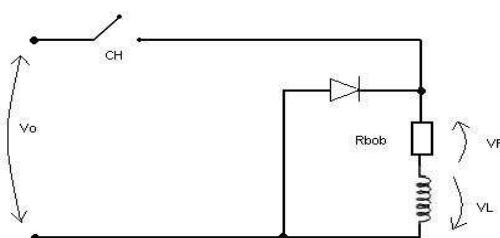
**$V(\omega) = A \cdot \tau \frac{\text{sen} (\omega \tau / 2)}{\omega \tau / 2}$**

Tensão em Função da Freqüência

O espectro será:



**DESCARGA DA BOBINA ATRAVÉS DE UM DIODO**



Diodo conduzindo será um curto circuito no instante da abertura da chave CH, a corrente na bobina é a nominal.

$$i(0) = I_n = \frac{V_0}{R_{BOB}}$$

$$V_L(t) + V_R(t) = 0 \quad \text{onde } i = f(t)$$

$$1-) \frac{L di}{dt} + R_{BOB} \cdot i = 0 \rightarrow \frac{L di}{dt} = - R_{BOB} \cdot i$$

$$\frac{di}{dt} = - \frac{R_{BOB} i}{L} \quad \text{Essa equação diferencial admite solução da forma:}$$

$$2-) i(t) = A e^{kt} \quad \text{onde } A \text{ e } k \text{ são constantes a se determinar.}$$

$$3-) \frac{di}{dt} = A \cdot k e^{kt}$$

Substituindo 2 e 3 em 1

$$A \cdot e^{kt} (k + R_{BOB} / L) = 0 \quad \text{Sabemos } A \cdot e^{kt} \neq 0$$

$$k + R_{BOB} / L = 0 \rightarrow k = - R_{BOB} / L$$

$$i(t) = A \cdot e^{-R_{BOB} / L \cdot t} = A \cdot e^{-t / L / R_{BOB}}$$

$$\text{mas } i(0) = I_n = \frac{V_0}{R_{BOB}}$$

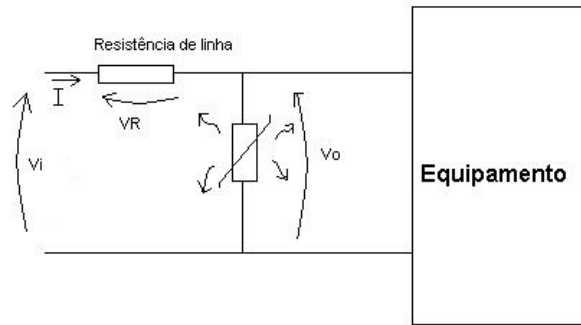
$$I_n = A \cdot e^{-0 / L / R_{BOB}} \rightarrow A = I_n = \frac{V_0}{R_{BOB}}$$

$$\text{Portanto } i(t) = \frac{V_0}{R_{BOB}} e^{-t / L / R_{BOB}} \rightarrow \text{Corrente no circuito}$$

O tempo será para instante inicial 0, até  $i(t) = I_D \rightarrow I_D$  é a corrente que o relé abre.

$$t = - L / R_{BOB} \cdot \ln(I_D / V_0 / R_{BOB}) \rightarrow V_R(t) = V_0 e^{-t / L / R_{BOB}} \text{ (tensão em } R_{BOB} \text{).}$$

## VARISTOR COMO PROTEÇÃO DO CIRCUITO



$$V_i = V_R + V_0$$

$$V_i = R \cdot I + C I^\beta$$

*D indica quantas vezes a sobretensão é maior que a tensão.*

Surto  $V_E = V_i + D V_i$

$$\begin{aligned} V_i &= R \cdot (I + ID) + C (I + ID)^\beta \\ &= R \cdot (I + ID) + C [I (1+D)]^\beta \\ &= R \cdot (I + ID) + C I^\beta \cdot [1+D]^\beta \\ &= R \cdot (I + ID) + (1+D)^\beta \cdot C I^\beta \end{aligned}$$

*Equação da região ativa*

$$R (I + ID) \gg (1+D)^{0,035} C I^{0,035} [1+D]^{0,035} \quad \beta = 0,035 / D = 50$$

$V_R = R (I + ID)$  A tensão “a mais” fica toda na resistência da linha.

$$\log V = \log C + \beta \log I$$

*Equação linear*

$$y = b + \beta x$$

$$\beta = \frac{\Delta \log V}{\Delta \log I}$$

onde:  $x = \log I$   
 $y = \log V$   
 $b = \log C$

$\beta$  = coeficiente angular

$b$  = coeficiente linear

## PERGUNTAS E RESPOSTAS: MÓDULOS DE SINALIZAÇÃO / PROTEÇÃO FINDER

### Objetivos:

Apresentar as principais perguntas e respostas sobre a utilização dos módulos de sinalização e proteção Finder tanto nos modelos a diodo quanto nos modelos a varistor.

## Perguntas e Respostas.

### **1- Qual a finalidade de utilização de módulos de sinalização e proteção nas bobinas de relés?**

R: Os módulos de proteção são ligados em paralelo com a bobina do nosso relé. Quando energizamos a bobina do relé, o led de sinalização acende fazendo sua função de sinalizar. A função do circuito de proteção é proteger o circuito de acionamento (da interface) contra tensões reversas do relé. Estas tensões reversas podem também danificar o dispositivo de acionamento da interface, caso este seja por exemplo um PLC com saída a transistor.

A abertura de contatos conduzindo correntes é problemática, quando se tem tensão reversa gerada pela bobina do relé, pois esta faz aumentar o arco voltaico gerado do contato do relé de acionamento da interface, reduzindo sensivelmente a vida elétrica deste contato, pois o desgaste será maior.

As tensões reversas geradas pelas bobinas dos relés também causam interferência em equipamentos eletrônicos, e por norma de EMC (compatibilidade eletromagnética), devem ser eliminadas na própria fonte, ou seja na própria interface pelo módulo de proteção/sinalização, não deixando este ruído se propagar pela cabeção.

### **2- Módulos a varistor podem ser utilizados somente em circuitos de corrente alternada?**

R: Não, podemos utilizá-los tanto em circuitos de corrente contínua quanto em corrente alternada, damos preferência de em corrente contínua por módulos a diodo que apresentam um desempenho melhor na extinção da tensão reversa gerada pela bobina do relé.

### **3- Os módulos servem para fazer proteção da bobina do relé contra distúrbios eletromagnéticos externos?**

R- Não, esta não é a função do módulo de sinalização e proteção. O módulo protege o circuito externo contra a bobina do relé. O contrário não é verdadeiro, dependendo da intensidade do surto que é conduzido pela cabeção externa, quem se danificará será o módulo, de maneira irreversível, pois ele é mais sensível que a bobina do relé.

### **4- Qual energia que um módulo a diodo ou a varistor está projetado para suportar?**

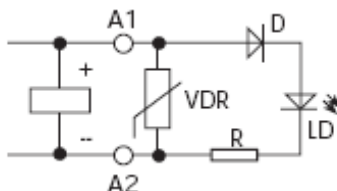
R- Considerando que este módulo esteja montado em um conjunto 6E.03.9.125.0350, por exemplo, na qual a constante de tempo com armadura fechada é de  $L/R=10\text{ms}$ , com uma resistência do fio da bobina  $5200\Omega$  e com uma indutância de  $L=52\text{ H(Henry's)}$ , a 125VDC o consumo de corrente será de 24 mA. A energia armazenada na bobina do relé será dada pela fórmula  $E=Li^2/2$  (onde L é indutância e i corrente), ou seja, a energia será de 15 m J (mili Joule). Ou seja, esta é a energia que o módulo está projetado para suportar e é esta energia que ele impede que vá para semicondutores e contatos de relés acionadores das interfaces (que comandam estas interfaces).

### **5- Posso ligar em paralelo com a entrada da interface qualquer carga indutiva, pois o relé está protegido com módulo?**

R- Não, pois como observado acima o módulo não está preparado para suportar energias altas. Por exemplo, se eu ligar uma bobina de 125 VDC, com corrente de 0,4 A e com uma constante de tempo com armadura fechada de  $L/R = 25\text{ms}$ , teremos uma resistência de fio de  $312,5\Omega$  e uma indutância de 7,8H. Considerando a fórmula de energia do indutor  $E = Li^2/2$  (onde L é indutância e i corrente), teremos uma energia armazenada de 0,62 J, que pode entrar via cabeção nas interfaces, então teremos uma interface projetada para suportar uma energia de 15mJ suportando 0,62J, ou seja, uma energia **42 vezes maior (uma única bobina somente)**, isto pode queimar a interface ou reduzir a vida útil principalmente dos semicondutores, ou seja, pode não haver defeito imediatamente, mas com o tempo poderá haver problemas de queima dos componentes. O que existe é uma aplicação indevida e é responsabilidade do projetista ou proteger o módulo contra estes surtos **via protetores de surto (DPS)**, ou utilizar somente relé e base, pois a bobina do relé é muito mais resistente a estes tipos de surtos (como especificado no catálogo Finder, imunidade a distúrbios induzidos). Não adianta a bobina do relé Finder não enviar ruído se em paralelo com ela haver várias bobinas enviando tensões reversas, teremos um ambiente com muitos ruídos e fora de EMC.

#### 6- Como funciona o principal módulo a Varistor por exemplo o 99.02.0.230.99 ?

R: Conforme esquema abaixo :

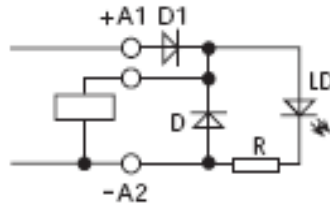


O módulo é alimentado em DC , o led acenderá pois estará diretamente polarizado e o resistor R irá limitar a corrente de circulação para o led, e o diodo, ligado junto ao led, impedirá de polarizar o led invertido o que pode danificá-lo. O varistor irá na tensão por exemplo de 125 VDC apresentar uma resistência alta quase não desviando corrente, a bobina do relé será alimentada e o relé será acionado. Quando o circuito é desligado a bobina gera uma alta tensão e quando esta tensão reversa atinge 275V , a resistência do varistor cai extremamente, fazendo este componente absorver a energia da bobina.

Quando alimentamos os módulos em AC o diodo D, ligado junto ao led, retificará a tensão em meia onda, transformando em DC pulsante e assim o led será alimentado, e em regime nominal o varistor apresenta uma grande impedância quase não absorvendo energia, a bobina do relé será alimentada e o relé será acionado. No momento de desligamento a bobina gera uma força eletromotriz que quando a tensão ultrapassa o nível de 275V, o varistor absorverá a energia, que está armazenada na bobina, impedindo que ela seja enviada para o componente que aciona a interface.

**7- Como funciona o principal módulo a diodo, por exemplo, o 99.02.9.220.99 ?**

R: Conforme esquema elétrico a seguir :



O módulo é alimentado em DC, com o terminal positivo em +A1 e o terminal negativo em -A2, o diodo D1 estará diretamente polarizado e deixará passar corrente para alimentar o led, fazendo este acender, sendo a corrente do led limitada pelo resistor R. O diodo D nesta situação estará inversamente polarizado, não influenciando no circuito e com isto a bobina do relé é alimentada sendo o relé acionado. Quando desligamos esta tensão a bobina gera uma força eletromotriz em sentido contrário fazendo o diodo D conduzir e este faz com que a energia armazenada pela bobina do relé seja dissipada pela própria resistência do fio da bobina, isto retarda o tempo de abertura do relé.

**8- O que acontece com os módulos a varistor e a diodo alimentados em tensão DC quando invertemos a polaridade da tensão de alimentação? A bobina do relé é acionada? Posso retirar o módulo com o circuito energizado com polaridade invertida?**

R- Para módulos a varistor não há problema em inverter a polaridade da alimentação, pois ele é AC/DC, a bobina do relé será acionada normalmente, somente não haverá sinalização do led, pois o diodo em série com este impedirá que a tensão reversa vá para o led, fazendo este não se danificar. Este produto não irá se danificar, porém é recomendável sempre desligarmos o circuito para retirá-lo da base e só depois colocarmos a alimentação na polaridade correta.

Para módulos a diodo, como este é exclusivamente DC, a inversão de polaridade faz o diodo de entrada D1, ficar inversamente polarizado e com isso ele não deixa o led e resistor ser energizado e também a bobina do relé não será alimentada, ou seja, o relé não acionará, a existência do diodo D1, faz-se necessário, pois se este componente não existisse, quando a polaridade fosse invertida por um erro de montagem, o diodo D, iria conduzir, gerando um curto-circuito no circuito de acionamento e provavelmente se tivermos por exemplo um PLC com saída a transistor, teremos este componente de acionamento danificado e também o próprio módulo. Também **não podemos por hipótese alguma retirar o módulo a diodo com a interface energizada com polaridade invertida**, pois caso isto aconteça o diodo D que fica em paralelo com a bobina no momento do saque do módulo da base, fica polarizado diretamente, entrando em curto circuito e queimando o módulo.

Ou seja, de maneira alguma devemos sacar o módulo com a base energizada, pois além de ser uma técnica não recomendável para segurança, alguns modelos de módulos podem ser danificados. **O correto quando invertemos a polaridade da interface é que primeiro seja desconectado os fios de alimentação ou a fonte de alimentação seja**

desligada, para somente depois caso julgemos necessário sacarmos relé e módulo.

**9- Qual a capacidade de tensão e corrente externa que os módulos em geral suportam? E por que os componentes são relativamente "frágeis" contra surtos externos?**

R- Os módulos não suportam mais que uma corrente direta de 2mA, pois apesar dos diodos suportarem até 1 A, o led suporta pequenas correntes externas, ou uma tensão reversa maior que 1000V reversa.

Os componentes são dimensionados para tensões da bobina, e das suas famílias de componentes são os mais "fortes", por exemplo, a família de diodo 1N400X, começa em 1N4001 que suporta somente 50V de tensão reversa e 1 A de corrente direta, a Finder utiliza em seus produtos o 1N4007 que suporta 1000V de tensão reversa e 1 A de corrente direta, o 1N4007 é o limite da sua família, diodos com maior capacidade, ou mesmo varistores que absorvam mais energia, são muito maiores e não é possível colocar em nossos módulos, devido a sua dimensão ser muito maior.

**10- Componentes como diodos e varistores apresentam defeitos frequentemente?**

R- Devido ao processo de fabricação extremamente moderno destes componentes (onde o processo apresenta tanto rigor que até grãos de poeira não podem existir) **é raríssimo** defeitos de fabricação destes componentes. Estes mesmos componentes são utilizados em diversos segmentos da área eletroeletrônica até em sensíveis equipamentos hospitalares onde está em jogo a vida dos pacientes e falhas não são permitidas. É claro que apesar de todo rigor nada é infalível, mas tende a baixíssimo o número de diodos com defeito de fabricação em aplicações, o que às vezes acontece é diodos serem queimados em fontes de alimentação, por exemplo, onde eles são muito usados, porém isto não é um defeito do diodo, mas é devido a altos surtos de tensão que ocorrem na rede elétrica sendo estes componentes sensíveis a surtos com tensões muito elevadas. A Finder não é uma fabricante de diodos e de varistores, mas compra estes componentes dos maiores fabricantes mundiais, para fazer montagem de seus módulos.

**11- Abertura de disjuntores, seccionadoras ou surtos (pulsos elevados de tensão) em cabos que ficam paralelos aos cabos de alimentação das interfaces, podem danificar os módulos? Se afirmativo como protejo minha interface destes geradores de surtos de alta tensão?**

R- Abertura de linhas de transmissão de energia feita por seccionadoras e disjuntores geram imensos surtos em vários pontos da instalação, induzindo via cabeaço estes surtos que podem danificar principalmente os módulos e como é em DC as maiores vítimas são os diodos. Elementos como seccionadoras e disjuntores são elementos de alta tensão e seus surtos não devem interferir na baixa tensão onde nossos relés são utilizados, pois surtos desta magnitude, os equipamentos de baixa tensão não são projetados para suportar.

Um surto se propagando em um condutor próximo e em paralelo aos cabos de alimentação de uma bobina de interface, induz no cabo da bobina também um surto, pois estes cabos estão acoplados, os chamados

acoplamentos indutivos e acoplamentos capacitivos, como eles estão acoplados o que acontece em um afeta o outro, ou seja, um surto em um cabo faz existir surtos em outros cabos que caso alimente interfaces a relés com módulos, teremos estes módulos submetidos a estes surtos e dependendo da intensidade dos surtos, estes módulos serão danificados. Quanto mais longe da fiação que conduziu o surto minha interface e sua cabeaçação estiverem, menor será a intensidade do surto recebido pela entrada da interface, e menor a possibilidade do componente se danificar.

Para proteger entradas de interfaces a relés e outros equipamentos que podem estar sujeitos a surtos (pulsos de tensão), devemos proteger estas linhas de alimentação com DPS, **dispositivos de proteção contra surtos**, que caso exista um surto, este dispositivo atua não deixando passar este para a entrada da interface a relé, A Finder não trabalha com DPS's e caso o projetista precise ele deve entrar em contato com empresas que trabalham com este tipo de componente, pois existem vários tipos e cada modelo para determinados níveis de surtos. **O correto e o recomendável** é que todo projeto em qualquer área da eletricidade, tenha além da preocupação com a lógica, cargas comutadas, etc, **um bom projeto também quanto a compatibilidade eletromagnética**, isto evita interferências em equipamentos, e destruição de componentes, **claro que existem locais que o uso de protetores de surto são indispensáveis**, mas um bom projeto de EMC (compatibilidade eletromagnética), evita problemas de confiabilidade e diminui custo, pois usa menos dispositivos como os DPS's.

### **12- Por que em tensões de bobina DC a nossa linha de produtos usa somente módulos a diodos e quase não há opções a varistor?**

R- Diodos e varistores **não** cortam a tensão reversa vinda da carga indutiva (neste caso a bobina do nosso relé), da mesma maneira. O diodo somente faz circular pela bobina a corrente gerada pela tensão reversa até que esta corrente chegue a zero e a energia é dissipado na própria resistência da bobina do relé, já o varistor quando atingido um certo nível de tensão de pico a resistência elétrica dele diminui e ele absorve a energia vinda da bobina.

O varistor sente esta elevação de tensão em qualquer polaridade e por isto ele pode ser utilizado tanto em DC quanto em AC, já o diodo somente conduz em uma polaridade.

A principal vantagem do diodo sobre o varistor é que ele atua mais rapidamente no corte da tensão reversa que o varistor, ou seja, quando utilizamos diodos menos tensão reversa vai para o componente que aciona o relé do que um varistor, por isto no nosso catálogo coloca que uma carga indutiva ligada a um diodo com polaridade invertida, transforma uma carga DC13 em DC1. Uma desvantagem do diodo em relação ao varistor é que ele aumenta o tempo de desexcitação da carga, ou seja, a bobina do relé, ou a válvula solenóide, etc. Apresentam um atraso para abrir.

### **13-Os varistores suportam mais surtos que diodos? Estes componentes se queimam imediatamente ou levam um certo tempo para destruição?**

R - Diodos são mais sensíveis a altas tensões que os varistores, por exemplo, o diodo retificador modelo 1N4007, usado em nossos módulos suportam 1000 Volts de tensão reversa, já os varistores suportam mais picos de tensão, mas eles também não suportam estes picos por muito tempo e se forem repetidos, pois os varistores usados em nossos módulos não podem dissipar altas energias

proveniente destes surtos. Apesar dos diodos serem mais sensíveis, para surtos de alta tensão, ambos os componentes são danificados por altos picos de tensão, a vantagem do circuito a diodo é a maior eficácia no corte da tensão reversa da bobina.

Os componentes podem se danificar tanto imediatamente quanto paulatinamente, se um diodo destes receber tensões acima de 1000 Volts com certeza ele irá se danificar imediatamente, se for pulso um pouco abaixo de 1000 Volts, ele irá suportar, mas se sempre ele receber estes surtos, com certeza haverá uma diminuição da vida do diodo, ou seja um componente que duraria muitos anos, pode vir a ser danificado em semanas ou meses.

#### **14- O projeto (topologia de circuito eletrônico) de nossos módulos são adequados a aplicação a que se destinam?**

R - Sim, são tão adequados que nossos módulos são certificados **UL**, ou seja, para conseguirmos esta certificação o módulo é ensaiado pela UL, de acordo com a norma UL e sua produção é inspecionada pela UL. A certificação UL é garantia que o projeto e produção, possui qualidade.

#### **15- Como devo proceder quando nossos clientes reclamam sobre queima de módulos?**

R - Para haver queima de módulos ou houve um surto de alta tensão na linha de alimentação ou existe um componente defeituoso, ou ainda a temperatura está acima da admitida pelos módulos. Mas antes das conclusões, os módulos defeituosos devem ser enviados a Engenharia de Produtos, com as seguintes questões respondidas, pois devemos entender, a aplicação destes :

- Para qual finalidade foi colocado no projeto os módulos de sinalização/proteção? Para proteção **contra** a bobina do relé que é o correto ou para proteção da bobina contra surtos externos?

- Quanto tempo o produto está instalado em campo e quando começou o problema?

- O que há instalado juntamente (na mesma linha de alimentação) da interface módulo/relé/base?

- Quais os lotes dos módulos queimados? A queima está ocorrendo em lotes diferentes de módulos?

- Os módulos são queimados quando é feito algum comando específico nos circuitos? Ou seja, na abertura de um disjuntor, seccionadora, algum contador, motor etc. ?

- É utilizado algum tipo de proteção contra surto, na instalação do módulo ou em instalações elétricas próximas?

#### **- Existe surtos de tensões no sistema que pode estar queimando os módulos?**

Obs.: Caso não se tenha esta informação, ou exista a dúvida se existe ou não surto, sugiro que se instale DPS's, um pouco antes das interfaces, para que

se verifique ou não a existência de surtos de alta tensão, que queimem os módulos.

### - Bibliografia

1-Eletrônica Segunda Edição

Autores: Millman/Halkias – editora Mc Graw Hill .

2-Interferências Eletromagnéticas.

Durval Sanches – Editora Interciência .

3-Análise de fourier e equações diferenciais parciais.

Djairo Guedes de Figueiredo – Projeto Euclides.

4- Artigo Simulação da difusão do zinco e oxigênio e análise da durabilidade de varistor utilizando o planejamento fatorial -

MM. Pariona , S. A. Pianaro- Universidade Estadual de Ponta Grossa

5- Artigo sobre varistores do laboratório de cerâmica da Universidade Federal de São Carlos.