

MATERIAIS ELÉTRICOS: COMPÊNDIO DE TRABALHOS**VOLUME 4****SUMÁRIO**

FORNOS ELÉTRICOS - Marlon Cestile.....	331
RELÉS - Vinicius Fritsch.....	352
DISJUNTORES - Rafael Paim	367
FUNIONAMENTO DE UM FOTOTRANSISTOR - Tiago Richter Maritan	382
LÂMPADA INCANDESCENTE - Silvio Katsuo Ogawa.....	391
SCR: RETIFICADOR CONTROLADO DE SILÍCIO - Samir de Oliveira Ferreira	408

FORNOS ELÉTRICOS

Marlon Cestile

1. Introdução

Na indústria atual, a cada dia é mais intensa a busca por materiais mais resistentes, duráveis, com qualidades peculiares. Muitas dessas características alguns materiais só conseguem pelo processo de fusão. Para cada tipo de material a ser trabalhado, fundido, há um certo tipo de forno mais recomendável. Com este trabalho está proposto um conhecimento superficial dos tipos de fornos elétricos existentes, sua composição e materiais utilizados nos mesmos.

Os tipos de fornos elétricos:

Podemos classificar os fornos elétricos em três grupos:

- Fornos a Resistência
- Fornos de Indução
- Fornos a Arco

2. FORNO A RESISTÊNCIA

Denominamos forno a resistência os fornos que utilizam o calor gerado por efeito Joule, numa determinada resistência que é atravessada por uma corrente elétrica elevada. Tais fornos não provocam oscilações na tensão da rede que os alimenta.

O material utilizado varia de acordo com aplicação do processo industrial, e podem ser de aquecimento direto e indireto.

2.1 AQUECIMENTO DIRETO

Nesse tipo de forno, o material a ser trabalhado é posicionado entre dois eletrodos e por ele atravessa-se a mesma corrente elétrica do circuito.

O emprego deste tipo de forno é muito específico, como exemplos de aplicação citamos o aquecimento de água para produção de vapor, a manutenção da temperatura de fusão do vidro a partir de um bloco de material fundido, fabricação de eletrodos de grafite utilizados em fornos de arcos, manutenção da temperatura do banho que permite a têmpera dos aços, entre outros.

2.2 AQUECIMENTO INDIRETO

Estes são os tipos mais comuns de fornos a resistência. Neste tipo, o material que será trabalhado é colocado em uma câmara isolada termicamente, e o calor a ser transferido se dá por condução, convecção e irradiação.

Na indústria este forno é muito utilizado para fusão do chumbo e alumínio.



FIGURA 1 - Forno para fabricação de vidro

2.3 MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DE FORNOS A RESISTÊNCIA

Não podemos utilizar qualquer material para a composição deste tipo de forno. Deve ser feita uma análise do material e da resistência necessária para que o forno se aplique a função que está se procurando obter. Algumas condições são apresentadas a seguir:

- Ter uma elevada temperatura de fusão (na ordem de 25% superior à temperatura de fusão do material a ser trabalhado);
- Ser resistente à corrosão na temperatura de operação;
- Ter resistividade elevada;
- Apresentar um elevado grau de dureza em altas temperaturas.

Há alguns materiais que satisfazem as condições acima citadas, assim sendo muito utilizados como resistências nos fornos, são eles:

- Nicromo V (80% Ni, 20 % Cr);
- Cromax (30%Ni, 20% Cr,50% Fe);
- Kantal (Cr, Al, Co, Fe);

Geralmente estes materiais são constituídos de fios ou fitas dispostos em forma de espiral.

As resistências podem ser ligadas em forma de circuitos monofásicos (fase-neutro ou fase-fase) ou em circuitos trifásicos (na forma estrela ou triângulo) .É preferível que seja na forma trifásica pois resulta numa menor quantidade do material resistor.

Um dado muito importante que deve ser levado em consideração na hora de escolher a seção da resistência é a carga específica superficial, que representa a maior taxa de transferência de potência cedida por unidade de superfície. Sua unidade é dada em W/cm^2 .É necessário porém uma avaliação da seção, pois quanto menor for menor será o custo, no entanto terá sua durabilidade reduzida.

TABELA 1.1 – Carga específica superficial- W/cm^2

Tipo de liga	Temperatura do forno($^{\circ}C$)						
	600	700	800	900	1000	1100	1200
80%Ni – 20%Cr	5	3.2	2.2	1.5	1.1	0.9	-
30%Ni – 20%Cr	4.6	3.0	2.0	1.4	1.0	0.8	-
20%Cr – 5% Al	8.0	5.8	4.3	3.1	2.2	1.3	-
Cr-Al-Co	3.9	3.5	3.0	2.4	1.5	-	0.8

TABELA 1.2 – Característica das ligas Cromel e Copel

Diâmetro do fio (mm)	Resistência (Ω / m)	
	80%Ni – 20%Cr	55%Cu – 45%NI
10.414	0.01269	0.005742
8.255	0.02017	0.009121
6.553	0.03205	0.014502
5.182	0.05124	0.022467
4.115	0.08136	0.036747
3.251	0.13025	0.058861

2.591	0.20506	0.092850
2.057	0.32515	0.146990
1.626	0.52102	0.235570
1.295	0.82020	0.370750
1.016	1.33210	0.602720
0.813	2.08340	0.941650
0.6426	3.3368	1.5092
0.5105	5.2791	2.3886
0.4038	8.4322	3.8158
0.3200	13.4190	6.0764
0.2540	21.3300	9.6461
0.2032	33.3350	15.0600
0.1600	53.7100	24.3120
0.1270	85.3060	38.5840
0.1143	105.3200	47.6400
0.1016	133.2100	60.2720
0.0890	174.2200	78.7400
0.0787	221.790	100.4000

Para dimensionarmos um forno de resistência de aquecimento indireto estabelecemos algumas etapas:

Etapa 1- Potência desejada do forno

A potência desejada depende do material a ser trabalhado e do tempo para o qual deseja atingir a condição de operação. No caso de materiais metálicos, podemos verificar na tabela 1.3 a energia que deve ser utilizada para elevar as suas temperaturas a um valor desejado, próximo ao de fusão.

TABELA 1.3 – Energia para elevar a temperatura dos metais (kWh/ton)

Material	Temperatura											
	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
Aço	50	60	90	120	160	175	215	225	250	260	280	295

Gusa	-	-	-	-	-	-	-	-	310	330	345	375
Al	100	140	170	300	335	370	393	-	-	-	-	-
Cu	-	57	65	76	90	100	120	135	200	215	223	235
Ag	27	38	45	50	55	60	105	110	120	127	135	140
Ni	50	60	85	100	115	140	160	180	195	220	237	333

Os números em negrito representam a energia aproximada, por tonelada, para os materiais indicados atingirem o estado de fusão.

A Eq 1.1 nos fornece a potência do forno de acordo com a quantidade de energia necessária para sua operação, e que é uma função da natureza da carga de trabalho.

$$P_f = \frac{E \times P_m}{\eta \times T}$$

Onde:

Pf = Potência do forno

η = rendimento do forno (varia de 0.6 a 0.8)

T = tempo desejado para o material atingir a sua temperatura de trabalho (em horas)

Pm = peso do material a ser trabalhado (em toneladas)

E = energia consumida no processo desejado (em kWh/t)

A seguir é apresentada uma tabela com os principais propriedades de materiais utilizados nas resistências de fornos.

Material	Composição	Resistividade $\Omega\text{-mm}^2/\text{m}$	Ponto de fusão ($^{\circ}\text{C}$)	Resistência à tração (kg/mm^2)
Nicromo	Ni-Fe-Cr	1.1221	1350	66.79
Nicromo V	Ni-Cr	1.0806	1400	70.31
Cromax	Fe-Ni-Cr	0.9975	1380	49.22
Nirex	Ni-Cr-Fe	0.9809	1395	56.25
Nilvar	Fe-Ni	0.8046	1425	49.22
Bronze comercial	Cu-Zn	0.0415	1040	26.01

Ni puro	Ni	0.0997	1450	42.18
Platina	Pt	0.1060	1773	34.00
Aço	Fe	0.0999	1535	35.15
Zinco	Zn	0.0592	419	15.47
Molibdênio	Mo	0.0569	2625	70.31
Tungstênio	W	0.0552	3410	344.542
Alumínio	Al	0.0267	660	24.61
Ouro	Au	0.0242	1063	27.00
Cobre	Cu	0.0172	1083	24.61
Prata	Ag	0.0163	960	-

Etapa 2 - Determinação do diâmetro do fio resistor

$$D_f = 34.4 \times \sqrt{\frac{\rho}{P_e} \times \left(\frac{P_{ff}}{N_p \times V} \right)}$$

Onde :

D_f = diâmetro do fio resistor (em mm);

ρ = resistividade do material resistor, em $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$;

V = tensão de suprimento, em V;

P_e = carga específica superficial do resistor, em W/cm^2 ;

P_{ff} = potência por fase do forno, em kW;

N_p = número de circuitos resistores em paralelo;

Etapa 3 - Determinação do comprimento do fio do resistor

$$L_f = \frac{R_r}{\frac{R_\Omega}{m}}$$

R_f = resistência do fio, em Ω

$R_{\frac{\Omega}{m}}$ = resistência, por unidade, do fio resistor, em Ω/m

2.4 TUNGSTÊNIO

O tungstênio (conhecido antigamente como volfrâmio ou wolfrâmio) é um elemento químico de símbolo W , número atômico 74 (74 prótons e 74 elétrons) com massa atômica 184u situado no grupo 6 da classificação periódica dos elementos. É um metal de transição que, à temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido.

Metal escasso na crosta terrestre, é encontrado em forma de óxido e de sais em certos minérios tais como wolframita e scheelita, entre outros. De cor branca acinzentada, brilhante, muito duro e denso, tem o ponto de fusão mais alto de todos os elementos.

Foi isolado em 1783 pelos irmãos José Elhuyar e Fausto Elhuyar, na Espanha, aos quais é creditada a descoberta do elemento.

O elemento apresenta o mais elevado ponto de ebulição (5657°C), a menor pressão de vapor e a mais elevada resistência a tensão em temperaturas acima de 1650°C , entre todos os metais. Seu ponto de fusão é 3680°C . Sua resistência à corrosão é excelente e só é atacado ligeiramente pela maioria dos ácidos minerais diluídos. O tungstênio, quando exposto ao ar, forma na sua superfície um óxido protetor, porém pode ser oxidado em alta temperatura. Quando adicionado em pequenas quantidades ao aço eleva consideravelmente a sua dureza.

2.4.1 OBTENÇÃO DE TUNGSTÊNIO

Os principais minérios de tungstênio (W) são o CaWO_4 , o PbWO_3 e a Wolframita $[(\text{Mn}, \text{Fe})\text{WO}_4]$. Esses minérios são encontrados principalmente na China, Estados Unidos, Burma, Malásia, Portugal e Bolívia. Os minérios são inicialmente tratados com soda, do que resulta um wolframato de sódio, e que fornece óxido de tungstênio (WO_3). Após uma secagem a 300°C , o óxido é reduzido à pó a $800 - 1000^{\circ}\text{C}$. A refrigeração deve ser efetuada em ambiente de hidrogênio. Os grãos de pó metálico serão tanto maior quanto mais elevada a temperatura e mais longo o tempo de redução. A reação química é a seguinte:



A redução do WO_3 pode ser feita também por carbono finalmente dividido quanto por monóxido de carbono (CO), aplicando a 1000 °C. Esse último processo parece menos adequado à obtenção de tungstênio para uma das suas principais aplicações, que é na fabricação de filamentos de lâmpadas. O tungstênio possui uma temperatura de fusão muito elevada, da ordem de 3300 a 3400 °C. Esse fato dificulta extremamente, ou mesmo impossibilita, sua fusão, fazendo com que geralmente seja usado o processo da sintetização dos pós.

A fabricação do pó de tungstênio a nível industrial pode ser feita além do trióxido de tungstênio (WO_3), por ácido tungstico (H_2WO_4) ou por óxido azul (TBO), reduzidos por hidrogênio em fornos resistivos rotativos ou formato parafuso. O processo convencional de obtenção de pó de W é mostrado na figura 2. O monitoramento de alguns parâmetros desse processo, tais como temperatura, fluxo de H_2 e granulometria do produto inicial permiti-nos obter pós com as características controladas.

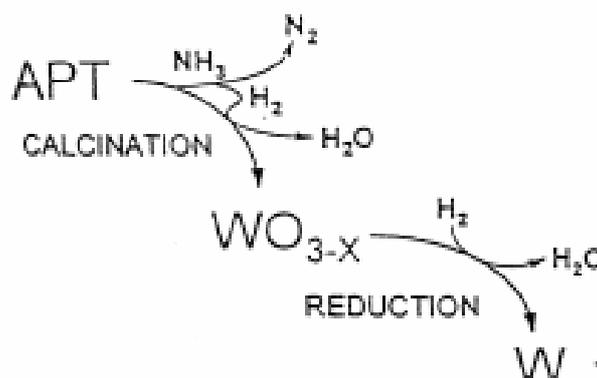


FIGURA 2 - Processo convencional de redução por H_2 Jiqiao.

O grau de finura das partículas está associado ao processo de fabricação. Segundo Chiaverini (partículas de tungstênio, ou seja, quanto mais fino esse óxido, mais fino será o pó de tungstênio resultante. Ainda segundo Jiqiao a finura e homogeneidade do pó de W tornam-se fator chave na produção do pó de tungstênio. De acordo com este ponto de vista, a escolha adequada das condições de redução do óxido de tungstênio tornou-se mais e mais importante para o processo convencional de redução.

Vários estudos sob a produção de W foram realizados e indicam a importância das propriedades e tamanho de partículas da matéria-prima de redução. Estes estudos revelem que para baixa razão de pressões parciais p_{H_2}/p_{H_2O} as reações de

redução ocorrem em atmosferas próximas ao do equilíbrio termodinâmico, significando portanto, baixa taxa de nucleação e conseqüentemente, grandes cristais serão produzidos. Haubner verificou que cada átomo de tungstênio é transportado durante a redução na forma gasosa WO_2 (OH)₂ e que, quanto mais curto for esse caminho, mais finos são os cristais formados.

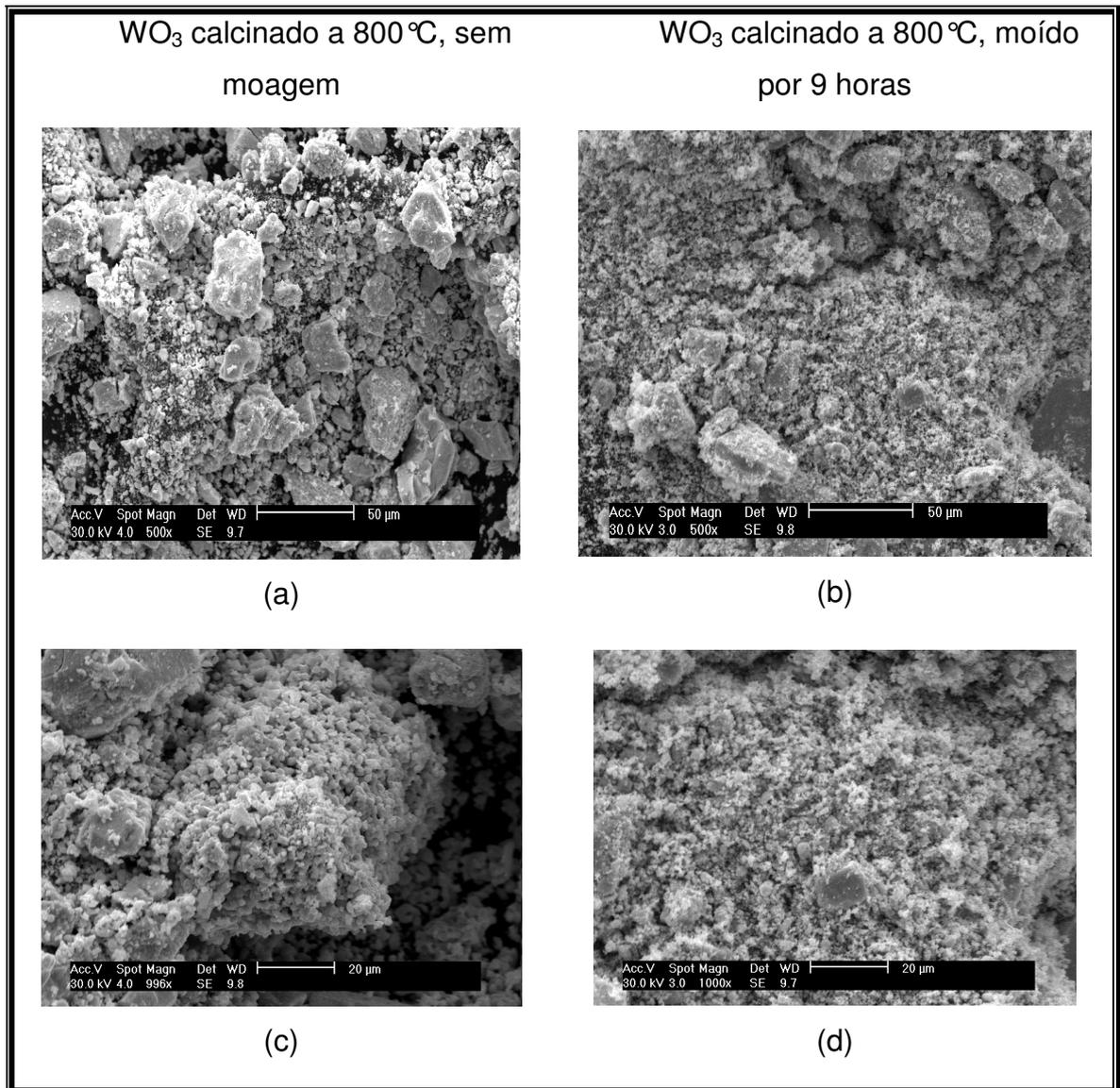


FIGURA 3 – (a) e (c) micrografia do WO₃ obtido da calcinação do APT sem moagem;(b) e (d) micrografia do WO₃ obtido da calcinação do APT com moagem por 9h.

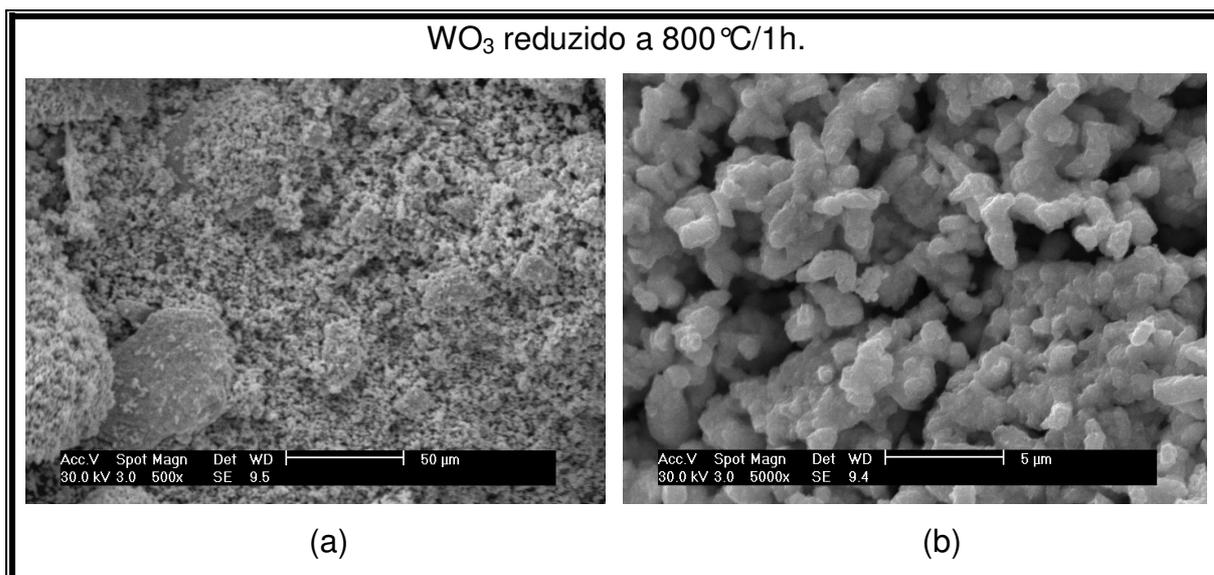


Figura 4 – Micrografia do WO_3 reduzido a $800^\circ\text{C}/1\text{h}$ em atmosfera de H_2 .(a) aumento de 500x; (b) aumento de 5000x.

3. FORNOS DE INDUÇÃO

São os tipos de fornos que utilizam corrente de Foucault para produzir ou manter a fusão de um determinado metal encerrado dentro de um recipiente isolado termicamente por material refratário e envolvido por uma bobina indutora.

Os fornos de indução operam basicamente como um transformador, no qual o primário representa a bobina de indução e o secundário, em curto circuito, equivale à carga metálica de trabalho. As bobinas de indução são geralmente fabricadas de cabos tubulares de cobre eletrolítico, dentro dos quais circula o meio refrigerante(normalmente água tratada).

Uma grande vantagem do forno de indução é o fato de se poder transferir para a carga de trabalho uma potência elevada de operação, sem que isso provoque fenômenos químicos externos que, combinados, modifiquem as características do material processado.

O rendimento dos fornos de indução varia conforme alguns fatores,dentre eles a geometria do circuito indutivo e do material processado,as características elétricas e térmicas da carga,a intensidade do campo magnético da bobina de indução, a freqüência de operação do circuito indutivo, a resistividade do material da carga e suas perdas magnéticas.Mais do que isto,o rendimento também está associado diretamente a profundidade de penetração das correntes das correntes induzidas no material da carga.Quanto maior for a freqüência do circuito indutivo, menor é a

penetração das correntes de Foucault na carga processada. Além destes, o rendimento é maior para cargas compostas de materiais ferromagnéticos do que para materiais diamagnéticos e paramagnéticos.

As tensões de operação das bobinas de indução variam de 60 a 600 V, dependendo da regulação que se deseja.

Os fornos de indução são geralmente monofásicos, sendo as bobinas de indução ligadas entre duas fases de um circuito trifásico, provocando assim inevitavelmente um desequilíbrio de corrente no sistema alimentador.

Há três tipos diferentes de fornos de indução, cada um com uma aplicação específica, ou seja:

- Forno de indução a canal
- Forno de indução de cadinho
- Forno de indução para aquecimento de tarugos

3.1 FORNOS DE INDUÇÃO A CANAL

Este tipo de forno é constituído por um ou mais recipientes isolados termicamente, em torno dos quais se constrói uma carcaça metálica dentro da qual se deposita a carga de trabalho. Em comunicação direta com o recipiente há um canal construído na parte inferior, em forma circular, cheio do material fundido da própria carga. No interior do mesmo são colocadas as bobinas de indução envolvendo um núcleo magnético, submetido, em geral, por uma tensão à frequência industrial.

Os fornos de indução a canal têm aplicação na manutenção da temperatura de metais já fundidos por outro forno ou por outro meio. Também são muito empregados na fusão de cobre, alumínio, zinco, bronze e etc.

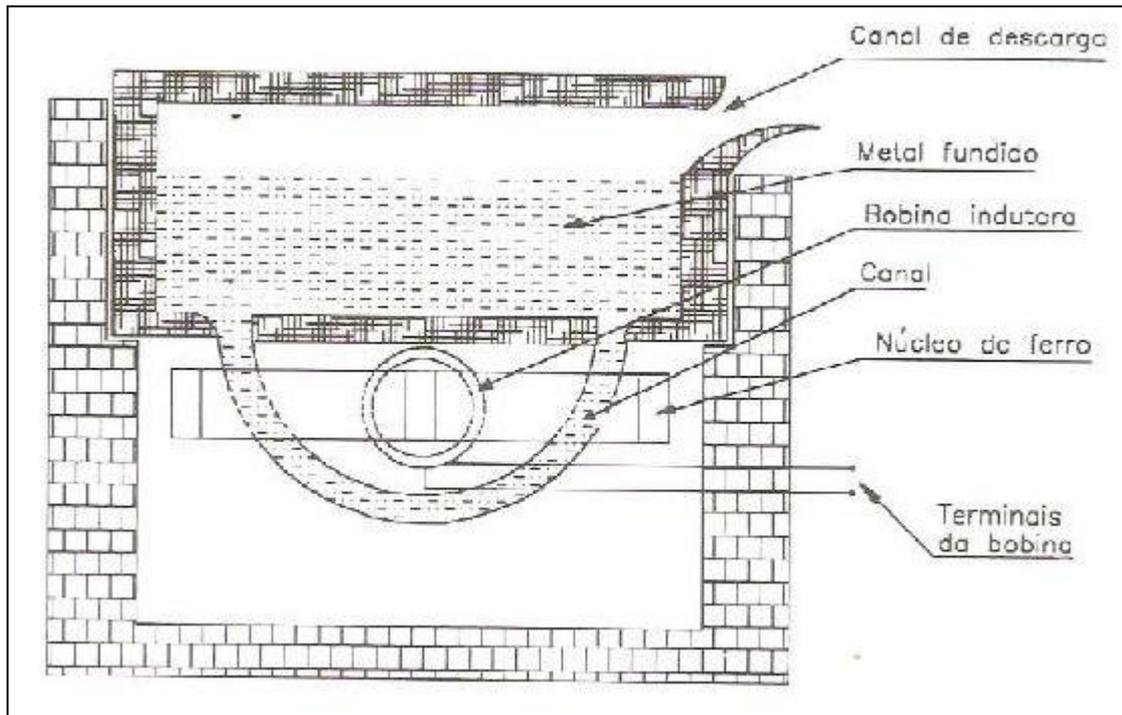


FIGURA 5 - Forno a canal

3.2 FORNOS DE INDUÇÃO DE CADINHO

É constituído de um recipiente circular, isolado termicamente envolvido por uma bobina de indução e dentro do qual se deposita o material de trabalho. Muito empregados na fusão do cobre, bronze, aço inox e etc.

Ao operar em baixas frequências provoca-se uma movimentação intensa na massa fundida do metal, devido às forças eletrodinâmicas das bobinas de indução, resultando num efeito benéfico ao processo, pois homogeniza o banho.

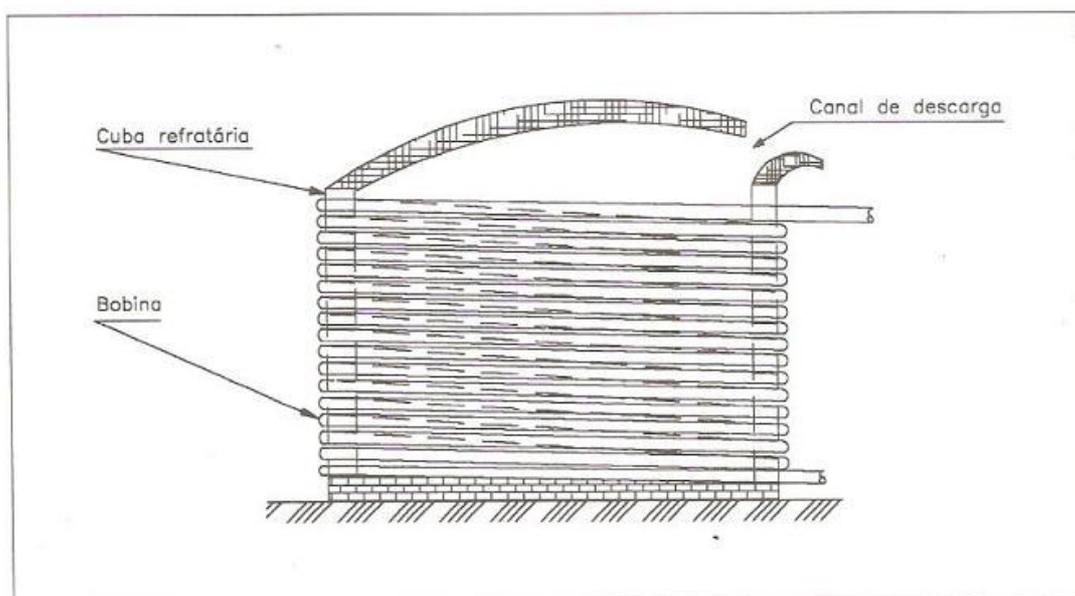


FIGURA 6 - Forno de indução a cadinho.

3.3 Fornos de indução para aquecimento de tarugos

Este tipo de forno é constituído de várias bobinas circulantes, instaladas no interior do material refratário, através das quais é introduzida a carga. É empregado particularmente nas indústrias siderúrgicas destinadas a fabricação de ferro para construção civil.

As bobinas que constituem o indutor podem ser de dimensionamentos diferentes, a fim de manterem a temperatura no material de trabalho dentro de condições adequadas de processo.

Os fornos de indução para aquecimento de tarugos são constituídos basicamente de um conversor de frequência para permitir uma frequência compatível com o processo desejado, um banco de capacitores, sistema de refrigeração das bobinas de indução e o conjunto de bobinas indutoras.

4. Fornos a arco

São assim chamados pois utilizam propriedades do arco elétrico para produzirem a fusão dos metais mantidos dentro de uma cuba isolada termicamente por material refratário. Eles são muito empregados nas indústrias destinadas à fusão do ferro e aço, além de outros materiais tais como cobre, latão, bronze, e outras ligas metálicas.

O arco elétrico é formado pela passagem de uma corrente entre dois eletrodos, tendo como meio ionizado geralmente o ar.

Eles são subdivididos em 3 tipos:

- Arco submerso ou arco-resistência
- Arco indireto
- Arco direto

Os fornos a arco são fontes permanentes de poluição ambiental, tal é a quantidade de gases e material sólido expelidos para a atmosfera. A poeira lançada para o meio ambiente é constituída, em sua maioria, por óxidos (CaO, MnO, SiO e Fe₂O₃), e chega a atingir em média 11kg/t de carga, correspondendo percentualmente a marca de 1,1% da poluição.

4.1 FORNOS A ARCO SUBMERSO

É composto por uma cuba revestida de material refratário dentro do qual operam eletrodos submersos na massa da carga de trabalho. São muito aplicados à produção de diversas ligas de ferro que dependendo da sua composição, consomem uma quantidade de energia compreendida entre 3000 e 6000 kWh/t, podendo atingir ainda valores superiores. São empregados também na manutenção do estado líquido da gusa ou aço oriundo de outros tipos de fornos. Este tipo de forno não apresenta distúrbios no sistema alimentador.

4.2 FORNOS A ARCO INDIRETO

Nesta espécie de forno há uma cuba revestida do material refratário dentro do qual operam eletrodos fixados horizontalmente num ponto acima da carga de trabalho. O arco é mantido entre os eletrodos, e a energia térmica atinge a carga através dos fenômenos de irradiação e convecção. São pouco utilizados e suas aplicações destinam-se a fusão de materiais não-ferrosos.

4.3 FORNOS A ARCO DIRETO

Estes fornos são constituídos por uma cuba revestida de material refratário dentro da qual operam os eletrodos posicionados verticalmente acima da carga de trabalho. Sua aplicação especificamente está voltada para a fusão de sucata de ferro e aço dirigida à fabricação de lingotes que, após laminados, se convertem em

vergalhões utilizados na construção civil e em barras de espessuras e tamanhos variados. Aplica-se também no superaquecimento e manutenção da temperatura de banhos de metais líquidos provenientes de outros fornos.

Os fornos de arco direto em geral são trifásicos, seu funcionamento baseia-se na formação de um arco entre os eletrodos e a carga. A operação se inicia com a ignição do arco e termina aproximadamente duas horas e meia depois, quando a carga é vazada da cuba refratária. Este processo de operação pode ser dividido em dois ciclos, o primeiro caracteriza-se pelo constante movimento da massa sólida a ser fundida; ocasionando variações de correntes motivadas pela instabilidade do arco. Ocorrem cerca de 600 a 1000 curto circuitos e o período dura aproximadamente 50 minutos. É a parte mais crítica do regime de operação do forno. O segundo ciclo, comumente chamado de refino, é caracterizado por uma melhor estabilidade do arco devido ao estado líquido que a carga adquiriu. Neste ciclo, as flutuações de tensão são de menor intensidade, resultando num regime de operação mais favorável.

A operação do forno em curto-circuito é caracterizada quando a queda de tensão no arco é nula, isto é, os eletrodos estão diretamente em contato com a carga metálica. A potência ativa absorvida pelo forno neste ciclo é praticamente nula. O forno absorve somente potência reativa.

Partes físicas de um forno a arco direto:

4.3.1 CUBA REFRATÁRIA

É constituída de um recipiente de aço de grande espessura, isolada termicamente por materiais refratários compostos à base de argila, dentro da qual é depositada a carga de trabalho. Na parte superior da cuba há uma tampa onde estão os eletrodos. A tampa geralmente tem formato côncavo, é constituída de aço revestido internamente por uma camada de material refratário.

Tanto a cuba quanto a tampa possuem são resfriadas através de um sistema de refrigeração cujo meio circulante é água.

4.3.2 ELETRODOS

Os eletrodos são constituídos de um bloco cilíndrico de grafite de comprimento variáveis de acordo com a capacidade do forno. Com o uso ocorre um desgaste do mesmo, seu comprimento é reduzido, sendo necessário fazer uma emenda apropriada. Os eletrodos de grafite apresentam uma densidade de corrente máxima de $40\text{A}/\text{cm}^2$.

4.3.3 TRANSFORMADOR

Este equipamento é de fabricação especial, sendo imerso em óleo mineral e refrigerado por água. Deve suportar elevadas solicitações eletrodinâmicas. São trifásicos tendo o primário ligado em estrela e o secundário em delta.

4.3.4 CABOS FLEXÍVEIS

São condutores de cobre anular resfriados a água e fazem a conexão entre as barras fixas, ligando o secundário do transformador ao forno.

4.3.5 DISJUNTOR DE FORNO

É o equipamento de proteção do transformador do forno. Possui elevada capacidade de ruptura. São de ar comprimido ou a vácuo.

5. REFRATARIOS

O que muitas vezes encarece um forno elétrico é a troca periódica de seu refratário. Os materiais cerâmicos são utilizados nos refratários devido as suas propriedades que o fazem resistir a elevadas temperaturas sem se fundir. Além da capacidade de proporcionar isolamento térmico.

O desempenho de uma cerâmica refrataria depende de sua composição. Eles podem ser classificados como argila refratária, sílica, básica, e refratários especiais.

A porosidade é uma variável microestrutural que deve ser controlada para produzir um tijolo refratário adequado. A resistência, a capacidade de suportar uma carga e a resistência ao ataque de por materiais corrosivos aumentam em função de uma redução na porosidade. Ao mesmo tempo as características de isolamento térmico são diminuídas. Obviamente, a porosidade ótima depende das condições de serviço.



FIGURA 7 - Cadinho de forno elétrico

5.1 ARGILAS REFRAATÁRIAS

Os principais ingredientes das argilas refratárias são argilas refratárias de alta pureza, misturas de alumina e sílica contendo geralmente 25 a 45% de alumina. De acordo com o diagrama de fases para o $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, ao longo de uma faixa de composições a maior temperatura possível sem que ocorra a formação de uma fase líquida é de 1587°C . Durante o uso em serviços refratários, a presença de uma pequena quantidade de fase líquida pode ser permitida sem que haja um comprometimento da integridade mecânica. Acima de 1587°C , a fração de fase líquida presente dependerá da composição do refratário.

Os tijolos de argila refratária são usados nos fornos para confinar atmosferas quentes e para isolamento térmico de membros estruturais contra temperaturas excessivas. Para os tijolos de argila refratária, a resistência não é habitualmente uma consideração importante, uma vez que habitualmente não é exigido o suporte de cargas estruturais.

5.2 REFRAATÁRIOS A BASE DE SÍLICA

Seu ingrediente principal como o próprio nome já diz é a sílica. Esses materiais são bastante conhecidos pela sua capacidade de suportar cargas a altas temperaturas, são comumente utilizados nos tetos em arco de fornos para a fabricação de aços e vidros, podem atingir até 1650°C . Nessas condições, uma pequena fração de tijolo existirá fase líquida. A presença mesmo em pequenas concentrações de alumina tem uma influência negativa sobre o desempenho desses materiais refratários, pois a cerca de 1600°C pequenas adições de Al_2O_3 pode fazer

com que haja quantidades significativas de líquidos em temperaturas acima de 1600°C. Assim o teor de alumina deve ser mantido o mínimo possível.

Estes materiais também são resistentes a escórias ricas em sílica (conhecidas como escórias ácidas) e são usados com frequência como vasos de contentação para tal. Por outro lado eles são facilmente atacados por escórias que contém uma proporção elevada de CaO e MgO (escórias básicas).

5.3 REFRAATÓRIOS BÁSICOS

São os refratários ricos em periclásio, ou Magnesita (MgO). Eles podem conter também compostos de cálcio, cromo e ferro. A presença de sílica é prejudicial ao desempenho desses materiais a altas temperaturas. Estes refratários são especialmente resistentes ao ataque por escórias que contém concentrações elevadas de CaO e MgO. São muito utilizados para fornos de fabricação de aço.

5.4 REFRAATÓRIOS ESPECIAIS

Existem alguns materiais cerâmicos que são consistem em óxidos com pureza relativamente alta, muitos dos quais podem ser produzidos com pouca porosidade. Neste grupo estão inclusos a alumina, sílica, Magnesita, berília (BeO), zircônia (ZrO) e mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). Outros materiais incluem compostos a base de carbetos, além carbono e da grafita. O carbetos de Silício (SiC) tem sido usado para fabricar elementos de aquecimento por resistência elétrica, como os materiais usados em cadinhos e em componentes internos do forno. O carbono e a grafita refratários, porém sua aplicação é limitada pelo fato de sua suscetibilidade a oxidação quando expostos a temperaturas superiores a aproximadamente 800°C. Como esperado esses materiais refratários especiais são relativamente caros.

6. CONCLUSÃO

O estudo dos fornos elétricos se faz necessário para o ramo da engenharia não apenas como complemento bibliográfico, mas para que os acadêmicos possam conhecer os diversos tipos de fornos e seus funcionamentos, durante sua experiência profissional é importante que tenha conhecimento sobre tal assunto para a elaboração de projetos industriais que venham a fazer. Saber também que periodicamente os refratários devem ser trocados para que não desgastem e façam reações com os materiais que estão sendo trabalhados neste forno. Muitos

fenômenos de anomalias peças de diversos tipos de materiais pode ser explicado por um profissional da área de matérias investigando o processo de fabricação e obtenção do mesmo, ligando assim diretamente o estudo de fornos elétricos, que é utilizado para fundir inúmeros matérias, proporcionando características peculiares a cada material utilizado na indústria atual.

7. CURIOSIDADE

Em uma Indústria de vidros de São Paulo, verificou-se que os vidros ali produzidos estavam apresentando defeitos de corda. Iniciaram-se os estudos para descobrir porque o fenômeno estava ocorrendo tão freqüentemente nos exemplares da fábrica. Foram feitos estudos e micrografias dos vidros como pode se verificar na figura 8. Toda a parte de simulação do forno foi reestudada e analisada a composição e estado do material refratário do forno. Foi possível notar que houve um transporte de massa de SiO_2 para o vidro. Assim ao final do estudo pode-se comprovar que o refratário estava se degradando e reagia com o vidro quando o mesmo estava sendo fundido.



FIGURA 8 – Micrografia de um vidro que estava apresentando defeitos (defeitos de cordas).



FIGURA 9 - Cadinho atacado pelo vidro



FIGURA 10 - Cadinho atacado pelo vidro

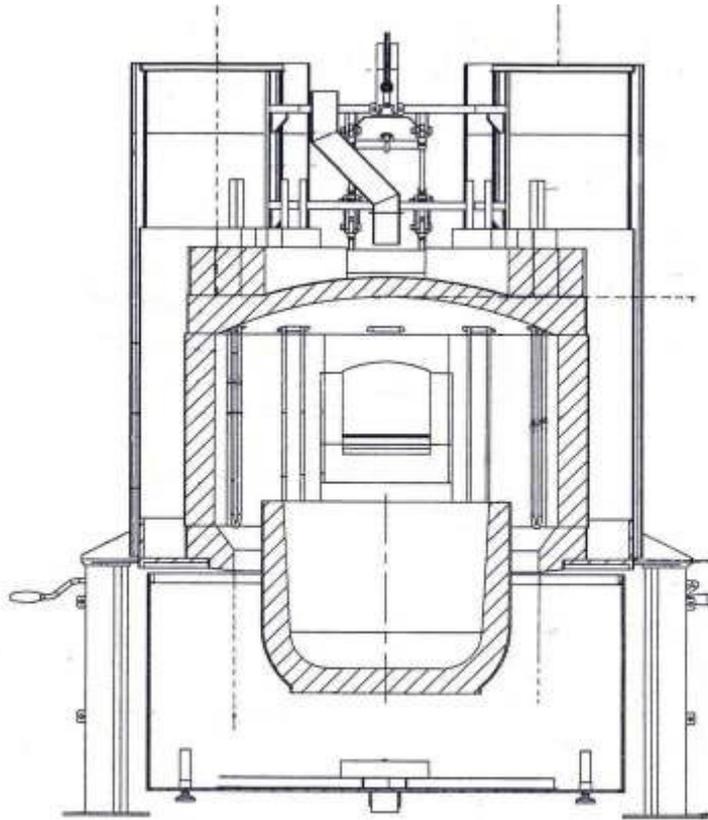


FIGURA 11 - Vista em corte do forno da fábrica

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MAMEDE, João Filho. Instalações elétricas Industriais. LTC, 5ªed., Rio de Janeiro - RJ, 1997.

CALLISTER Jr, Willian D. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais, LTC, Rio de Janeiro - RJ, 2006.

ROUSE, Maurício Radino. Análise e Simulação de forno elétrico de fusão de vidro. USP. São Paulo-SP, 2006

TUNGSTÊNIO. Disponível em www.tabela.oxigenio.com. Acesso em 23/05/2009.

RELÉS

Vinicius Fritsch

1. INTRODUÇÃO

Relé é um dispositivo eletro-mecânico ou não, com inúmeras aplicações possíveis em comutação (acionamento/desligamento) de contatos elétricos. Servindo para ligar ou desligar dispositivos elétricos e eletrônicos. É normal o relé estar ligado a dois circuitos. No caso do Relé eletro-mecânico, a comutação é realizada alimentando-se a bobina do mesmo. Quando uma corrente originada no primeiro circuito passa pelo dispositivo, um campo eletromagnético é gerado, acionando o relé e possibilitando o funcionamento do segundo circuito. Sendo assim, uma das vantagens do relé é utilizar-se de baixas correntes para o comando no primeiro circuito, protegendo o operador das possíveis altas correntes que irão circular no segundo circuito.

Os tipos de relés existentes e suas aplicações tem uma grande diversidade em várias áreas como no setor energético por exemplo, um dos principais nichos do mercado de relés. Ao contrário do que a grande maioria das pessoas pensam, os relés não se limitam ao uso em veículos. Pelo contrário, são largamente utilizados na indústria, desde o processo de automação até os produtos fabricados para uso em residências e comércios. Os primeiros computadores utilizavam relés para implementar funções booleanas. Na figura 1 observamos a foto de um relé aberto.

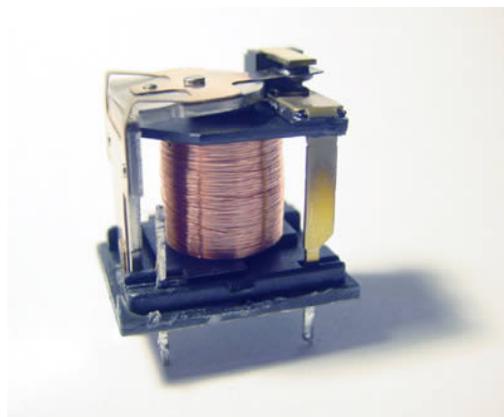


FIGURA 1 - Um relé aberto

Neste trabalho, vamos entender como funcionam os relés, saber onde eles são utilizados e também estudar os materiais utilizados na sua construção.

2. CONSTRUÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UM RELÉ

Os relés são dispositivos simples e possuem quatro partes:

- **eletroímã**
- **armadura** que pode ser atraída pelo eletroímã
- **mola**
- **conjunto de contatos elétricos**

O relé é formado por dois circuitos completamente independentes. O primeiro está na parte inferior e funciona com o eletroímã. Neste circuito, um switch controla a potência do eletroímã. Quando o switch está ligado, o eletroímã é ativado e atrai a armadura (azul). A armadura funciona como um switch no segundo circuito. Quando o eletroímã está energizado, a armadura completa o segundo circuito e a luz se acende. Quando o eletroímã não está energizado, a mola puxa a armadura e o circuito não se completa. Neste caso, a luz não acende.

Quando você adquire um relé, você pode controlar diversas variáveis.

- a voltagem e corrente necessárias para ativar a armadura;
- a voltagem e corrente máximas que a armadura e contatos da armadura podem suportar;
- o número de armaduras (geralmente, uma ou duas);
- o número de contatos da armadura; geralmente, um ou dois (o relé do exemplo tem dois, mas um não é utilizado);
- se o contato (caso exista apenas um contato) está **normalmente aberto (NA)** ou **normalmente fechado (NF)**.

Os relés são dispositivos comutadores eletromecânicos. A estrutura simplificada de um relé é mostrada na figura 1 e a partir dela explicaremos o seu princípio de funcionamento.

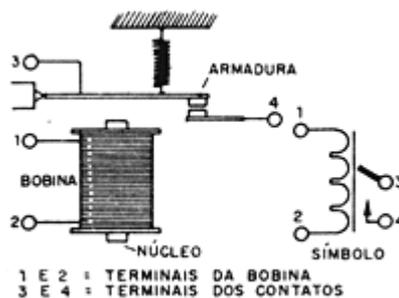


FIGURA 1

FIGURA 2 – desenho bidimensional de um relé

Nas proximidades de um eletroímã é instalada uma armadura móvel que tem por finalidade abrir ou fechar um jogo de contatos. Quando a bobina é percorrida por uma corrente elétrica é criado um campo magnético que atua sobre a armadura, atraindo-a. Nesta atração ocorre um movimento que ativa os contatos, os quais podem ser abertos, fechados ou comutados, dependendo de sua posição, conforme mostra a figura 2.

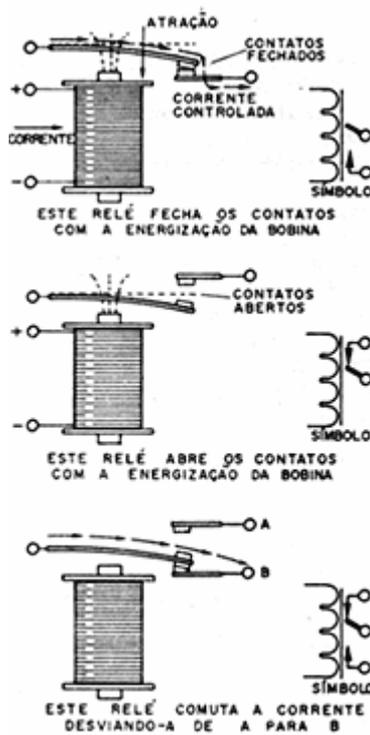


FIGURA 2

FIGURA 3 – chaveamento de um relé

Isso significa que, através de uma corrente de controle aplicada à bobina de um relé, podemos abrir, fechar ou comutar os contatos de uma determinada forma,

controlando assim as correntes que circulam por circuitos externos. Quando a corrente deixa de circular pela bobina do relé o campo magnético criado desaparece, e com isso a armadura volta a sua posição inicial pela ação da mola.

Os relés se dizem energizados quando estão sendo percorridos por uma corrente em sua bobina capaz de ativar seus contatos, e se dizem desenergizados quando não há corrente circulando por sua bobina.

A aplicação mais imediata de um relé com contato simples é no controle de um circuito externo ligando ou desligando-o, conforme mostra a figura 3. Observe o símbolo usado para representar este componente.

Quando a chave S1 for ligada, a corrente do gerador E1 pode circular pela bobina do relé, energizando-o. Com isso, os contatos do relé fecham, permitindo que a corrente do gerador E2 circule pela carga, ou seja, o circuito controlado que pode ser uma lâmpada.

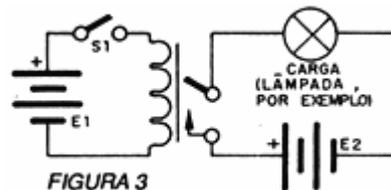


FIGURA 3

FIGURA 4

Para desligar a carga basta interromper a corrente que circula pela bobina do relé, abrindo para isso S1.

Uma das características do relé é que ele pode ser energizado com correntes muito pequenas em relação à corrente que o circuito controlado exige para funcionar. Isso significa a possibilidade de controlarmos circuitos de altas correntes como motores, lâmpadas e máquinas industriais, diretamente a partir de dispositivos eletrônicos fracos como transistores, circuitos integrados, fotoresistores etc.

A corrente fornecida diretamente por um transistor de pequena potência da ordem de 0,1A não conseguiria controlar uma máquina industrial, um motor ou uma lâmpada, mas pode ativar um relé e através dele controlar a carga de alta potência. (figura 4)

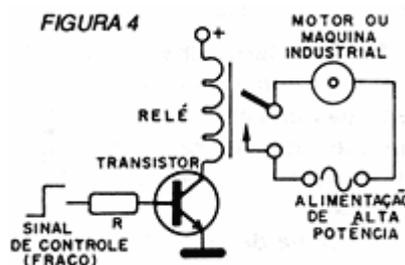


FIGURA 5

Outra característica importante dos relés é a segurança dada pelo isolamento do circuito de controle em relação ao circuito que está sendo controlado. Não existe contato elétrico entre o circuito da bobina e os circuitos dos contatos do relé, o que significa que não há passagem de qualquer corrente do circuito que ativa o relé para o circuito que ele controla.

Se o circuito controlado for de alta tensão, por exemplo, este isolamento pode ser importante em termos de segurança.

Do mesmo modo, podemos controlar circuitos de características completamente diferentes usando relés: um relé, cuja bobina seja energizada com apenas 6 ou 12V, pode perfeitamente controlar circuitos de tensões mais altas como 110V ou 220V. O relé que tomamos como exemplo para analisar o funcionamento possui uma bobina e um único contato que abre ou fecha.

3. APLICAÇÕES DOS RELÉS

O objetivo do relé é utilizar pequena quantidade de energia eletromagnética (proveniente, por exemplo, de um pequeno interruptor ou circuito eletrônico simples) para mover uma armadura que pode gerar uma quantidade de energia muito maior. Por exemplo, você pode usar 5 volts e 50 miliamperes para ativar o eletroímã e energizar uma armadura que suporta 120V AC em 2 ampéres (240 watts).

Os relés são comuns em eletrodomésticos, geralmente quando existe um controle eletrônico que liga algo como um motor ou uma lâmpada. Eles também são muito comuns em carros, onde a fonte de energia de 12V significa que quase tudo no carro precisa de uma grande quantidade de corrente. Nos modelos mais novos, os fabricantes combinam os painéis de relés na caixa de fusíveis para facilitar a manutenção. As seis caixas cinzas nesta foto da caixa de fusíveis do Ford Winstar são relés.



FIGURA 6 - Caixa de fusíveis do Ford Winstar.

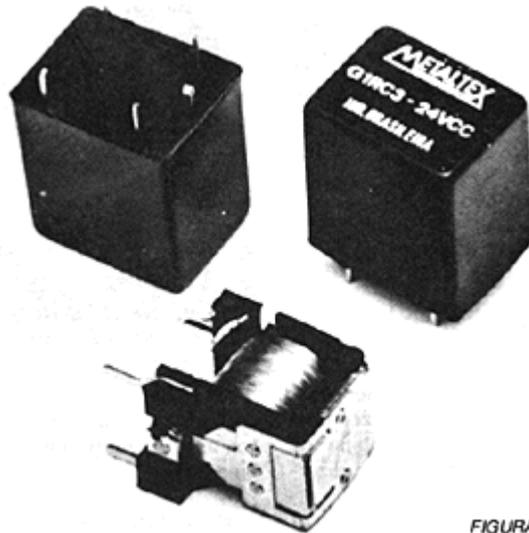
Em lugares onde se precisa de uma grande quantidade de energia, os relés são ligados em **cascata**. Neste caso, um pequeno relé energiza um relé maior e este último aciona a energia suficiente para realizar o trabalho.

Os relés também podem ser utilizados para implementar a lógica booleana.

O que determina a utilização de um relé numa aplicação prática são suas características. O entendimento dessas características é fundamental para a escolha do tipo ideal.

A bobina de um relé é enrolada com um fio esmaltado cuja espessura e número de voltas são determinados pelas condições em que se deseja fazer sua energização.

A intensidade do campo magnético produzido e, portanto, a força com que a armadura é atraída depende tanto da intensidade da corrente que circula pela bobina como do número de voltas que ela contém. Por outro lado, a espessura do fio e a quantidade de voltas determinam o comprimento do enrolamento, o qual é função tanto da corrente como da tensão que deve ser aplicada ao relé para sua energização, o que no fundo é a resistência do componente. Todos estes fatores entrelaçados determinam o modo como a bobina de cada tipo de relé é enrolada. De um modo geral podemos dizer que nos tipos sensíveis, que operam com baixas correntes, são enroladas milhares ou mesmo dezenas de milhares de voltas de fioesmaltados extremamente finos, alguns até mesmo mais finos que um fio de cabelo.

**FIGURA 7**

As armaduras dos relés devem ser construídas com materiais que possam ser atraídos pelos campos magnéticos gerados, ou seja, devem ser de materiais ferromagnéticos e montadas sobre um sistema de articulação que permita sua movimentação fácil, e retorno à posição inicial quando o campo desaparece.

Peças flexíveis de metal, molas ou articulações são alguns dos recursos que são usados na montagem das armaduras.

A corrente máxima que os relés podem controlar depende da maneira como são construídos os contatos. Além disso existe o problema do faiscamento que ocorre durante a abertura e fechamento dos contatos de relé, principalmente no controle de determinado tipo de carga (indutivas).

O material usado deve então ser resistente, apresentar boa capacidade de condução de corrente e, além disso, ter um formato próprio, dependendo da aplicação a que se destina o relé.

Dentre os materiais usados para a fabricação dos contatos podemos citar o cobre, a prata e o tungstênio. A prata evita a ação de queima provocada pelas faíscas, enquanto os contatos de tungstênio evitam a oxidação. O número de contatos e sua disposição vai depender das aplicações a que se destinam os relés.

4. COMO FUNCIONA UMA ELETROÍMÃ

A idéia básica por trás de um eletroímã é extremamente simples: ao passar uma corrente elétrica por um fio, é possível criar um campo magnético.

Usando este princípio simples, é possível criar todos os tipos de coisas, incluindo motores, solenóides, cabeçotes de leitura/gravação para discos rígidos e toca-fitas, alto-falantes e outras coisas mais.

4.1 ÍMÃ COMUM

Antes de falar sobre os eletroímãs, vamos falar sobre os ímãs normais e "permanentes" como os que colocamos na geladeira e com os quais você provavelmente brincava quando criança.

Os ímãs têm 2 lados, normalmente marcados com "norte" e "sul", e eles atraem coisas feitas de ferro ou aço. Provavelmente você sabe a lei fundamental de todos os ímãs: os lados opostos se atraem e os iguais se repelem. Por isso, se tiver 2 barras de ímã com extremidades marcadas "norte" e "sul", a extremidade norte de um ímã irá atrair a extremidade sul do outro. Por outro lado, a extremidade norte de um ímã irá repelir a extremidade norte do outro (e de maneira semelhante, a sul de um irá repelir a sul do outro).

Um eletroímã é muito semelhante, exceto pelo fato de que é "temporário", ou seja, o campo magnético só existe quando a corrente elétrica está passando.

4.2 ELETROÍMÃ

Um eletroímã começa com uma pilha ou bateria (ou alguma outra fonte de energia) e um fio. O que a pilha produz são os elétrons.

Se você olhar qualquer pilha D (uma pilha de lanterna, por exemplo), dá para ver que há duas extremidades, uma marcada com um sinal de mais (+) e outra marcada com o sinal de menos (-). Os elétrons estão agrupados na extremidade negativa da pilha e, podem fluir para a extremidade positiva, com o auxílio de um fio. Se você conectar um fio diretamente entre os terminais positivo e negativo de uma pilha, três coisas irão acontecer:

- **os elétrons irão fluir** do lado negativo da pilha até o lado positivo o mais rápido que puderem;
- **a pilha irá descarregar** bem rápido (em questão de minutos). Por esse motivo, não costuma ser uma boa idéia conectar os 2 terminais de uma pilha

diretamente um ao outro, normalmente, você conecta algum tipo de carga no meio do fio. Essa carga pode ser um motor, uma lâmpada, um rádio;

- **um pequeno campo magnético é gerado** no fio. É esse pequeno campo magnético que é a base de um eletroímã.

4.3 CAMPO MAGNÉTICO

A idéia de campo magnético pode ter lhe surpreendido, mas ele, definitivamente, existe em todos os fios que transportam eletricidade. Dá para provar isso com um experimento. Você vai precisar de:

- uma **pilha AA, C ou D**;
- um pedaço de fio; se não tiver um fio na sua casa, compre um carretel de fio de cobre fino isolado em uma loja de equipamentos eletrônicos ou de ferragens perto da sua casa. Um fio como o de telefone é perfeito, basta você cortar a capa de plástico e vai encontrar 4 fios lá dentro;
- uma **bússola**.

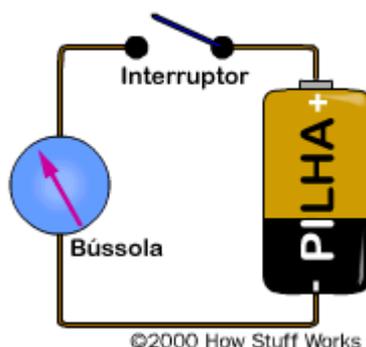
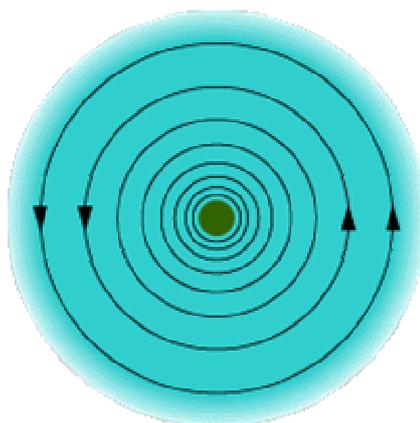


FIGURA 8

Coloque a bússola sobre a mesa e, com o fio perto da bússola, conecte, por alguns segundos, o fio entre as extremidades positiva e negativa da pilha. O que você vai perceber é que a agulha da bússola se desloca. Inicialmente, a bússola irá apontar para o pólo norte da Terra, como mostrado na figura à direita (lembre-se que dependendo da sua posição no planeta, a agulha não ficará como a da nossa figura.). Ao conectar o fio à pilha, a agulha da bússola oscila, visto que essa agulha é um pequeno ímã com um pólo norte e um pólo sul. Considerando que a agulha é pequena, ela é sensível a campos magnéticos pequenos. Então, o campo magnético criado no fio, pelo fluxo de elétrons, afeta a bússola.

4.4 BOBINA

A figura abaixo mostra o formato do campo magnético ao redor do fio. Nessa figura, imagine que você cortou o fio e está olhando para ele a partir de sua ponta. O círculo verde na figura é o corte transversal do fio. Um campo magnético circular se desenvolve ao redor do fio, como mostrado pelas linhas circulares na ilustração abaixo. O campo fica mais fraco conforme se afasta do fio (as linhas de campo ficam mais afastadas umas das outras conforme se distanciam do fio). É possível ver que o campo é perpendicular ao fio e que o sentido do campo depende do sentido da corrente no fio. A agulha da bússola se alinha com esse campo. Usando o dispositivo que você criou na seção anterior, se você inverter as ligações na pilha, de forma que a corrente flua em sentido contrário, e o experimento for repetido, você vai ver que a agulha da bússola se alinha no sentido oposto.



©2000 How Stuff Works

FIGURA 9 – Campo magnético em um fio

Devido ao fato de que o campo magnético ao redor de um fio é circular e perpendicular a ele, uma maneira fácil de amplificar esse campo magnético é enrolar o fio como uma bobina, como mostrado abaixo:

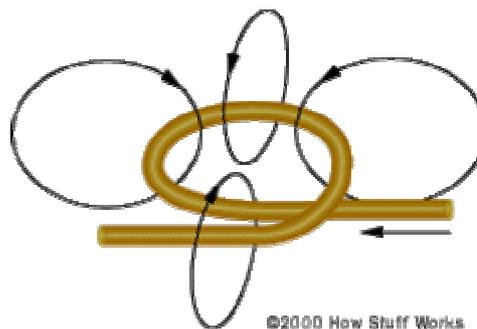


FIGURA 10 – Campo magnético de uma volta

Por exemplo, se você enrolar o seu fio ao redor de um prego 10 vezes (10 espiras), conectar o fio à pilha e trazer uma extremidade do prego perto da bússola, você vai descobrir que ele exerce um efeito muito maior sobre a bússola. Na verdade, o prego se comporta da mesma maneira que um ímã em barra.

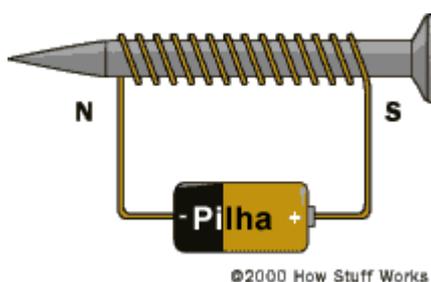


FIGURA 11 –Eletroímã simples

No entanto, o ímã existe somente quando houver corrente fluindo da pilha. Você acabou de criar um eletroímã e vai descobrir que este ímã tem a capacidade de içar pequenos objetos de aço como cliques de papel, grampos e tachinhas.

Os eletroímãs, através do campo magnético que produzem, aplicam uma força magnética em peças adequadas, as quais, por sua vez, podem ser utilizadas para elevar uma carga, acionar um relé, afrouxar um freio sob pressão por molas, sustentar um peça de trabalho etc. Para tanto, os eletroímãs apresentam diferentes formas construtivas, conforme se ilustra:

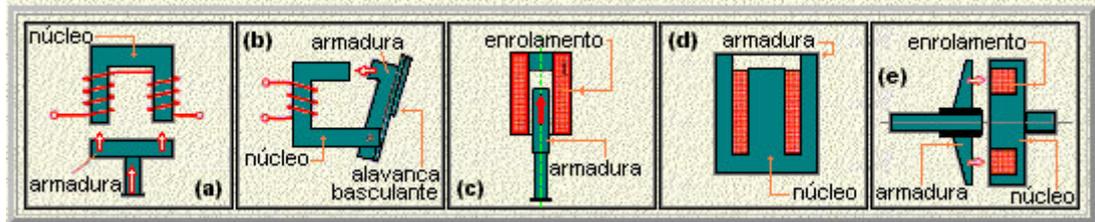


FIGURA 12 - Em (a) temos o eletroímã de núcleo, utilizado para afrouxar freios, para vibradores, contactores etc.; em (b) aquele de alavanca móvel, utilizado em contactores e relés; em (c) aquele de armadura tipo pistão, utilizado em freios, acionamento de engrenagens etc.; em (d) o tipo com núcleo em E e, em (e) o tipo de bobina anular usados nas embreagens, por exemplo.

A parte móvel de um eletroímã se chama armadura. A atração que o núcleo do eletroímã aplica sobre a armadura é tanto mais intensa quanto mais intenso for o fluxo magnético. Assim, para um dado eletroímã (ou seja, fixado o número de espiras do enrolamento), a intensidade da força atrativa (chamada força portante) sobre a armadura será tanto maior quanto mais intensa seja a corrente elétrica e quanto menor for a distância que separa a armadura do núcleo. Essa distância entre a armadura e o núcleo (há várias situações) é o 'entreferro'. Na maioria dos modelos de eletroímãs a força portante cresce ao diminuir o entreferro, conforme ilustramos abaixo, à esquerda.

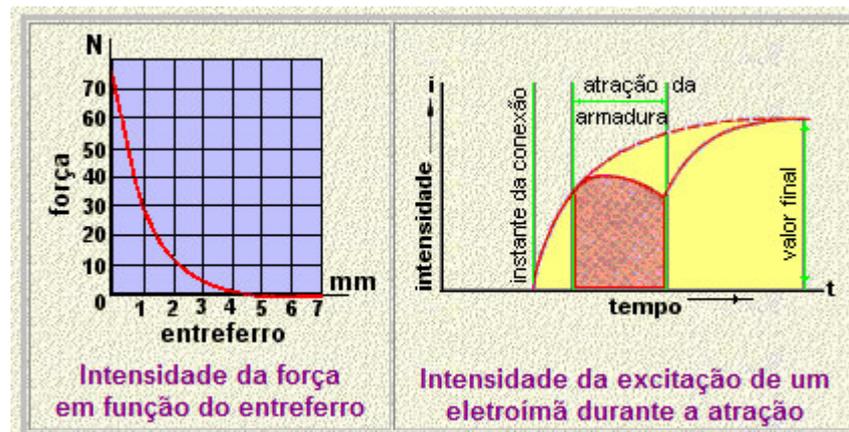


FIGURA 13

Os eletroímãs podem funcionar com corrente contínua ou com corrente alternada, desde que a construção de seus núcleos sejam adequadas. Quando a armadura está 'colada' ao núcleo, depois de conectada a corrente alternada, esta

crece, paulatinamente, até seu valor final e estabiliza; quando a armadura é móvel, varia também o fluxo magnético pois o entreferro está variando. Devido a isso, aparece uma tensão induzida na bobina (veremos mais detalhes sobre isso, mais adiante) e uma conseqüente variação da intensidade de corrente durante o movimento da armadura, como ilustrado acima, à direita. A intensidade da força portante (força de atração entre núcleo e armadura) também pode variar lentamente durante a atração.

Os eletroímãs de corrente contínua podem ser acionados facilmente e atraem com certa suavidade suas armaduras. Podem ser ligados e desligados milhares de vezes uma vez que se aquecem menos funcionando de forma intermitente do que continuamente. Ao ser desligado, um eletroímã de corrente contínua produz uma elevação de tensão devido ao colapso do campo magnético, que pode produzir um arco voltaico entre os terminais do interruptor. A causa disso, como sabemos, é a auto-indução.

Os eletroímãs de corrente contínua são fáceis de conectar porém difíceis de desconectar.

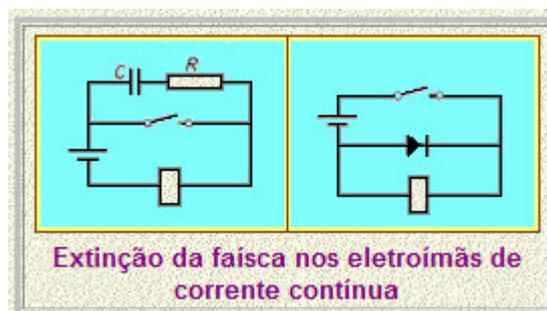


FIGURA 14

Os eletroímãs de corrente contínua têm a vantagem, em relação aos de corrente alternada, de trabalhar silenciosamente. Por isso, eles têm preferência de uso nos hospitais, hotéis, alojamentos de idosos, por exemplo, como elementos acionadores de interruptores à distância (contactores).

Quando queremos desconectar uma eletroímã acionado por corrente contínua, sem que apareçam centelhas (faíscas) entre seus terminais (ou do interruptor que o aciona), devemos ligar em paralelo com o enrolamento do eletroímã, uma associação série RC ou um diodo semi-condutor, como ilustramos

acima. Em lugar da associação RC ou do diodo semi-condutor pode-se usar de varístores.

Ao abrir o interruptor, a associação RC deixa circular uma corrente em curto intervalo de tempo, a qual decresce paulatinamente, de maneira a evitar uma alta tensão induzida na bobina. O diodo, do mesmo modo, deixa passar a corrente gerada por auto-indução e, assim, recebe a denominação de 'diodo supressor'.

Nos pequenos eletroímãs de corrente contínua (por exemplo naqueles utilizados em relés automotivos) usam-se diodos supressores ou associações RC; nos grandes aparelhos (por exemplo naqueles utilizados em acoplamentos magnéticos) são empregados exclusivamente diodos semi-condutores.

Os eletroímãs de corrente alternada têm um núcleo e uma armadura constituídos de chapas ferromagnéticas (ferro-silício) isoladas uma das outras. A impedância do enrolamento (reatância indutiva) é substancialmente maior que a sua resistência à corrente contínua (resistência ôhmica). Por isso, a bobina dos eletroímãs de corrente alternada têm menos espiras e fio mais grosso que aquela dos eletroímãs de corrente contínua de força portante equivalente. A corrente de conexão dos eletroímãs de corrente alternada pode ser muito intensa (ilustração abaixo), principalmente se o valor instantâneo da tensão, precisamente no instante de "ligar", for ZERO.

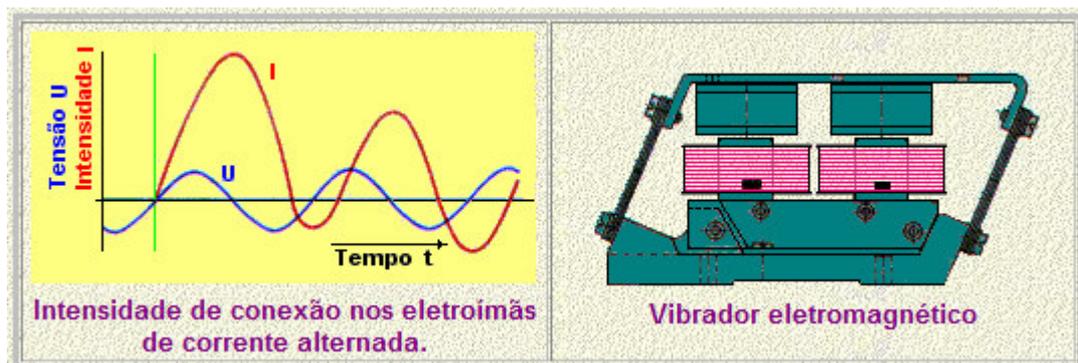


FIGURA 15

Devido a atração da armadura, aumenta a impedância e diminui a intensidade da corrente. A força portante máxima aparece, portanto, no instante de "ligar"; a atração é brusca. O arco voltaico que se produz ao se "desligar" é menos perigoso que nos eletroímãs de corrente contínua, uma vez que desaparece ao se anular a corrente. Os picos de tensão que por ventura apareçam, apesar do dito acima,

podem ser sanados com uma associação série RC ligada aos terminais da bobina (em 220 VAC são típicos os valores: $R = 220$ ohms e $C = 0,5 \mu\text{F}$).

Os eletroímãs de corrente alternada se aquecem mais que os de corrente contínua.

Os vibradores eletromagnéticos (ilustração acima, à direita) são eletroímãs de corrente alternada com armadura oscilante. Com eles podemos produzir oscilações mecânicas. São usados em instalações de transporte e seleção, máquinas de compactar, bombas de membrana etc.

5. CONCLUSÃO

O electroíman, ou eletroímã, é um dispositivo essencial para o funcionamento de um relé e utiliza corrente elétrica para gerar um campo magnético, semelhantes àqueles encontrados nos ímãs naturais. É geralmente construído aplicando-se um fio elétrico espiralado ao redor de um núcleo de ferro, aço, níquel ou cobalto.

Quando o fio é percorrido por uma corrente elétrica, a espira se submete a uma tensão, o que gerará um campo magnético na área circunvizinha a essa espira (a intensidade do campo e a distância que ele atingirá a partir do eletroímã dependerão da intensidade da corrente aplicada e do número de voltas da espira).

A passagem de corrente elétrica por um condutor causa a indutância eletromagnética, porém o campo magnético é muito pequeno.

O pedaço de ferro toma as características de um ímã permanente. Desligada a corrente, o ferro perde sua propriedade magnética.

6. BIBLIOGRAFIA

WWW.feiradeciencias.com.br

CALLISTER JR., William D, **Materials science and engineering: an introduction**, John Wiley & Sons,1996

VAN VLACK, **PRINCÍPIOS DE CIÊNCIA E ENGENHARIA DOS MATERIAIS**, Editora Campus,1984

SCHAFFERE; SAXENA; ANTOLOVICH; SANDER AND WARNER, **The Science and Design of Engineering Materials.** , 1,1

DISJUNTORES

Rafael Paim

1. INTRODUÇÃO

Esse trabalho tem por objetivo mostrar o funcionamento e a constituição física dos disjuntores, tais como suas utilidades no campo da engenharia elétrica.

O disjuntor é um componente essencial na atualidade e um importante mecanismo de segurança no interior de uma casa. Sempre que a fiação elétrica recebe corrente muito elevada o disjuntor corta a energia até que alguém possa resolver o problema. Sem os disjuntores (ou, como alternativa, os fusíveis), a eletricidade doméstica seria impraticável, devido ao perigo potencial de incêndios, danos resultantes de problemas na fiação elétrica ou falhas de equipamento.

2. DISJUNTOR

O disjuntor é um dispositivo eletromecânico que permite proteger uma determinada instalação elétrica com sobre-intensidades (curto-circuitos ou sobrecargas).

Sua principal característica é a capacidade de se rearmar (manual ou eletricamente), quando estes tipos de defeitos ocorrem, diferindo do fusível que têm a mesma função, mas que fica inutilizado depois de proteger a instalação. Assim, o disjuntor interrompe a corrente em uma instalação elétrica antes que os efeitos térmicos e mecânicos desta corrente possam se tornar perigosos às próprias instalações. Por esse motivo, ele serve tanto como dispositivo de manobra como de proteção de circuitos elétricos.

Um disjuntor básico consiste de um simples interruptor, conectado a uma lâmina bimetálica ou a um eletroímã . O diagrama abaixo mostra a configuração de um eletromagneto.

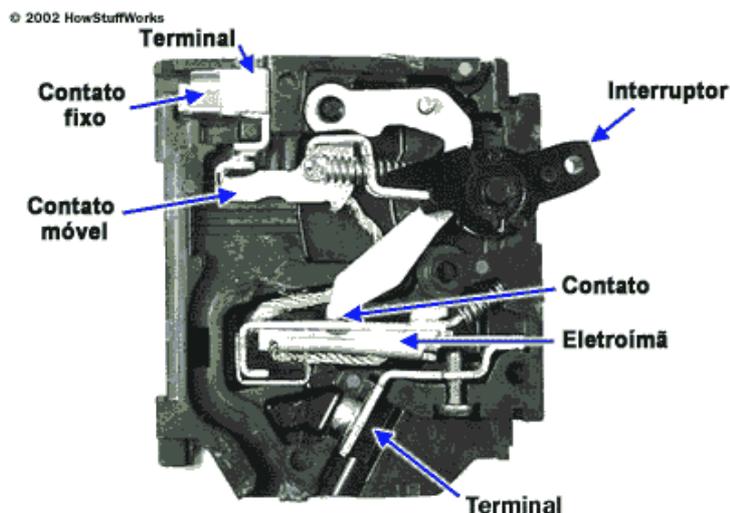


FIGURA 1 - Vista interna do disjuntor

Há vários tipos de disjuntores, um dos tipos consiste na reunião de três aparelhos num só e proporciona três categorias de proteção:

- **Proteção térmica:** se o circuito de carga absorver uma corrente superior ao valor nominal do disjuntor ele desliga o circuito ao fim de um determinado tempo. Este tempo depende do valor da corrente (corrente de sobrecarga) e pode ser obtido a partir da curva característica do relé térmico (é uma característica dependente do tempo, porque o tempo de atuação depende do valor da corrente).
- **Proteção eletromagnética:** se a corrente de sobrecarga for muito elevada (curto-circuito), o disparo do disjuntor deve ser muito rápido para poder proteger o circuito. Daí o uso de um eletroímã no disjuntor em vez do dispositivo térmico usado no caso anterior. O relé magnético usado neste caso, diz-se instantâneo, devido ao tempo de atuação ser muito curto, apesar de não ser nulo.

Os disjuntores que apresentam os dois tipos de proteção anteriores dizem-se termomagnéticos e a sua curva característica de atuação diz-se combinada, porque é o resultado da união das duas anteriores, de tempo dependente, para correntes de sobrecarga e instantânea, para correntes de curto-circuito.

- Proteção diferencial: em funcionamento normal, as correntes na fase e no neutro (num sistema monofásico) são iguais. Neste caso, não há atuação do disjuntor. Se houver uma fuga de corrente, por defeito de isolamento, há uma diferença entre estas duas correntes, o que provoca a atuação do relé diferencial e o disparo do disjuntor. É uma proteção usada para proteger as pessoas. Existem vários valores de sensibilidade. Por exemplo, em locais com crianças deve usar-se uma sensibilidade maior.

Atualmente é muito utilizado em instalações elétricas residenciais e comerciais o disjuntor termomagnético.

Esse tipo de disjuntor possui três funções:

- Manobra (abertura ou fecho voluntário do circuito)
- Proteção contra curto-circuito - Essa função é desempenhada por um atuador magnético (solenóide), que efetua a abertura do disjuntor com o aumento instantâneo da corrente elétrica no circuito protegido
- Proteção contra sobrecarga - É realizada através de um atuador bimetálico, que é sensível ao calor e provoca a abertura quando a corrente elétrica permanece, por um determinado período, acima da corrente nominal do disjuntor

As características de disparo do disjuntor são fornecidas pelos fabricantes através de duas informações principais: corrente nominal e curva de disparo. Outras características são importantes para o dimensionamento, tais como: tensão nominal, corrente máxima de interrupção do disjuntor e número de pólos (unipolar, bipolar ou tripolar).

Uma configuração com lâmina bimetálica funciona com o mesmo princípio, exceto pelo fato de que, ao invés de energizar um eletromagneto, uma corrente alta entorta uma fina lâmina para mover o mecanismo. Alguns disjuntores usam uma carga explosiva para desligar o interruptor. Quando a corrente se eleva à um certo nível, ela detona o material explosivo, que aciona um pistão para abrir o interruptor.

Disjuntores mais avançados usam componentes eletrônicos (dispositivos semicondutores) para monitorar os níveis de corrente, em vez de simples mecanismos elétricos. Esses elementos são muito mais precisos e desligam o circuito mais rapidamente, embora sejam bem mais caros. Por essa razão, a maioria das casas ainda usa disjuntores convencionais.

Um dos disjuntores mais recentes é o interruptor com circuito de falha de aterramento, ou GFCI. Esses sofisticados disjuntores são elaborados para proteger as pessoas contra choques elétricos, em vez de proteger a fiação do prédio. O GFCI monitora constantemente a corrente nos fios terra e neutro do circuito. Quando tudo está funcionando corretamente, a corrente nos dois lados deve ser exatamente a mesma. Assim que o fio fase conecta-se diretamente ao neutro (se alguém o tocar acidentalmente, por exemplo), o fio fase recebe um surto de corrente, o que não acontece com o fio neutro. O GFCI abre o circuito logo que isso acontece, prevenindo a eletrocução. Uma vez que não precisa aguardar que a corrente se eleve a níveis críticos, o GFCI reage de maneira mais rápida do que um disjuntor convencional.

Toda a fiação em uma casa passa através do painel central de disjuntores (ou caixa de fusíveis). Um painel central comum inclui cerca de uma dúzia de disjuntores ligados a vários circuitos dentro da casa. Um circuito poderia abranger todas as tomadas da sala de estar e um outro poderia reunir a iluminação em outro compartimento. Aparelhos maiores, como a central de ar condicionado ou o refrigerador, geralmente possuem seu próprio circuito.

3. PRINCIPAIS TIPOS DE DISJUNTORES

3.1 DISJUNTORES À SOPRO MAGNÉTICO

Princípio da extinção: Neste tipo de disjuntor os contactos abrem-se no ar, empurrando o arco voltaico para dentro das câmaras de extinção, onde ocorre a interrupção, devido a um aumento na resistência do arco e conseqüentemente na sua tensão.

Este aumento na resistência do arco é conseguido através de:

- a) Aumento do comprimento do arco;
- b) Fragmentação do arco em vários arcos menores, em série, nas várias fendas da câmara de excitação;
- c) Resfriamento do arco em contacto com as múltiplas paredes da câmara.

As forças que impelem o arco para dentro das fendas da câmara são produzidas pelo campo magnético da própria corrente, passando por uma ou mais bobinas (dai o nome de sopro magnético) e, eventualmente, por um sopro pneumático auxiliar produzido pelo mecanismo de acionamento. Este sopro

pneumático é muito importante no caso de interrupção de pequenas correntes, cujo campo magnético é insuficiente para impelir o arco para dentro da câmara, o que ocasionaria tempos de arco muito longos.

3.1.1 DETALHES CONSTRUTIVOS

Existem vários tipos de formatos de câmara de extinção para disjuntores a sopro magnético. As placas que formam a câmara podem ser de material isolante, de aço, ou ainda, de uma combinação dos dois. Em cada uma destas alternativas encontramos ainda vários tipos de configuração de câmara, específicos de cada fabricante.

Os circuitos magnéticos de sopro também possuem várias configurações, sendo as principais as de tipo de núcleo externo (onde o campo magnético é produzido pela corrente a ser interrompida circulando através de bobinas) ou interno (onde o campo é produzido pelo próprio arco voltaico através de um circuito magnético formado pela própria câmara).

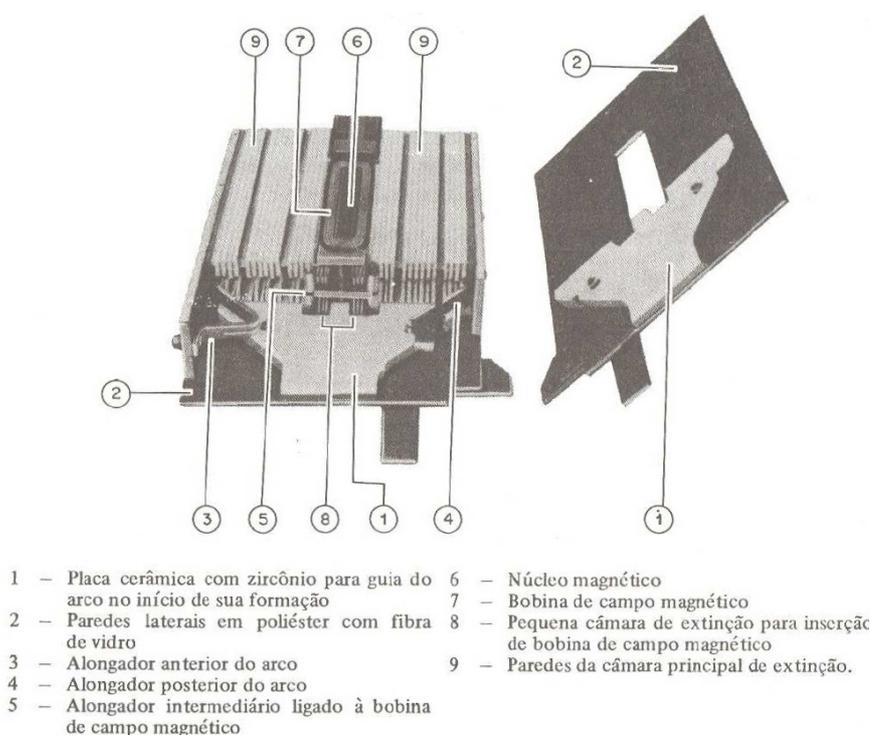


FIGURA 2 – Câmara de extinção do disjuntor de sopro magnético

O arco, entre os contactos principais, é impelido por efeitos térmicos e magnéticos na direção da câmara, guiado pelas placas cerâmicas (1). Ao atingir as

pré – câmaras de extinção (8) ele insere a bobina geradora de campo magnético no circuito (7). Com o campo produzido por esta bobina o arco é dividido em dois e impelido para dentro das paredes múltiplas (1) da câmara, resfriando-se e extinguindo-se em subsequente passagem pelo zero.

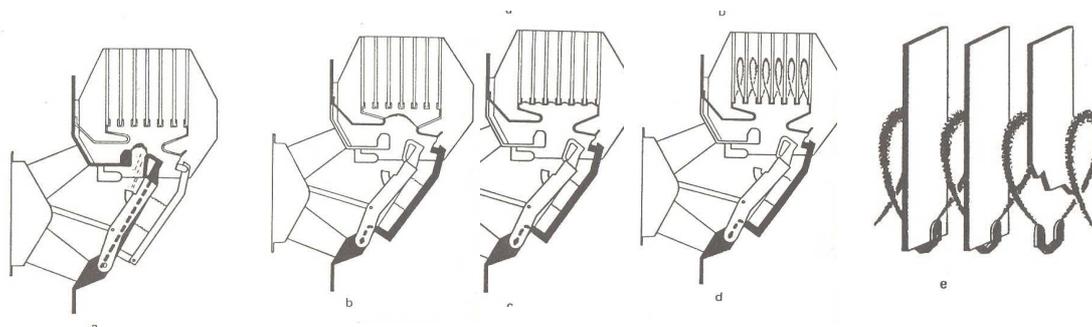


FIGURA 3 - tipo de câmara onde o início do impulso sobre o arco é dado por um sopro pneumático

O arco passa dos contactos principais (a) para os auxiliares (b) através do sopro pneumático e destes para as inserções metálicas das placas (c). Neste ponto o arco é dividido em vários arcos em série que, então são impelidos por efeito térmico a magnético para dentro das câmaras (d) e (e) alongando-se, resfriando-se e se extinguindo na passagem pelo zero. Este tipo de disjuntor também pode ser provido de bobinas de campo magnético, adicionalmente ao sopro pneumático.

3.1.2 CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

Uma das principais características dos disjuntores a sopro magnético é a grande resistência do arco voltaico. Isto se deve ao fato de que nestes disjuntores o arco queima no ar e é impelido a se alongar consideravelmente, aumentando a sua resistência e conseqüentemente a sua tensão. Esta alta resistência irá interagir com o circuito, modificando o ângulo de fase do mesmo, tornando-o mais resistivo e diminuindo o valor instantâneo da tensão de restabelecimento após a interrupção.

Pode-se dizer, portanto, que de uma maneira geral, os disjuntores a sopro magnético não produzem grandes surtos de manobra.

Os disjuntores a sopro magnético são usados em média tensão até 24 kV, principalmente montados em cubículos. O fato de não possuírem meio extintor inflamável como o óleo, torna-os seguros e aptos para certos tipos de aplicações específicas. O fato de queimarem o arco no ar provoca rápida oxidação nos

contactos exigindo uma manutenção mais freqüente. Quando operam produzem grande ruído, o que pode também, em certos casos, limitar o seu uso.

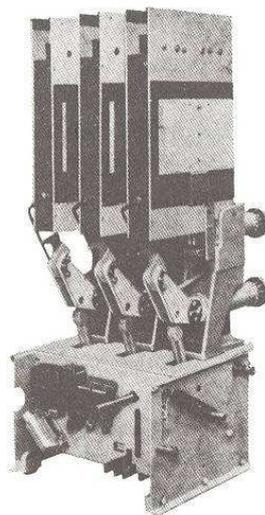


FIGURA 4 - Vista completa de um disjuntor a sopro magnético

3.2 DISJUNTORES A ÓLEO

O óleo mineral com suas destacadas características de isolante e extintor foi usado desde os primeiros tempos na fabricação de disjuntores.

Nos disjuntores de óleo pode-se distinguir dois efeitos principais de extinção do arco voltaico: *o efeito de hidrogênio e o efeito de fluxo líquido*. O primeiro consiste no fato de que a altíssima temperatura do arco voltaico, decompõe o óleo, liberando de tal modo vários gases onde o hidrogênio predomina, a ponto de se poder dizer que o arco queima numa atmosfera de hidrogênio. Como este gás tem uma condutividade térmica bastante elevada, comparado ao nitrogênio, por exemplo, a retirada de calor das vizinhanças do arco processa-se de maneira eficiente, resfriando o mesmo. O segundo efeito consiste em jogar óleo mais frio sobre o arco dando continuidade ao processo de evaporação aludido, de maneira que grandes quantidades de calor possam ser retiradas pelos gases resultantes. Este fluxo de óleo jogado sobre o arco pode ser produzido pelo mesmo (dependente da corrente) ou por dispositivos mecânicos adicionais como pistões, êmbolos, etc.... (geralmente, usam-se os dois processos simultaneamente).

Disjuntores a grande volume de óleo (GVO): Este é o tipo mais antigo de disjuntores a óleo. No passado consistia apenas de um recipiente metálico com os contactos simplesmente imersos no óleo sem nenhuma câmara de extinção. Hoje,

os disjuntores GVO possuem câmaras de extinção onde se força o fluxo de óleo sobre o arco. Os disjuntores GVO são usados em média e alta tensão até 230 kV. A característica principal dos disjuntores GVO é a sua grande capacidade de ruptura em curto – circuito.

Disjuntores a pequeno volume de óleo (PVO): Estes disjuntores representam o desenvolvimento natural dos antigos disjuntores GVO, na medida em que se procura projectar uma câmara de extinção com fluxo forçado de óleo sobre o arco aumentando-se a eficiência do processo de interrupção da corrente e diminuindo-se drasticamente o volume de óleo no disjuntor.

A seguir é apresentada esquematicamente a seqüência de extinção, na câmara de interrupção, de pequenas e grandes correntes neste tipo de disjuntor:

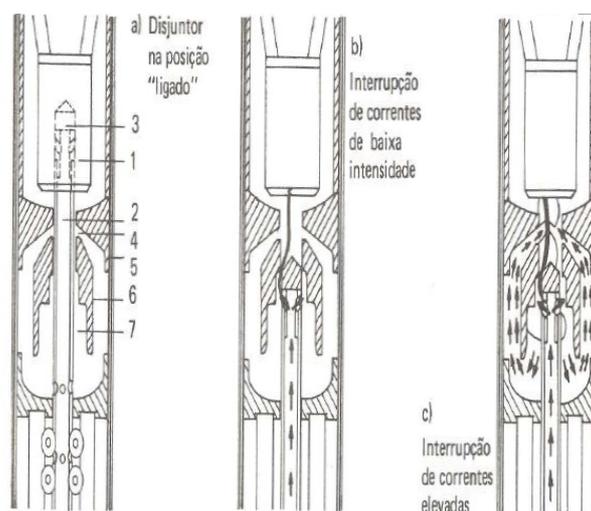


FIGURA 5 - Vista em corte da câmara interruptora

A figura (a) mostra o disjuntor na posição "ligado". A figura (b) mostra a interrupção de pequenas correntes com o fluxo de óleo independente da corrente. Este fluxo de óleo é obtido pelo movimento descendente da haste do contacto móvel (2) durante a operação de abertura. O óleo contido na carcaça inferior é forçado para cima, através da haste oca do contacto móvel (2), agindo imediatamente sobre a base do arco, localizado na ponta do contacto móvel.

Para a interrupção de correntes mais elevadas é utilizado, adicionalmente, um fluxo de óleo gerado pela própria corrente de arco (c). Assim que a base do arco, localizada imediatamente abaixo da ponta de material isolante do contrato móvel ultrapassar o furo da base da câmara (6), forma-se, no compartimento inferior da

câmara de excitação (7), uma bolha de gás, que só pode expandir-se para baixo. Essa bolha comprime o óleo através do canal anelar (4) formado pelo espaçamento entre a tampa da câmara (5) e a base da câmara (6). Os gases formados no compartimento superior envolvem o contacto fixo no cabeçote do pólo. O volume de ar no interior da carcaça superior destina-se a equalizar o aumento da pressão do óleo resultante da operação de extinção. O vapor de óleo recondensa, depositando-se sobre o óleo, e os gases escapam lentamente pelas válvulas de expansão.

O fluxo de óleo que atravessa o canal anelar atua na fase decisiva do deslocamento do contacto móvel, depois de alcançada a distância mínima de extinção. Com isso, o fluxo é orientado de forma tal que atinja o arco por todos os lados com um jato radial, sem provocar o seu alongamento.

Este tipo de câmara é classificado como câmara axial, pois o arco recebe o fluxo transversal de óleo ao longo de toda a circunferência da câmara, sendo extinto sem abandonar a posição axial da câmara, como se pode ver em (b) e (c).

Os disjuntores PVO cobrem em média tensão, praticamente, toda a gama de capacidades de ruptura de 63 kA. No nível de 138 kV a sua capacidade de ruptura por câmara está limitada a um máximo de 20kA, o que equivale a dizer que para maiores correntes de curto – circuito, (31,5; 40 e 50kA), que são comuns nesta tensão, deve-se empregar varias câmaras em série com o uso obrigatório de capacitores de equalização e acionamento mais potente com conseqüente aumento do uso e complexidade do equipamento.

O desempenho deste tipo de disjuntor para correntes capacitivas em bancos de capacitores e linhas em vazio, objetivando uma operação “livre de re-acendimento”, está também limitado a uma tensão máxima de 60 a 65 kV por câmara. É necessário, portanto, dependendo das características do disjuntor e do circuito a ser chaveado, ter à disposição várias câmaras em série.

3.3 DISJUNTORES A VÁCUO

As propriedades do vácuo como meio isolante são conhecidas e as primeiras tentativas de se obter a interrupção de uma corrente alternada em câmara de vácuo datam de 1926, quando foi interrompida com sucesso uma corrente de 900A em 40 kV. No entanto, as dificuldades técnicas da época referentes à técnica de vácuo, disponibilidade de materiais e métodos de fabricação, que garantissem uma câmara

com vácuo adequado, isenta de impurezas e vazamentos, fez com que a introdução destes disjuntores fosse postergada para o início da década de 60, sendo que a sua produção em grandes volumes para média tensão começou realmente no início dos anos 70.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

O arco voltaico a vácuo: Esta expressão, a princípio, pode parecer contraditória, pois a existência de um arco voltaico pressupõe a existência íons positivos e elétrons que, por assim dizer, lhe sirvam de veículo; e no vácuo não existe, em princípio, a possibilidade de se encontrar estas partículas. No caso dos disjuntores a vácuo, os íons positivos e elétrons são fornecidos pela nuvem de partículas metálicas provenientes da evaporação dos contactos formando o substrato para o arco voltaico. Após a interrupção de corrente, estas partículas depositam-se rapidamente na superfície dos contactos recuperando, assim, a rigidez dielétrica entre os mesmos. Esta recuperação da rigidez dielétrica é muito rápida nos disjuntores a vácuo, o que permite altas capacidades de ruptura em câmaras relativamente pequenas. O arco voltaico no vácuo, pode ser de dois tipos: difuso ou contraído.

O arco difuso: Quando se interrompem pequenas correntes, até aproximadamente 10 kA, tem-se a formação do arco difuso, ou seja, um arco distribuído por toda a superfície dos contactos. O processo pode ser assim descrito: *a superfície dos contactos apesar de lisa, possui uma micro – rugosidade, que é responsável pela formação de últimos pontos de contacto que irão aquecer-se na separação galvânica dos mesmos, devido à alta densidade de corrente (104A/cm a 109A/cm)*. Formam-se focos de emissão iônica que irão irradiar os íons e elétrons, responsáveis pela formação de um pequeno arco voltaico. Em toda a superfície dos contactos temos, da mesma maneira, a formação de inúmeros arcos paralelos, dando origem ao chamado arco difuso.

Nota: Estes focos de emissão iônica têm uma superfície muito pequena (10 μ m de diâmetro) e regularmente, distribuídos por toda a superfície dos contatos, de maneira que o efeito de erosão sobre os mesmos é desprezível. Isto significa, em termos práticos, uma capacidade de perfazer um enorme número de manobras sob cargas sem desgastes dos contactos. Além disso, devido à diminuta dimensão dos focos de emissão iônica, a constante de tempo de resfriamento dos mesmos é

extremamente pequena ($<1\mu\text{s}$). E devido a isto a taxa de redução da emissão de vapor metálico na passagem da corrente pelo zero é bastante elevada e a reposição do metal sobre os contactos após o zero de corrente é rapidíssima. Como consequência destes fatos, a recuperação da rigidez dielétrica entre os contactos é extremamente rápida, garantindo uma segura extinção do arco voltaico.

O arco contraído: A partir de um valor de corrente (aproximadamente 10 kA) o arco voltaico contraído, tornando-se possível localizar um foco de emissão iônica sobre os contatos de alguns milímetros de diâmetro. A transição do arco difuso para o arco contraído é provocada pelo aumento do campo magnético dos vários arcos paralelos com o aumento de corrente, cujas forças de atração começam a superar as forças termodinâmicas do plasma que sustentavam estes arcos. Com isto, os focos de emissão iônica vão deslocando-se e juntam-se, formando um foco único e contraindo o arco. A ação deste foco sobre os contactos seria prejudicial, em termos de extinção, pois, um foco destas dimensões, fixo sobre os contactos, possui uma constante de tempo de resfriamento muito grande (de alguns milissegundos) devido à grande quantidade de vapor emitido e, portanto, uma reposição muitíssimo mais lenta das partículas metálicas sobre os contactos, após o zero de corrente, com consequente redução da capacidade de ruptura até valores inadmissíveis. A fim de se evitar essa ação prejudicial do arco contraído, usa-se o efeito do campo magnético gerado pelo próprio arco, a fim de fazê-lo percorrer todo o contacto, atuando, assim, sempre sobre a camada de metal frio. Com isto, elimina-se o efeito da erosão sobre os contactos e evita-se a formação de uma coluna de plasma estável, difícil de extinguir-se.

3.3.2 CARACTERÍSTICAS/APLICAÇÕES DO DISJUNTOR A VÁCUO

- Grande segurança de operação, pois não necessitam de suprimento de gases ou líquidos e não emite chamas ou gases;
- Praticamente não requerem manutenção, possuindo uma vida extremamente longa em termos de números de operações a plena carga e em curto – circuito;
- A relação capacidade de ruptura/volume é bastante grande, tornando estes disjuntores bem apropriados para o uso em cubículos;
- Devido à ausência de meio extintor gasoso ou líquido, podem fazer religamentos automáticos múltiplos

3.4 DISJUNTORES A AR COMPRIMIDO

Neste tipo de disjuntor, o mecanismo eletro-pneumático preenche duas funções, simultaneamente; ou seja, a de proporcionar a operação mecânica do disjuntor através, da abertura e fechamento dos contatos, e também a de efetuar a extinção do arco, fornecendo ar na quantidade e pressão necessárias para tal. O princípio da extinção é, basicamente simples, consistindo em criar-se um fluxo de ar sobre o arco, fluxo este provocado por um diferencial de pressão, quase sempre descarregando o ar comprimido após a extinção para a atmosfera.

3.4.1 DETALHES CONSTRUTIVOS

Praticamente todos os modelos atuais de disjuntores a ar comprimido usam o princípio de sopro axial, ou seja, o arco é distendido e “soprado” axialmente em relação aos bocais e contactos, sendo que, dentro deste princípio geral de projeto, pode-se classificar ainda o sistema de extinção (bocais) em duas categorias:

- O sistema de sopro unidirecional (“*mono blast*”);
- O sistema de sopro bidireccional (“*dual blast*”);

No primeiro, somente um dos contatos é oco, permitindo a saída do ar após a extinção somente em uma direção. No segundo, ambos os contatos, fixo e móvel, são ocos, e o arco expande-se em ambas as direções.

3.4.2 CARACTERÍSTICAS/APLICAÇÕES DOS DISJUNTORES DE AR COMPRIMIDO

Embora possam ser usados em toda a gama de tensões, os disjuntores de ar comprimido encontram a sua gama de aplicação na alta e na muito alta tensão, ou seja, acima de 245 kV.

As suas características de rapidez de operação (abertura e fecho) aliadas às boas propriedades extintoras e isolantes do ar comprimido, bem como a segurança de um meio extintor não inflamável, quando comparado ao óleo, garantiram uma posição de destaque a estes disjuntores nos níveis extremos de tensão

Vantagens dos disjuntores de ar comprimido:

- Disponibilidade total do meio extintor;
- A mobilidade do meio extintor, que é também o meio de acionamento, com alta velocidade de propagação, permite que ele seja canalizado para acionar contactos principais, a abertura e o fecho, com mecanismos relativamente

leves, o que torna estes disjuntores bastante rápidos e, portanto, aptos a atuar em muito alta tensão;

- Pode-se ajustar a capacidade de interrupção e propriedades de isolamento, variando-se a pressão de operação;
- A compressibilidade do meio extintor que, ao contrário do óleo, permite que as estruturas estejam isentas das ondas de choque transitoriais, geradas pelo arco voltaico;

Desvantagens dos disjuntores de ar comprimido:

- Alto custo do sistema de geração de ar comprimido, principalmente em pequenas instalações onde cada disjuntor tem que ter a sua própria unidade geradora, bem como reservatórios de alta pressão;
- A distribuição do ar comprimido em alta pressão por toda a subestação no caso de unidades centrais de geração, além de ter um alto custo, requer uma constante manutenção;
- No caso de operação junto a áreas residenciais onde existem limitações de nível de ruído, é obrigatório o uso de silenciadores para estes disjuntores;

3.5 DISJUNTORES A SF₆

3.5.1 Propriedades do SF₆

Este gás possui uma série de propriedades físicas e químicas que o torna um meio isolante e extintor, por excelência. O SF₆ é um gás incombustível, não venenoso, incolor, inodoro e devido à sua estrutura molecular simétrica é extremamente estável e inerte até cerca de 5000°C, comportando-se, portanto, como um gás nobre. O SF₆ encontra-se num sistema fechado e praticamente isento de humidade por toda a vida útil do equipamento. Além disso existe a presença de filtros com elementos desumidificadores para qualquer eventualidade, de maneira que, o problema da humidade e das suas conseqüências seja praticamente inexistente. Com um peso específico de 6,14g/l ele é 5vezes mais pesado que o ar. As características isolantes do SF₆ variam em função da pressão (na realidade em função da densidade) e são bastante superiores aquelas dos meios isolantes mais comuns usados em disjuntores que são o óleo mineral e o ar comprimido. A figura

que se segue mostra uma comparação de rigidez dielétrica entre esses meios isolantes:

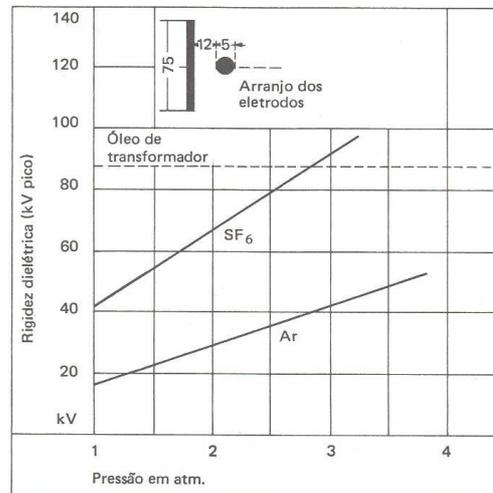


FIGURA 7 - Comparação da rigidez dielétrica

3.5.2 CARACTERÍSTICAS/APLICAÇÕES DOS DISJUNTORES A SF6

Os disjuntores a SF6 representam, sem dúvida, a tendência atual nas áreas de alta e muito alta tensão. O fato da técnica de ar comprimido ser bem anterior ao SF6, e também dos disjuntores a ar comprimido serem por natureza, rápidos, deu uma posição de destaque a estes disjuntores nas redes de muito alta tensão (MAT). A comprovação mais evidente disso consiste no fato de todos os fabricantes de disjuntores de alta tensão, incluírem também na sua linha de produtos os disjuntores a SF6. Aplicações em 138 kV, bem como em 69 kV, estão ainda predominantemente na faixa dos disjuntores PVO, principalmente por razões de preço.

4. CONCLUSÃO

Através da pesquisa feita para este trabalho, concluiu-se que para o desenvolvimento de dispositivos disjuntores para a utilização no setor da engenharia elétrica é necessário o conhecimento da ciência de materiais para conseguir desenvolver e aperfeiçoar, componentes utilizados no setor energético, e este desenvolvimento e aperfeiçoamento se dá através do estudo das propriedades, dos diferentes materiais conhecidos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Mamede, João. **Instalações elétricas industriais**, 6ed., LTC, Rio de Janeiro RJ, 2002

pt.wikipedia.org/wiki/Disjuntor

www.infoescola.com/eletricidade/disjuntor

FUNCIONAMENTO DE UM FOTOTRANSISTOR

Tiago Richter Maritan

1. INTRODUÇÃO

Descrever o funcionamento de um fototransistor. Primeiramente dando ênfase em algumas noções básicas de funcionamento de diodo e fotodiodo para que se possa entender o funcionamento do fototransistor.

2. DIODOS

Para entendermos como os transistores funcionam precisamos saber como funcionam os diodos, que por sua vez para serem entendidos é necessário ter uma noção de materiais semicondutores .

Semicondutores são elementos de Valencia 4. Isso significa que um átomo isolado desse material possui 4 elétrons na sua orbita mais externa ou orbita de Valencia. O numero de elétrons na orbita é a chave para a condutibilidade. Os condutores possuem apenas um elétron de Valencia, semicondutores possuem quatro elétrons de Valencia e isolantes, 8 elétrons de Valencia.

Como Germânio e silício são freqüentemente usados para a dopagem de semicondutores utilizados na fabricação de diodos iremos falar sobre esses dois elementos. Mas antes disso é feita uma breve explicação sobre dopagem.

3.DOPAGEM

Uma forma de aumentar a condutibilidade de um semicondutor é pela dopagem. Isso significa adicionar impurezas aos átomos de um cristal intrínseco para alterar sua condutibilidade elétrica. Um semicondutor dopado é chamado semicondutor extrínseco.

Para dopar um material, o primeiro passo é fundir um cristal puro de silício. Isso quebra as ligações covalentes e muda um silício do estado solido para o liquido. Para aumentar o numero de elétrons livres são adicionados átomos pentavalentes ao silício em fusão. Átomos pentavalentes possuem cinco elétrons na orbita de Valencia. A figura x1 mostra como a estrutura do cristal de silício é alterada após ter sido resfriada e solidificada. Um átomo pentavalente fica no centro cercado por quatro átomos de silício. Cada átomo doador num cristal de silício produz um elétron

livre. É dessa forma que é controlada a condutibilidade de um semicondutor na indústria. Quanto mais adicionamos impurezas, maior a condutibilidade devido aos elétrons livres.

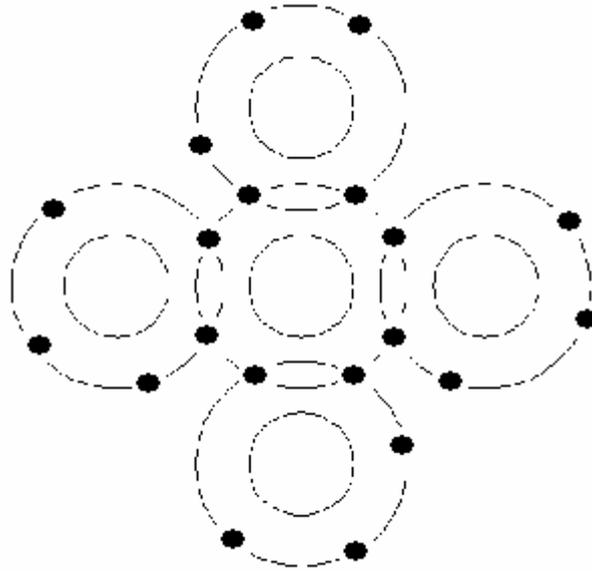


FIGURA 1 - onde os pontos são elétrons de Valencia

3.1 SILÍCIO

O material semicondutor mais usado é o silício. Um átomo isolado de silício possui 14 prótons e 14 elétrons. Conforme mostrado na figura 1, a primeira orbita contem 2 elétrons e a segunda elétrons. Os 4 elétrons restantes estão na orbita externa ou orbita de Valencia.

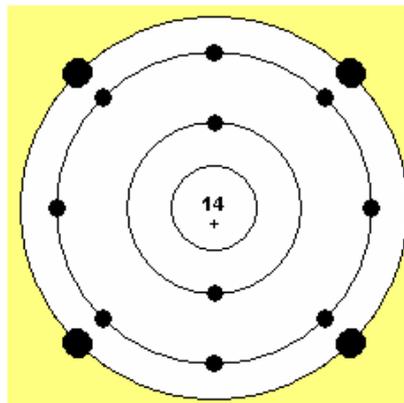


FIGURA 2 - átomo de silício

3.1.1 CRISTAIS DE SILÍCIO

Quando átomos de silício se combinam para formar um sólido, eles são arranjados segundo um padrão ordenado chamado cristal. Cada átomo de silício cede seu elétron aos outros átomos de silício, assim a orbita de Valencia fica com 8 elétrons conforme pode ser visto na figura 1.

Um importante ponto a se considerar é quando a energia térmica tiver a capacidade de dar origem a uma lacuna. Para explicar esse caso começamos analisando a temperatura ambiente. Quando a temperatura ambiente esta acima do zero absoluto, a energia térmica do ar em torno faz os átomos do cristal de silício vibrar num vaivém dentro do cristal de silício. Quanto mais alta a temperatura, mais fortes são as vibrações mecânicas desses átomos. As vibrações dos átomos podem ocasionalmente deslocar um elétron da orbita de Valencia. Quando isso ocorre, o elétron liberado ganha energia suficiente para passar para outra orbita maior, conforma mostra figura 2.

Nessa orbita maior, ele se torna um elétron livre. Além disso, a saída deixa um vazio na orbita de Valencia que é chamado de *lacuna*. Conceito de lacuna foi estudado na primeira parte da disciplina de materiais. Essa lacuna comporta-se como uma carga positiva, porque ela pode atrair e manter capturado qualquer elétron nas proximidades.

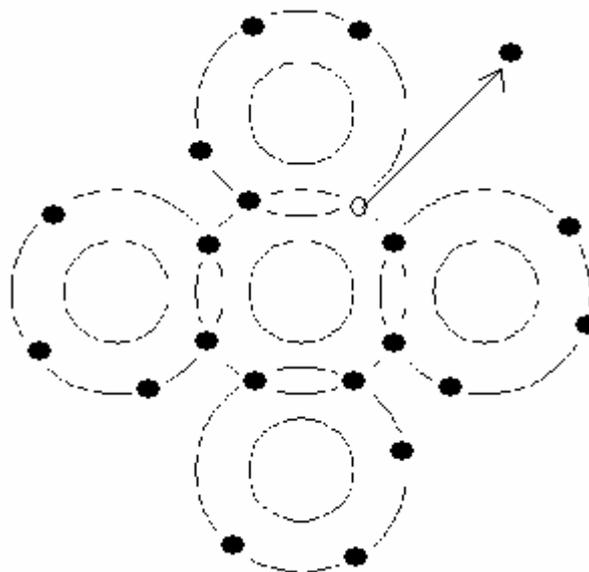


FIGURA 3

4. JUNÇÃO P-N

O diodo basicamente é formado por uma junção P-N, onde existem portadores (negativos e positivos), íons fixos (de dopantes ou contaminantes), átomos constituintes do material ou do substrato utilizado. Durante a formação da junção P-N há a formação também de uma barreira de potencial, e de uma região de depleção. Considere um instante em que seja formada a junção, neste instante surgem duas correntes: a corrente de difusão (gerada pela tendência dos portadores de cada material se distribuírem) e a corrente de deriva (devido ao campo elétrico). Inicialmente surge uma corrente de difusão maior que a corrente de deriva através da junção. Esta corrente diminui com o tempo, até que se iguala à corrente de deriva, anulando-se. Durante este processo a barreira de potencial e a região de depleção vão se formando, até que seja atingido o equilíbrio.

Lado P

No lado P da junção, as lacunas são chamadas portadores majoritários, e os elétrons portadores minoritários. Ao longo da estrutura tipo P existem íons negativos, devido aos dopantes aceitadores presentes na estrutura.

Lado N

No lado N da junção, existe uma quantidade maior de elétrons na banda de condução do que lacunas, neste caso os elétrons são chamados portadores majoritários, e as lacunas os portadores minoritários. Além disso existem íons positivos gerados pela presença de dopantes doadores no material tipo n.

Região de depleção

Entre os dois materiais encontram a região de depleção. Uma região neutra, onde apenas se encontram íons positivos e negativos fixos na estrutura cristalina.

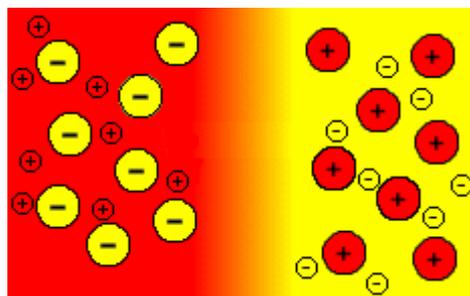


FIGURA 3 - Região P e N. Lado esquerdo é o lado P e o direito o lado N

5. FABRICAÇÃO DE UM DIODO

Para se fabricar um diodo é necessária a formação de uma junção metalúrgica P-N como foi explicado acima. Inicialmente dopamos uma das faces da lâmina de silício intrínseco com dopantes tipo P. Em seguida dopamos a outra face da lâmina de silício com dopantes tipo N. Desta forma obtemos a junção PN.

6. FOTODIODO

O fotodiodo é um diodo de junção construído de forma especial, de modo a possibilitar a utilização da luz como fator determinante no controle da corrente elétrica. É um dispositivo de junção pn semiconductor cuja região de operação é limitada pela região de polarização reversa e caracteriza-se por ser sensível à luz. A aplicação de luz à junção resultará em uma transferência de energia das ondas luminosas incidentes (na forma de fótons) para a estrutura atômica, resultando em um aumento do número de portadores minoritários e um aumento do nível da corrente reversa. A corrente negra é a corrente que existirá sem nenhuma iluminação aplicada. A corrente retornará a zero somente se for aplicada uma polarização positiva igual a V_0 . Em resumo, podemos dizer então que um fotodiodo é um dispositivo que converte a luz recebida em uma determinada quantidade de corrente elétrica.

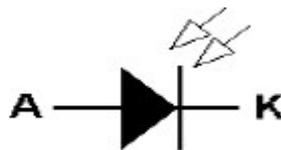


FIGURA 4 - Simbologia do fotodiodo

A corrente reversa e o fluxo luminoso variam quase que linearmente, ou seja, um aumento na intensidade luminosa resultará em um aumento semelhante na corrente reversa. Podemos admitir que a corrente reversa é essencialmente nula na ausência de luz incidente. Como os tempos de subida e de queda (parâmetros de mudança de estado) são da ordem de nanossegundos, o dispositivo pode ser usado na aplicação de contagem ou comutação de alta velocidade. O germânio é mais adequado para luz incidente na região infravermelha, já que abrange um espectro mais amplo de comprimentos de onda do que o silício, apesar de sua corrente negra

ser maior. O nível de corrente gerada pela luz incidente sobre um fotodiodo não é suficiente para que ele possa ser usado em um controle direto, sendo necessário para isto que haja um estágio de amplificação.

6.1 APLICACOES DE UM FOTODIODO

O fotodiodo ser aplicado no foco automático de filmadora, na unidade ótica do CD Player e em sistema contador de pulso. Outra aplicação muito usada na rede de iluminação pública é o sensor crepuscular.

Nos sistemas de iluminação publica é importante saber em que altura é que está suficientemente escuro, para ativar as luzes. Este controle não pode ser efetuado de forma eficaz utilizando temporizadores, uma vez que em dias de chuva ou nevoeiro intenso pode ser necessário ativar o sistema de iluminação por razões de segurança. Além disso o horário do próprio nascer e pôr do Sol não é constante, muda todos os dias.

Pelas razões apontadas, a solução que reúne maior consenso é aquela que utiliza sensores de luz ambiente também conhecidos como crepusculares. O S7183 é um fotodiodo com amplificador orientado para aplicações de detecção crepuscular. Até agora, muitas das soluções passavam pela utilização de foto resistências, células de CdS e fototransistores, contudo a pouca uniformidade, a não linearidade e o fato de que o Cd é um elemento altamente poluidor desviaram a atenção para a utilização de fotodiodos, cujo principal inconveniente era a da aplicação de um amplificador de sinal. Com este novo fotodiodo, com amplificador já incorporado, permite ultrapassar o inconveniente com simplicidade e alta performance em termos de sensibilidade e linearidade, mantendo sempre um preço competitivo.

7. FOTODIODO *VERSUS* FOTOTRANSISTOR

A principal diferença entre um fototransistor e um fotodiodo é o ganho de corrente B_{cc} . Se uma mesma quantidade de luz atingir os dois dispositivos, a corrente no fototransistor será B_{cc} maior que a corrente no fotodiodo. A maior sensibilidade de um fototransistor é uma grande vantagem sobre um fotodiodo.

A figura 4 mostra o símbolo para diagrama de um fototransistor. Observe a base aberta. Esse é o modo usual de operar um fototransistor. Você pode controlar a sensibilidade com um resistor variável na base figura 4b, mas a base geralmente é deixada aberta para que se obtenha a máxima sensibilidade à luz.

O preço pago pelo aumento da sensibilidade é uma redução na velocidade de chaveamento. Um fototransistor é mais sensível que um fotodiodo, mas ele não pode conduzir e cortar tão rápido. Por um lado, um fotodiodo tem correntes de saída típicas da ordem de microamperes e pode conduzir e cortar em nanossegundos. Por outro lado, o fototransistor tem correntes de saída típicas da ordem de miliamperes, mas conduz e corta em microssegundos.

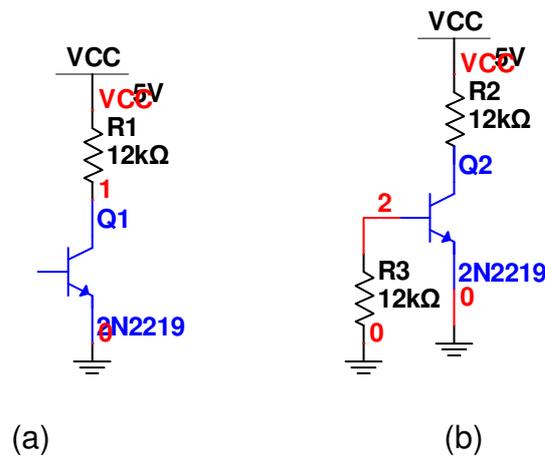


FIGURA 4 – O fototransistor

8. FOTOTRANSISTOR

O fototransistor é mais um dispositivo que funciona baseado no fenômeno da fotocondutividade. Ele pode, ao mesmo tempo, detectar a incidência de luz e fornecer um ganho dentro de um único componente. Como o transistor convencional, o fototransistor é uma combinação de dois diodos de junção, porém, associado ao efeito transistor aparece o efeito fotoelétrico.

Em geral, possui apenas dois terminais acessíveis, o coletor e o emissor, sendo a base incluída apenas para eventual polarização ou controle elétrico. Como nas outras células fotocondutivas, a incidência de luz (fótons) provoca o surgimento de lacunas na vizinhança da junção base-coletor. Esta tensão conduzirá as lacunas para o emissor, enquanto os elétrons passam do emissor para a base. Isso provocará um aumento da corrente de base, o que por consequência implicará numa variação da corrente de coletor beta vezes maior (lembrando que, para I_b sendo a corrente da base e I_c a do coletor, temos a relação $I_c = B \cdot I_b$, onde B é o ganho do transistor (fornecido pelo fabricante), sendo essa variação proporcional à intensidade da luz incidente. Como a base está normalmente desconectada, a corrente que

circula por ela dependerá apenas do fluxo luminoso incidente. Assim, na ausência de luz, a corrente de base será zero e o fototransistor estará cortado, resultando na tensão do coletor igual à tensão de polarização V_{cc} . Quando há luz incidindo, a tensão no coletor irá diminuir devido ao aumentada corrente.

O fototransistor possui diversas aplicações, sendo mais encontrado em aplicações on-off, onde a não linearidade do transistor não é um problema. A aplicação mais usual é a de um interruptor. Enquanto não há luz incidindo no fototransistor, não haverá uma corrente no emissor, e a tensão de saída será zero, estando ele em corte. Com a incidência de luz, teremos uma corrente no emissor, provocando uma tensão igual a $I_e R_e$. Tais como os transistores bipolares, os fototransistores estão sujeitos à variações de temperatura. Com o aumento da temperatura em torno de 8 a 10 graus celsius, a corrente I_{ceo} (corrente que circula no componente enquanto não existe incidência de luz) dobrará. Para elevadas temperaturas, essa corrente terá um valor significativo em relação à corrente total. Entretanto, utilizando dois fototransistores, podemos compensar esse erro. Para isso, basta uni-los como na figura 3, fazendo com que essa corrente I_{ceo} em ambos possua os mesmos valores, cancelando uma à outra. Assim, a corrente fornecida pela incidência da luz passará inteiramente pelo resistor R_I .

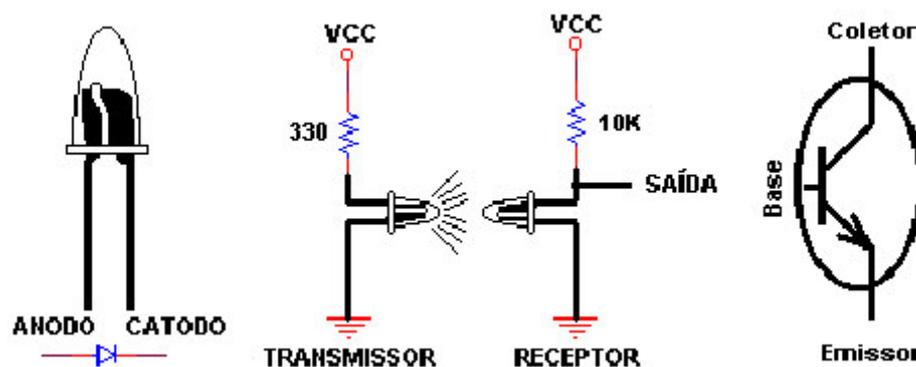


FIGURA 5 - mostrando a compensação de corrente I_{ceo}

Os fototransistores são dispositivos sensíveis a luz. A base do fototransistor é sensível a luz, quando há presença da mesma o transistor conduz, entretanto quando não há presença de luminosidade, o transistor fica cortado. Abaixo foi representado uma situação onde a presença de luz (LED) liga ou desliga o circuito acoplado ao receptor (fototransistor). Quando um fecho de luz é apontado para o

receptor, este conduz, logo a saída estará em nível lógico "0". No entanto, quando não há presença de luz, o receptor não está conduzindo, logo a saída estará em nível lógico "1".

8.1 APLICACOES DO FOTOTRANSISTOR

Um das principais utilidades do fototransistor é o acoplador óptico. Os acopladores ópticos são componentes muito simples, porém de grande importância para a total segurança de dois circuitos eletrônicos, mantendo uma comunicação ou controle entre ambos. O isolamento é garantido porque não há contato elétrico, somente um sinal luminoso. O seu funcionamento é simples: há um emissor de luz (geralmente um LED) e um receptor (fototransistor). Quando o LED está aceso, o fototransistor responde entrando em condução. Com o LED apagado o fototransistor entra em corte. Sabendo que podemos alterar a luminosidade do LED, obtemos assim diferentes níveis na saída. Podemos também controlar o fototransistor através de sua base, como se fosse um transistor normal. Os Acopladores Ópticos possuem diversas vantagens sobre outros tipos de acopladores: alta velocidade de comutação, nenhuma parte mecânica, baixo consumo e isolamento total. Na figura y vemos o esquema de um opto acoplador .

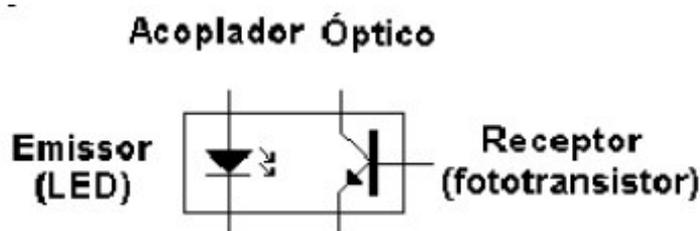


FIGURA 6 - Acoplador óptico

9. CONCLUSAO

Nota-se que o fototransistor assim como muitos outros componentes eletrônicos é de extrema importância na engenharia, por isso deve-se dar um valor relevante para seu estudo.

LÂMPADA INCANDESCENTE

Silvio Katsuo Ogawa

1. INTRODUÇÃO

As lâmpadas Incandescentes foram uma das primeiras formas de iluminação construídas de forma a utilizar energia elétrica como fonte de energia, transformando energia elétrica em calor e luz.

Os materiais elétricos utilizados em sua construção dão o auxílio necessário para sua construção, suas propriedades químicas ajudam nas escolhas dos melhores materiais a serem usados na construção de uma Lâmpada Incandescente.

OBJETIVO

- Ter uma breve análise do que seria uma Lâmpada Incandescente;
- A Importância da Lâmpada Incandescente;
- Quais Materiais são utilizados em sua construção;
- Quais são as propriedades dos materiais utilizados;
- Porque são utilizados esses materiais.

2. A LÂMPADA INCANDESCENTE

A lâmpada incandescente ou lâmpada elétrica é um dispositivo elétrico que transforma energia elétrica em energia luminosa e energia térmica.



FIGURA 1 - Lâmpada Incandescente

Vários inventores tiveram a idéia de criar uma luz com fios iluminados relativamente cedo. Experimentos com fios de platina e pedaços de carvão, que eram feitos para iluminar com o auxílio da eletricidade já estavam sendo produzidos em 1830 e 1840. Em parte, lâmpadas de vidro evacuadas já estavam sendo usadas nesta época para evitar oxidação. Entretanto, a platina queimava rapidamente e as bombas de vácuo não eram capazes de criar uma aspiração suficiente. O fornecimento de eletricidade também era um problema já que somente as pilhas estavam disponíveis naquele tempo. Em 1866, Werner von Siemens descobriu o princípio do dínamo e construiu máquinas que forneciam eletricidade constante.

Em 1854, o mecânico alemão Heinrich Goebel construiu a primeira lâmpada capaz queimar por um período sustentável de tempo. Ele usou fios de bambu carbonizados como filamento e esvaziou a lâmpada de vidro enchendo-a com mercúrio permitindo que este saísse e detonasse o fechamento da lâmpada. O americano Thomas Alva Edison desenvolveu a primeira lâmpada de luz incandescente de sucesso comercial em 1879, uma lâmpada de carbono que entrou em produção de massa. Ele também forneceu os acessórios necessários como interruptores, distribuidores e dínamos. Como a publicidade já era importante naquela época, Edison mostrou uma instalação admirável de sua lâmpada para milhares de pessoas na Paris Electrical Exhibition, em 1881.

Em 1900, o primeiro filamento foi desenvolvido de metal ósmio. Este tipo de lâmpada consumia metade da energia de uma lâmpada de fio de carbono produzindo a mesma quantidade de luz. Em 1903, a primeira lâmpada elétrica com um filamento tântalo foi desenvolvida em Berlim e logo depois filamentos feitos de tungstênio, o metal com o nível mais alto de derretimento, foram testados. A lâmpada de tungstênio consumia apenas um terço da potência necessária para uma lâmpada de fio de carbono alcançar a mesma iluminação, o material havia sido encontrado e é usado até hoje.

3. CONSTRUÇÃO

A maior dificuldade encontrada por Swan e Edison, quando tentavam fazer lâmpadas desse tipo, era encontrar um material apropriado para o filamento, que não devia se derreter ou queimar.

Hoje em dia os filamentos são, geralmente, feitos de tungstênio, metal que só derrete quando submetido a temperatura altíssima.

Para evitar que os filamentos entrem em combustão e se queimem rapidamente, remove-se todo o ar da lâmpada, enchendo-a com a mistura de gases inertes, nitrogênio e argônio ou criptônio.

As lâmpadas incandescentes funcionam a baixas pressões, fazendo com que o ar rarefeito funcione como uma fonte de ionização, gerando a corrente elétrica.

4. FUNCIONAMENTO

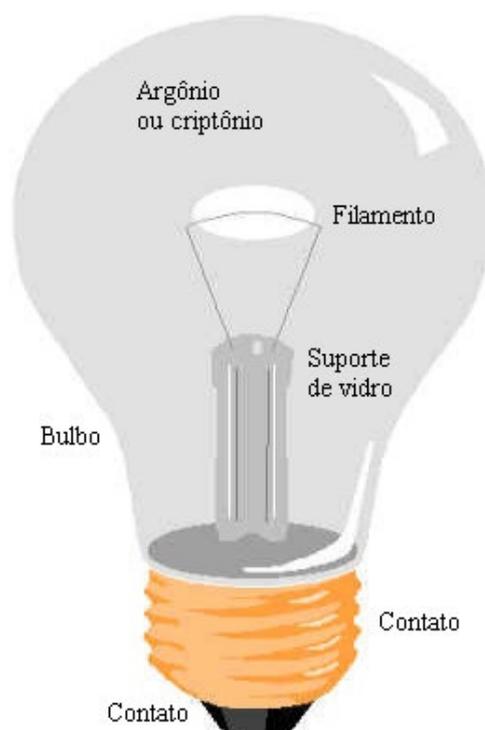


FIGURA 2 – Componentes de uma lâmpada incandescente

Se uma corrente elétrica suficientemente intensa passa por um filamento condutor, as moléculas do filamento vibram, ele se aquece e, num dado instante, chega a brilhar. Esse é o princípio da lâmpada incandescente comum.

A lâmpada elétrica incandescente foi inventada por volta de 1870 e envolveu o trabalho muitos pesquisadores e inventores. Entre estes se destaca Thomas Edison. Ele e seus assistentes experimentaram mais de 1.600 tipos de materiais, buscando um filamento eficiente e econômico. A sua melhor lâmpada utilizava filamentos de bambu carbonizados.

As lâmpadas incandescentes atuais utilizam um fio de tungstênio encerrado num bulbo de vidro. Esse fio tem diâmetro inferior a 0,1 mm e é enrolado segundo

uma hélice cilíndrica. Passando corrente elétrica no filamento, ele se aquece a uma temperatura da ordem de 3.000°C . O filamento torna-se, então, incandescente e começa a emitir luz. No interior da lâmpada não pode haver ar, pois do contrário o filamento se oxida e incendeia-se. Antigamente fazia-se vácuo no interior do bulbo, porém isso facilitava a sublimação do filamento (passagem do estado sólido para o estado de vapor). Passaram, então, a injetar um gás inerte, em geral o argônio ou criptônio.

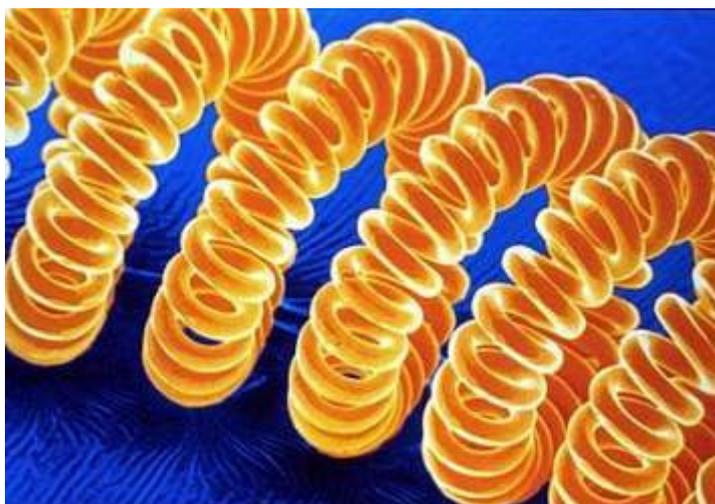


FIGURA 3 – Filamento de Tungstênio

É importante observar que a luz emitida por uma lâmpada incandescente não é efeito direto da corrente elétrica e sim consequência do aquecimento no filamento produzido pela passagem da corrente.

A lâmpada incandescente é uma lâmpada de baixo rendimento, gera muito mais calor do que luz. Apenas 5% da energia, aproximadamente, são transformadas em luz.

Para obter diferentes luminosidades, o fabricante altera, geralmente, a espessura do filamento: quanto maior a espessura maior a corrente elétrica e, portanto, maior a luminosidade.

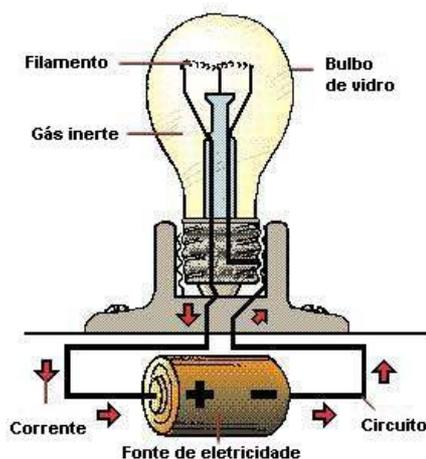


FIGURA 4 – funcionamento de uma lâmpada incandescente

As lâmpadas incandescentes são utilizadas em sinalização de tráfego, onde são acionadas freqüentemente.

Diferentemente do que ocorre com as lâmpadas fluorescentes, a vida útil das incandescentes não depende do número de acionamentos, mas sim do período em que ela permanece acesa.

A energia aplicada à lâmpada deteriora o filamento provocando o rompimento do mesmo.

5. MATERIAIS USADOS NA CONSTRUÇÃO DO LAMPADA INCANDESCENTE

5.1 TUNGSTÊNIO

O tungstênio ou tungstênio (chamado ainda de volfrâmio ou wolfrâmio) é um elemento químico de símbolo W , número atômico 74 (74 prótons e 74 elétrons) com massa atômica 184 u situado no grupo 6 da classificação periódica dos elementos. É um metal de transição que, à temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido.

Metal escasso na crosta terrestre, é encontrado em forma de óxido e de sais em certos minérios tais como wolframita e scheelita, entre outros. De cor branca acinzentada, brilhante, muito duro e denso, tem o ponto de fusão mais alto de todos os elementos. É utilizado em filamentos de lâmpadas incandescentes, em resistências elétricas, em ligas de aço e na fabricação de ferramentas.

Foi isolado em 1783 pelos irmãos José Elhuyar e Fausto Elhuyar, na Espanha, aos quais é creditada a descoberta do elemento.

5.1.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

O tungstênio puro é um metal duro de aspecto branco a cinza. Quando muito puro pode ser cortado com uma serra de metais, forjado e trefilado (é frágil e difícil de ser trabalhado quando impuro). O elemento apresenta o mais elevado ponto de ebulição (5657 °C), a menor pressão de vapor e a mais elevada resistência a tensão em temperaturas acima de 1650 °C, entre todos os metais. Sua resistência à corrosão é excelente e só é atacado ligeiramente pela maioria dos ácidos minerais diluídos. O tungstênio, quando exposto ao ar, forma na sua superfície um óxido protetor, porém pode ser oxidado em alta temperatura. Quando adicionado em pequenas quantidades ao aço eleva consideravelmente a sua dureza.

5.1.2 APLICAÇÕES

O tungstênio é um metal com uma enorme gama de usos, largamente utilizado na forma de carbonetos (W₂C, WC). Os carbonetos, devido à elevada dureza, são usados para revestir brocas de perfuração de solos utilizados em mineração, indústria petrolífera e indústrias de construção. O tungstênio é extensivamente usado em filamentos de lâmpadas incandescentes e válvulas eletrônicas e, como eletrodos, porque apresenta um ponto de fusão muito elevado e pode ser transformado em fios muito finos.

Outros usos:

O ponto de fusão elevado do tungstênio é apropriado para aplicações aeroespaciais, em válvulas de propulsores de mísseis e aeronaves. Por ser resistente a altas temperaturas, é usado também em calefação, indústrias de fundição e nuclear.

As propriedades dureza e densidade tornam este metal ideal para a fabricação de ligas de metais pesados que são usados em armamentos, dissipadores de calor e em aplicações de alta densidade tais como pesos e contrapesos.

Ferramentas de aço de alta velocidade (Hastelloy ®, Stellite ®), que exigem condições drásticas de trabalho, são frequentemente combinadas com tungstênio.

Superligas contendo este metal são aplicadas em lâminas de turbinas, ferramentas de aço e como revestimentos de peças que exigem alta resistência.

Compostos de tungstênio são usados como substitutos do chumbo em projéteis balísticos (balas de armas de fogo). Também usados em pontas de lanças e dardos.

Compostos de tungstênio são usados em catalisadores, pigmentos inorgânicos, e o dissulfeto de tungstênio como lubrificante para atuar em altas temperaturas, pois é estável até 500 °C.

Como apresenta expansão térmica semelhante ao vidro de borosilicato (pirex), é usado para selar a união vidro-metal.

É usado em munição como penetrador cinético de energia (APFSDS) como uma alternativa ao urânio esgotado (DU).

Os óxidos são usados em esmaltes cerâmicos e os tungstatos de cálcio/magnésio são extensivamente usados em lâmpadas fluorescentes.

O metal é usado como alvo em tubos de raio-X em radiologia geral e como elemento aquecedor (resistência) em fornalhas elétricas.

Sais que contêm tungstênio são usados em indústrias de produtos químicos e de curtumes

"Bronzes" de tungstênio (assim chamados os óxidos de tungstênio devido à cor bronzeada) juntamente com outros compostos são usados em tintas.

O carbeto de tungstênio tem sido utilizado recentemente para a confecção de jóias devido à sua natureza hipoalérgica e ao fato de não perder o brilho como os demais metais.

5.1.3 HISTÓRIA



Figura 5 – Pó de Tungstênio

A previsão da existência do tungstênio (do sueco tung sten que significa “pedra pesada”) foi proposta, pela primeira vez, por Peter Woulfe o nome original do tungstênio é wolfram, que significa saliva de lobo, em 1779, examinando a volframite e concluindo que este mineral continha uma nova substância. Em 1781 Carl Wilhelm Scheele verificou que um novo ácido poderia ser obtido da tungstenita, mineral conhecido atualmente por scheelite.

Daí, Scheele e Torbern Bergman sugeriram que poderia ser possível obter um novo metal reduzindo o ácido túngstico. Em 1783 José Elhuyar e Fausto Elhuyar encontraram um ácido na volframite que era idêntico ao ácido túngstico. No mesmo ano, na Espanha, os irmãos Elhuyar conseguiram isolar o tungstênio a partir da redução do ácido com carvão vegetal.

5.1.3.1 SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

Na Segunda Guerra Mundial, o tungstênio desempenhou um papel de enorme importância nas relações diplomáticas. Portugal, como a principal fonte deste elemento na Europa, foi colocado sob grande pressão de ambos os lados em disputa, já que este elemento era essencial para a produção de volfrâmio. A resistência a altas temperaturas, assim como a extrema resistência mecânica das suas ligas, fizeram deste metal um material muito importante na indústria de armamento.

5.1.4 AÇÃO BIOLÓGICA

Enzimas chamadas oxiredutases usam o tungstênio de maneira similar ao molibdênio para a formação do complexo pterina- tungstênio, quimicamente semelhante à molibnopterina (MPT).

Em 20 de agosto de 2002 representantes do Centro para o Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos anunciaram que testes de urina de pacientes com leucemia e familiares, residentes em Fallon (Nevada), tinham mostrado níveis elevados de metal tungstênio no organismo. Recentemente, 16 casos de câncer em crianças foram descobertos na área de Fallon, que agora é identificada como “área de risco de câncer”. O Dr. Carol H. Rubin, um chefe da filial do CDC, diz que os dados que indicam uma ligação entre o tungstênio e a leucemia não estão avaliados até o presente.

5.1.5 OCORRÊNCIA E OBTENÇÃO

O tungstênio é encontrado nos minerais wolframite (tungstato de ferromanganês, $\text{FeWO}_4/\text{MnWO}_4$), scheelite (tungstato de cálcio, CaWO_4), ferberite, stützite e hubnerite. Importantes depósitos destes minerais estão na Bolívia, na Califórnia e Colorado (Estados Unidos), na China, na Áustria, em Portugal, na Rússia e na Coreia do Sul (com a China produzindo aproximadamente 75% da demanda mundial). O metal é produzido comercialmente a partir da redução do óxido de tungstênio com hidrogênio ou carbono.

5.1.6 COMPOSTOS

O estado de oxidação mais comum do tungstênio é +6, porém exibe todos os estados de oxidação desde -2 até +6. A combinação típica do tungstênio é com o oxigênio, produzindo óxido de tungstênio amarelo, WO_3 , que dissolve soluções aquosas alcalinas originando íons tungstato, WO_4^{2-} .

A partir dos óxidos de tungstênio:

Óxidos mistos com metais alcalinos ou alcalino terrosos

Óxidos azuis, de valência mista, que são preparados por redução suave, e

Bronzes de tungstênio, de valência mista e não estequiométrico, com certa proporção de sódio.

Outros compostos de tungstênio:

Tungstatos simples

Iso e heteropolíácidos e seus sais, polioxometalatos de grande riqueza e variedade estrutural

Sulfetos e halogenetos.

5.1.7 ISÓTOPOS

O tungstênio tem 5 isótopos naturais, 4 dos quais são estáveis: W-182, W-183, W-184, W-186. W-180 têm meia-vida absurdamente longa e, para finalidades práticas, podem ser considerados estáveis. Outros 27 radioisótopos foram identificados, dos quais os mais estáveis são o W-181, com uma meia-vida de 121,2 dias, o W-185 com uma meia-vida de 75,1 dias, o W-188 com uma meia-vida de 69,4 dias e o W-178 com uma meia-vida de 21,6 dias. Todos os isótopos radiativos restantes têm meias-vida de menos de 24 horas, e maioria destes com menos de 8 minutos. O tungstênio apresenta também 4 metaestáveis, sendo o mais estável o W-

179m (meia-vida de 6.4 minutos). As massas atômicas dos isótopos de tungstênio variam de 157,974 u (W-158) até 189,963 u (W-190).

Calor de vaporização	824 kJ/mol				
Calor de fusão	35,4 kJ/mol				
Pressão de vapor	4,27 Pa a 3680 K				
Velocidade do som	5174 m/s a 293,15 K				
Informações diversas					
Eletronegatividade	2,36 (Pauling)				
Calor específico	130 J/(kg·K)				
Condutividade elétrica	18,9 · 10 ⁶ m ⁻¹ · Ω ⁻¹				
Condutividade térmica	174 W/(m·K)				
1º Potencial de ionização	770 kJ/mol				
2º potencial de ionização	1700 kJ/mol				
Isótopos mais estáveis					
iso.	AN	Meia vida	MD	ED MeV	PD
¹⁸⁰ W	0,12%	1,8 x 10 ¹⁸ a	α	2,516	176Hf
¹⁸¹ W	{sin}	121,2 d	ε	0,188	181Ta
¹⁸² W	26,50%	W é estável com 108 nêutrons			
¹⁸³ W	14,30%	W é estável com 109 nêutrons			
¹⁸⁴ W	30,64%	W é estável com 110 nêutrons			
¹⁸⁵ W	{sin}	75,1 d	β	0,433	185Re
¹⁸⁶ W	28,43%	W é estável com 112 nêutrons			
Unidades SI e CNTP exceto onde indicado o contrário.					
Propriedades físicas					
Estados de oxidação (óxido)			6, 5, 4, 3, 2 (levemente ácido)		
Estrutura cristalina			Cúbica centrada no corpo		
Estado da matéria			Sólido		
Ponto de fusão			3695 K (3422 °C)		
Ponto de ebulição			5828 K (5555 °C)		

5.2 ARGÔNIO

O árgon/árgão/argão (formas aceitas com predileção a árgon) ou argônio^{PB} (do grego *árgon*, inactivo) é um elemento químico, de símbolo Ar, número atómico 18 (18 protons e 18 eletons) e massa atómica 40 u, encontrado no estado gasoso em temperatura ambiente.

Foi descoberto em 1894 pelos ingleses William Ramsay e Lord Rayleigh. É o terceiro elemento da classe dos gases nobres, incolor e inerte como eles, constituindo cerca de 1% do ar atmosférico. É usado em lâmpadas fluorescente e em dispositivos ou processos que exigem uma atmosfera inerte.

5.2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Tem uma solubilidade em água 2,5 vezes maior que a do nitrogénio ou a do oxigênio. É um gás monoatómico inerte, incolor e inodoro tanto no estado líquido quanto no gasoso. Apesar de inerte, um composto estável de argon [argon fluorohydride (HArF)] foi identificado pela primeira vez em 2000 por um grupo de pesquisadores Finlandeses [1]. Adicionalmente, um composto com flúor, muito instável foi feito em 2003, pelo químico suíço Helmut Durrenmatt.

5.2.2 APLICAÇÕES

É empregado como gás de enchimento em lâmpadas incandescentes, já que não reage com o material do filamento, mesmo em altos níveis de temperatura e pressão. Com isso prolonga-se a vida útil da lâmpada. Emprega-se também na substituição do néon, nas lâmpadas fluorescentes, quando se deseja uma coloração verde azulada ao invés do roxo do néon. Também é usado como substituto do nitrogénio molecular(N_2) quando este não se comporta como gás inerte devido às condições de operação.

No âmbito industrial e científico, é empregado universalmente na recriação de atmosferas inertes (não reagentes) para evitar reações químicas indesejadas em vários tipos de operações.

Soldagem em arco eléctrico e oxicorte.

Fabricação de titânio e outros elementos químicos reactivos.

Fabricação de *monocristais* — partes cilíndricas formadas por uma estrutura cristalina contínua de silício e germânio para componentes semicondutores.

O árgon-39 é usado, entre outras aplicações, para a datação de núcleos de gelo e águas subterrâneas.

Em mergulhos profissionais, o árgon é empregado para inflar trajes - o que impede o contato da pele com a humidade típica do neopreno — tanto por ser inerte como por sua pequena conductibilidade térmica, proporcionando um isolamento térmico necessário para realizar longas imersões em determinadas profundidades.

O laser de árgon tem usos médicos em odontologia e oftalmologia. A primeira intervenção com laser de árgon foi realizada por Francis L'Esperance, para tratar uma retinopatía em fevereiro de 1968.

5.2.3 HISTÓRIA

Henry Cavendish, em 1785, expôs uma amostra de nitrogénio a descargas eléctricas repetidas em presença de oxigénio para formar óxido de nitrogénio que, após eliminado, restava em torno de 1% de um gás original que não podia ser dissolvido. Cavendish afirmava, diante disso, que nem todo o «ar flogisticado» era nitrogénio. Em 1892 *Lord* Rayleigh descobriu que o nitrogénio atmosférico tinha uma densidade maior que o nitrogénio puro obtido a partir do nitro. Rayleigh e *Sir* William Ramsay demonstraram em 1894 que a diferença devia-se à presença de um segundo gás pouco reactivo e mais pesado que o nitrogénio: o árgon. O anúncio da descoberta foi acolhida com muita desconfiança pela comunidade científica.

Em 1904 Rayleigh recebeu o Prémio Nobel de Física pelas suas investigações acerca da densidade dos gases mais importantes e pela descoberta da existência do árgon.

5.2.4 ABUNDÂNCIA E OBTENÇÃO

O gás é obtido por meio da destilação fraccionada do ar líquido, onde é encontrado numa proporção de aproximadamente 0,94%, eliminando-se posteriormente o oxigénio residual com hidrogénio. A atmosfera de Marte contém 1,6% de Ar-40 e 5 ppm de Ar-36. A de Mercúrio contém 7,0% e a atmosfera de Vénus contém apenas traços.

5.2.5 ISÓTOPOS

Os principais isótopos de árgon presentes na Terra são Ar-40 (99,6%) e em menores quantidades, o Ar-36 e Ar-38. O isótopo K-40, com uma vida média de $1,205 \times 10^9$ anos, decai em 11,2% a Ar-40 estável mediante captura electrónica e desintegração β^+ (emissão de um positrão), e os 88,8% restantes a Ca-40 mediante

desintegração β^- (emissão de um electrão). Estas proporções de desintegração permitem determinar a idade das rochas. Na atmosfera terrestre, o Ar-39 é gerado por bombardeamento de raios cósmicos principalmente a partir do Ar-40. Em locais subterrâneos não expostos é produzido por captura neutrónica do K-39 e desintegração α do cálcio.

O Ar-37, com uma vida média de 35 dias, é produto do decaimento do Ca-40, resultado de explosões nucleares subterrâneas.

<u>Isótopos</u> mais estáveis					
<u>iso</u>	<u>AN</u>	<u>Meia-vida</u>	<u>MD</u>	<u>ED (MeV)</u>	<u>PD</u>
³⁶ Ar	0,336%	estável com 18 <u>nêutrons</u>			
³⁸ Ar	0,063%	estável com 20 nêutrons			
³⁹ Ar	sintético	269 anos	<u>β^-</u>	0,565	³⁹ <u>K</u>
⁴⁰ Ar	99,601%	estável com 22 nêutrons			
⁴² Ar	sintético	32,9 anos	β^-	0,600	⁴² <u>K</u>
Unidades <u>SI</u> e <u>CNTP</u> , exceto onde indicado o contrário					
<u>Pressão de vapor</u>			não disponível		
<u>Velocidade do som</u>			319 <u>m/s</u> (293,15 <u>K</u>)		
Miscelânea					
<u>Eletronegatividade</u>			sem dados		
<u>Calor específico</u>			520 <u>J/kg*K</u>		
<u>Condutividade elétrica</u>			não disponível		
<u>Condutividade térmica</u>			0,01772 <u>W/m*K</u>		
1° <u>Potencial de ionização</u>			1520,6 <u>kJ/mol</u>		
2° <u>Potencial de ionização</u>			2665,8 <u>kJ/mol</u>		
3° <u>Potencial de ionização</u>			3931 <u>kJ/mol</u>		
4° <u>Potencial de ionização</u>			5771 <u>kJ/mol</u>		
5° <u>Potencial de ionização</u>			7238 <u>kJ/mol</u>		
6° <u>potencial de ionização</u>			8781 <u>kJ/mol</u>		
7° <u>potencial de ionização</u>			11995 <u>kJ/mol</u>		
8° <u>potencial de ionização</u>			13842 <u>kJ/mol</u>		

5.3 CRIPTÔNIO

O cripton ou criptônio (do grego, *kripton*, que significa *oculto*) é um elemento químico de símbolo Kr de número atômico 36 (36 prótons (ou Protões) e 36 elétrons (ou Eletrões)) e de massa atômica igual a 83,8 u. À temperatura ambiente, o cripton encontra-se no estado gasoso.

É um elemento do grupo dos gases nobres (18 , 0 ou 8A) da Classificação Periódica dos elementos.

Foi descoberto em 1898 por William Ramsay e Morris Travers em resíduos da evaporação do ar líquido.

Sua principal aplicação é para a fabricação de lâmpadas incandescentes e fluorescentes.

5.3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

O cripton é um gás nobre incolor, inodoro, insípido, de muito pequena reactividade, caracterizado por um espectro de linhas verde e vermelha-alaranjada muito brilhante. É um dos produtos da fissão nuclear do urânio. O cripton sólido é branco, de estrutura cristalina cúbica centrada nas faces, igual aos demais gases nobres.

Para propósitos práticos, pode-se considerá-lo um gás inerte, mesmo que existam compostos seus formados com o flúor. Além disso, pode formar hidratos com a água, de forma que seus átomos ficam enclausurados na rede de moléculas de água. Também se têm sintetizado solvatos com hidroquinona e fenol.

5.3.2 APLICAÇÕES

A definição do metro era, entre 1960 e 1983, baseada na radiação emitida pelo átomo excitado de cripton; na verdade, o metro era definido como 1.650.763,73 vezes o comprimento de onda da emissão vermelha-alaranjada de um átomo de Kr-86.

É usado, isolado ou misturado com néon e árgon: em lâmpadas fluorescentes; em sistemas de iluminação de aeroportos, já que o alcance da luz vermelha emitida é maior que a comum inclusive em condições climatológicas adversas; e nas lâmpadas incandescentes de filamento de tungstênio de projectores cinematográficos. O laser de cripton é usado em medicina para cirurgia da retina do olho. O isótopo Kr-81m é usado no estudo do pulmão pela medicina nuclear.

O cripton-85 é usado em análises químicas incorporando o gás em sólidos, processo no qual se formam criptonatos cuja atividade é sensível às reacções químicas produzidas na superfície da solução. Também é usado flash fotográficos para fotografias de alta velocidade, na detecção de fugas em depósitos selados e para excitar o fósforo de fontes de luz sem alimentação externa de energia.

5.3.3 HISTÓRIA

Foi descoberto em 1898, por William Ramsay e Morris Travers, em resíduos de evaporação do ar líquido. Em 1960, a Oficina Internacional de Pesos e Medidas definiu o metro em função do comprimento de onda da radiação emitida pelo isótopo Kr-86 em substituição à barra padrão. Em 1983 a emissão do cripton foi substituída pela distância percorrida pela luz em 1/299.792.458 segundos.

5.3.4 ABUNDÂNCIA E OBTENÇÃO

É um gás raro na atmosfera terrestre, da ordem de 1 ppm. É encontrado entre os gases vulcânicos e águas termais e em diversos minerais em quantidades muito pequenas. Pode-se extrair-lo do ar por destilação fraccionada.

Na atmosfera do planeta Marte se tem encontrado o cripton na concentração de 0,3 ppm.

5.3.5 ISÓTOPOS

O cripton natural é constituído por 6 isótopos e foram caracterizados 17 isótopos radioativos. O isótopo Kr-81 é produto de reacções atmosféricas com outros isótopos naturais, é radioactivo e tem uma vida média de 250.000 anos. Como o xénon, o cripton é extremamente volátil e escapa com facilidade das águas superficiais, por isso é usado para datar antigas águas subterrâneas (50.000 a 800.000 anos).

O isótopo Kr-85 é um gás inerte radioactivo de 10,76 anos de vida média, produzido na fissão do urânio e do plutônio. As fontes deste isótopo são os testes nucleares (bombas), os reatores nucleares e o reprocessamento das barras de combustíveis dos reactores. Tem-se detectado um forte gradiente deste isótopo entre os hemisférios norte e sul, sendo as concentrações detectadas no pólo norte 30% mais altas do que as do pólo sul.

Entalpia de vaporização	9,029 kJ/mol				
Entalpia de fusão	1,638 kJ/mol				
Pressão de vapor	não definida				
Velocidade do som	1120 m/s (293,15 K)				
Miscelânea					
Eletronegatividade	3,00 (escala de Pauling)				
Capacidade calorífica	248 J/kg*K				
Condutividade elétrica	não definida				
Condutividade térmica	0,00949 W/m*K				
1º Potencial de ionização	1350,8 kJ/mol				
2º Potencial de ionização	2350,4 kJ/mol				
3º Potencial de ionização	3565 kJ/mol				
4º Potencial de ionização	8407,7 kJ/mol				
5º Potencial de ionização	5070 kJ/mol				
6º Potencial de ionização	7570 kJ/mol				
7º Potencial de ionização	10710 kJ/mol				
8º Potencial de ionização	12138 kJ/mol				
Isótopos mais estáveis					
iso	AN	meia-vida	MD	ED (MeV)	PD
⁷⁸ Kr	0,35%	Kr é estável com 42 nêutrons			
⁸⁰ Kr	2,25%	Kr é estável com 44 nêutrons			
⁸¹ Kr		229000 a	Épsilon	0,281	⁸¹ Br
⁸² Kr	11,6%	Kr é estável com 46 nêutrons			
⁸³ Kr	11,5%	Kr é estável com 47 nêutrons			
⁸⁴ Kr	57%	Kr é estável com 48 nêutrons			
⁸⁵ Kr	{sint.}	10,756 anos	Beta⁻	0,687	⁸⁵ Rb
⁸⁶ Kr	17,3%	Kr é estável com 50 nêutrons			
Unidades SI e CNTP, exceto onde indicado o contrário					
(-153,22±0,10) °C					
Volume molar	27,99 × 10 ⁻⁶ m³/mol				

6. CONCLUSÃO

Mesmo sendo uma das tecnologias mais antigas em relação a produção de energia luminosa, seu principio fundamental não foi alterado desde sua primeira construção em grande escala e é utilizada até hoje.

Com o custo menor do que as outras opções de lâmpadas existentes, a lâmpada incandescente ainda será usada por muito tempo, mesmo não sendo mais econômicas em termos de gasto de energia que as outras opções no mercado.

7. BIBLIOGRAFIA

<http://br.geocities.com/saladefisica7/funciona/lampada.htm>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Tungst%C3%AAnio>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Argonio>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Cr%C3%ADpton>

SCR: RETIFICADOR CONTROLADO DE SILÍCIO

Samir de Oliveira Ferreira

1. INTRODUÇÃO

O SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) foi desenvolvido por um grupo de engenheiros do *Bell Telephone Laboratory* (EUA) em 1957. É o mais conhecido e aplicado dos Tiristores existentes. Tiristor é o nome genérico dado à família dos componentes compostos por quatro camadas semicondutoras (PNPN).

Os Tiristores SCR's funcionam analogamente a um diodo, porém possuem um terceiro terminal conhecido como Gatilho (*Gate* ou Porta). Este terminal é responsável pelo controle da condução (disparo). Em condições normais de operação, para um SCR conduzir, além de polarizado adequadamente (tensão positiva no Ânodo), deve receber um sinal de corrente no gatilho, geralmente um pulso.

A principal aplicação que os SCR têm é a conversão e o controle de grandes quantidades de potência em sistemas CC e CA, utilizando apenas uma pequena potência para o controle. Isso se deve à sua ação de chaveamento rápido, ao seu pequeno porte e aos altos valores nominais de corrente e tensão em que podem operar.

2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO SCR

Algumas características dos SCR's são notáveis como o fato de serem chaves estáticas bi-estáveis, ou seja, trabalham em dois estados: não condução e condução, com a possibilidade de controle. Em muitas aplicações podem ser considerados chaves ideais, mas há limitações e características na prática. São compostos por 4 camadas semicondutoras (P-N-P-N), três junções (P-N) e 3 terminais (Ânodo, Cátodo e Gatilho). São semicondutores de silício. O uso do silício foi utilizado devido a sua alta capacidade de potência e capacidade de suportar altas temperaturas. Apresentam alta velocidade de comutação e elevada vida útil; Possuem resistência elétrica variável com a temperatura, portanto, dependem da potência que estiverem conduzindo. São aplicados em controles de relés, fontes de tensão reguladas, controles de motores, *Choppers* (variadores de tensão CC), Inversores CC-CA, Ciclo-conversores (variadores de frequência), carregadores de baterias, circuitos de proteção, controles de iluminação e de aquecedores e controles de fase, entre outras.

A figura 1 apresenta a simbologia utilizada e as camadas, junções e terminais, enquanto a figura 2 apresenta um tipo de estrutura construtiva para as camadas de um SCR. A figura 3 mostra a aparência do encapsulamento tipo TO de um SCR muito utilizado, já acoplado a um dissipador de calor. A figura 4 mostra alguns SCR de alta potência com encapsulamento tipo rosca e tipo disco. A figura 5 é uma fotografia de um SCR real.

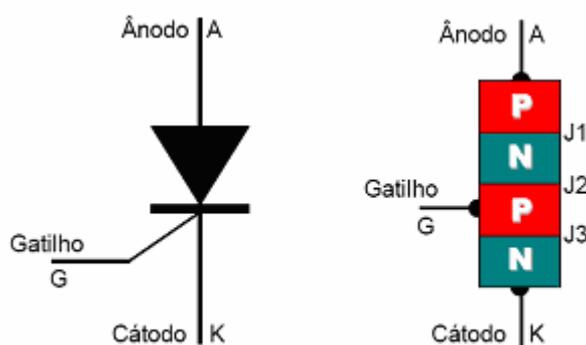


FIGURA 1 – SRC: simbologia, camadas e junções

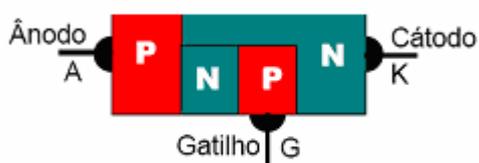


FIGURA 2 – Um tipo estrutura interna das camadas de um SRC

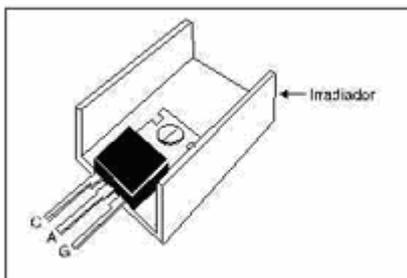


FIGURA 3 – Encapsulamento tipo TO para SRC, com dissipador de calor



Figura 1.4 – SCR com encapsulamentos tipo rosca e tipo disco para altas potências [ref. 3]

FIGURA 4 – SCR com encapsulamento tipo rosca e tipo disco para altas potências



FIGURA 5 – SCR para correntes máximas de 100 ampères e 1200 volts montado em um dissipador de calor, os dois fios menores são o terminal de gatilho.

3. SCR IDEAL

Um SCR ideal se comportaria com uma chave ideal, ou seja, enquanto não recebesse um sinal de corrente no gatilho, seria capaz de bloquear tensões de valor infinito, tanto com polarização direta como reversa. Bloqueado, o SCR ideal não conduziria qualquer valor de corrente. Tal característica é representada pelas retas 1 e 2 na Figura 6.

Quando disparado, ou seja, quando comandado por uma corrente de gatilho I_{GK} , o SCR ideal se comportaria como um diodo ideal, como pode-se observar nas retas 1 e 3. Nesta condição, o SCR ideal seria capaz de bloquear tensões reversas infinitas e conduzir, quando diretamente polarizado, correntes infinitas sem queda de tensão e perdas de energia por Efeito Joule.

Assim como para os diodos, tais características seriam ideais e não se obtêm na prática. Os SCR reais têm, portanto, limitações de bloqueio de tensão direta e reversa e apresentam fuga de corrente quando bloqueados. Quando habilitados têm limitações de condução de corrente, pois apresentam uma pequena resistência à circulação de corrente e queda de tensão na barreira de potencial das junções que provocam perdas de energia por Efeito Joule e conseqüente aquecimento do componente.

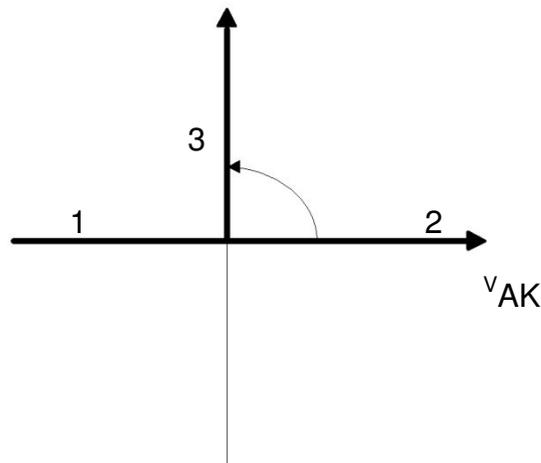


FIGURA 6 - Características estáticas de um SCR ideal.

4. POLARIZAÇÃO DIRETA

A figura 8 apresenta um circuito de polarização direta de um SCR onde

podemos verificar que a tensão do Ânodo é positiva em relação ao Cátodo e estão J_1 e J_3 polarizadas diretamente, já J_2 polarizada reversamente apresenta maior barreira de potencial logo flui pequena Corrente de Fuga Direta de Ânodo para Cátodo, I_F (*Forward Current*).

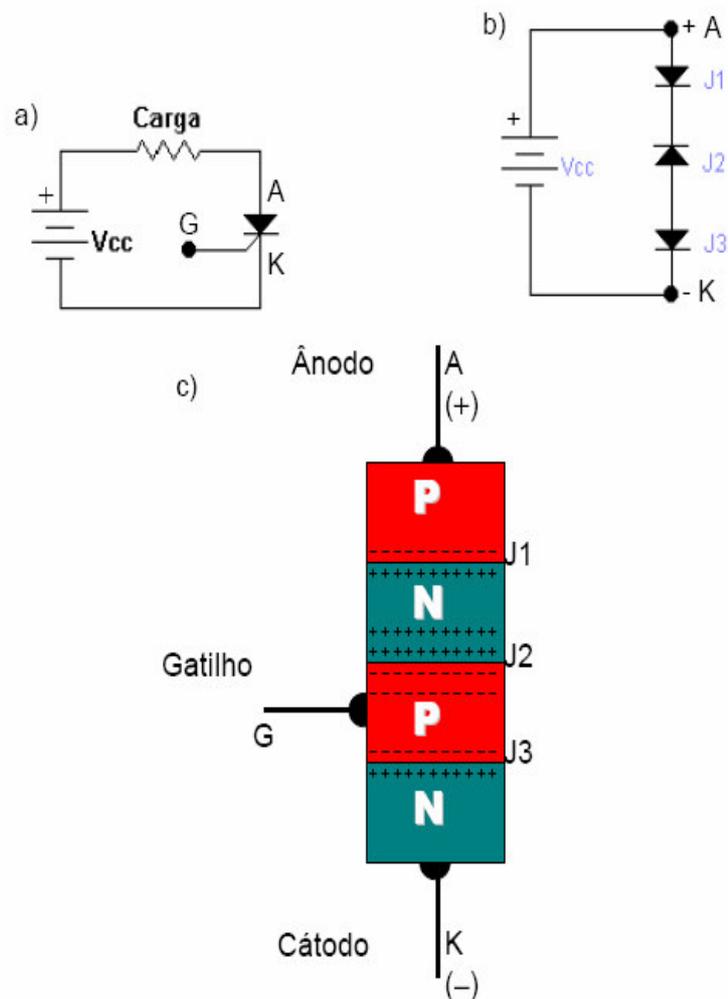


FIGURA 8 – (a) SCR bloqueado em polarização direta; (b) Analogia com diodos
(c) Efeito da polarização direta nas junções;

5. POLARIZAÇÃO REVERSA

A figura 9 apresenta um circuito de polarização direta de um SCR onde podemos verificar que a tensão de Cátodo é positiva em relação ao Ânodo, J_2 diretamente polarizada e J_1 e J_3 reversamente polarizadas logo apresentam maiores barreiras de potencial e flui pequena Corrente de Fuga Reversa de Cátodo para Ânodo, I_R (*Reverse Current*).

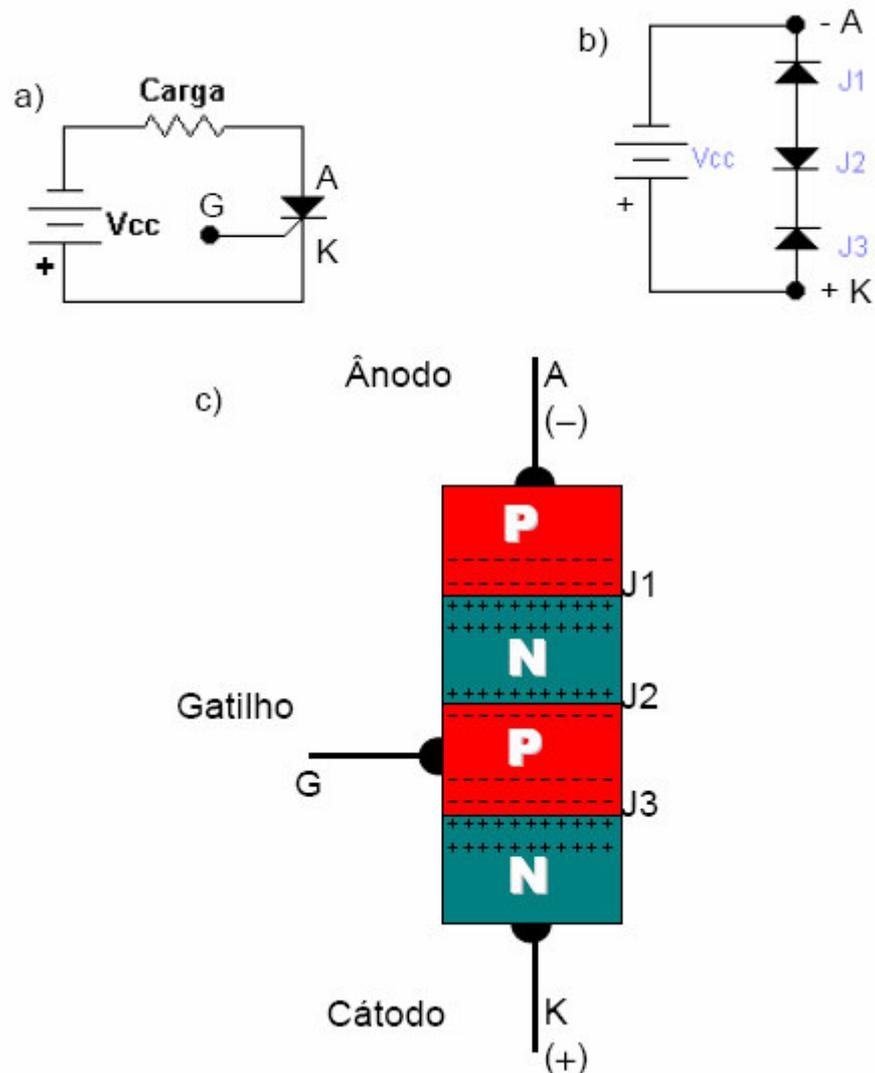


FIGURA 9 – (a) SCR bloqueado em polarização reversa; (b) Analogia com diodos; (c) Efeito da polarização reversa nas junções

6. MODOS DE DISPARO DE UM SCR

Um SCR é disparado (entra em condução) quando aumenta a Corrente de Ânodo I_A , através de uma das seguintes maneiras:

6.1 CORRENTE DE GATILHO I_{GK}

É o procedimento normal de disparo do SCR. Quando estiver polarizado diretamente, a injeção de um sinal de corrente de gatilho para o cátodo (I_G ou I_{GK}), geralmente na forma de um pulso, leva o SCR ao estado de condução. A medida que aumenta a corrente de gatilho para cátodo, a tensão de bloqueio direta diminui até que o SCR passa ao estado de condução.

A Figura 10 apresenta um circuito para disparo do SCR. Enquanto diretamente polarizado o SCR só começa a conduzir se receber um comando através de um sinal de corrente (geralmente um pulso) em seu terminal de gatilho (*Gate* ou Porta). Esse pulso polariza diretamente o “segundo diodo formado pelas camadas N e P” e possibilita a condução.

Enquanto tivermos corrente entre ânodo e cátodo o SCR continua conduzindo, sendo ele cortado (bloqueado) somente quando a mesma for praticamente extinta. Nesta condição, as barreiras de potencial formam-se novamente e o SCR precisará de um novo sinal de corrente no gatilho para voltar ao estado de condução.

Polarizado reversamente o SCR funciona como um diodo, bloqueando a passagem de corrente, mesmo quando efetuado um pulso em seu Gatilho.

A característica gatilho-cátodo de um SCR se assemelha a uma junção PN, variando, portanto, de acordo com a temperatura e características individuais do componente.

Como entre o gatilho e o cátodo há uma junção PN, temos uma tensão de aproximadamente 0,7V. Desta forma, analisando o circuito da figura 11. podemos determinar os requisitos para o circuito de disparo do SCR.

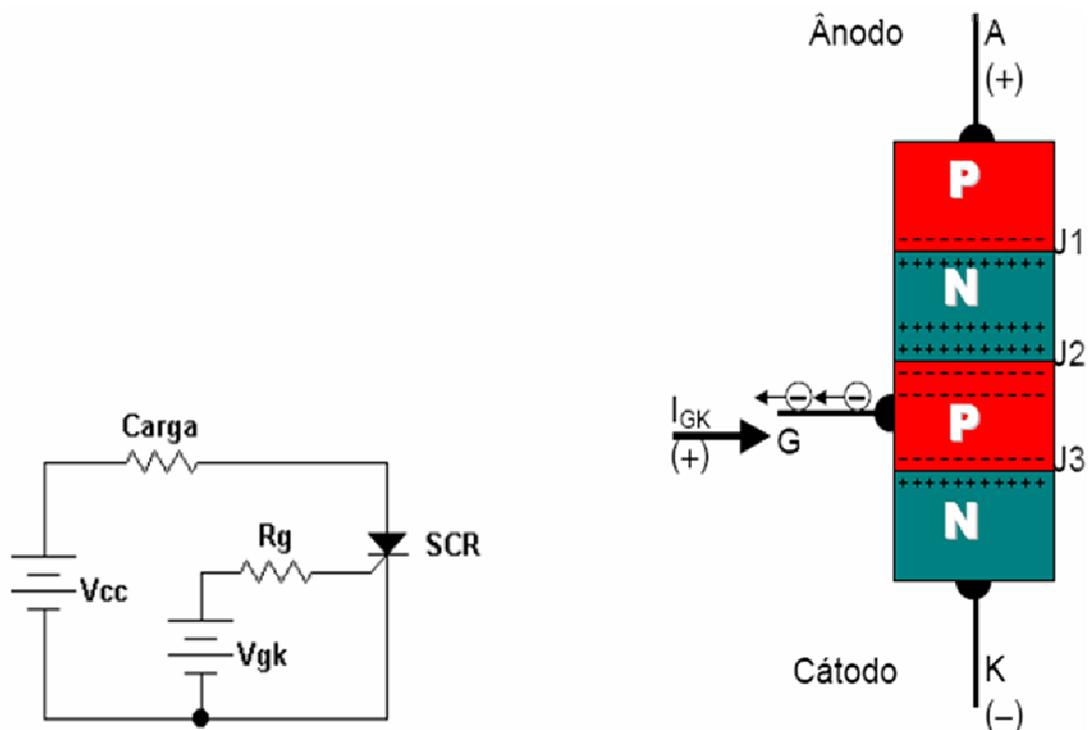


FIGURA 10 – Disparo de um SCR

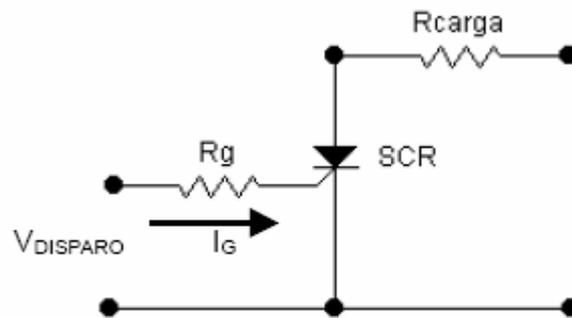


FIGURA 11 – Circuito para disparo do SCR

Assim, a tensão $V_{DISPARO}$ necessária para proporcionar a corrente de disparo I_G através da resistência limitadora R_G pode ser dada por:

$$V_{DISPARO} = I_G \cdot R_G + 0,7$$

6.1.1 CORRENTE DE RETENÇÃO E CORRENTE DE MANUTENÇÃO

Para entrar em condução o SCR deve conduzir uma corrente suficiente, cujo valor mínimo recebe o nome de Corrente de Retenção I_L (*Latching Current*). O SCR não entrará em condução se a Corrente de Gatilho I_{GK} for suprimida antes que a Corrente de Ânodo I_A atinja o valor da Corrente de Retenção I_L .

Uma vez retirada a corrente de gatilho, a mínima Corrente de Ânodo I_A para manter o SCR em condução é chamada Corrente de Manutenção I_H (*Holding Current*). Se a Corrente de Ânodo for menor que a Corrente de Manutenção, as barreiras de potencial formam-se novamente e o SCR entrará em Bloqueio.

A Corrente de Retenção é maior que a Corrente de Manutenção ($I_L > I_H$). O valor de I_L é em geral de duas a três vezes a corrente de manutenção I_H . Ambas diminuem com o aumento da temperatura e vice-versa.

É por este motivo que dizemos que o SCR é uma Chave de Retenção (ou Travamento) porque uma vez em condução, permanece neste estado enquanto a Corrente de Ânodo I_A for maior que a Corrente de Manutenção ($I_A > I_H$), mesmo sem corrente no gatilho (I_{GK}).

6.2 SOBRETENPERATURA

O aumento brusco da temperatura aumenta o número de pares elétrons-

lacunas no semiconductor provocando maior corrente de fuga, o que pode levar o SCR ao estado de condução. O disparo por aumento de temperatura deve ser evitado.

5.3 SOBRETENSÃO

Se a tensão direta ânodo-cátodo V_{AK} for maior que o valor da tensão de ruptura direta máxima V_{DRM} (V_{BO}), fluirá uma corrente de fuga suficiente para levar o SCR ao estado de condução.

Isto acontece porque o aumento da tensão V_{AK} em polarização direta acelera os portadores de carga na junção J2 que está reversamente polarizada, podendo atingir energia suficiente para provocar a avalanche e disparar o SCR. Este fenômeno faz com que muitos elétrons choquem-se e saiam das órbitas dos átomos do semiconductor ficando disponíveis para condução e permitindo o aumento da corrente de fuga no SCR e levando-o ao estado de condução.

O disparo por sobretensão direta diminui a vida útil do componente e, portanto, deve ser evitado.

A aplicação de uma sobretensão reversa, ou seja, uma tensão ânodo-cátodo maior que o valor da tensão de ruptura reversa máxima (V_{RRM} ou V_{BR}) danificará o componente.

5.4 DEGRAU DE TENSÃO DV/DT ($\Delta V/\Delta T$)

Se a taxa de crescimento da tensão ânodo-cátodo V_{AK} no tempo for alta (subida muito rápida da tensão V_{AK}) pode levar o SCR ao estado de condução. Em polarização direta a Junção J2 está reversamente polarizada e se comporta como um capacitor carregado, como podemos observar na figura 12.

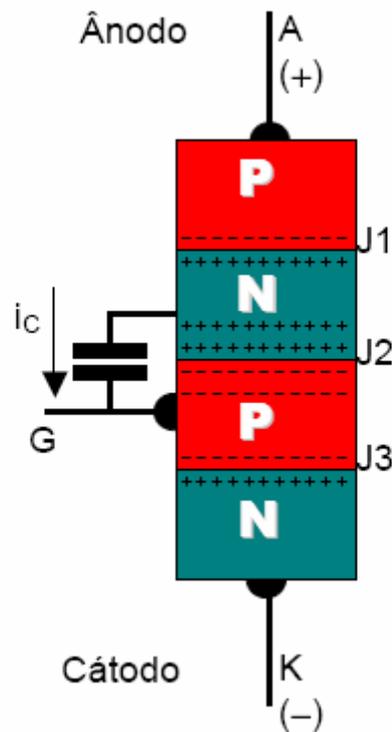


FIGURA 12 – Disparo por degrau de tensão

6. ANALOGIA COM 2 TRANSISTORES

A figura 13 apresenta um circuito com dois transistores complementares (PNP e NPN) que permitem uma analogia ao funcionamento do SCR e demonstra a ação de retenção (travamento) devido à realimentação positiva no circuito

De uma maneira simplificada, com polarização direta, a injeção de um sinal de corrente no gatilho do circuito provoca um efeito de realimentação em que o aumento da corrente na base de Q2 aumenta a corrente de fuga no coletor de Q2 e da base de Q1 e, conseqüentemente, a corrente de coletor de Q1. Esta, por sua vez, realimenta a corrente de base de Q2 e assim sucessivamente até ambos os transistores entrarem em saturação.

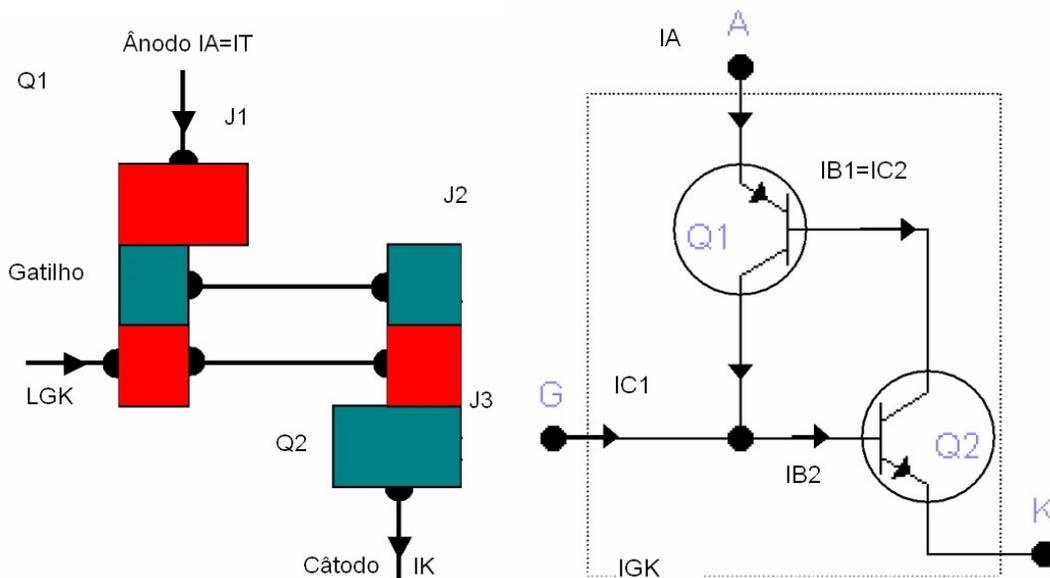


FIGURA 13 – Modelo de um SCR com dois transistores complementares

8. BLOQUEIO OU COMUTAÇÃO DO SCR

O desligamento de um SCR é chamado de Bloqueio ou Comutação. O SCR é uma chave de retenção, ou seja, uma vez disparado e conduzindo, o gatilho perde o controle. A única forma de bloquear um SCR é reduzir a corrente de ânodo I_A para um valor menor que o valor da corrente de manutenção I_H durante certo tempo. Este é o tempo necessário para o desligamento do SCR, t_{off} .

Deve-se, portanto lembrar que os diodos e SCR's somente bloqueiam quando praticamente é extinta a corrente entre ânodo-cátodo e não por aplicação de tensão reversa. Para um SCR comutar, ou seja, passar do estado de condução para o estado de não condução, também chamado de bloqueio, a Corrente de Ânodo I_A deve ser reduzida a um valor abaixo do valor da corrente de manutenção I_H , durante um certo tempo (tempo de desligamento t_q). O tempo de desligamento é da ordem de 50 a 100 μ s para os SCR normais e de 5 a 10s para os SCR rápidos.

8,1 COMUTAÇÃO NATURAL

A Comutação Natural acontece quando a Corrente de Ânodo I_A for reduzida a um valor abaixo da Corrente de Manutenção I_H . A Corrente de Manutenção é cerca de 1000 vezes menor que a corrente nominal do SCR.

Em circuitos de corrente alternada a corrente passa por zero em algum

momento do ciclo. Isso já é suficiente para o bloqueio do SCR em frequências comerciais (50 ou 60Hz). A Figura 14 apresenta um circuito em que ocorre a Comutação Natural. Fechada a chave Ch1 e pulsando a chave Ch2 o SCR entra em condução e permanece até que o momento em que a corrente passe por zero no ciclo alternado. Nesse momento $I_A < I_H$ e o SCR bloqueia.

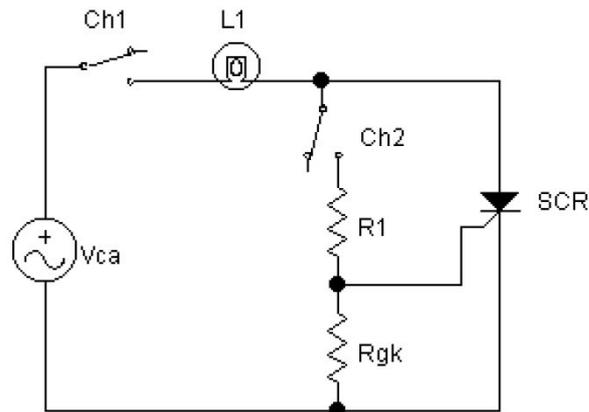


FIGURA 14 – Circuito para comutação natural do SCR

8.2 COMUTAÇÃO FORÇADA

Em circuitos de corrente contínua a tensão permanece positiva no ânodo. Como a corrente não diminui naturalmente, deve-se provocar a redução da Corrente de Ânodo através da Comutação Forçada. Há duas formas para isso, desviando-se a corrente por um caminho de menor impedância provocando $I_A < I_H$ ou aplicando-se tensão reversa forçando a operação na região de polarização reversa. Note que isso também fará $I_A < I_H$.

A Figura 15 apresenta um circuito para Comutação Forçada onde a chave Ch1 permitirá um caminho que drenará a corrente do SCR levando-o ao bloqueio

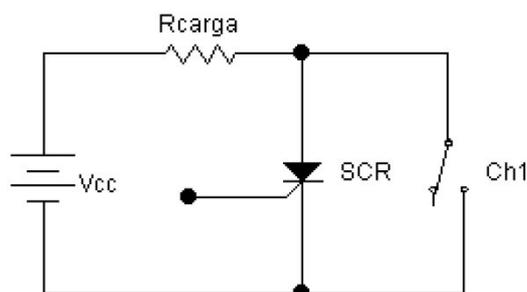


FIGURA 15 - Comutação forçada por chave

A Figura 16 apresenta um circuito para Comutação Forçada através de um capacitor. Quando a chave Ch1 for fechada, o capacitor aplicará tensão reversa levando o SCR ao bloqueio. Devemos lembrar que o SCR deverá conduzir durante o tempo necessário para que o capacitor esteja totalmente carregado e que a chave pode ser um outro semicondutor(outro SCR ou um transistor).

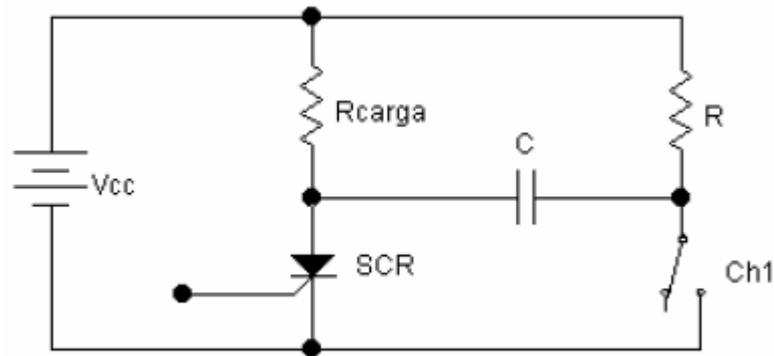


FIGURA 16 –Comutação forçada por capacitor

8.3 CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DO SCR

Existem limites de tensão e corrente que um SCR pode suportar. Tais limites constituem as características estáticas reais como mostra a Figura 17. As curvas 1 e 2 apresentam as características para o SCR no estado de bloqueio, enquanto as curvas 1 e 3 mostram as características para o SCR com Corrente de Gatilho I_{GK} , para ambas as polarizações. Podemos, então, verificar na Figura 8.1, que a curva característica de um SCR real apresenta três regiões distintas:

- Bloqueio em Polarização Reversa – curva 1
- Bloqueio em Polarização Direta – curva 2
- Condução em Polarização Direta – curva 3

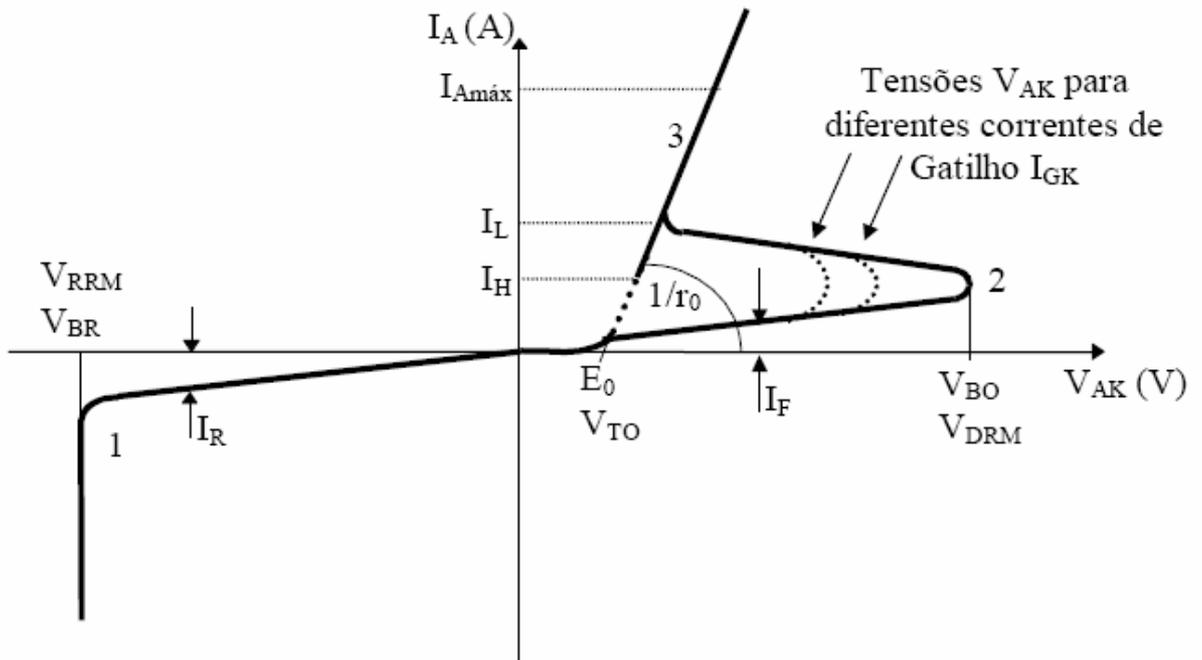


FIGURA 17 – Características estáticas reais do SCR.

9. CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS DO SCR

As características dinâmicas do SCR estão ligadas diretamente com o comportamento transitório do componente durante os processos de entrada em condução e de bloqueio.

9.1 CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS NO DISPARO

A Figura 18 mostra o circuito para o estudo do disparo do SCR, onde V_{CC} é a fonte que alimentará a resistência de carga através do SCR. A fonte V_G fornecerá a corrente de gatilho I_{GK} através da resistência limitadora R_G .

Considere que no instante inicial t_0 a chave Ch1 é fechada e a fonte V_G fornece a corrente I_{GK} ao gatilho.

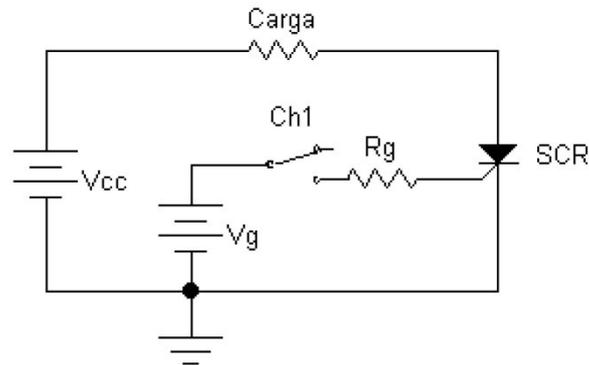


FIGURA 18 – Circuito para o estudo do disparo do SCR

As formas de onda de interesse para o disparo são mostradas na Figura 9.2. Entre o fechamento da chave Ch e a efetiva condução do SCR há um tempo necessário para que a corrente de gatilho I_{GK} provoque o decaimento da tensão ânodo-cátodo V_{AK} e a elevação da corrente de ânodo I_A . O tempo de retardo é chamado de t_d (*delay time*) e o tempo de decaimento t_r .

O tempo de fechamento $t_{on} = t_d + t_r$, é o tempo necessário para que o SCR comece a conduzir efetivamente a partir do disparo.

O tempo de retardo t_d (*delay time*) é a maior componente do tempo de fechamento e depende principalmente da amplitude da corrente de gatilho I_{GK} e da velocidade de crescimento da referida corrente.

O tempo de decaimento da tensão ânodo-cátodo t_r independe da corrente I_{GK} . Apenas as características de fabricação do componente interferem no decaimento de V_{AK} .

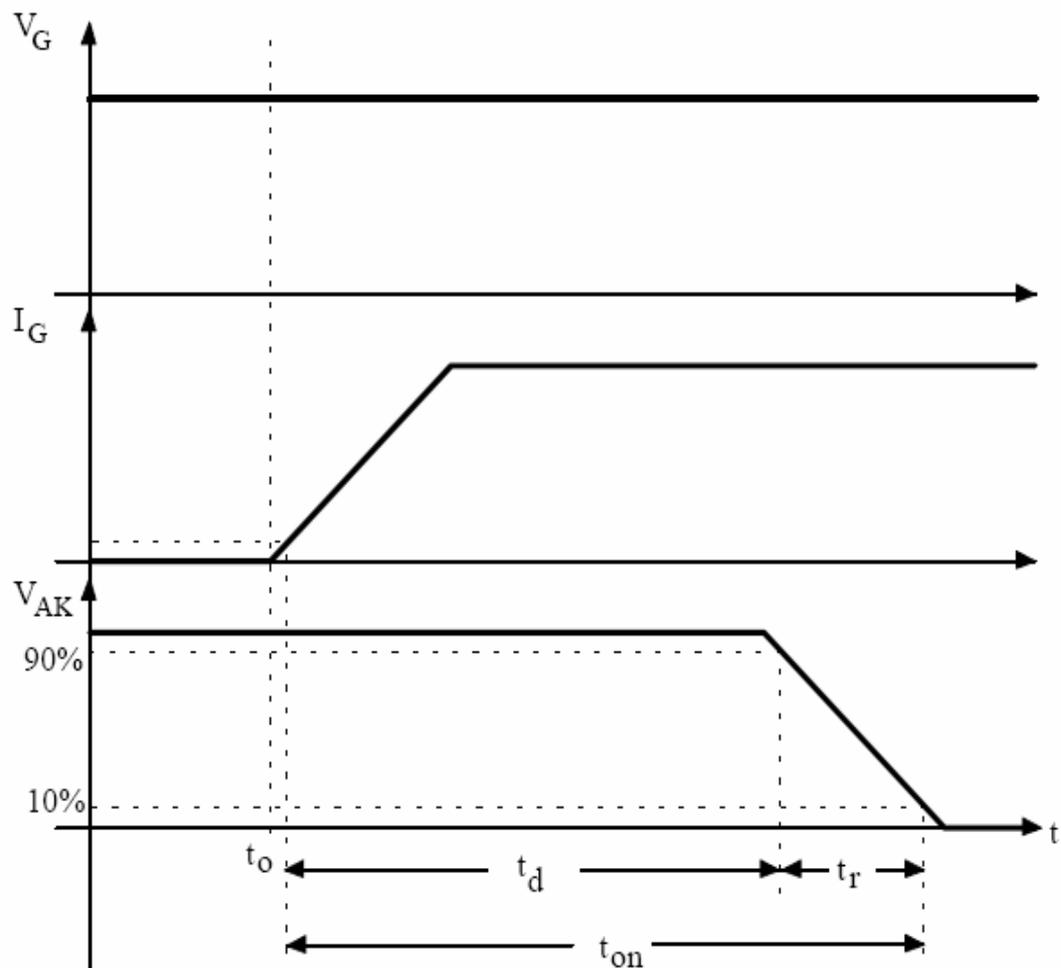


FIGURA 19 - Representação do atraso no disparo do SCR.

10. PERDAS TÉRMICAS EM CONDUÇÃO

Durante o ciclo de chaveamento, um SCR apresenta as seguintes perdas de potência (e, conseqüentemente de energia):

- Perdas de Potência em Condução
- Perdas de Potência em Bloqueio (direto e reverso)
- Perdas de Potência por Chaveamento (comutação)
- Perdas de Potência por Acionamento do Gatilho

Em Geral, sob condições normais de operação as Perdas em Bloqueio e por Acionamento do Gatilho são pequenas o suficiente para serem desprezadas. Em baixas freqüências (<400Hz), as Perdas por Chaveamento também são pequenas e podem ser desconsideradas. Em altas freqüências, especialmente na entrada em condução do SCR, as perdas aumentam significativamente. A referência [5]

apresenta uma boa discussão a respeito.

A principal fonte de perdas de potência é durante a condução do SCR.

Analogamente a um diodo, podemos representar o SCR por seu circuito elétrico equivalente, mostrado na Figura 20, onde E_0 (V_F ou V_{TO}) representa a queda de tensão e r_0 (r_F ou r_T) representa a resistência quando o componente está em condução.

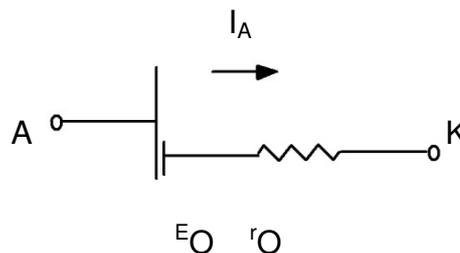


FIGURA 20 - Circuito equivalente do SCR em condução.

O SCR conduzindo dissipa uma potência elétrica (em Watts) na forma de calor que pode ser calculada por:

$$P_{SCR} \approx E_0 \cdot I_{med} + r_0 \cdot I_{ef}^2$$

Sendo:

P_{SCR} – perda de potência no SCR durante a condução (W) E_0 – tensão ânodo-cátodo durante a condução (V)

r_0 – resistência em condução ($m\Omega$)

I_{med} – valor médio da corrente de ânodo (A) I_{ef} – valor eficaz da corrente de ânodo (A)

A determinação das Perdas em Condução do SCR tem importância fundamental no chamado “Cálculo Térmico” para o dimensionamento dos Dissipadores de Calor e Sistemas de Refrigeração. O seu correto dimensionamento permite que o componente controle o máximo de potência sem sobreaquecimento, o que poderia danificá-lo.

11. TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO

As técnicas de fabricação de tiristores assemelham-se a usada para

manufatura de elementos bipolares e envolve vários passos de difusão e máscaras. A seqüência de alguns destes passos básicos é ilustrado na figura 21 para o caso de um transistor bipolar *npn*, no caso de tiristores alguns passos são repetidos de maneira a dispor as seções de camadas dopadas como mostra a figura 21.

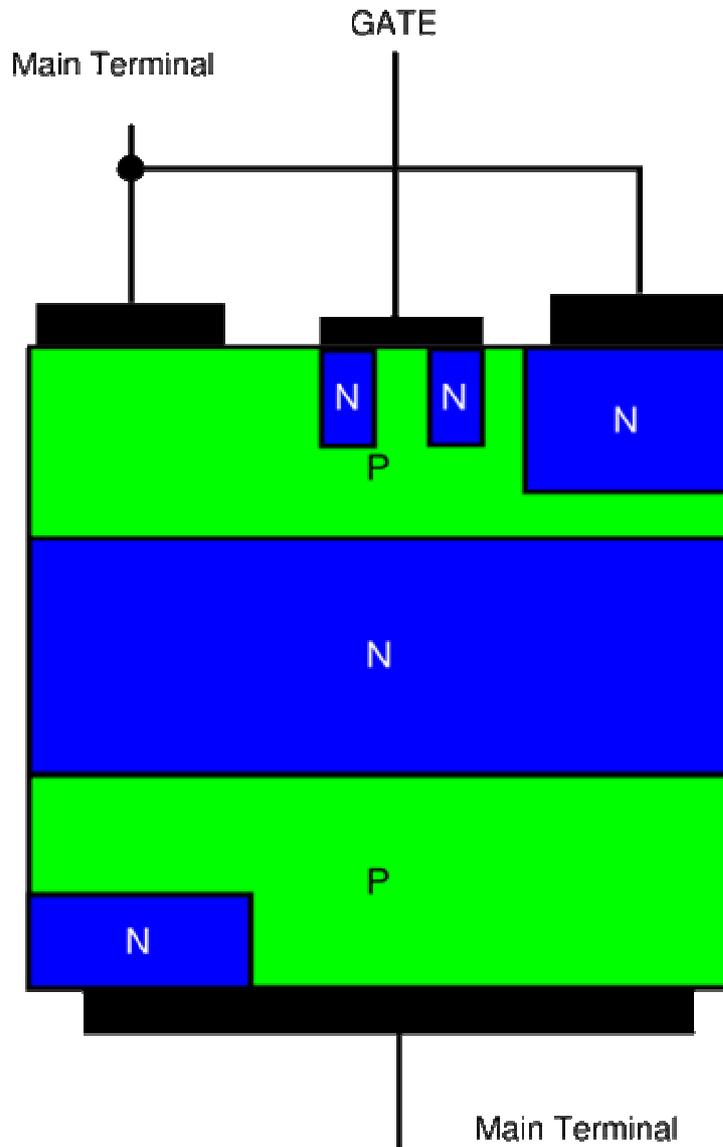


FIGURA 21 – Disposição das camadas em um SCR.

O material inicial é um wafer com dopagem tipo *p* típica de $10^{16}/\text{cm}^3$. No primeiro passo de mascaramento e difusão, ilustrado na figura 22(a), forma-se uma camada *n+* de baixa resistividade, que eventualmente formará um caminho de baixa resistência para a corrente dentro da região de coletor do transistor resultante. Uma vez que esta camada será coberta por uma camada epitaxial, ela é chamada de camada enterrada ou "buried layer". Depois de formada a buried layer, o óxido

restante é removido e uma camada epitaxial tipo n é formada sobre a superfície de todo o wafer, como visto na figura 22 (b). A espessura e a concentração de dopantes desta camada epitaxial determinam a tensão de ruptura do transistor (uma camada de $15\mu\text{m}$ e com $2 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ origina uma tensão de ruptura de 30V). Observe que, durante o processo de formação da camada epitaxial, a buried layer também se difunde de alguma forma para dentro desta.

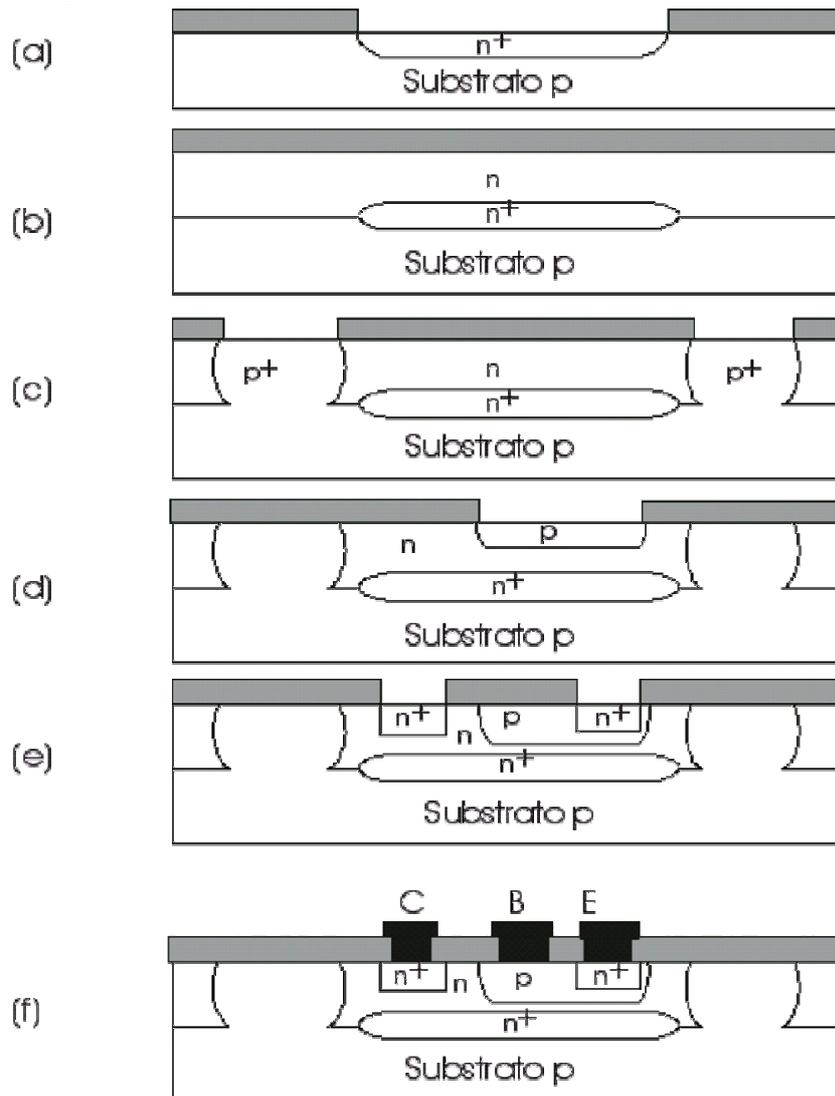


FIGURA 22 – Processo de fabricação.

Após o crescimento epitaxial, uma camada de SiO_2 é formada na superfície do wafer. Em seguida é feita uma difusão tipo p como ilustrado na Figura 22(c). A finalidade desta difusão é formar uma parede de isolamento ("isolation walls") que penetra pela camada epitaxial n até o substrato p . Devido à profundidade em que esta difusão deve penetrar, ela requer horas de difusão à temperaturas acima de 1200°C . Note que as paredes de isolamento não alcançam a buried layer. Isto é feito para evitar a formação de uma junção pn de baixa tensão de ruptura e assegurar que a parede de isolamento alcance o substrato, formando uma camada contínua envolvente para a buried layer e a camada epitaxial.

O próximo passo de mascaramento e difusão forma a base (tipo p) do transistor, com uma profundidade de 1 a $3\mu\text{m}$, como visto na Figura 22(d). Após a difusão da base, a região do emissor (tipo $n+$) com uma profundidade de 0,5 a $2,5\mu\text{m}$ é formada, como visto na Figura 22(e). Visto que as diferenças em profundidade das difusões da junção base-emissora determinam a largura da base do transistor, a profundidade da difusão do emissor é controlada para ser aproximadamente entre 0,5 e $1\mu\text{m}$ a menos que a difusão da base. Observe que, na realidade, ao mesmo tempo da formação do emissor, é feita uma outra difusão $n+$ dentro da camada epitaxial (correspondente a região do coletor) que servirá como contato ôhmico de baixa resistência para o terminal do coletor. Isto é necessário porque o contato direto do alumínio com um substrato de baixa dopagem é difícil de ser obtido.

Finalmente, são feitas as deposições de metal formando efetivamente os contactos dos terminais do transistor, como ilustrado na figura 22 (f).

A grande maioria dos transistores bipolares usados em CIs são npn , entretanto, em alguns circuitos, necessitam-se de dispositivos pnp . Os dois tipos de transistores pnp empregados são o transistor pnp lateral "lateral pnp " e o transistor pnp vertical ou de substrato "vertical pnp or substrate pnp ". Um transistor pnp lateral é mostrado na Figura 23. Este é formado pela difusão simultânea (tipo p) das regiões do coletor e do emissor, sendo um processo bastante similar à construção do transistor npn , requerendo apenas algumas janelas adicionais para os passo de mascaramento. Apesar do transistor pnp lateral apresentar um baixo valor de β_F (tipicamente 20), tem sido o melhor pnp disponível em CIs.

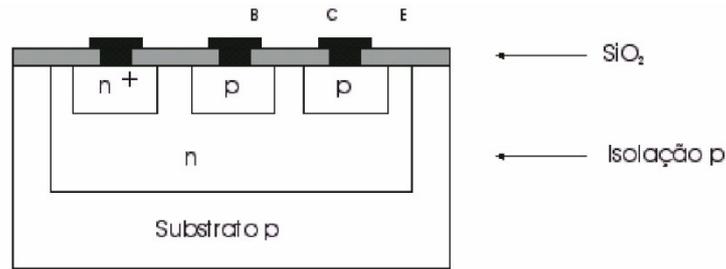


FIGURA 23 - Transistor pnp lateral.

Um transistor *pnp* vertical típico é mostrado na Figura 24. Este transistor pode ser fabricado simultaneamente e no mesmo processo dos transistores *npn*, sendo usado em aplicações que exigem altas correntes e altas potências.

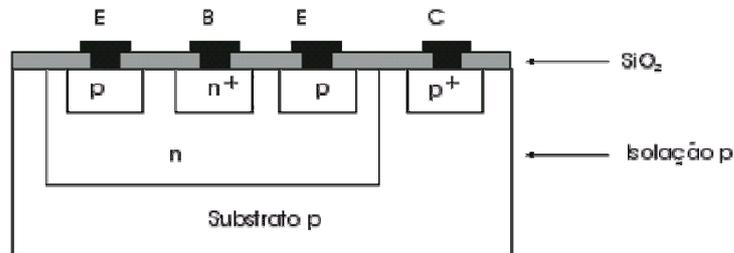


FIGURA 24 - Transistor pnp vertical.

12. CONCLUSÃO

Com uma rápida abordagem a respeito deste importante dispositivo, pode-se ver que os avanços gerados por suas aplicações são inestimáveis. Desenvolvido a partir de técnicas dominadas para outros elementos, o SCR trouxe viabilidade no controle de correntes em grande potência e possibilita também a retificação de correntes alternadas neste mesmo campo. A tecnologia na área de materiais para o setor elétrico contribuiu para tal desenvolvimento, criando novas aplicações ao pilar central dos dispositivos de estado sólido, o silício, uma delas é o SCR.

13. REFERÊNCIAS

- [1] ZANGER, H.; “*Semiconductor Devices and Circuits*”, John Wiley & Sons, Nova York, 1984.
- [2] Página na Internet: <http://pt.wikipedia.org/wiki/SCR> acessado em: 05/07/2008.
- [3] Página na Internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon-controlled_rectifier acessado em: 06/07/2008.

- [4] Página na Internet:
<http://www.eletronica24h.com.br/cursoEI/cursoEI2/aulas/Aula06.html> acessado em: 06/07/2008.
- [5] ALMEIDA, J.L.A.; *“Dispositivos Semicondutores: Tiristores – Controle de Potência em CC e CA”*, Coleção Estude e Use, Série Eletrônica Analógica, Editora Érica, São Paulo, 1996.
- [6] MELLO, H.; *“Dispositivos Semicondutores”*, Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, 1980.
- [7] Página na Internet: <http://www.angelfire.com/on/eletron/scr.html> acessado em: 05/07/2008.