

- Perigos da Eletricidade Dinâmica e Estática -

Jolan Eduardo Berquó – Eng. Eletrônico (ITA).
 Certificador de Produto Aeroespacial (DCTA/IFI)
 Representante Governamental da Garantia da Qualidade – RGQ (DCTA/IFI)
jberquo@dcabr.org.br

MSC 17- 10 SET 2012

Eletricidade é coisa perigosa, seja ela dinâmica ou estática. Vários acidentes já ocorreram, causados por uma ou outra. Alguns comprovados e outros considerados como mui provavelmente causados por elas.

1) **Eletricidade Dinâmica** - Na parte dinâmica, está a soberana corrente elétrica, que, dependendo da trajetória no corpo humano e de seu estado resistivo, pode levar alguém à morte com apenas alguns milésimos de ampères (mA).

A corrente elétrica pode ser contínua (DC) e alternada (AC). A corrente contínua em automóvel é gerada por tensões¹ de 12V (bateria) e 14V (gerador). Essa diferença de 2V entre gerador e bateria é necessária para que o gerador possa carregar a bateria. Uma vez em movimento, a tensão aplicada aos circuitos elétricos do automóvel é a do gerador.

No caso de aeronaves, temos 28VDC, 115V/400Hz e 26V/400Hz. A utilização da frequência de 400Hz é para diminuir o peso do ferro usado nos geradores. Quanto maior a frequência, menor é o peso, e redução de peso em produtos aeroespaciais (aeronáutica e espaço) é importante.

O problema de usar corrente alternada nas aeronaves é que ela pode produzir interferência eletromagnética nos sistemas da aeronave, e isso representa perigo. Mas as técnicas de projeto atuais diminuíram bastante essa possibilidade.

O problema para o ser humano é o chamado choque elétrico, que pode ser definido como sendo **um súbito e acidental estímulo no sistema nervoso do corpo humano, causado por uma corrente elétrica, sempre que o corpo faz parte de um circuito elétrico.**

A Lei de Ohm governa as variáveis de um circuito, sendo dada por

$$V = RI \quad (1)$$

Onde V = tensão elétrica em volts (V);

R : resistência (Ω); e

I : corrente (A).

Que fique bem claro que o problema do choque elétrico está na corrente, e não na tensão. Guarde bem isso.

A severidade do choque elétrico depende dos seguintes fatores:

- a) intensidade da corrente fluindo através do corpo humano;
- b) trajetória da corrente ao longo do corpo; e
- c) duração da corrente fluindo pelo corpo.

A corrente fatal depende da tensão e da resistência do corpo, e esta das condições do ambiente externo que o circunda. Uma pele molhada oferece menos resistência à corrente.

A literatura apresenta (mantenha esse quadro disponível em algum lugar) os seguintes efeitos produzidos por uma corrente alternada (AC) de 60Hz ou uma corrente contínua (DC).

- **0 - 1mA AC; 0 - 4mA DC** – já há um choque perceptível, mas sem maiores consequências;
- **1 - 4mA AC; 4 - 15mA DC** – a pessoa tem um reflexo involuntário, movendo a parte do corpo que recebe a corrente, podendo perder o equilíbrio e cair, mas não há ainda efeitos com alguma gravidade;
- **4 - 21mA AC; 15 - 80mA DC** – reflexo involuntário muito forte com possibilidade de ferimento. A vítima pode não ser capaz de se livrar da fonte de tensão (efeito grampo);
- **21 - 40mA AC; 80 - 160mA DC** – Perda de controle dos músculos afetados;
- **40 - 100mA AC; 160 - 300mA DC** – Bloqueio respiratório; se o contacto for prolongado, pode produzir colapso, inconsciência e morte, em virtude dessa paralisia dos músculos respiratórios (quando são paralisados por mais de 3 ou 4 minutos, não voltam mais a funcionar); e

¹ A Tensão elétrica é também popularmente chamada de Voltagem, mesmo entre técnicos.

- **acima de 100mA AC; acima de 300mA DC** – Pode causar imediatamente a morte. Ocorre a paralisação do coração; a circulação cessa e todas as partes (inclusive o cérebro) deixam de receber oxigênio.

Como se observa, corrente alternada é mais perigosa que a corrente contínua. Dependendo do estado e do circuito do corpo, tensões acima de 20VAC já podem trazer problemas. Para causar os mesmos problemas, uma tensão DC, teria que ser maior que 80V.

A severidade da corrente depende muito da trajetória pelo corpo. Uma corrente relativamente elevada pode passar de uma perna para outra, sem causar grandes problemas, ou seja, apenas queimaduras nos pontos de contacto.

A mesma corrente, passando entre o braço e uma perna, ou entre os braços, pode causar a morte. Por esse motivo, há técnicos de eletrônica ou de eletricidade que, prudentemente, utilizam luva na mão menos hábil, deixando a hábil livre.

Se não utilizarmos luvas, quando formos tocar em algum ponto energizado, é aconselhável usar apenas a mão mais adestrada (se possível), mantendo a outra para trás.

2) **Eletricidade Estática** – Trata-se de um fenômeno bastante experimentado pela maioria das pessoas, mas de difícil entendimento. Sua manifestação mais comum é a descarga experimentada entre o corpo humano e uma maçaneta metálica de uma porta.

Já foi demonstrado que a carga que se deposita no corpo humano pode levá-lo a um potencial de 50.000V (Ref. 1). Esse potencial é suficiente para fazer saltar uma centelha através do ar para um objeto a um potencial inferior. A energia disponível nessa centelha pode facilmente fazer entrar em ignição vários vapores solventes.

Em média, considera-se que o corpo humano tem uma capacitância de 10^{-12} F (ou $10\mu\mu\text{F}$).

Usando a expressão da energia de um capacitor:

$$E = CV^2/2 \text{ J (joules)} \quad (2)$$

Onde E é a energia, C é a capacitância e V o potencial (ou tensão) do capacitor.

Usando os valores acima de $C=10^{-12}$ F e $V=50$ kV, obtemos $E = 0,00125 \text{ J} \cong 1,3 \times 10^{-3} \text{ J}$.

Agora, compare com a energia de ignição de alguns líquidos mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Energia de Ignição de Gases e Líquidos

Gás ou Líquido	Energia de Ignição Mínima (J)
Hidrogênio	$0,00002 = 2,0 \times 10^{-5}$
Éter	$0,00045 = 4,5 \times 10^{-4}$
Acetona	$0,00060 = 6,0 \times 10^{-4}$
Álcool	$0,00065 = 6,5 \times 10^{-4}$
Gasolina	$0,00100 = 1,0 \times 10^{-3}$

Dá para entender que, no mínimo, devemos ser cautelosos em postos de gasolina.

Na microeletrônica, há uma preocupação com a destruição de chips (circuitos integrados) por centelhas decorrentes da eletricidade estática. A tensão que produz a centelha que pode destruir um chip está na faixa 50/100V. Tensões dessa ordem, pasmem, podem ser geradas quando se empacota ou se desempacota um chip.

E agora vem o mais importante. Quando dois materiais não condutores entram em contato e têm um movimento relativo, pode ser gerada eletricidade estática. É o caso, por exemplo, de um líquido numa tubulação. Se o líquido for inflamável, haverá risco de autoignição, e daí uma explosão. Esfregar-se em material plástico também gera eletricidade estática, e como gera!

Por que uma pessoa carregada com 50.000V, ao descarregar-se não morre?

Para responder a essa pergunta, temos de nos reportar à parte da Física denominada Eletrostática.

Sabe-se que um corpo em equilíbrio eletrostático tem toda sua carga na superfície do corpo, paradinha. O campo elétrico, nessa superfície, é perpendicular ao corpo em cada ponto do mesmo, razão pela qual a carga não se move, ou seja, permanece estática.

Desse modo, o corpo humano em equilíbrio eletrostático tem toda sua carga na superfície, com todos os seus pontos com o mesmo potencial. Quando o indivíduo toca um ponto de

potencial menor (digamos a terra), a corrente instantânea não passa de um braço para o outro, mas segue pela superfície do corpo porque é o caminho mais fácil.

O corpo humano pode ser considerado como um circuito RC, como mostrado na figura 1.

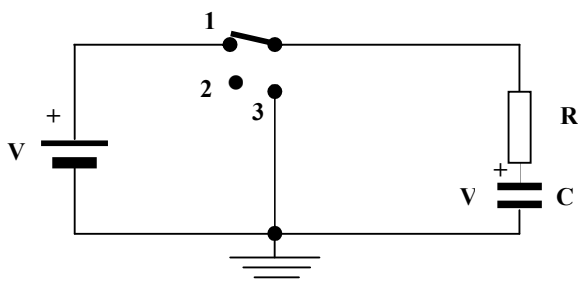


Fig. 1 – Transitório num circuito RC

Com a chave na posição 1, a bateria carrega o capacitor, através do resistor R, que fica com um potencial igual ao da bateria (digamos, 50kV). Na posição 2 (neutra), a bateria é desconectada e o capacitor permanece com a tensão V. Na posição 3, o capacitor se descarrega através do resistor R.

Pois bem, nesse circuito, o capacitor e o resistor R representam o corpo humano com um potencial V de 50kV, que, como já vimos, é possível ocorrer. Tem-se $C=10\mu\text{F}$ e $R \cong 1.000\Omega$ (resistência aproximada da pele com o ser humano carregado, em condições de baixa umidade).

A descarga obedece à seguinte equação:

$$i = \frac{V}{R_e}^{-t/RC} \quad (3)$$

No caso, tem-se $RC = 10^{-9}$. Para $t = 0^+$, $V/R = 50\text{A}$ (corrente máxima inicial).

Para calcular a corrente em qualquer instante, usamos o artifício do logaritmo neperiano e chegamos à expressão:

$$t = RC \lg \frac{V/R}{i} \quad (4)$$

Para i chegar a 1mA, temos $t = 10,8\text{ns}$ (nanossegundos), ou $t = 0,0000000108\text{s}$.

Tal intervalo de tempo pode ser considerado instantâneo, em se tratando do corpo humano, não sendo absolutamente suficiente para causar danos ao nosso organismo. Só ocorre aquele famoso choquinho com o qual muitas pessoas já estão acostumadas. Se não fosse assim, muita gente já teria sido frita.

As técnicas de projeto para controle da eletricidade estática podem ser encontradas na Ref. 4.

Para finalizar, gostaríamos de falar aqui, no que interessa para este MSC, sobre o relatório do acidente do Protótipo V03 do Veículo Lançador de Satélites, VLS-1, um documento público, ou seja, que pode ser acessado por qualquer cidadão. O acidente ocorreu em 22/08/2003, oficialmente às 13h26min, na Base de Lançamento de Alcântara, no Maranhão.

Na investigação da parte dedicada aos fatores materiais do acidente, o documento mostra os resultados de uma análise circunstanciada da comissão, que se dedicou à investigação, utilizando a chamada Análise de Árvore de Panes (ou de falhas, como querem outros), a popular FTA, sigla de *Fault Tree Analysis*.

Entre as várias hipóteses formuladas para a ocorrência do acidente, aquela considerada mais provável foi a atribuída a uma descarga eletrostática, que teria passado por um dos detonadores de um dos propulsores, levando-o a funcionar como se esperaria que normalmente funcionasse, em tais circunstâncias.

Esse acidente, que infelizmente vitimou vinte e uma (21) pessoas, trouxe-me, como presidente da Subcomissão de Investigação do Fator Material, e, tenho certeza, a todos que participaram da investigação, um grande aprendizado. Alertou-nos para os perigos da carga eletrostática e, sempre que posso, tento passar essa preocupação para outros, principalmente àqueles que lidam, de algum modo, com a eletricidade em itens aeroespaciais (aeronaves e foguetes).

Até a próxima.

Referências:

- 1) WATKINS, William S. Grounding: The Most Misunderstood of All Electric Safety Requirements, ASSE Journal, EUA, 1978.
- 2) MIL-B-5087. Bonding Electrical and Lightning Protection for Aerospace Systems, EUA, DoD, 1984
- 3) MIL-HDBK-764 (MI). System Safety Engineering Design Guide for Army Materiel, EUA, DoD, (1990).

- 4) MIL-STD-454M. Electronic Equipment, Standard General Requirements for, EUA, DoD, 1991.