

---

**Instituto Politécnico do Porto**  
Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Electrotécnica

**Cursos de Engenharia**

## **Redução do Arco Eléctrico**

**Trabalho Laboratorial**

Setembro de 2022

Baseado no original de José Puga, Judite Ferreira, 1999

---

## Aviso de Segurança

Siga as instruções dadas pelo Professor presente no laboratório. Em caso de dúvida chame o Professor e elucide-se.

Não exceda a tensão indicada para a alimentação de 5V do circuito. Nunca experimente o transitório sem nenhum componente na malha de atenuação do surto. Não estabeleça contacto com o circuito durante a ocorrência dos transitórios.

## Objectivos

Verificar experimentalmente a existência de arco eléctrico e utilizar circuitos específicos para a sua diminuição.

## Introdução

O fenómeno de auto-indução pode ocorrer tanto em estado estacionário não contínuo como em estados transitórios. Por exemplo, quando se liga ou desliga um circuito percorrido por uma corrente não nula ocorre o fenómeno de auto-indução.

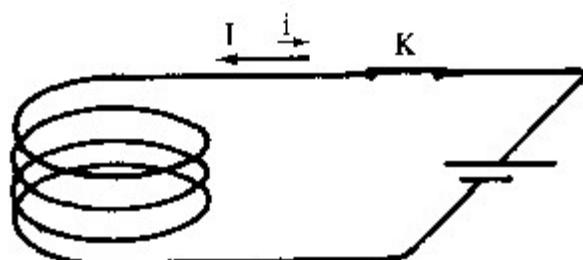


Fig. 1 Circuito de alimentação de uma bobina com corrente contínua

Ao fechar o interruptor K da figura 1 a corrente não atinge instantaneamente o valor de regime estacionário. Ela cresce progressivamente a partir de zero. Essa variação vai traduzir-se numa corrente auto-induzida que, de acordo com a lei de Lenz, irá opor-se ao estabelecimento da corrente principal. Tem, por conseguinte, um sentido oposto a esta e é responsável por um certo atraso no estabelecimento do valor estacionário. Designa-se por extra-corrente de ligação.

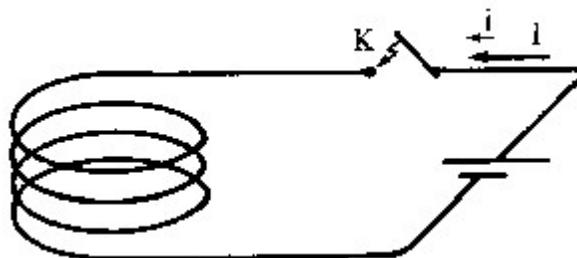


Fig. 2 Circuito de interrupção de uma bobina alimentada com corrente contínua

Ao abrir o interruptor no circuito presente na figura 2 a corrente auto-induzida, devido à diminuição da corrente no circuito principal, irá opor-se a essa variação. O seu sentido é agora coincidente com o da corrente principal, reforçando o seu valor. Designa-se por extra-corrente de ruptura e é responsável, no instante em que se interrompe o circuito, pela formação de um arco eléctrico entre os terminais de seccionamento. Nesse momento um voltímetro intercalado entre os terminais do interruptor indicará uma sobretensão.

### **Inconvenientes da auto-indução**

O corte de circuitos indutivos, pelos valores de sobretensão e sobreintensidade associados, é causa de danificação dos contactos nos terminais da aparelhagem de corte. No sentido de atenuar esses efeitos existem câmaras de corte que podem conjugar várias acções: levar a descarga a atravessar um gás inerte ou óleo de boas qualidades dieléctricas ou, ainda, criar um efeito de sopragem magnética.

Nos interruptores de facas existem contactos auxiliares que suportam os efeitos da descarga após a abertura brusca dos contactos principais. A substituição dos contactos auxiliares faz-se com facilidade a custos reduzidos. O fenómeno de auto-indução é causa de interferências nos circuitos mais próximos. Para além de todos estes aspectos deve salientar-se a importância de que se reveste, em corrente alternada, a existência de indutância na rede.

### **Atenuação do coeficiente de auto-indução**

Existem vários procedimentos que, sumariamente, são: dispor os condutores segundo trajectos o mais possível rectilíneos; utilização de enrolamentos bifilares. O enrolamento é realizado conforme sugere a figura seguinte.

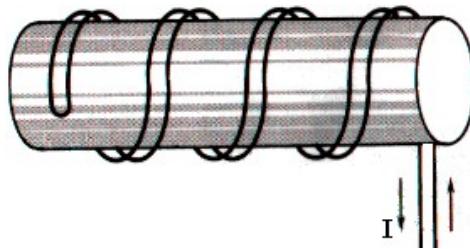


Fig. 3 Resistência bobinada com reduzido coeficiente de auto-indução

A forma de bobinagem indicada na figura 3 tem a finalidade de anular quase totalmente o efeito de auto-indução, devido a compensarem-se mutuamente as ações magnetizantes das correntes emparelhadas em sentidos contrários. O principal inconveniente deste método é o elevado valor de capacidade que introduz no circuito.

Colocar em derivação com a bobina um diodo semicondutor, cujo estado de condução coincida com o sentido da corrente de ruptura, ou utilizar um condensador em paralelo com a bobina são formas de compensar o efeito da indutância no instante de ruptura do circuito. Colocar em paralelo uma resistência VDR que diminui o seu valor face à sobretensão permite a passagem da extracorrente de rutura mitigando a sobretensão.

### Energia armazenada numa bobina

Uma bobina tem associado um determinado valor do campo magnético criado durante o tempo em que ela absorve energia da rede. A energia associada a esse campo magnético é devolvida à rede ou ao espaço envolvente no instante da abertura do circuito. Essa energia é calculada pela seguinte expressão:

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

(Equ. 1)

W - energia, em joule

L - indutância, em henry

I - intensidade de corrente, em ampere

É de salientar que na equação anterior, Equ. 1, a corrente I é a que atravessa a bobina durante o funcionamento estacionário. Esta corrente também é a que, no instante em que se dá a abertura do circuito, vai percorrer inicialmente a malha de atenuação do surto de tensão.

---

## Trabalho Prático

### Equipamento utilizado

- Fonte de alimentação
- Relé auxiliar de comutação
- Gerador de sinais
- Osciloscópio
- Medidor de densidade de fluxo magnético MDF
- Solenoide (2000 espiras) com núcleo de ar
- Solenoide (1000 espiras) com núcleo de ar
- Resistência de  $47\Omega$
- Resistência de  $1k\Omega$
- Díodo 1N4148
- Condensador de poliéster de  $0,22\mu F$

### Experiências de redução do arco eléctrico

Considere inicialmente o circuito ilustrado na figura 4 e seguidamente os circuitos presentes nas figuras 5, 6 e 7. Realize cada uma das experiências para a bobina de 1000 espiras e de 2000 espiras e registe os resultados nas tabelas seguintes. Ligue os terminais da bobina ao canal 1 do osciloscópio o tal como indicado nas figuras 4 a 7.

Ligue o gerador de sinais ao lado da bobina de chamada do relé auxiliar de comutação e o lado dos contactos ao circuito, tal como indicado nas figuras 4, 5, 6 e 7. Configure o gerador de sinais para saída em forma de onda quadrada, para amplitude máxima e para a frequência próxima de para 0.5 Hz. Desta forma o transitório será repetido a cada 2 segundos permitindo uma fácil visualização das correspondentes formas de onda de tensão e de densidade de fluxo magnético.

---

## Experiência 1

Ligue o canal 2 do osciloscópio ao MDF e configure-o para medição segundo a axial. Coloque a sonda do MDF no orifício do núcleo da bobina.

Coloque, inicialmente, a base de tempo do osciloscópio em 1 s/Div e a escala de tensão em 5 V/Div. Observe no osciloscópio as correspondentes formas de onda da tensão e da densidade de fluxo magnético na bobina e registe os valores extremos observados,  $V_{\max}$ ,  $V_{\min}$ ,  $B_{\max}$  e  $B_{\min}$ . Os valores máximos e mínimos referidos na tabela são os extremos observados no osciloscópio durante o transitório desencadeado devido à abertura do relé.

Círcuito	Espiras	$U_{\max}/V$	$U_{\min}/V$	$B_{\max}/mT$	$B_{\min}/mT$
R	1000				
R	2000				

## Experiência 2

Retire o MDF da montagem de ensaio que está a utilizar para esta experiência. Para os ensaios seguintes apenas o canal 1 do osciloscópio é necessário.

Coloque, inicialmente, a base de tempo do osciloscópio em 50  $\mu s/Div$  e a escala de tensão em 50 V/Div. Se necessário, utilize o atenuador x10 da ponta de prova do osciloscópio. Configure o trigger para o cana o canal 1 em modo **normal**, com nível de disparo próximo de -10 V (devido ao factos de x10 corresponde a -100 V) e com **slope** negativo. Desta forma o traço apenas será actualizado quando a tensão na ponta de prova ligada ao canal 1 atingir os -100 V em sentido descendente.

Para os casos seguintes: **R**; **RC**; **RD** e **RDC**, observe no osciloscópio a forma da tensão na bobina. Registe os valores da tensão máxima,  $V_{\max}$ , e da tensão mínima,  $V_{\min}$ . Registe também os tempos de descida,  $T_{\text{desc}}$ , e de subida,  $T_{\text{sub}}$ , do surto de tensão observado.

## Redução do arco eléctrico com carga R

Monte o circuito referente à figura 4. Neste circuito a malha para dissipação da energia armazenada na bobina é conseguida com a colocação de resistência em paralelo com a bobina.

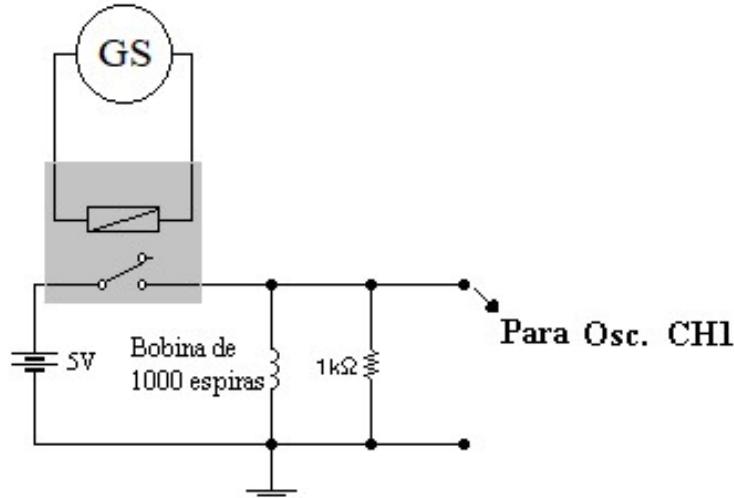


Fig. 4 Circuito para redução da sobretensão de ruptura com carga R

Circuito	Espiras	$U_{\max}/V$	$U_{\min}/V$	$T_{desc}/\mu s$	$T_{sub}/\mu s$
R	1000				
R	2000				

## Redução do arco eléctrico com carga RC

Monte o circuito referente à figura 5. Neste circuito, a malha para dissipação da energia armazenada na bobina e para a atenuação da magnitude do surto de tensão são conseguidos com a colocação da resistência em paralelo com condensador.

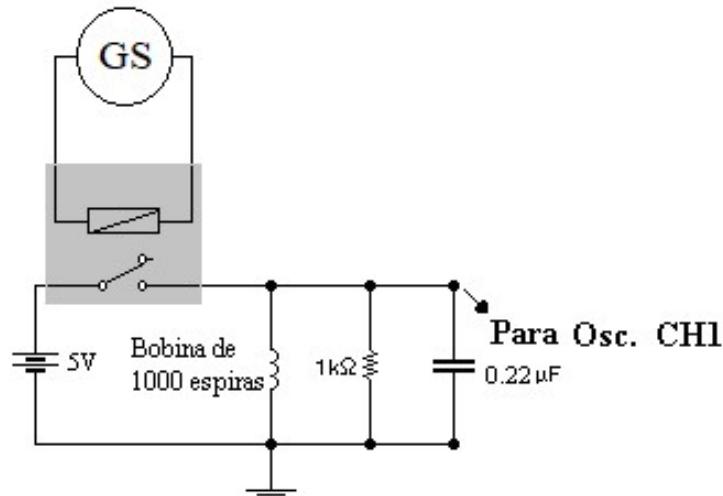


Fig. 5 Circuito para redução da sobretensão de ruptura com carga RC

Círcuito	Espiras	$U_{\max}/V$	$U_{\min}/V$	$T_{desc}/\mu s$	$T_{sub}/\mu s$
RC	1000				
RC	2000				

## Redução do arco eléctrico com carga RD

Monte o circuito referente à figura 6. Nesta montagem, a malha para dissipação da energia armazenada na bobina é conseguida com o paralelo da resistência com a série do diodo com uma pequena resistência.

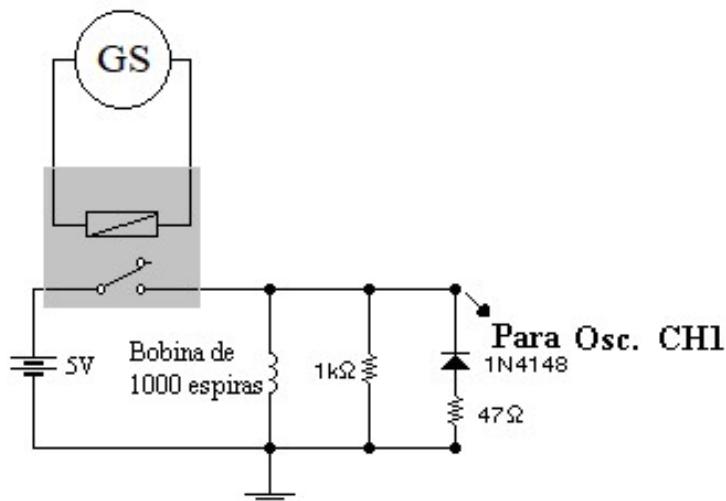


Fig. 6 Circuito para redução da sobre-tensão de ruptura com carga RD

Círcuito	Espiras	$U_{\max}/V$	$U_{\min}/V$	$T_{desc}/\mu s$	$T_{sub}/\mu s$
RD	1000				
RD	2000				

## Redução do arco eléctrico com carga RDC

Monte o circuito referente à figura 7. Por último, a malha de dissipação é conseguida com o paralelo da resistência com a série do ramo diodo e resistência e ainda com a colocação de um condensador em paralelo com os ramos anteriores.

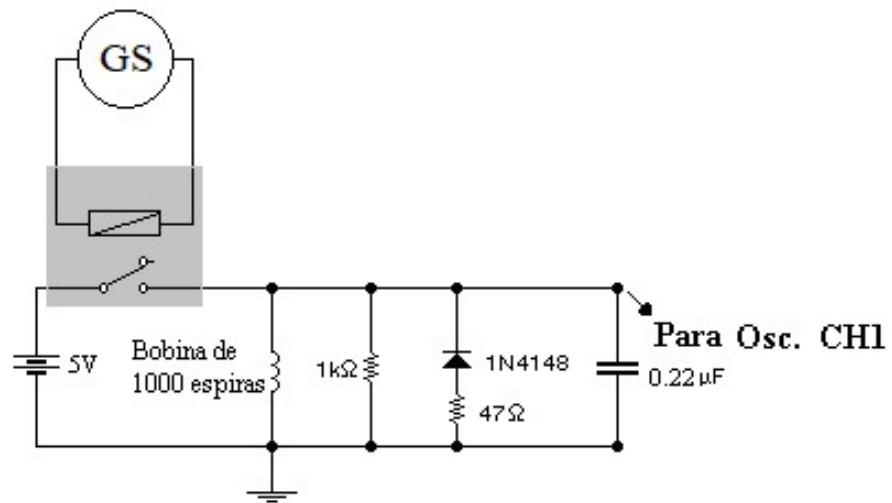


Fig. 7 Circuito para redução da sobretensão de rutura com carga RDC

Circuito	Espiras	$U_{\max}/V$	$U_{\min}/V$	$T_{desc}/\mu s$	$T_{sub}/\mu s$
<b>RDC</b>	<b>1000</b>				
<b>RDC</b>	<b>2000</b>				