

# PROTEÇÃO CONTRA ACCIONAMENTO POR RF

O circuito de protecção contra sobre voltagem apresentado tem uma deficiência, pode acontecer de ser accionado por RF presente no shack.

Este problema pode ser desmembrado em três aspectos:

**1 - Existência de campo intenso de RF no shack.**

**2 - Entrada de RF no compartimento da fonte de alimentação.**

**3 - Sensibilidade do circuito ao accionamento por RF que existe na caixa da fonte.**

Vamos tentar explicar esses três pontos.

**1 - RF no shack.**

O campo electromagnético gerado por uma antena não é suficiente para causar problemas no shack, se ela estiver digamos há 5 ou mais metros de distância, o que é o usual. Portanto, a existência de RF no shack é resultado de uma deficiência no sistema irradiante. No caso de linha aberta, é inevitável uma parcela de campo electromagnético na proximidade da linha. Neste caso somente poderemos lidar com o problema atacando nos itens 2 e 3. No caso de uso de cabo coaxial, a existência de campo electromagnético, resultado de corrente na parte externa da malha, não somente causa problemas como também piora o funcionamento da antena. Não é interessante que o cabo irradie pois a irradiação tão próxima do solo não será aproveitada, não irá longe, e na recepção somente servirá para captação de toda sorte de ruído gerado por aparelhos no QTH. Portanto, mesmo que não causasse problemas aos aparelhos no shack ainda assim deveria ser combatida pois desvia energia que deveria se concentrar na antena.

O assunto de corrente na parte externa do cabo coaxial é longo e aqui vamos resumir o principal.

Há **duas razões** para corrente na parte externa do cabo. Primeiro, como a extremidade superior do cabo está bastante próximo à antena, surgem nele correntes induzidas pela antena. Para reduzir isso, devemos orientar o cabo para que ele se afaste da antena da maneira mais simétrica que for possível. Para uma dipolo, yagi, cúbica, isso quer dizer perpendicular à antena. Para esse efeito, um Balun **NÃO** trará solução, contrariamente ao que se pensa. Contudo, um balun de corrente pode modificar o comprimento eléctrico do cabo, pela indutância introduzida, e por essa razão sim fazer diferença. A indução, pela antena, de corrente no cabo, pode ser diminuída pela modificação do comprimento eléctrico do cabo. Notemos que o efeito de indução no cabo pode acontecer tanto ao próprio cabo da antena quanto a outros cabos, de outras antenas, que estejam na proximidade da antena.

Para se poder medir a existência de corrente na parte externa do cabo coaxial precisamos de uma sonda e medidor de corrente. Existe um medidor pronto, da Palomar, nos EUA. Podemos facilmente construir um. Artigos descrevendo montagens apareceram na revista QST (agosto/2000, outubro/2000, fevereiro/1999).

A segunda razão para existência de corrente no cabo se deve ao fato do cabo estar electricamente ligado à antena. A energia no cabo viaja pelo interior do mesmo. Na ligação com a antena, a parte externa da malha do cabo coaxial funciona como se fosse um fio independente do que acontece no seu interior. De fato, na simulação de antenas por software (utilizo o EZNEC), esse efeito é simulado colocando-se um fio igual ao cabo coaxial. Tanto para o software quanto no mundo real, supomos que a extremidade do cabo coaxial seja o ponto de onde surge a energia. Esta energia é entregue a uma antena que consiste nela própria e mais um fio, que é a parte externa do cabo! O que acontece dentro e fora do cabo é completamente diferente! A corrente dentro do cabo não se relaciona com a corrente externa.

Para esse efeito o balun de corrente é eficaz. Ele pode ser construído simplesmente por uma bobina feita com o cabo, no ponto de ligação com a antena. Para torná-lo mais eficaz numa faixa extensa de frequência, para servir para diversas bandas, podemos colocar esse enrolamento num núcleo de ferrite. Notemos que a corrente de RF dentro do cabo "nada sabe" sobre essa bobina assim feita, nada se altera internamente. Contudo, a parte externa do cabo vê uma indutância que está em série com o cabo, e portanto "isola" a malha da antena.

## 2 - Entrada de RF no compartimento da fonte de alimentação.

Uma fonte de alimentação regulada, por possuir circuitos activos, deve ser blindada contra campos electromagnéticos. É por essa razão que sempre se utiliza caixas metálicas. Mesmo em aparelhos corriqueiros, é comum encontrarmos uma caixa de plástico porém dentro veremos revestimentos de alumínio, para fins de blindagem.

A presença de superfícies metálicas separando duas áreas é eficaz para isolar campos eléctricos, geralmente associados a circuitos de alta impedância (tensão alta). Superfícies metálicas FECHADAS, funcionam como uma espira em curto, e isolam o campo magnético, associado a baixa impedância (corrente alta). Uma caixa metálica, portanto, é eficaz para isolar ambos componentes do campo electromagnético.

Então a primeira conclusão é que devemos empregar caixas metálicas sem grandes aberturas.

Numa fonte de alimentação, temos dois pontos onde a nossa "barreira" constituída pela caixa poderá ser atravessada, por onde RF poderá penetrar. São a entrada de força de AC e a saída da fonte em DC.

A situação então é a de presença de RF no cabo de alimentação de AC (127 ou 220 V) e no cabo de saída DC. O remédio para ambos é similar. Temos que dificultar a circulação de corrente de RF nesses cabos, e desviar a corrente neles para a caixa. Como a corrente em RF vai para a superfície externa do condutor (não confundir com o cabo coaxial, ali o condutor central mantém o campo internamente), então se desviarmos a corrente nos cabos da fonte para a caixa, os circuitos dentro dela estarão protegidos.

Esses dois objectivos podem ser conseguidos utilizando indutância e capacitância. Podemos colocar indutância em série nos cabos e também condensadores entre os cabos e a caixa. Estes componentes, por serem fáceis de achar, pequenos e baratos, são o caminho mais prático.

Para proteger então uma fonte (ou outro aparelho, por sinal), contra a entrada de RF pelos cabos, colocamos condensadores logo no ponto onde entram na caixa, entre cada cabo e a caixa.

Podemos também aumentar a protecção, enrolando algumas espiras de cada cabo em núcleos de ferrite. O núcleo de ferrite aumenta a indutância e introduz uma perda, que no caso interessa.

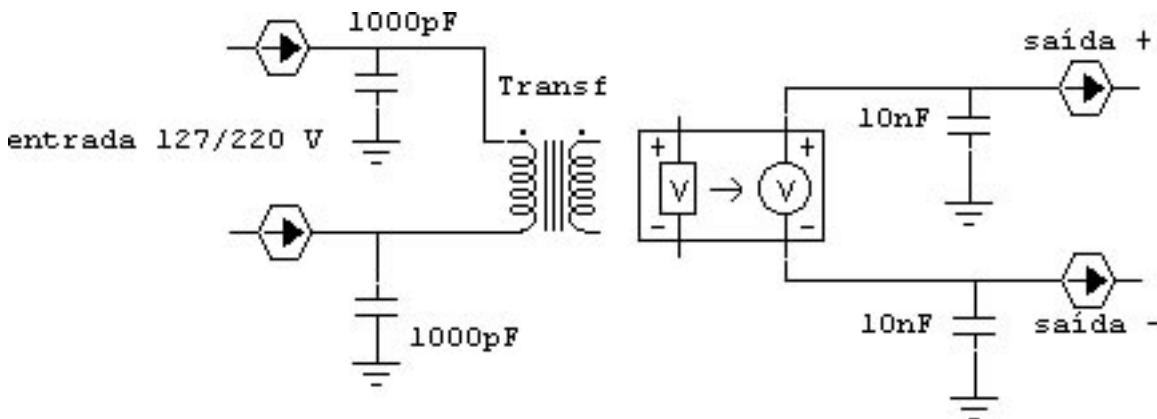
Na entrada de AC devemos escolher os condensadores para que a corrente neles em 60 Hz seja diminuta, senão poderemos sentir choque eléctrico quando tocarmos na caixa. Valores como 1000 pF são satisfatórios. A corrente máxima em 220 VAC será  $I = E/X$ . A reactância X em 60 Hz é dada por:  $X_c = 1 / 2 \pi fC$ . Logo,  $X = 2,65 \text{ M}\Omega$ , resultando numa corrente máxima de 0,08 mA, totalmente imperceptível. O condensador deverá ter isolação para 500 V ou mais. Devemos montá-lo com as pernas bem curtas, lembrando que a corrente nele e no trecho de cabo dentro da caixa estará irradiando DENTRO da caixa.

Na saída de DC o condensador poderá ter maior valor, por exemplo 10 nF, e para tensão pouco superior à tensão de saída DC.

Nos dois lugares podemos empregar condensadores cerâmicos de disco.

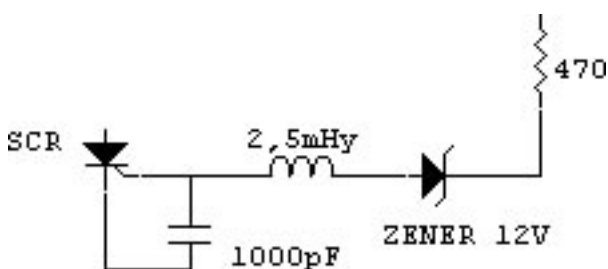
A caixa metálica da fonte de alimentação poderá somente ter essas ligações dos condensadores, ou então a saída de DC- poderá estar ligada a ela. Desse modo a saída terá somente um condensador, do lado positivo. Com isso, desde que os equipamentos estejam devidamente ligados à terra, fica descartada a possibilidade de choques elétricos na eventualidade de curto-circuito num dos condensadores colocados na entrada AC.

Aqui segue um esquema genérico. Muitos componentes essenciais estão omitidos, para maior clareza.



### 3 - Sensibilidade do circuito ao accionamento por RF que adentrou a caixa da fonte.

Recebi por e-mail uma proposta de solução para a sensibilidade do SCR para disparo na presença de RF. A solução proposta consiste num condensador de 1000 pF entre o gatilho do SCR e cátodo, e um choque de RF de 2,5 mHy em série com o gatilho. Se trata portanto de um filtro LC passa - baixos. Vamos examinar essa proposta.



Para isso, precisamos considerar o funcionamento do circuito e as características do SCR utilizado.

O que é um SCR?

SCR, de Silicon Controlled Rectifier, também conhecido por tiristor, é um diodo controlado por um gatilho. É um componente com três lides, dois correspondendo ao diodo e um terceiro, ao gatilho. A passagem de uma corrente pelo gatilho modifica a situação do diodo.

O diodo de um SCR normalmente está no estado em que não conduz corrente. Na protecção da fonte é o estado em que ele normalmente se encontra, e tudo se passa como se ele não estivesse ali.

Para fazer com que o diodo conduza, existem quatro formas:

**1 - Fazendo passar uma corrente entre gatilho e cátodo.** Esta é a forma usual de funcionamento de SCR. Existe um valor mínimo de corrente para esse efeito. Por exemplo, um SCR do tipo 2N6400 precisa tipicamente de 9 mA, ou até 60 mA, com uma tensão típica de 0,7 V mas que pode ser até 2,5 V, para disparar o diodo. Uma vez tendo sido feito o disparo o SCR permanece conduzindo, mesmo que se retire a corrente do gatilho.

As outras três formas são consideradas indesejáveis, são limitações do componente, e nelas reside a origem da susceptibilidade ao accionamento por RF que estamos considerando.

**2 - Por elevação de temperatura.** Um SCR não é uma chave ideal, uma certa corrente flui mesmo em aberto. A elevação extrema de temperatura eleva também a corrente de fuga, podendo atingir um valor suficiente para o disparo. Não precisamos nos preocupar com isso em nosso circuito.

**3 - Tensão de avalanche ânodo - cátodo.** Um SCR tem um valor máximo de tensão ânodo - cátodo, acima do qual ele entra em estado de avalanche e conduz. O estado de avalanche é utilizado em díodos zener. Este efeito somente poderia apresentar problema em nosso circuito caso ocorresse uma ressonância parasita, na mesma frequência do campo de RF, que permitisse o aparecimento de uma tensão assim elevada. No caso do 2N6400 a tensão máxima ânodo - cátodo é de 50 V, num 2N6405, 800 V. Este factor é muito pouco provável de se manifestar nesse circuito.

**4 - Pelo factor  $dV/dT$ .** Todo pulso ou tensão alternada pode ser representado por uma variação de tensão no tempo. Uma senóide tem uma frequência no tempo em que a tensão, começando de um valor nulo, se eleva, atingindo um valor máximo, depois decresce, passando por zero, atingindo um valor máximo negativo e retornando a zero, num certo tempo. Definimos Frequência como o número de ciclos completados por segundo. Isso quer dizer que a tensão varia no tempo segundo uma taxa. Essa taxa é o factor  $dV/dT$ , que é uma notação do cálculo diferencial em matemática. Em termos simples se traduz pelo tanto de variação de tensão num certo tanto de variação no tempo. Em inglês se conhece por "slew rate". Vamos considerar uma onda quadrada. Nessa, a tensão passa de zero ao valor máximo "instantaneamente", perdura um tempo lá, depois passa "imediatamente" ao valor máximo negativo, assim por diante. Mas a passagem entre zero e máximo não é "imediate" pois leva um certo tempo, finito. Pensemos num pulso. A tensão é zero num instante e passa a x Volts num outro. Um exemplo é quando ligamos uma chave. Mas sempre há um tempo de crescimento da tensão, o slew rate do circuito.

No SCR sabemos que é necessário atingir uma certa corrente no gatilho para que ele possa conduzir, e podemos calcular a corrente pela lei de Ohm. Mas as junções PN do SCR contem capacidade, funcionam como condensadores. O condensador é um circuito aberto para DC mas não para AC. Um pulso aplicado a um condensador implica numa corrente, que dependerá do valor da capacidade e da taxa de crescimento slew rate, dada por:  $I = C dV/dT$ . Para dar um exemplo, vamos considerar um pulso de valor 10 Volts, sendo a subida de zero a 10 Volts feita em 3 nS (nanossegundos). Se esse pulso for aplicado a um condensador pequeno, de 50 pF, teremos uma corrente de 166 mA! Evidentemente essa corrente também será um pulso de curta duração.

Num SCR temos capacidades da ordem de até dezenas de pF. Assim, um pulso rápido poderá fazer com que ele entre em condução. A entrada em condução pode se dar por um pulso no gatilho ou entre ânodo e cátodo.

Aqui está o lugar onde podemos ter problemas de accionamento por RF. Basta um pulso de RF atingir o gatilho ou anodo do SCR para que possa acontecer o disparo.

Então temos que protegê-lo contra isso.

## PROTEGENDO O SCR

A melhor forma de proteger o SCR contra pulsos de tensão é oferecer um caminho alternativo para o pulso. A forma usual é a colocação de condensadores em paralelo com os condensadores das junções PN do SCR. Bastará então colocar condensadores maiores para que o pulso se escoe por eles e não pelo SCR.

Entretanto, há um perigo. Afinal queremos que na eventualidade de uma falha em nossa fonte, o SCR rapidamente actue, de modo que os aparelhos alimentados pela fonte não recebam a súbita tensão elevada. Estamos então interessados num funcionamento em velocidade.

A colocação de condensadores introduz um retardamento nas variações de tensão, porque estabelece redes RC. Basta pensar que os condensadores determinam tempos de carga. Assim, um condensador ligado ao gatilho vai tornar a resposta do SCR mais lenta pois antes da tensão atingir o valor de disparo haverá um tempo em que o condensador estará se carregando.

Então agora a questão é saber quão rápido nosso circuito precisa ser e qual valor de condensador podemos colocar em nosso circuito.

Um SCR como o 2N6400 tem tempo de resposta típico de 1  $\mu$ s (micro segundo). Queremos então condensadores que colocados entre gatilho e cátodo, e entre ânodo e cátodo, sejam da ordem de centenas de pF, pelo menos, e que não diminuam a velocidade de resposta do SCR.

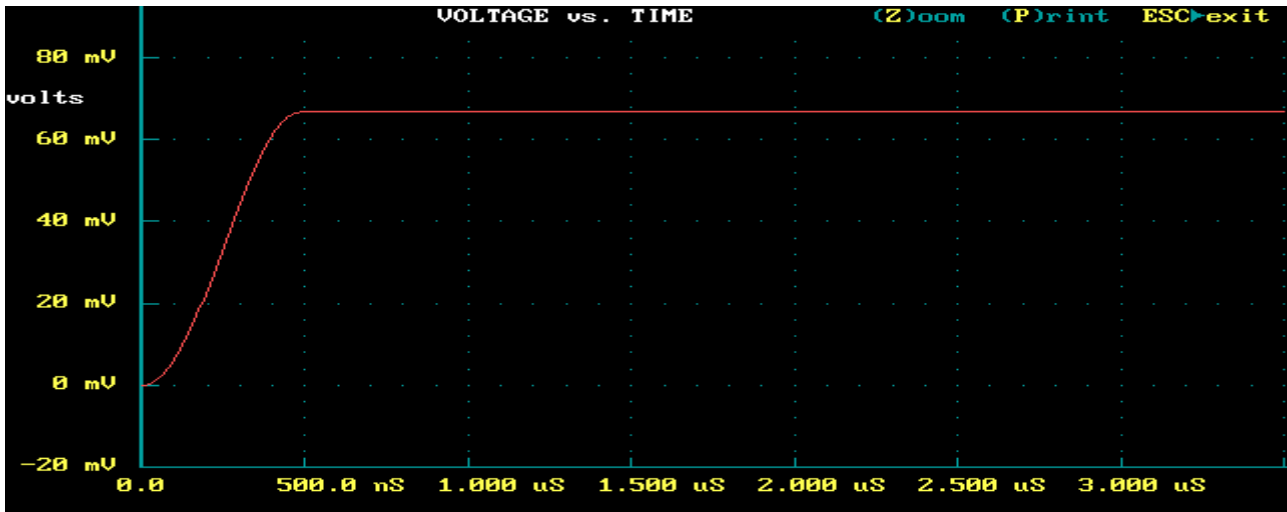
É importante lembrar que um semicondutor pode se estragar por dois motivos. Dissipação excessiva duradoura, que leva ao aquecimento exagerado e queima. Ou ultrapassar a tensão máxima suportada por uma junção PN, especificada pelo fabricante. Esta ultrapassagem determina a falha "instantânea" do semicondutor. É por essa razão que também é recomendável a colocação de varistores nas entradas de fontes para protecção contra surtos da rede de energia, e filtros em antenas e em linha telefónica. Basta um pulso rápido para destruir uma junção PN.

Um circuito de protecção, como o que estamos tratando, parecerá funcionar muito bem mesmo com condensadores grandes colocados em paralelo ao SCR. Entretanto a lentidão de resposta poderá torná-lo inútil. É por isso também que circuitos assim que empregam relés mecânicos simplesmente são inúteis. Funcionam só em demonstração mas não impedem uma elevação de tensão com a velocidade necessária para impedir que chegue aos aparelhos alimentados pela fonte.

A melhor forma de encontrar valores para os condensadores é com um programa de simulação. Somente o condensador ligado ao gatilho nos importa. Aquele ligado ao ânodo não impedirá uma resposta rápida, pois já terá sido feita! Como a resistência do SCR em condução é baixa, podemos colocar no ânodo um condensador maior sem preocupação.

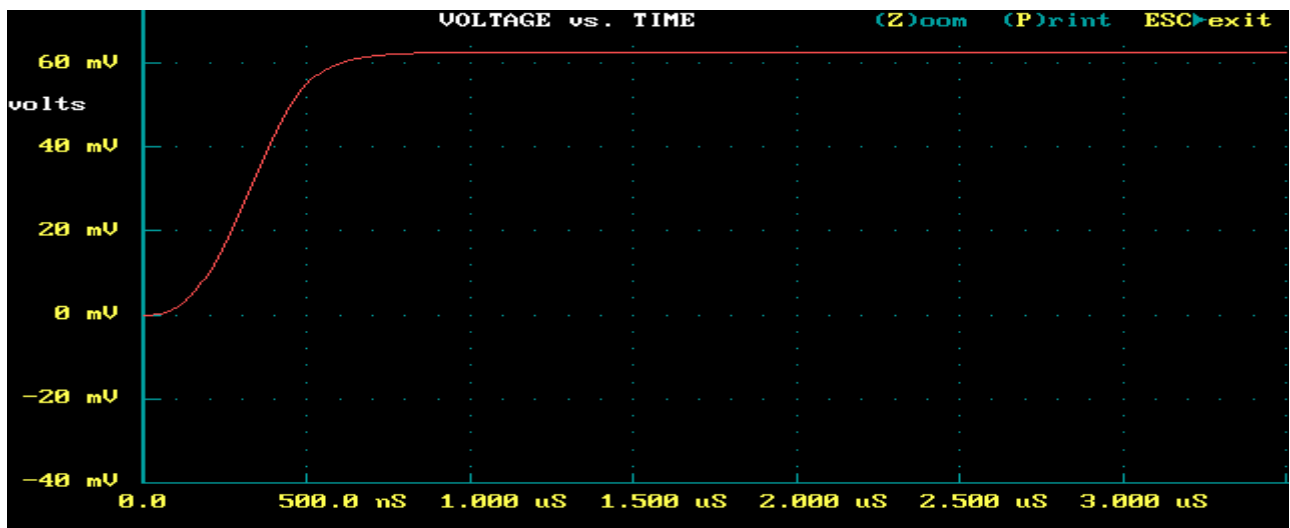
O gráfico apresenta um pulso com tempo de subida de 0,5  $\mu$ s. Portanto ele é duas vezes mais rápido que o próprio SCR. Queremos que a resposta em pulso não seja maior que 1  $\mu$ s.

Vamos simular um circuito substituindo o zener por uma resistência de 1,2  $K\Omega$  (valor aproximado que corresponde ao funcionamento onde teremos sobre o zener 12V e 10 mA). A junção gatilho - cátodo do SCR será substituída por uma resistência de 100 $\Omega$ .

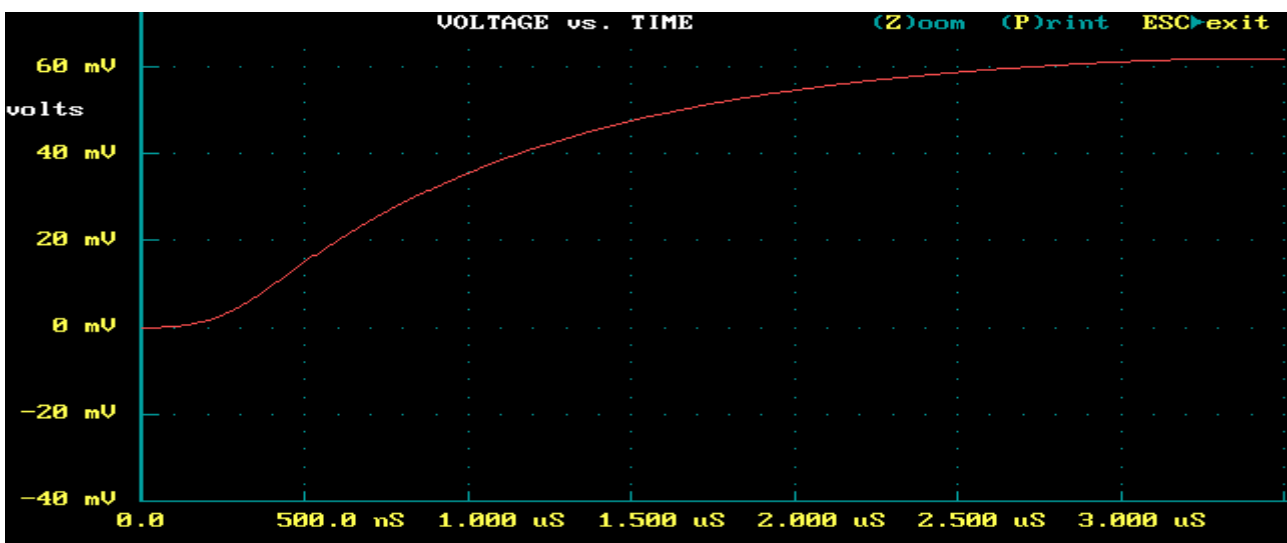


Este é o nosso pulso aplicado ao gatilho, segundo o circuito original, sem protecção contra RF.

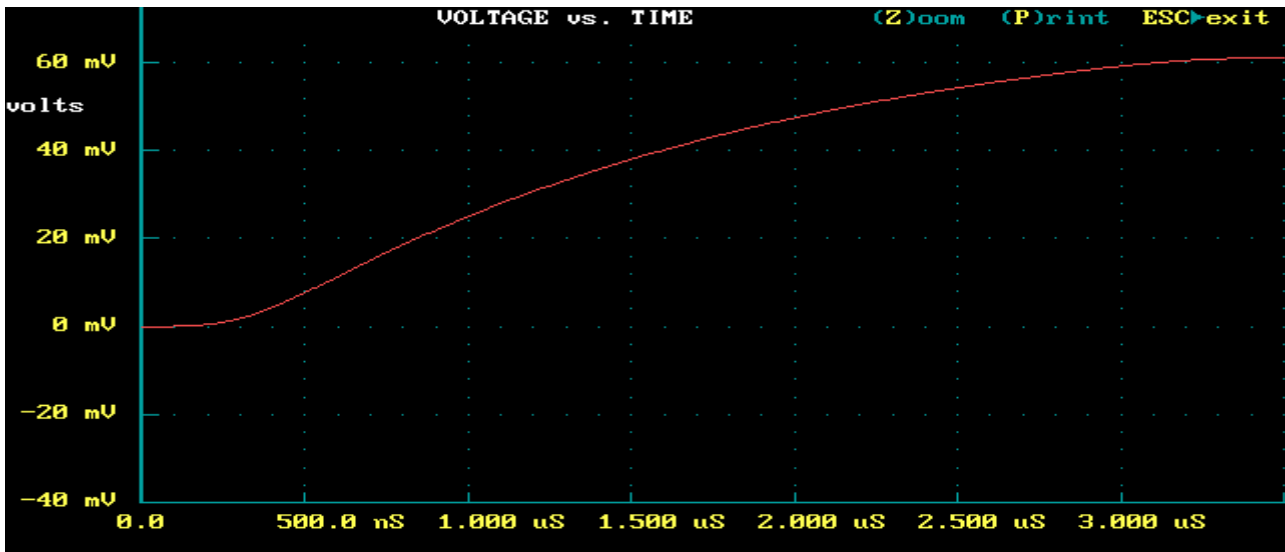
O eixo vertical não é significativo, estamos somente interessados no domínio do tempo.



Aqui colocamos um condensador de 1000 pF em paralelo ao gatilho - cátodo. Notamos uma diminuição da velocidade mas ainda está dentro de nossas especificações.



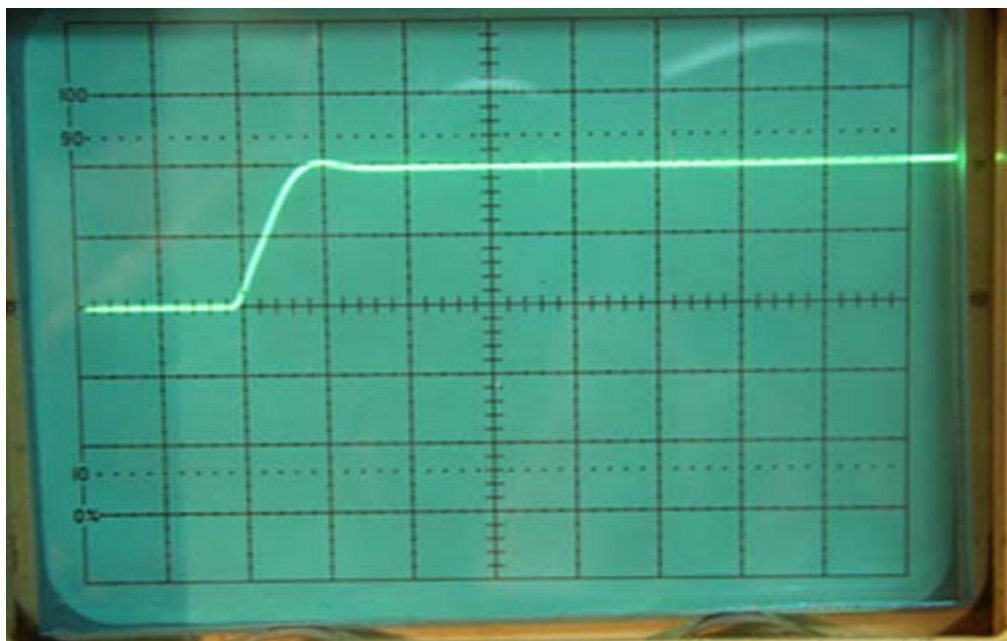
Neste exemplo colocamos um condensador de 10 nF (10.000 pF). Nosso circuito saiu do objectivo especificado, e já não protegerá rapidamente os aparelhos alimentados pela fonte! Nessa janela de tempo até que o SCR entre em condução talvez algum custoso semiconductor "abra o bico".



Neste gráfico apresentamos o resultado do circuito quando utilizamos um condensador de 1000 pF e um choque de RF de 2,5 mHy. Não é uma boa solução!

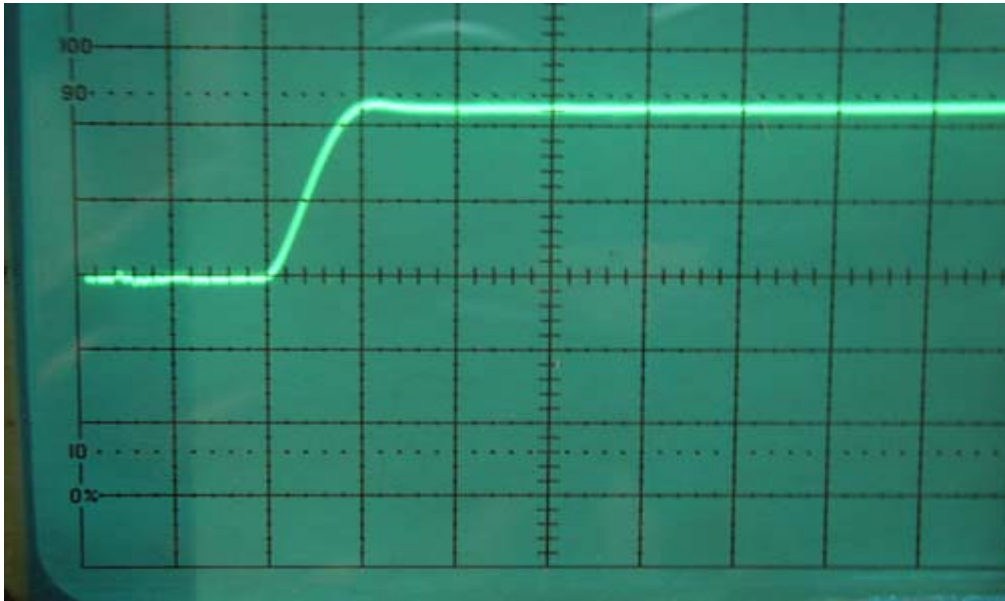
Resta saber se a simulação vai se confirmar na bancada.

Para isso, montamos os circuitos simulados, submetemos o SCR a um pulso de um gerador de funções e obtemos no osciloscópio o resultado.



Esta é uma foto do écran do osciloscópio, mostrando o pulso que será usado nas medições. Cada divisão vertical corresponde a 0,5 uS.

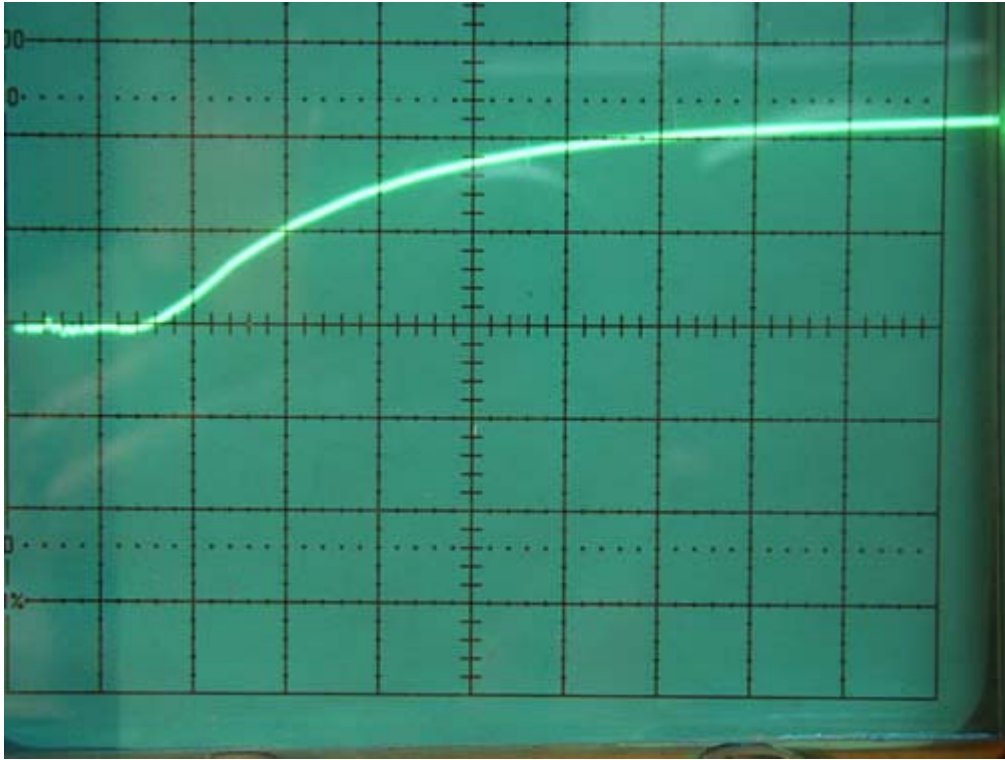
Podemos notar que na parte alta do pulso há um "calombo". Se trata de um pouco de "overshot" do gerador de construção caseira utilizado. Embora não dê para notar na foto, se trata de pulsos retangulares, na frequência de 20 KHz. Estamos somente interessados na "subida" de um pulso. O osciloscópio aqui, um Tektronix 453 de 50 Mhz, está no modo "delayed sweep", que é uma espécie de "zoom" que faz destacar um trecho estreito do sinal examinado.



Nesta foto foi colocado o condensador de 1000 pF no gatilho do SCR. Podemos notar um ligeiro, quase imperceptível, retardo comparando com a foto anterior.



Neste oscilograma reparamos no efeito produzido por um condensador de 10 nF colocado no gatilho. Como fora predito pela simulação, devemos cuidar para não colocar um condensador muito grande.



Neste oscilograma observamos o resultado do choque de 2,5 mHy em série com o gatilho, juntamente a um condensador de 1000 pf. Comprovamos que o choque introduz um retardo desfavorável.

Notamos que os resultados obtidos na bancada concordam perfeitamente com o que havia sido previsto pela simulação em computador.

Temos então o circuito final, lembrando que as pernas dos condensadores devem ser curtos e soldados directamente aos pernos do SCR:

