

## **SISTEMAS CONTROLADOS POR SCR** **(SILICON CONTROLLED RECTIFIER)**

Os conversores de potência tiristorizados foram os primeiros a serem comercializados no fim dos anos 50, para controle de temperatura nos banhos de fusão de fiberglas. Desde então, a aplicação dos conversores de potência tiristorizados têm crescido e vêm sendo aplicado em vários setores industriais.

Apesar de a aplicação principal dos conversores de potência ser no controle de temperatura de fornos elétricos, estufas, etc; outras aplicações, tais como, o controle da tensão sobre elementos de aquecimento por indução, calhas vibratórias, velocidade de motores em corrente alternada estão começando a ser usados, junto com a função original de controle de temperatura.

Hoje em dia, por causa de suas vantagens e a simplicidade do circuito de comando eletrônico de disparo dos SCR's com a função de controle de temperatura, pressão, velocidade de rotação, os conversores de potência utilizando SCR's, têm efetivamente substituído com vantagens as antigas válvulas thyatron, transformadores para controle de potencias elétricas, etc. Os conversores de potência com SCR's dispõem de componentes que permitem o controle de cargas elevadas na ordem de megawatts, abrindo um novo nicho comercial e assim ampliando sua aplicação nos mais diversos e complexos sistemas.

### **BENEFÍCIOS**

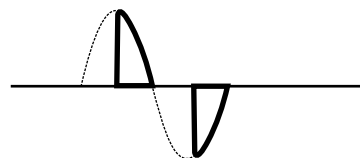
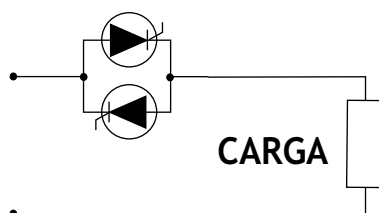
As vantagens dos conversores de potência com SCR's incluem : alta eficiência, baixo custo, dimensões reduzidas, simplicidade no manuseio e alta confiabilidade.

Como não existem partes móveis, nem desgastes, a sua manutenção reduz-se ao mínimo e sua eficiência supera a dos tranformadores, isto é, melhor do que 99%.

O novo projeto dos SCR's em forma de disco, permite maior utilização e uma variada gama de aplicações na ordem de 100 ...1000kW em comparação no uso de transformadores, estes limitados a 1/10 de sua utilização. Atualmente, encontra-se em desenvolvimento SCR's de disparo rápido, que permite introduzir sistemas de prevenção contra curto circuitos mais eficientes, comparados aos sistemas eletro-mecânicos até então conhecidos.

### **FUNCIONAMENTO**

A denominação SCR (Silicon Controlled Rectifier) também é conhecida como "Thyristor"; ambas as expressões são utilizadas. Thyristor ou SCR's tem sua aplicação em redes até 3000 V e correntes até 2000 A rms com refrigeração forçada a ar. No caso de refrigeração à água, atinge-se potências em valores de megawatt's.



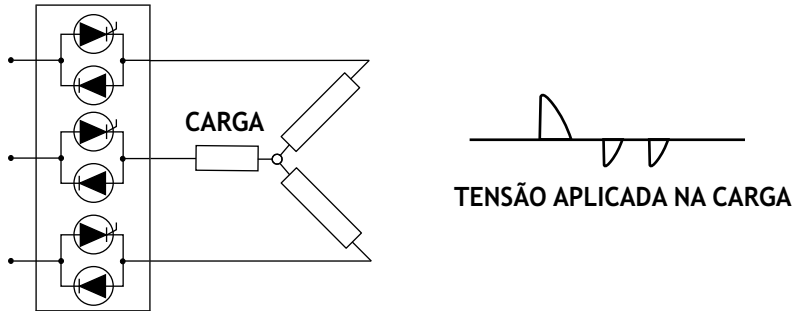
**TENSÃO SOBRE A CARGA**

**FIGURA 1**

O thyristor é um elemento que opera basicamente como interruptor rápido, unidirecional. Quando aplicada uma tensão senoidal de rede alternada, ele conduz a corrente em questão de microsegundos e da mesma forma deixa de conduzir quando a senoide atinge seu valor zero.

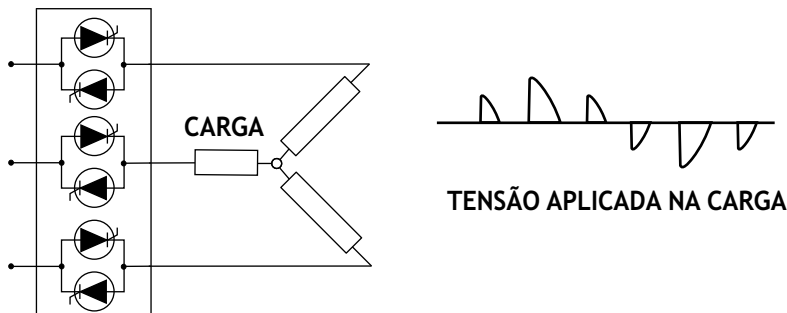
Devido a característica unidirecional, é necessário configurar dois SCR's em anti-paralelo para conduzir uma corrente alternada (senóide) completa (FIGURA 1).

FIGURA 2



No sistema trifásico, um dos componentes que formam a ligação anti-paralelo, pode ser substituído por diodo (Figura 2) com o intuito em diminuir custos do módulo eletrônico de disparo dos SCR's. A configuração mostrada na Figura 2 é usualmente aplicada em todos os tipos de circuitos de carga resistiva. Devido a sua assimetria na tensão de saída, opta-se por usar uma ponte com 6 SCR's (figura 3) para minimizar o aparecimento de campos magnéticos bem como equilibrar as formas de onda positiva e negativa como também eliminar o aparecimento de indesejáveis correntes contínuas saturadas.

FIGURA 3



### CONSIDERAÇÕES SOBRE MODO DE CONTROLE

A potência liberada para a carga pode ser regulada por conversores de potência pelos métodos de disparo por ângulo de fase ou disparo pela passagem de zero da senóide (zero crossing). Cada modo de disparo tem suas vantagens ou desvantagens considerando sua aplicação.

#### DISPARO POR ÂNGULO DE FASE

O modo de controle por ângulo de fase, corta o semi-ciclo da senóide tanto positiva como negativa durante o momento de "ligado" e "desligado" do Thyristor. A porção "ligado" é comumente denominada de "ângulo de condução". No controle do ângulo de fase do thyristor desde zero até 180° elétricos, a tensão sobre a carga varia de zero volts (condução com ângulo zero elétrico) até a tensão plena sobre a carga (180° elétricos de ângulo de condução) em todos os estágios.

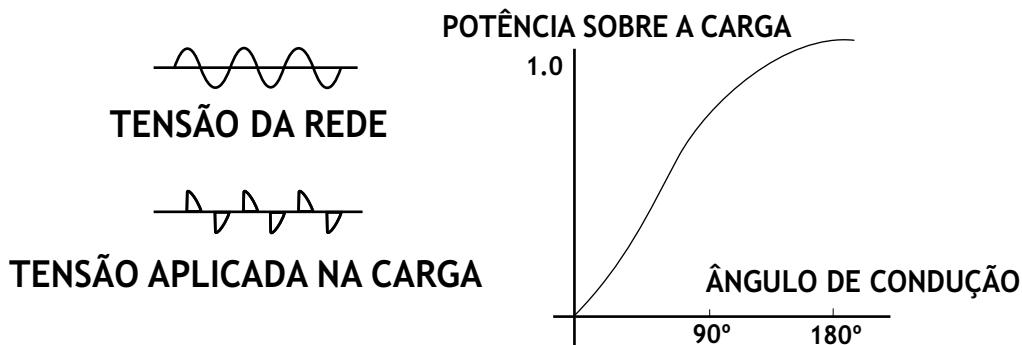


FIGURA 4

As vantagens do modo de disparo por ângulo de fase são as seguintes : permite obter um disparo inicial suave (soft-start) bem como poder limitar a corrente máxima sobre a carga.

Suas desvantagens são: gera interferências de rádio frequência (RFI) durante o disparo do Thyristor bem como baixar sensivelmente o fator de potência (cosphi) com reflexos sobre a remuneração da energia elétrica.

Este sistema é aplicado sobre as cargas não lineares (resistências de carbeto de silício ou tungstênio), cargas indutivas (transformadores) controle de velocidade de motores em corrente alternada ou em sistemas de controle de iluminação (teatros).

### CONTROLE POR CICLO INTEGRAL - SISTEMA "TREM DE IMPULSOS" (DISPARO PELA PASSAGEM EM ZERO DA SENÓIDE = ZERO CROSSING)

O modo de disparo pela passagem de zero da senóide, envia pacotes completos de senóide para a carga, dependendo do nível do sinal de comando. A corrente recebida pela carga é um pacote de senóides completas quando o comando está "ligado" ou "desligado" sempre pela passagem pelo zero da senóide através do conversor de potência, bem como a saída de potência varia linearmente na condução de energia (Figura 5).

As vantagens deste tipo de controle é a eliminação da RFI, bem como, transientes de perturbação refletidas de volta ao sistema da rede de alimentação. A sua maior vantagem hoje em dia é sobre o mercado consciente no aproveitamento de energia, pois libera um fator de potência próximo a (cosphi = 1) sobre a carga resistiva.

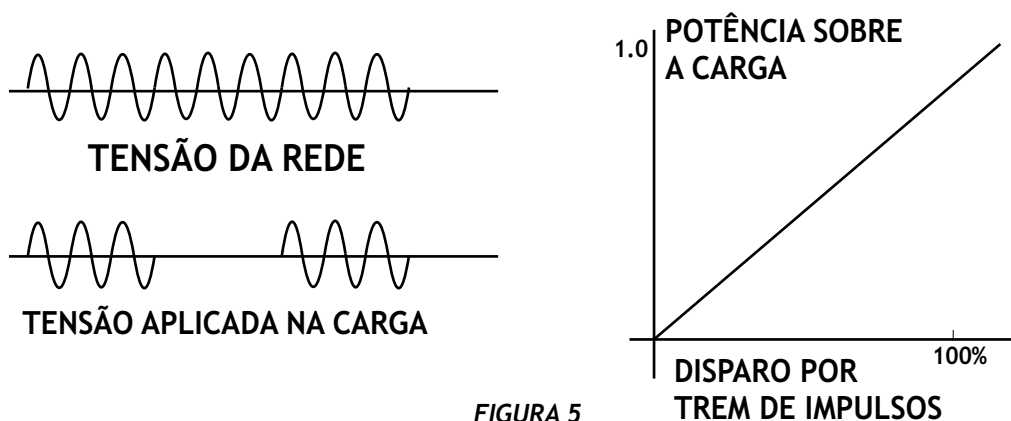


FIGURA 5

Como desvantagem, este sistema de disparo não permite atuar no controle sobre primário de transformadores ou permitir limitar a corrente sobre uma carga devido ao pico de corrente sobre a mesma. A maior aplicação deste modo de controle de forma proporcional é sobre cargas resistivas ou similares com baixo índice de coeficiente de variação de temperatura da carga.

Nota do Tradutor : atualmente é possível fazer o controle sobre uma carga indutiva, disparando-se o primeiro semi-ciclo da senóide em ângulo de disparo aproximadamente em 60° elétricos, minimizando-se o fenômeno de "in-rush" característico neste tipo de carga. Outrossim, existem dispositivos de proteção contra surtos de sobre corrente.

## CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Um conversor de potência com SCR's projetado apropriadamente, com tempos rápidos de disparo para "condução" e "não condução", possui uma eficiência que excede as melhores aplicações de transformadores (melhor do que 99%). A sua resposta instantânea do sinal de comando, minimiza a flutuação de corrente sobre a carga. No caso de aplicação de contatora convencional para controle de temperatura em fornos ou estufas, provoca uma flutuação muito grande da temperatura resultando em perdas por radiação e produtos finais de baixa qualidade submetidas à estas variações.

Porém recentemente, estas limitações foram baseadas primariamente considerando o uso de conversores de potência com SCR's pois era sabido que a forma de onda distorcida que nasce através do comando com SCR's quando o comando de disparo é por ângulo de condução sobre carga resistiva, causando um rebaixamento no valor do fator de potência (cosphi). Este efeito pode ser demonstrado ao ser determinada a potência sobre a carga (Watts) como produto do vetor da tensão (V) senoidal da rede e a forma do corte da senóide da corrente (A) expressa na fórmula de Fourier.

**% FATOR DE POTÊNCIA  
X  
DISPARO POR ÂNGULO  
DE FASE  
PARA CARGA RESISTIVA**

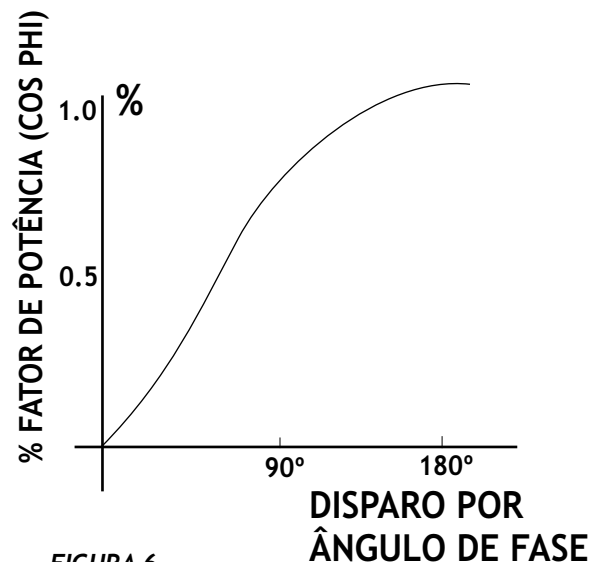


FIGURA 6

Na participação atual sobre a "conscientização da energia" (economia) o fator de potência (cosphi) sobre uma carga resistiva deve ser levado em conta, pois seu valor varia de 10% até 98% dependendo do ângulo de condução. A metade da tensão sobre a carga (90° elétricos de ângulo de condução) registra-se um fator de potência de 70%. Nos contratos de fornecimento de energia elétrica, um fator de potência de 70% está sujeito a penalidades que refletem no aumento da conta de energia.

Por causa deste fato, o modo de disparo por ângulo de fase deve ser aplicado onde é absolutamente necessário e em qualquer outro lugar deve-se escolher o modo de disparo pela passagem da senóide pelo zero (zero crossing) que opera sobre a carga com fator de potência (cosphi = 1,0).