

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

(SEL-402)

APOSTILA DE LABORATÓRIO

**RETIFICADORES TOTALMENTE CONTROLADOS
E
HÍBRIDOS (SEMICONTROLADOS)**

2003

Autor: Prof. Dr. Azauri Albano de Oliveira Jr.

Colaboração e sugestões: Prof. Dr. Manoel Luís de Aguiar

Prof. Jerson B. de Vargas

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Os retificadores controlados têm uma vasta aplicação, ainda hoje em dia, principalmente no acionamento de motores CC em aplicações industriais e carregadores de baterias.

Dependendo da aplicação a que se destina, utiliza-se retificadores semi-controlados (ou híbridos) ou retificadores controlados (totalmente controlados). Os retificadores híbridos possuem a vantagem de serem mais baratos por seu circuito de potência ser constituído em parte por SCR's e parte por diodos, ao passo que os semicondutores constituintes dos retificadores totalmente controlados devem ser todos do tipo SCR. Devido a isto, o controle e circuito de disparo dos retificadores híbridos são também mais simples quando comparados com aqueles dos retificadores totalmente controlados. No entanto, os retificadores híbridos são retificadores de um quadrante, e portanto incapazes de regeneração de energia, ao passo que os retificadores totalmente controlados são retificadores de dois quadrantes com possibilidade de executar esta regeneração se a carga puder comportar-se como gerador, que é o caso de aplicações de acionamento de máquinas CC.

Normalmente, tanto o retificador híbrido quanto o retificador controlado utilizam o modo de operação em controle de fase dos tiristores para controlar a tensão aplicada á carga. Obviamente, este método de controle tem grandes implicações sobre o desempenho destes conversores, tanto em relação à carga, quanto em relação à qualidade de energia na linha de alimentação CA.

O objetivo principal desta prática é a comparação prática do desempenho de um retificador monofásico semicontrolado com um retificador monofásico totalmente controlado, tanto do ponto de vista do controle de potência para a carga, quanto das implicações deste controle em relação à fonte CA. Portanto, em relação ao circuito de potência do controlador deve-se levantar as características de desempenho de controle de potência para a carga, as implicações deste controle em relação à fonte CA (qualidade de energia), bem como as características de desempenho do conversor de potência. A metodologia empregada para a obtenção destas características é a mesma das práticas anteriores com a obtenção dos índices de desempenho da carga, da fonte CA e do conversor, conforme abaixo:

Em relação à carga (saída do conversor), devem ser elaborados gráficos em valores p.u. (por unidade) com os seguintes dados quantitativos:

- Variações das correntes e tensões médias e rms com a variação do ângulo de disparo.

- Variações da potência média na carga e perdas nos diversos componentes com o ângulo de disparo.
- Variações dos fatores de ondulação (ripple) de tensão e corrente com o ângulo de disparo.

Em relação à fonte de alimentação, devem ser elaborados gráficos em valores p.u. (por unidade) com os seguintes dados quantitativos:

- Variações das correntes rms de primário e secundário do transformador (considerar o transformador ideal) com o ângulo de disparo.
- Variações das potências aparentes de primário e secundário do transformador com o ângulo de disparo.
- Variações dos fatores de potência e fatores de deslocamento ($\cos \phi_1$ – fator de potência fundamental) de primário do transformador com o ângulo de disparo.
- Variação da distorção harmônica (THD) de corrente de primário do transformador, com o ângulo de disparo.

Em relação ao desempenho e economia do conversor, devem ser elaborados gráficos em valor p.u. (por unidade) com os seguintes dados quantitativos:

- Variações das tensões e correntes de pico dos tiristores com o ângulo de disparo
- Variações das correntes médias e rms dos tiristores com o ângulo de disparo.
- Variações das perdas de condução dos tiristores e demais elementos do circuito com o ângulo de disparo.
- Variação da eficiência do controlador (considerando apenas as perdas nos tiristores) e da eficiência global do sistema (considerando-se as demais perdas) com o ângulo de disparo.

A construção dos valores p.u. (por unidade) deve ser feita utilizando-se os seguintes valores de base:

Tensão de base: Tensão de pico da senóide de entrada - $V_{base} = \sqrt{2} \cdot V$

Impedância de base: impedância da carga resistiva (lâmpadas) - $Z_{base} = Z_{carga}$

Corrente de base - $I_{base} = \frac{V_{base}}{Z_{base}}$

Potência de base - $P_{base} = V_{base} \cdot I_{base}$

2. RETIFICADOR MONOFÁSICO HÍBRIDO (SEMICONTROLADO)

O diagrama esquemático da figura 1 mostra o circuito de potência do retificador híbrido a ser estudado nesta prática, alimentando uma carga puramente resistiva (lâmpada). Para controlar este retificador será utilizado o modo de disparo com o transistor de unijunção (UJT), já estudado na prática 2. A figura 2 apresenta o diagrama esquemático da ligação entre o módulo de disparo e o circuito de potência do retificador. Note que a sincronização do módulo de disparo deve ser realizada através do retificador em ponte do módulo, permitindo assim a sincronização dos dois semi-ciclos da senóide de potência.

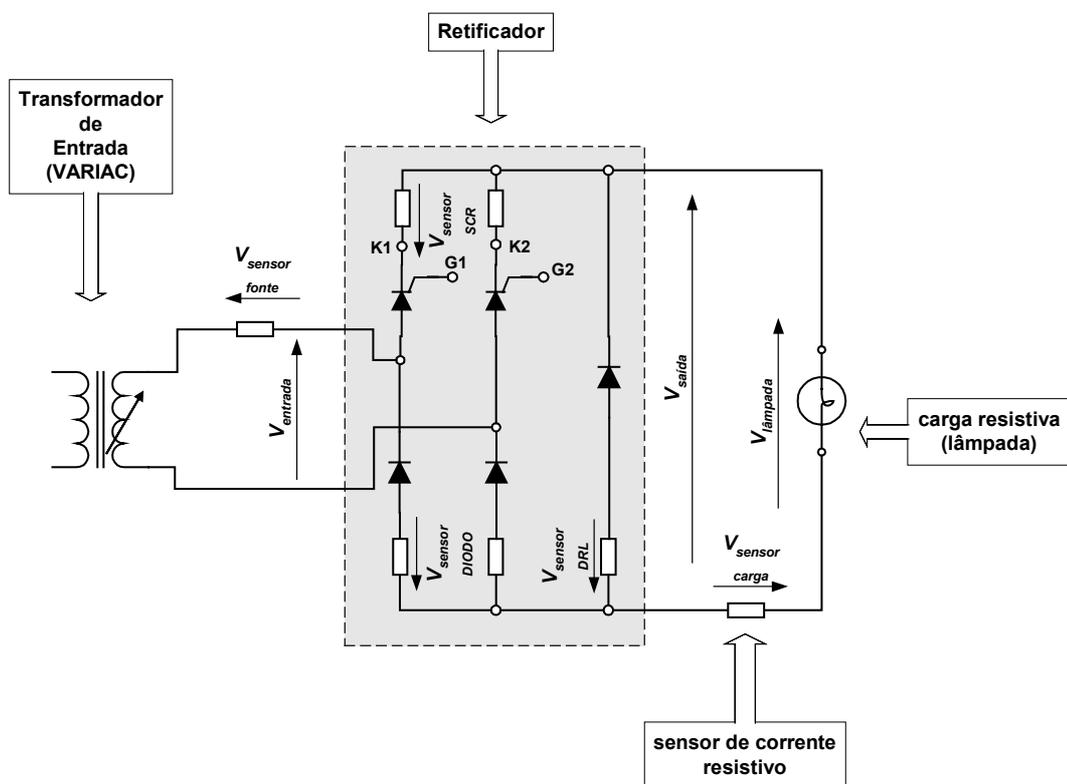


Figura 1: Circuito de potência do retificador híbrido (semicontrolado).

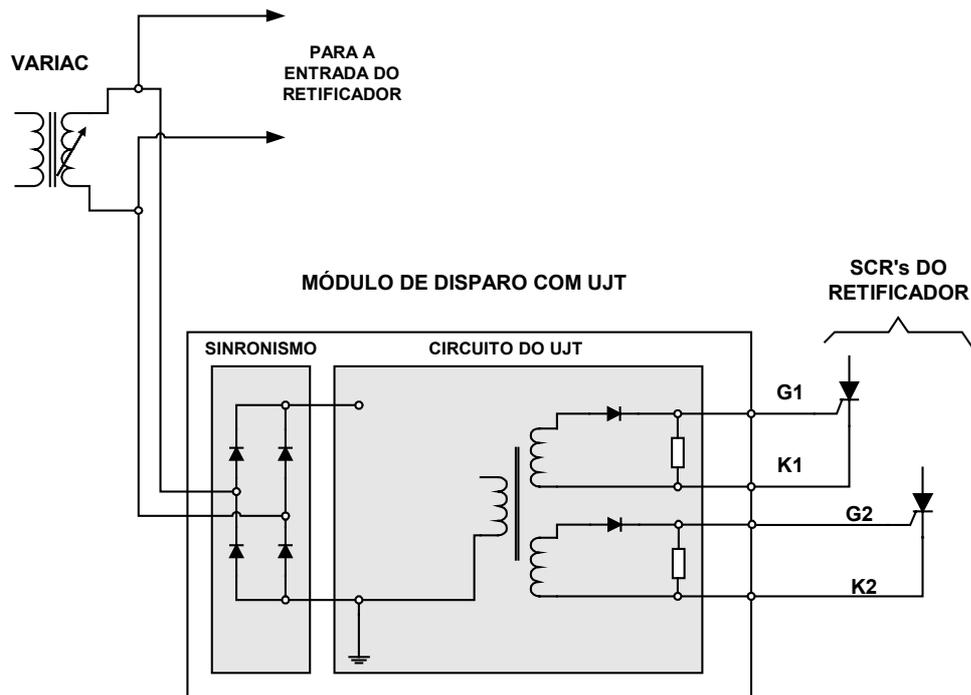


Figura 2: Interligação entre o módulo de disparo e o circuito de potência do retificador.

Com a carga resistiva (lâmpada) conectada conforme a figura 1, e a conexão do circuito de disparo conforme mostrado na figura 2, variar o ângulo de disparo do retificador e realizar as medidas necessárias para se obter os índices de desempenho do controlador, conforme os objetivos apresentados no final da introdução.

Elabore tabelas com as medidas realizadas, tabelas com os valores dos índices de desempenho calculados, tanto em valores reais, quanto em p.u. A partir dos valores medidos e/ou calculados, faça os gráficos das variações dos índices de desempenho em função do ângulo de disparo do tiristor.

A partir dos dados obtidos, faça comentários sobre o comportamento do conversor em relação à carga, em relação à fonte de alimentação e em relação ao desempenho e economia do conversor, conforme estabelecido na introdução.

Estes dados e comentários deverão ser entregues ao professor no final da prática, juntamente com aqueles solicitados nos itens seguintes.

Repetir o procedimento anterior conectando ao retificador o filtro indutivo, conforme mostrado no diagrama esquemático do retificador mostrado na figura 3.

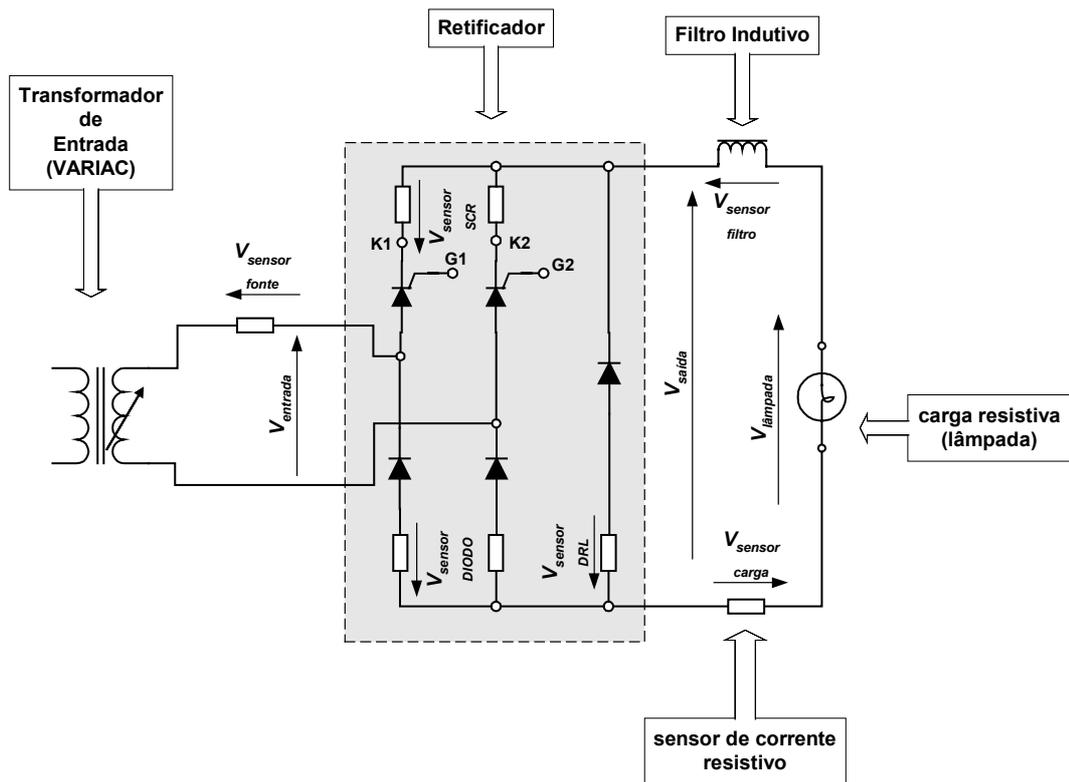


Figura 3: Retificador híbrido com carga indutiva (filtro indutivo).

3. RETIFICADOR MONOFÁSICO TOTALMENTE CONTROLADO.

O diagrama esquemático da figura 4 mostra o circuito de potência do retificador totalmente controlado a ser estudado nesta prática, alimentando uma carga puramente resistiva (lâmpada). Para controlar este retificador será utilizado o módulo de disparo com o circuito integrado TCA785, já estudado na prática 3. A figura 5 apresenta o diagrama esquemático da ligação entre o módulo de disparo e o circuito de potência do retificador.

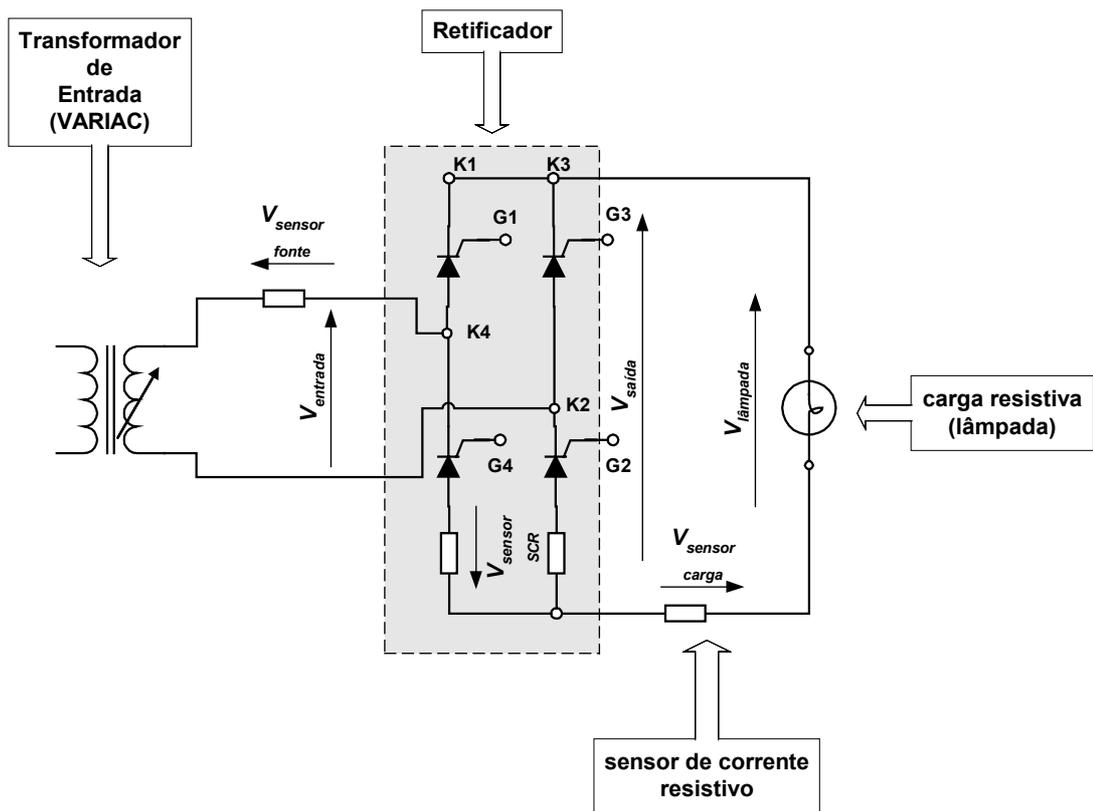


Figura 4: Circuito de potência do retificador monofásico totalmente controlado.

Com a carga resistiva (lâmpada) conectada conforme a figura 4, e a conexão do circuito de disparo conforme mostrado na figura 5, variar o ângulo de disparo do retificador e verificar que as formas de onda obtidas por este retificador, quando controlando uma carga resistiva, exibe os mesmos resultados obtidos pelo retificador híbrido quando também estiver controlando uma carga resistiva.

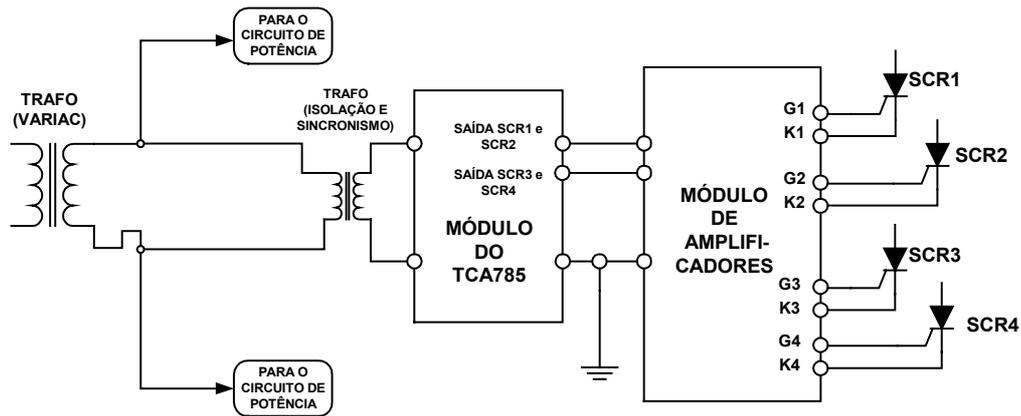


Figura 5: Interligação do módulo de disparo com o circuito de potência do retificador.

Conectar o filtro indutivo à saída do retificador, conforme mostrado no diagrama esquemático da figura 6 e repetir o procedimento utilizado na prática do retificador híbrido para obtenção e análise dos dados do retificador totalmente controlado.

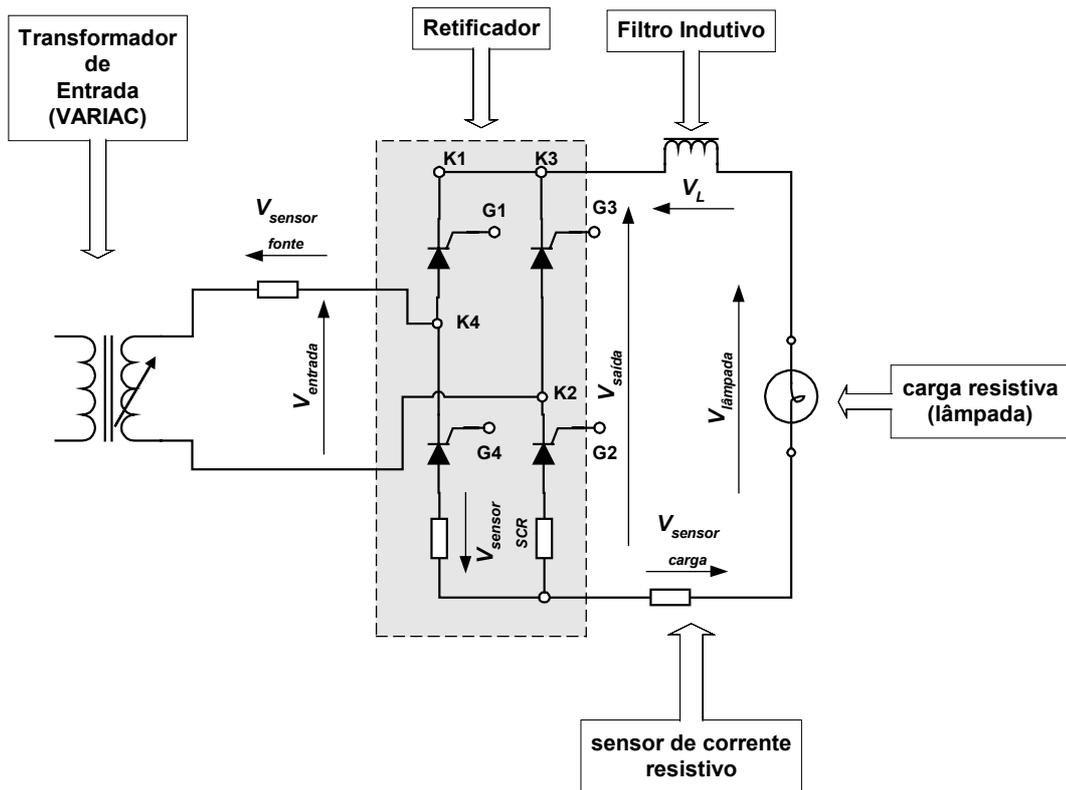


Figura 6: Retificador monofásico em ponte totalmente controlado com carga indutiva.

4. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES FINAIS.

Faça uma análise global de todas as práticas e resultados obtidos anteriormente. Faça comentários e tire conclusões globais a respeito dos controladores CA, bem como dos circuitos de disparo, baseados principalmente nos comentários parciais que foram feitos em cada prática.

Os resultados práticos e calculados obtidos durante a execução das práticas, comentários parciais e comentários finais, assim como outras informações pertinentes que possibilitem a avaliação de seu trabalho devem ser entregue ao professor no prazo estipulado.