



Conversores CA-CA: Controlador de Tensão com TCA785

Marco Aurélio Pereira Buzinaro^{1,2}, José Edleuson de Souza³, Elenilton Teodoro Domingues², Eli da Paz²

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Sergipe – São Cristóvão/SE - Brasil

²Coordenadoria de Eletrotécnica – Instituto Federal de Sergipe – Aracaju/SE - Brasil; e-mail: marco_buzinaro@hotmail.com

³Coordenadoria de Indústria – Instituto Federal de Sergipe – Lagarto/SE – Brasil; e-mail: souza_edleuson@hotmail.com

Resumo: O controle de tensão CA possui um papel importante para diversas aplicações residenciais e industriais. Uma climatização de um ambiente, o controle de temperatura de uma estufa, o controle da luminosidade, bem como, o controle da velocidade de um pequeno motor é de grande interesse para o desenvolvimento de um sistema automatizado e consequentemente o bem estar dos usuários. Para a realização deste trabalho foi utilizado um circuito que pode ser dividido em duas partes básicas, sendo elas, o circuito de controle que tem como principal dispositivo, o TCA 785 e, o circuito de potência que tem como principal dispositivo, o TRIAC. Com a variação de duas das resistências instaladas no circuito é possível alterar o ângulo de disparo do tiristor, e consequentemente, a tensão eficaz que é disponibilizada para a carga. Neste trabalho foi utilizada uma lâmpada como carga, onde foi possível verificar a alteração da luminosidade da mesma. Vale salientar que o controle da tensão eficaz aplicada na carga pode ser realizado de uma maneira simples e econômica, como foi executado neste trabalho.

Palavras-chave: controlador de tensão CA, conversores CA-CA, eletrônica de potência, TCA 785

1. INTRODUÇÃO

Em algumas aplicações, alimentadas em corrente alternada (CA), nas quais se deseja alterar o valor da tensão (e da corrente) eficaz da carga, é usual o emprego dos chamados “Variadores de Tensão”, também designados como “Gradadores” por Ivo Barbi (BARBI, 2005), ou ainda, “Controladores de Tensão CA” por Ahmed (AHMED, 2000).

Os controladores de tensão alternada converte uma fonte de tensão CA fixa em uma fonte de tensão CA variável, com frequência de saída igual ao da entrada. O modo mais simples de controlar a tensão CA, para uma carga, é usar uma chave CA. Essa chave pode ser um dispositivo semicondutor unidirecional com a utilização de um par de SCR's (Retificadores Controlados de Silício) ligados em antiparalelo ou, uma chave bidirecional, como um TRIAC (Tiristor Triodo Bidirecional). Para a maioria das finalidades, o resultado do controle é independente da chave que é usada (AHMED, 2000). Neste trabalho será utilizado um TRIAC para o controle da tensão de saída, já que o circuito montado será utilizado para cargas com potências abaixo de 1 kW.

Estes circuitos são utilizados em algumas aplicações, tais como: controle de temperatura de um forno; controle de temperatura de um ambiente climatizado; controle de intensidade luminosa; acionamento de motores CA; partida suave de motores de indução; controle do aquecimento de resistências; entre outras cargas, que precise controlar o nível da tensão de saída (AHMED, 2000). Além da variação da tensão e da corrente na saída, estes controladores têm como principal objetivo o controle da potência de saída, resultando assim, o controle do consumo de energia elétrica.

Estes equipamentos, basicamente, podem ser subdivididos em duas partes: potência, e controle, como mostrado na Figura 1. A parte de potência é obtida através de uma estrutura com tiristores (SCR's ou TRIAC's). Esses por sua vez só permitem a condução quando recebem um pulso oriundo do circuito de disparo. Neste trabalho, a parte de controle, que é a responsável pelo disparo dos tiristores, é baseada no circuito integrado (CI) TCA 785. Esse CI tem a finalidade de produzir um pulso de corrente que será aplicado no gatilho dos tiristores ocorrendo o disparo dos mesmos.

Revolucionários avanços em eletrônica permitiram o desenvolvimento destes controladores. Adicionalmente, esses avanços na tecnologia de fabricação dos semicondutores fizeram um importante aumento da capacidade de manipulação de tensão, corrente, velocidade e potência por parte dos semicondutores, todos estes avanços possibilitaram o crescimento dos processadores de potência. Ao



mesmo tempo, o mercado da eletrônica de potência tem se expandido de forma significativa (HART, 2012).

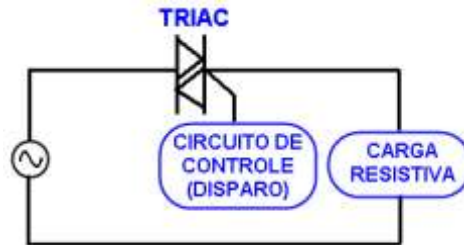


Figura 1 - Divisões básicas de um controlador de tensão.

Este trabalho busca como contribuição, uma alternativa econômica e interessante, através da construção de um protótipo de baixo custo para atividades práticas de controle de tensão CA, possibilitando melhorar o treinamento experimental, minimizando também, os custos envolvidos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho o dispositivo principal do circuito de potência é o TRIAC, que é um dispositivo semicondutor que opera em regime chaveado, ou seja, é uma chave semicondutora acionada por um sinal de comando externo. É composto por três eletrodos: dois deles correspondendo aos terminais da chave e o terceiro terminal ao de comando que define o estado da chave. Tem como principal função realizar o controle de potência de uma carga, a qual esta ligada em série com os terminais da chave. Este dispositivo tem comportamento simétrico, pois permite a circulação de corrente nos dois sentidos, logo, em circuitos CA permite controlar a corrente alternada em seus dois semiciclos sem a necessidade de uma retificação prévia (OLIVEIRA, 2012).

Já para o circuito de controle o principal dispositivo utilizado é o TCA 785 da SIEMENS, uma versão melhorada do TCA 780. São circuitos integrados analógicos com 16 pinos, desenvolvidos para gerar pulsos e controlar o ângulo de disparo de tiristores, principalmente os SCRs e TRIACs, em aplicações para controladores de fase. Sua estrutura interna e a possibilidade externa de seleção do ponto de chaveamento permitem um grande número de opções de funcionamento, evitando um circuito externo volumoso, apresentando também, grande precisão e estabilidade (OLIVEIRA, 2012).

A estrutura interna do TCS 785 é mostrada na Figura 2. Parte do circuito é regulada pela fonte de tensão interna chamada de tensão de referência, regulada em $V_{ref} \approx 3,1$ V, permitindo assim diversos níveis de tensão de alimentação, compreendida entre 8 e 18 V_{cc}, sendo realizada pelo pino 16. O potencial positivo da tensão é o pino 16 e o terra é o pino 1. Esta tensão regulada de 3,1 V é também disponibilizada pelo pino 8 (CAPELLI, 2006).

Como nos retificadores controlados, os circuitos de disparo devem ser sincronizados com a rede, evitando assim disparos aleatórios dos tiristores, este ponto de referência para o sincronismo é a passagem pelo zero da rede. Para o TCA existe um bloco, detector de passagem por zero, ligado ao pino 5, que gera um pulso de sincronismo toda vez que a tensão da rede passar por zero (ALMEIDA, 2007).

A base de sincronismo está no gerador de rampa (controlado pela unidade lógica), cuja característica é ajustada por dispositivos externos, resistor R9 e capacitor C10, ligados aos pinos 9 e 10, respectivamente. A fonte controlada de corrente constante interna carrega linearmente C10, sendo a corrente desta fonte determinada por R9 (CAPELLI, 2006). A inclinação desta rampa, que é uma variação linear da tensão em função do tempo, é determinada pela combinação R₉C₁₀. (ALMEIDA, 2007).

Para a geração de pulsos há um comparador de controle, interno ao TCA, que compara a tensão da rampa (V_{rampa}) com a de controle ($V_{controle}$), aplicada no pino 11 (ANDRADE, 1996). No instante t_0 , correspondente ao ângulo de disparo α em relação ao zero da rede, instante em que as tensões ($V_{rampa} = V_{controle}$) se igualam, como pode ser visto na Figura 3b, há uma mudança de estado na saída do



comparador de controle, indicando à unidade lógica que pulsos de disparo devem ser acoplados a uma de suas saídas (ALMEIDA, 2007).

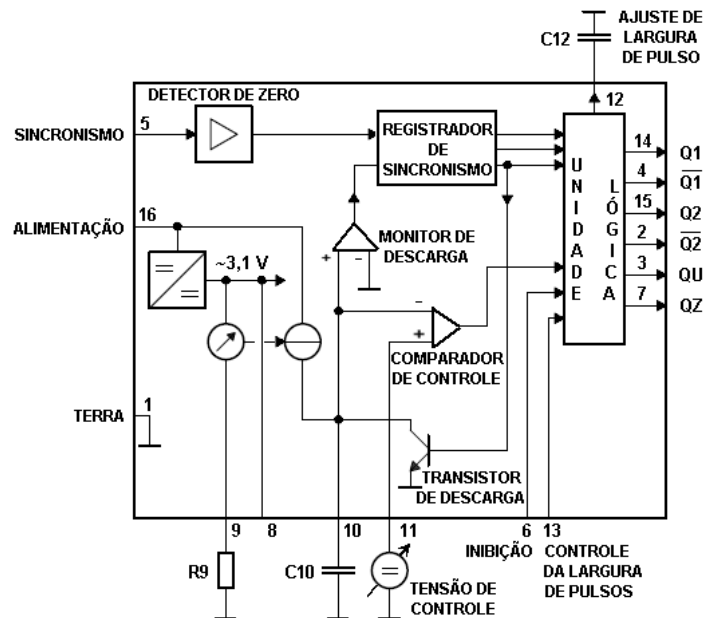


Figura 2 - Estrutura interna do TCA 785.

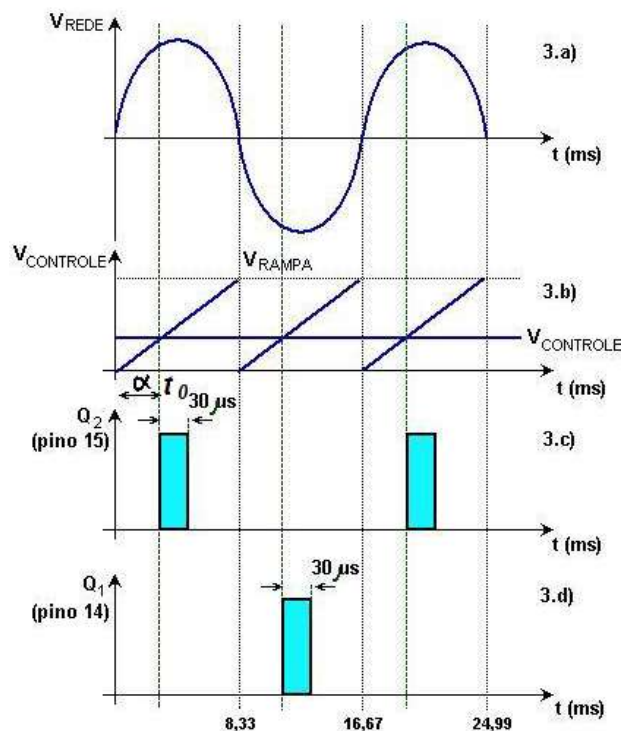


Figura 3 - a) Tensão da rede - sincronismo; b) Gráficos das tensões da rampa e controle, mostrando o t_0 e α ; c) pulsos no pino 15 com duração de $30 \mu s$; d) pulsos no pino 14 com duração de $30 \mu s$.

Estes pulsos de disparos positivos serão: na saída Q1, pino 14, sincronizado com os semiciclos negativo da tensão de sincronismo e Q2, pino 15, sincronizado com os semiciclos positivo da tensão

de sincronismo. A duração desses pulsos pode ser alterada por meio de capacitores ligados ao pino 12, caso o mesmo fique aberto a duração dos pulsos serão de aproximadamente de 30 μ s, caso seja aterrado, a largura dos pulsos se estenderá do instante do disparo até o início do próximo semiciclo, ou seja, $180^\circ - \alpha$ (ALMEIDA, 2007). Já a amplitude destes pulsos é determinada pela tensão de alimentação do pino 16. Nas Figuras 3a é mostrado a tensão da rede utilizado para o sincronismo, nas Figuras 3c e 3d são mostrados os pulsos descritos acima para os pinos 15 e 14, respectivamente.

As saídas $\overline{Q1}$ e $\overline{Q2}$, pinos 4 e 2, respectivamente, são saídas complementares dos pinos 14 e 15. O pino 13 é semelhante ao pino 12 para utilização das saídas 2 e 4. Existem, ainda, duas saídas auxiliares QU (pino 3) e QZ (pino 7). Todas estas saídas não foram utilizadas para execução deste trabalho (ALMEIDA, 2007).

O pino 6 serve para liberar as saídas do TCA, onde o mesmo deve ser alimentado com uma tensão superior a 4V, caso contrário, os pulsos nas saídas estarão bloqueados. (ALMEIDA, 2007).

Na Figura 2c e 2d percebe-se que a posição inicial do pulso depende do ponto, onde as tensões se igualam ($V_{\text{rampa}} = V_{\text{controle}}$), ver Figura 2b. A potência aplicada a carga (lâmpada) depende da posição inicial do pulso, podendo ser alterada quando há uma variação no valor da tensão de controle (variando R11) ou por uma variação da inclinação da rampa, através da alteração do resistor R9. Logo, o controle automático da tensão eficaz na carga pode ser feito quando há uma alteração na tensão de controle ou quando há uma alteração em R9 (CAPELLI, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização deste trabalho desenvolveu-se um sistema constituído de dois módulos que utilizam a conexão de diversos componentes eletrônicos. Um módulo foi o circuito de disparo, tendo como principal componente o TCA 785, o outro módulo foi o do circuito de potência, tendo como principal componente o TRIAC. Como carga foi colocada uma lâmpada incandescente. Todo o circuito montado é mostrado na Figura 4, sendo que o circuito de potência e a lâmpada estão destacados no lado direito da Figura 4.

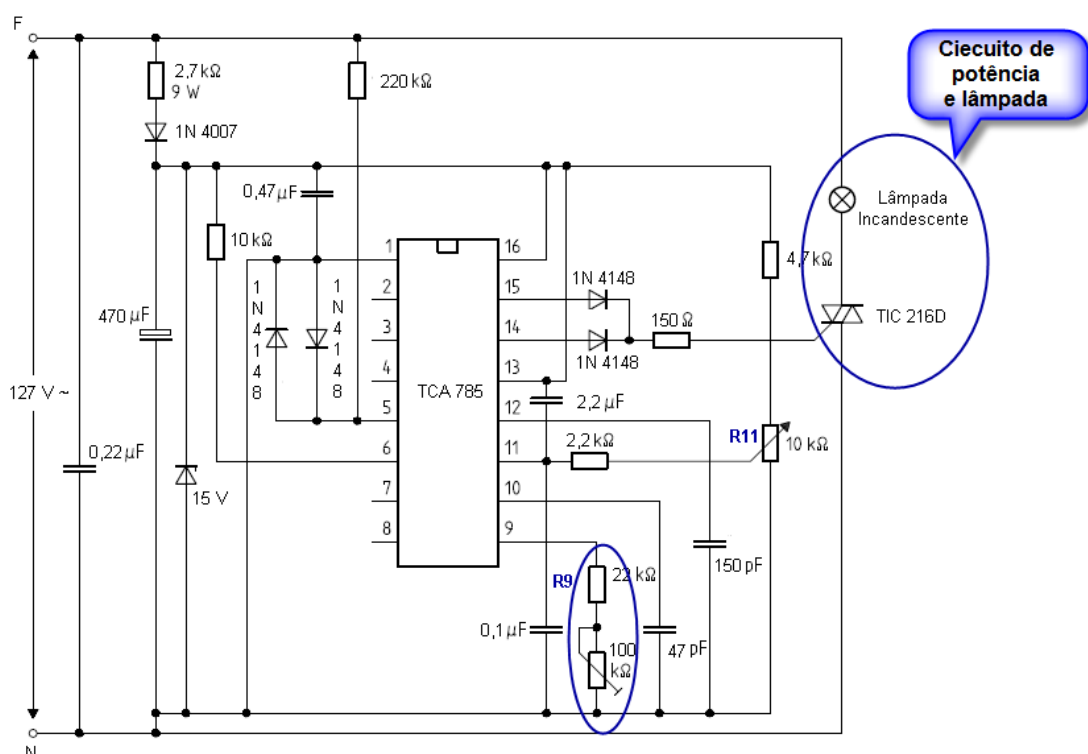


Figura 4 - Circuito montado: circuito de controle e a direita o circuito de potência.

Após a montagem deste circuito foi realizada a variação do potenciômetro que esta no pino 9, denominado por R9 na Figura 4. Com esta variação foi observada a mudança na inclinação da rampa, variando assim, o instante t_0 , ou seja, o instante em que a tensão da rampa se iguala a tensão de controle ($V_{\text{rampa}} = V_{\text{controle}}$), consequentemente alterando o ângulo α , como pode ser observado, ilustrativamente, nas Figuras 5a e b.

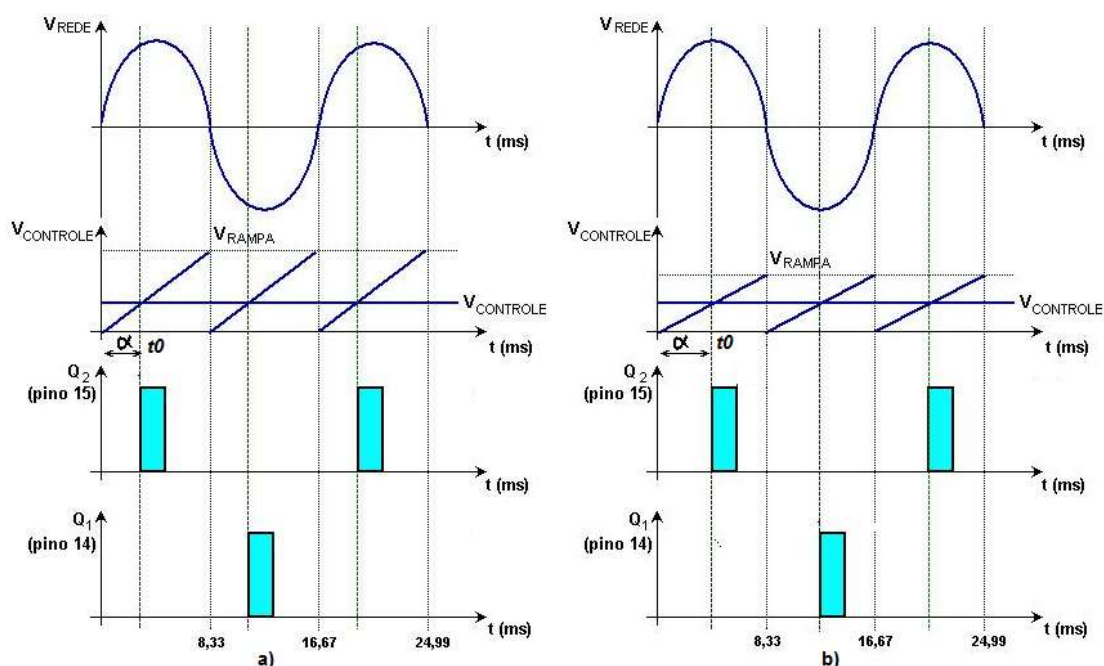


Figura 5 - a) tensão de alimentação; instante t_0 – instante em que a tensão da rampa se iguala com a tensão de controle; pulsos no pino 15 e; pulsos no pino 14. b) tensão de alimentação; instante t_0 – instante em que a tensão da rampa se iguala com a tensão de controle; pulsos no pino 15 e; pulsos no pino 14.

O instante t_0 é o momento em que o TCA gera pulsos nos pinos 14 e 15 do TCA. Estes por sua vez, estão conectados no gatilho do TRIAC, colocando assim, o dispositivo em condução. A partir deste momento toda a tensão da rede é aplicada na carga, ou seja, com a variação do instante t_0 (ângulo α), ocorre uma variação da tensão eficaz aplicada na carga, como pode ser observado nas Figuras 6a e 6b.

Na Figura 6a o valor da resistência R9 é 32,4 k Ω (resistência mais potenciômetro), fazendo com que o ângulo de disparo seja $\alpha = 48,2^\circ$, e consequentemente a tensão eficaz na carga de $V_{\text{RMS}} = 119,8$ V. Já na Figura 6b o valor da resistência R9 é 43 k Ω (resistência mais potenciômetro), fazendo com que o ângulo de disparo seja $\alpha = 96,7^\circ$, e consequentemente a tensão eficaz na carga de $V_{\text{RMS}} = 82,9$ V, em ambos os casos a tensão de controle é de 5 V. Com a variação da tensão eficaz aplicada na carga, ocorre uma variação na intensidade luminosa da lâmpada. Pode ser observado na Figura 6a que, a tensão eficaz aplicada na carga é maior que a tensão aplicada na Figura 6b, logo a intensidade luminosa da lâmpada da Figura 6a é maior do que na Figura 6b, estas são mostradas nos cantos superiores direito das Figuras 6a e b, respectivamente.

Foi realizada também a variação do potenciômetro que esta no pino 11 do TCA, denominado por R11 na Figura 4. Com esta variação foi observado a mudança na tensão de controle, variando também o instante t_0 , ou seja, o instante em que a tensão de controle se iguala a tensão da rampa ($V_{\text{controle}} = V_{\text{rampa}}$), mudando assim o ângulo α , como pode ser observado, ilustrativamente, nas Figuras 7a e b. Por consequência uma alteração da tensão eficaz aplicada na carga e na intensidade luminosa da lâmpada.

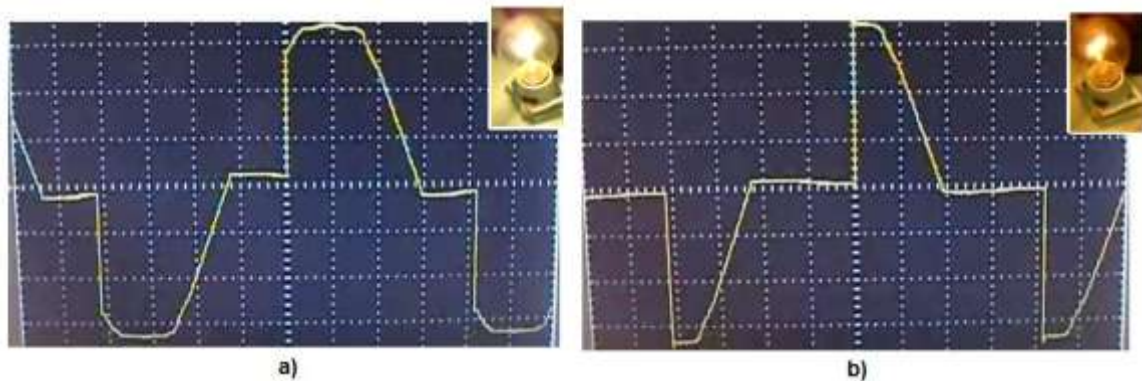


Figura 6 - a) Foto da tela do osciloscópio com tensão eficaz inferior do que a mostrada na foto 6b. Cantos superiores direitos mostrando a intensidade luminosa das lâmpadas.

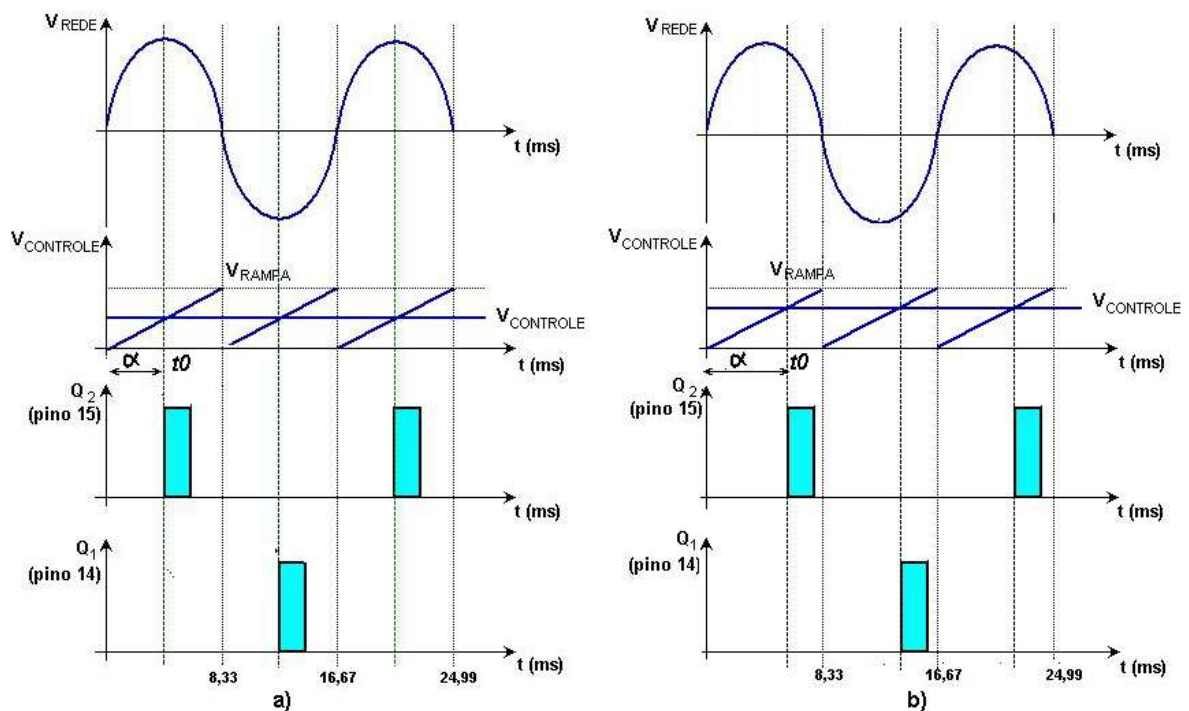


Figura 7 - a) tensão de alimentação; instante t_0 – instante em que a tensão de controle se iguala com a tensão da rampa; pulsos no pino 15 e; pulsos no pino 14. b) tensão de alimentação; instante t_0 – instante em que a tensão de controle se iguala com a tensão da rampa; pulsos no pino 15 e; pulsos no pino 14.

Como já dito anteriormente, o instante t_0 é o momento em que o TCA gera pulsos nos terminais 14 e 15. Estes pulsos serão responsáveis pelo disparo do TRIAC, colocando o mesmo em condução por um tempo maior ou menor, alterando assim a intensidade da luminosidade da lâmpada.

6. CONCLUSÕES

A execução deste trabalho trouxe uma experiência para montagens de circuitos eletrônicos, onde a partir de componentes de baixo custo, obteve-se um controlador de tensão CA eficiente e de pequeno porte. Pode-se observar que os instantes para o TCA gerar os pulsos nos pinos 14 e 15 podem ser alterados com variações nos potenciômetros ligados aos pinos 9 e 11. Estes pulsos são responsáveis pelo disparo do TRIAC. Com estas variações dos instantes em que os pulsos são gerados, ocasiona uma variação na tensão eficaz aplicada na carga, podendo assim variar a intensidade



luminosa da lâmpada, ou o aquecimento de uma resistência, a variação da velocidade de um motor assíncrono e outros equipamentos que possam trabalhar com uma variação de tensão de alimentação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Sergipe (IFS) pelo fornecimento das estruturas dos laboratórios e financiamento do projeto. Agradecem também a Universidade Federal de Sergipe (UFS) pelo fornecimento das estruturas dos laboratórios.

REFERÊNCIAS

AHMED, A.; **Eletrônica de potência**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2000, 479p.

ALMEIDA, J.L.A. **Dispositivos semicondutores: tiristores: controle de potência em CC e CA**. 11. ed. São Paulo: Coleção Estude e Use, Série Eletrônica Analógica, Editora Érica, 2007, 150p.

ANDRADE, E.A. **Eletrônica industrial: análise de dispositivos e suas aplicações**. 1º ed. Salvador: Editora CEFET/BA, 1996, 245p.

BARBI, I. **Eletrônica de potência**. 6.ed. Florianópolis: Editora do autor, 2005, 328p.

CAPELLI, A. **Eletrônica de potência**. Rio de Janeiro: Ed. Antenna Edições Técnicas Ltda, 2006, 86p.

DATASHEET SIEMENS: **Phase control IC: TCA 785**. Disponível em: <<http://www4.hcmut.edu.vn/~nvnho/Download/PE/tca785.pdf>> Acesso em 05 jan 2011.

DATASHEET POWER INNOVATIONS LIMITED: **TIC 216 SERIES SILICON TRIACS**. Disponível em: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/70/323026_DS.pdf> Acesso em 05 jan 2011.

HART, D.W. **Eletrônica de potência: análise e projetos de circuitos**. Porto Alegre: Ed. AMGH Editora Ltda., 2012, 480p.

OLIVEIRA, R.A. **Utilizando Eletrônica com AO, SCR, TRIAC, UJT, PUT, CI 555, LDR, LED, IGBT, e FET de potência**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2012, 204p.

RASHID, M.H. **Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications**. Prentice Hall, Inc., 2 ed., 1993.