

DESENVOLVIMENTO DE UM REATOR ELETRÔNICO PARA ESTRUTURAS DE PURIFICAÇÃO DE ÁGUA, ATRÁVES DA IRRADIAÇÃO UVC COM LÂMPADAS FLUORESCENTES ESPECIAIS

Matheus Angélico Ioner, Marcus Felipe Calori Jorgetto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul – Três Lagoas - MS

matheus.ioner@estudante.ifms.edu.br, email marcus.jorgetto@ifms.edu.br

Resumo

O artigo trata de um sistema altamente eficiente, compacto, robusto e eficaz no que se propõe a fazer, que é a aplicação de um reator LCC ressonante acoplado a um conversor Half-Bridge para controle de luminosidade de uma lâmpada UV-C para purificação de água, a fim de torná-la potável, com alto fator de potência e alto rendimento, por se tratar de um sistema ressonante, existe ainda a vantagem de serem usados componentes como indutores e capacitores muito menores do que sistemas de potência convencionais, o artigo se difere por sua ampla gama de aplicações possíveis, baixo custo, robustez e compactabilidade, devido às características anteriormente citadas, o projeto ainda abre novas possibilidades para trabalhos futuros, como refinamento dos conceitos abordados e aplicações do filtro germicida que não sejam para purificação de água

Palavras-chave: Reator ressonante, LCC, Ressonante.

Introdução

A água é um dos recursos mais importantes da humanidade, desde o começo de todas as espécies, e com o avanço das civilizações, foi se tornando necessário o armazenamento e distribuição da água, posteriormente, descobriu-se que várias doenças até então mortais, eram transmitidas por vírus e bactérias que viviam e se proliferavam na água, foi então que a ciência entrou em ação e descobriu meios de purificar e tratar a água.

A fim de eliminar todos os micro-organismo que pudessem ser prejudiciais para a saúde humana, vários tratamentos foram descobertos, descobriu-se o Cloro, o Ozônio, processos de filtração, decantação e afins, o Cloro foi o mais amplamente aplicado, e é muito usado ainda nos dias atuais, porém, o Cloro e outros tratamentos químicos, tem um problema fundamental, que só foram descobertos vários anos após o início da sua utilização, o Cloro gera resíduos químicos resultante da sua reação com a água, como trihalometanos, compostos halogênicos e ácidos haloacéticos, esses compostos são tóxicos e até mesmo cancerígenos (LAZAROVA, 1999).

Descobriu-se então um espectro de radiação que tinha a capacidade de eliminar os micro-organismo da água, esse espectro, foi o da radiação UV-C, mais especificamente, com

o comprimento de onda de 254 nm, segundo Gonçalves (2003), a radiação UV-C é segura, pois não há transporte ou utilização de componentes químicos no processo, e por isso, não deixa resíduos químicos ou físicos que possam ser prejudiciais à saúde, pois ataca o material genético dos micro-organismos, impedindo sua clonagem e sua capacidade de causar doenças.

Dessa forma, o projeto apresentado trata da adaptação de uma metodologia para construção de um reator LCC ressonante para controle de luminosidade de uma lâmpada UV-C, o projeto emprega o Circuito Integrado(CI) UBA2021T, que garante a frequência de chaveamento necessária para o funcionamento ideal do circuito, é empregado também um conversor half-bridge, operando em 40 Khz, a alta frequência e a ressonância do circuito proporcionam a capacidade de se empregar componentes como indutores e capacitores bem menores que um circuito de potência convencional.

Metodologia

Segundo as pesquisas de Arenas (2014) e Wakabayashi (2005), a escolha mais eficaz para garantir o desempenho otimizado das lâmpadas fluorescentes que produzem UV reside na adoção de um inversor em configuração de meia ponte, combinado com um filtro ressonante LCC. Essa abordagem não apenas aborda o processo de pré-aquecimento de forma eficiente, mas também se destaca por sua simplicidade estrutural e custo acessível.

É importante ressaltar que o estágio do inversor é projetado para fornecer pulsos de tensão que variam de 0V até a tensão do barramento CC, especialmente em frequências mais baixas. Além disso, esse sistema oferece notáveis ganhos em frequências mais elevadas, que são aquelas nas quais as lâmpadas fluorescentes operam de maneira eficaz. A Figura 1 ilustra claramente o estágio do inversor em conjunto com o elemento ressonante LCC e a carga representada pelas lâmpadas fluorescentes.

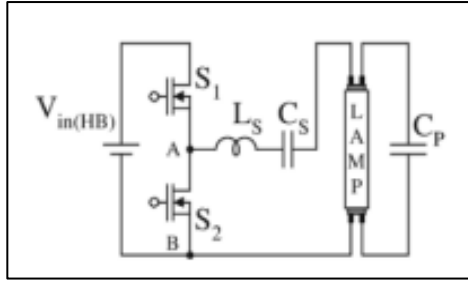


Figura 1. Modelo Half-Bridge com um elemento ressonante LCC e uma lâmpada fluorescente.

A etapa mais complexa do projeto de um conversor ressonante é determinar os valores de seus elementos passivos, para o conversor LCC será determinado o ganho da estrutura considerando a relação da tensão de saída pela entrada. Para isso serão considerados as seguintes hipóteses dadas por (1) – (4). Sendo que em (1) foi considerando uma frequência de ressonância entre o indutor série com o capacitor paralelo, em (2) foi determinado a energia média armazenada no capacitor em paralelo com a lâmpada, em (3) a energia média dissipada na lâmpada representada por R.

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_p}} \quad (1)$$

$$W_c = \frac{1}{2} C_p V_o^2 \quad (2)$$

$$P = \frac{RI^2}{2} = \frac{V_o^2}{2R} \quad (3)$$

$$Q = \omega_o \frac{\text{Energia média armazenada}}{\text{Energia média dissipada}} = \frac{\omega_o W_c}{P} = \omega_o C_p R \quad (4)$$

Sendo: ω_o : a frequência natural de ressonância; L : o indutor série do elemento LCC; C_p : capacitor paralelo do elemento LCC; W_c : a energia média armazenada no capacitor paralelo; P : a potência média dissipada na carga; Q : fator de qualidade do filtro ressonante.

Utilizando os princípios clássicos da análise de circuitos, calcula-se o ganho estático da estrutura, que relaciona a tensão de saída com a tensão de entrada, como expresso em (7). Essa análise incluiu a aplicação da transformada de Fourier para uma análise em frequência mais abrangente. Como o elemento ressonante LCC possui dois capacitores é gerado uma relação a entre eles dado por (5).

$$C_s = aC_p \quad (5)$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega_s}{\omega_o} \quad (6)$$

$$|H(j\omega)| = \frac{V_o(j\omega)}{V(j\omega)} \quad (7)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{(1 + a - \bar{\omega}^2)^2 + \left(\frac{1}{aQ}\right)^2 \left(a\bar{\omega} - \frac{1}{\bar{\omega}}\right)^2}}$$

Sendo: a : a relação entre os capacitores série e paralelo do elemento LCC; C_s : Capacitor série do elemento LCC; $V_o(j\omega)$: a tensão de saída do conversor obtida sobre a lâmpada; $V(j\omega)$: a tensão alternada de entrada do conversor; $\bar{\omega}$: a frequência normalizada; ω_s : a frequência da fonte de entrada, usualmente a frequência de comutação do *Half-bridge*.

Uma ferramenta comumente empregada no projeto manual de um filtro é o gráfico de potência, que permite observar o comportamento do ganho da estrutura. A partir da equação (7), foi gerado o gráfico apresentado na Figura 2. Na criação desse gráfico, foi utilizado um valor de a igual a 17, em conformidade com as recomendações de Wakabayshi (2005) e Arenas (2014), que indicam que a deve ser superior a 10.

Destaca-se na Figura 2 a região de comutação suave, conhecida como ZVS (Zero Voltage Switch), que ocorre após o pico da ressonância. Essa é a região onde o conversor deverá sempre operar para obter o rendimento máximo de transferência de energia.

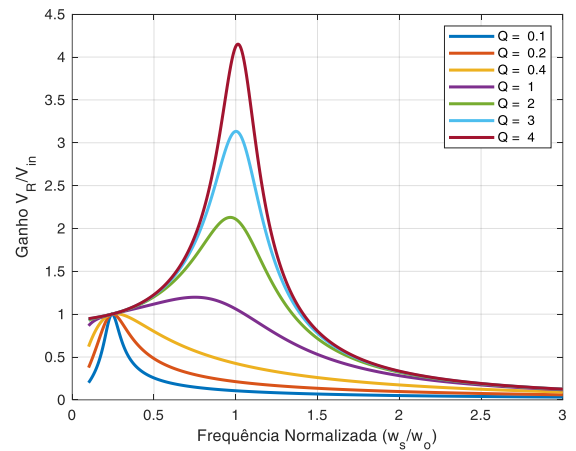


Figura 2. Ábaco de potência do conversor ressonante LCC considerando um a igual a 17, e diversos fatores de qualidade do filtro.

Resultados e Discussão

A primeira etapa, é determinar os elementos passivos do ressonante, portanto será calculado os capacitores ressonantes C_s e C_p , o capacitor série (C_s) será o responsável por filtrar a componente CC da tensão, que ocorrerá devido ao chaveamento, o capacitor paralelo C_p será o responsável por armazenar a energia para o funcionamento da lâmpada, para tal, considera-se que $C_s \geq 10C_p$. Os capacitores adotados foram $C_s = 56nF$ e $C_p = 3.3nF$. A razão para optar por uma

relação tão elevada entre os capacitores reside na necessidade de garantir que os componentes em série, como o indutor (L) e o capacitor série (C_s), possuam um alto fator de qualidade (Q). Isso é essencial para um eficiente processo de filtragem das demais componentes harmônicas presentes na entrada, permitindo que apenas a primeira harmônica tenha um impacto significativo no desempenho do ganho da estrutura.

Utilizando o Simulink do Matlab, realizou-se uma simulação do elemento ressonante, considerando uma fonte de alimentação em corrente contínua (CC). O conversor Half-Bridge foi empregado para a modulação PWM, resultando na geração de uma forma de onda quadrada. Ao aplicar o teorema da série de Fourier, obtém-se (8).

$$V(t) = \frac{4}{\pi} V_{dc} \text{sen}(w_s t) \quad (8)$$

Sendo: V_{dc} : a tensão CC de entrada do conversor; $V(t)$: componente fundamental de uma onda quadrada periódica.

Considerando (7) e (8), foi obtido um indutor série ressonante de $3mH$, para que a tensão eficaz de saída tenha o ganho desejado, considerando uma entrada de $179V$, ou melhor, $127V_{ac}$ retificados. As simulações do circuito foram realizadas utilizando a ferramenta Simulink do Matlab conforme descrito na Figura 3.

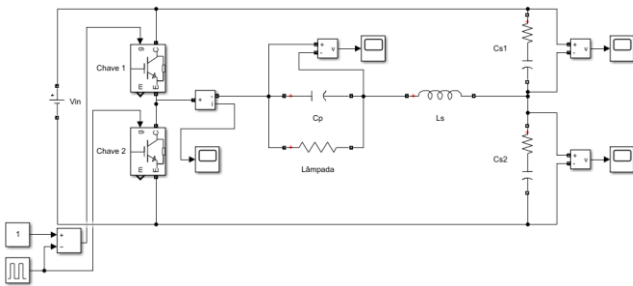


Figura 3. Simulação do Half-Bridge.

A simulação foi realizada a fim de garantir que os componentes do conversor ressonante garantam as condições ideais de funcionamento da lâmpada, a partir disso, verifica-se os valores de Tensão e Corrente dos componentes anteriormente citados em regime permanente gerando respectivamente as Figura 4 e 5.

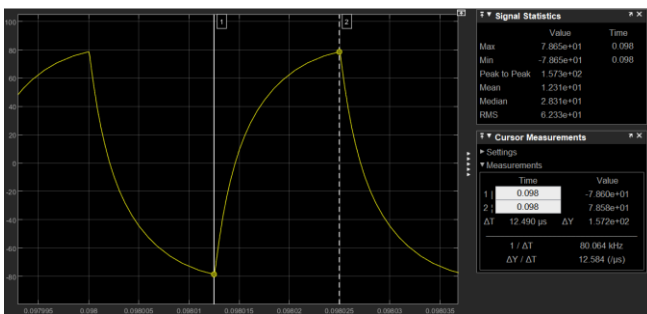


Figura 4. Tensão da Lâmpada.

Vale ainda ressaltar, que devido ao fato de que a lâmpada e o capacitor C_p estarem em paralelo, ambos possuem a mesma tensão, é possível também verificar que o pico da tensão equivale a aproximadamente $80 V$, o que resulta em aproximadamente $56 V$ eficaz, tensão desejada para operação de regime permanente da lâmpada UVC utilizada.

Um cálculo rápido da corrente da lâmpada pode ser feito através da tensão obtida e da resistência da lâmpada, que equivale a 370 ohms , dessa forma, obtém-se uma corrente de aproximadamente $0,15 A$, que é justamente a corrente eficaz nominal da lâmpada.

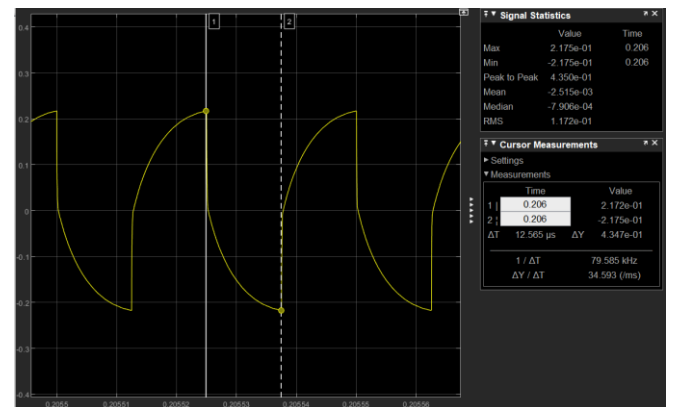


Figura 5. Corrente no indutor.

Na montagem do conversor, a escolha foi utilizar o modulador e driver UBA2021T. O circuito recomendado para esta aplicação pode ser obtido diretamente a partir do manual do dispositivo, conforme descrito na Figura 6 e 7.

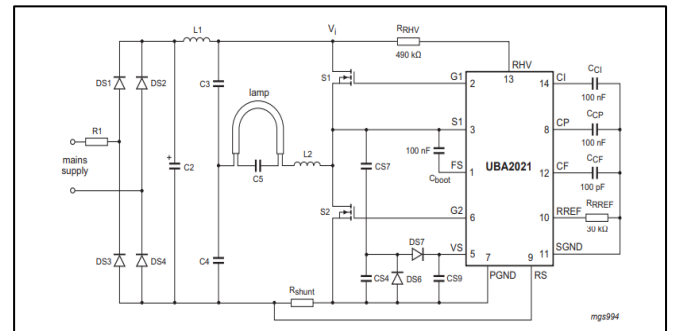


Figura 6. Modelo de aplicação do UBA2021T.

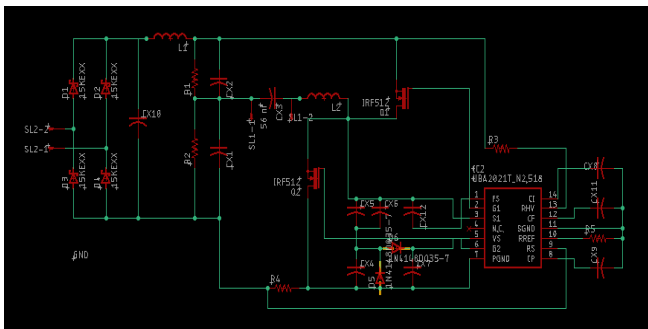


Figura 7. Modelo adaptado do circuito.

Considerações Finais

Ao combinar os elementos desenvolvidos ao longo deste projeto com a segunda etapa, nossa aspiração é alcançar um filtro purificador de água com desempenho superior em relação às opções existentes, priorizando a melhoria da qualidade de vida. Nossa meta fundamental é a redução dos custos de fabricação, fazendo uso de materiais de baixo custo que demonstrem excelente transmissão de radiação ultravioleta (UV). Além disso, buscamos estabelecer um reator eletrônico de baixo custo e altamente confiável para a produção do protótipo e, posteriormente, para a produção em massa do produto concebido por meio deste projeto.

Neste contexto, foi desenvolvido com sucesso um reator eletrônico que otimiza o tempo de vida útil das lâmpadas, assegurando sua eficiência por meio de um processo de pré-aquecimento e operação otimizando a operação energética das lâmpadas do tipo T5. O conversor LCC ressonante mostrou-se a melhor solução devido sua alta densidade energética e rendimento próximo ao unitário, apesar de um complexo projeto, o que facilitou com o uso do UBA2021. Estas conquistas representam passos fundamentais na concretização de nosso objetivo de proporcionar um filtro purificador de água eficaz, acessível e confiável, contribuindo assim para uma água mais segura e uma vida melhor para as comunidades atendidas por este projeto.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), de acordo com o EDITAL N° 29/2022 – Propi/IFMS. 0

Referências

GONÇALVES, R. F. (Coord.). Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2003.

AN10971 TL applications with NXP ballast controllers. [s.l.: s.n.]. Disponível em:

<<https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN10971.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

WAKABAYASHI, F.; CANESIN, C. An improved design procedure for lcc resonant filter of dimmable electronic ballasts for fluorescent lamps, based on lamp model. IEEE Transactions on Power Electronics, Ilha Solteira, v. 20, n. 5, p. 11861196, 2005. ISSN 0885-8993.

LAZAROVA, V. et al. Advanced wastewater disinfection technologies: short and long term efficiency. Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research, v. 38, n. 12, p. 109–117, 1998.