

DESENVOLVIMENTO DE UM APARELHO DE ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA TRANSCUTÂNEA (TENS) PARA FISIOTERAPIA

Júlio César da Silva Rodrigues, Vitor Bomfim Cunha, Vítor Lucas de Paula Pereira, José Eduardo Loureiro da Costa.

Fundação Vale Paraibana de Ensino - Colégios Univap - Unidade Centro / Curso Técnico em Eletrônica, Rua Paraibuna 75 - Jardim São Dimas - 12245-020 - São José dos Campos - SP, Brasil
I juliocesars7rodrigues@gmail.com, vbomfimcunha@gmail.com, vitorldpp@gmail.com, jedacosta83@gmail.com.

Resumo

A criação do aparelho TENS tem suas raízes nos estudos do século XVIII de Luigi Galvani, que investigou os efeitos dos estímulos elétricos no corpo humano. Utilizando o ICM 7555, o projeto conseguiu elevar a tensão de 12V de uma fonte DC comum para uma faixa 80V a 140V com precisão nos pulsos elétricos de 50-250Hz, seguindo os princípios da eletroterapia introduzidos por Galvani. A escolha do ICM 7555 foi fundamental para garantir eficiência energética e estabilidade do circuito, incluindo um conversor DC-DC Step-Up e um amplificador. A escolha do 7555 foi em relação a sua eficiência comparada ao 555 atuando em altas frequências. O aparelho se caracteriza como eficaz e de baixo custo, com potencial para ser aplicado em tratamentos clínicos de dores crônicas e agudas.

Palavras-chave: TENS, Eletroterapia, Step-Up, Chaveamento, 7555, Corrente.

Curso: Técnico em Eletrônica.

Introdução

Desde sua introdução em 1967, a estimulação elétrica transcutânea (TENS) tem sido amplamente utilizada para aliviar dores, especialmente na osteoartrose, apesar de o mecanismo exato de neuromodulação ainda não ser totalmente compreendido. A eletroterapia, que ganhou destaque com a "Teoria da Comporta da Dor" na década de 1960, tornou-se uma prática comum na fisioterapia. Os aparelhos TENS, baseados em geradores de correntes pulsadas, são amplamente empregados devido à sua eficácia e baixo custo (MORGAN; SANTOS, 2011).

Correntes elétricas moduladas com parâmetros específicos podem atuar terapêuticamente em várias condições, utilizando diferentes tipos de estimulação, como a farádica, galvânica e TENS (MORGAN; SANTOS, 2011). A TENS tem se mostrado eficaz no controle da dor pós-operatória e na melhora da qualidade de vida, sendo também sugerida para o tratamento de fibromialgia. Estudos indicam sua eficácia comparável a medicamentos, como demonstrado em pacientes com esclerose múltipla (TELLES; CARDOSO; ARAÚJO; BORDIAK, 2011).

Tais parâmetros são transmitidos da saída do circuito até a pele humana através de eletrodos, a faixa de frequência é de 50-250Hz, a tensão desejada é de 80V a 140V e a corrente é variável de acordo com a necessidade de cada paciente. Sendo esses parâmetros desejados para esse trabalho. (SARKAR, 2016).

O projeto foi desenvolvido para que toda pessoa necessitada do tratamento possa desfrutar desta tecnologia, é um protótipo de baixo custo, robusto e de fácil manuseio e manutenção para que seja aplicado em uma maior parte da população necessitada, e os necessitados não sofram com a dor que os aflige.

Metodologia

É fundamental para a compreensão do funcionamento deste projeto, entender a origem e o funcionamento do circuito integrado NE 555, criado na década de 70 por Hans Camenzind. É um componente amplamente utilizado na eletrônica, devido a variada gama de circuitos e funções que podem ser executadas pelo 555 nos seus modos de operação, sendo eles: Monoestável, onde ele atua como um temporizador a partir de um pulso aplicado ao seu pino de TRIGGER, Astável, onde é gerado um pulso com uma determinada frequência em sua saída.

No projeto descrito neste artigo, são utilizados quatro CIs 7555 para realizar todo o processo, atuando nos modos astáveis e monoestáveis. O CI 7555 foi utilizado pois, dentro das metas que o projeto deve alcançar, está a eficiência e economia energética, é um aprimoramento do CI 555, com menor consumo de energia e maior precisão, tais características são essenciais para este projeto, com o menor

consumo de energia, há um menor aquecimento do CI e menor desgaste da fonte de alimentação, prolongando sua vida útil e diminuindo eventuais custos de manutenção, já a precisão é essencial quando a aplicação de circuitos TENS são voltadas para tratamento de dores em seres humanos. Para fazer a elevação de tensão desejada, foi utilizado um conversor DC-DC com o chaveamento realizado pelo CI 7555 mencionado anteriormente.

Os conversores DC-DC são circuitos eletrônicos que através do chaveamento em altas frequências consegue elevar ou reduzir tensões aplicadas em sua entrada, no circuito apresentado neste projeto, foi utilizado um conversor Step-Up, que eleva a tensão aplicada na entrada, de 12V para 80-140V DC.

Para realizar esta elevação de tensão, o circuito funciona em dois estados, com a chave aberta ou fechada, como pode ser analisado pela figura abaixo:

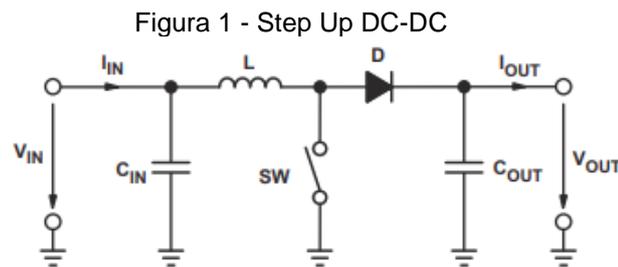


Figura 1 - Step Up DC-DC

Fonte: Texas Instruments (2009).

Quando a chave está aberta, a corrente passa pelo indutor e pelo capacitor diretamente para o negativo, carregando os dois componentes, quando a chave fecha, a corrente passa pelo indutor, carregando-o, e vai para o negativo, quando ela abre novamente, há uma soma de energia do indutor com a energia acumulada no capacitor, tudo isso ocorre em altas frequências, possibilitando a elevação da tensão.

Os cálculos utilizados para dimensionar corretamente os componentes foram retirados do manual para cálculos de conversores DC-DC disponibilizado pela Texas Instruments,

Equação 1

$$D = 1 - \frac{V_{in} \times n}{V_{out}}$$

Com a equação 1, onde D é o ciclo de trabalho, n é o rendimento do circuito, V_{in} e V_{out} são respectivamente as tensões de entrada e saída, torna-se possível calcular o ciclo de trabalho que o circuito de PWM deve gerar na frequência determinada para o projeto, que no caso de 50kHz, tendo resultado num ciclo de trabalho de 88%.

$$D = 1 - \frac{12 \times 0.8}{80}$$

$$D = 0,88.$$

Tendo o ciclo de trabalho calculado, é possível dimensionar o indutor, capacitor, switch e os componentes necessários para o circuito de chaveamento. Para dimensionar o indutor, é necessário calcular o ripple de corrente no indutor utilizando a equação 2, onde I_{out} é a corrente de saída, V_{in} é a tensão de entrada e V_{out} é a tensão de saída.

Equação 2

$$\Delta i_L = (0.2 \text{ até } 0.4) \times I_{out} \times \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

$$\Delta i_L = 0.3 \times 0.100 \times \frac{12}{80}$$

$$\Delta i_L = 0,2.$$

A variação de 0.2 a 0.4 é determinada pelo fabricante no manual.

Para calcular o indutor, utiliza-se a equação 3, onde V_{in} é a tensão de entrada, V_{out} é a tensão de saída, ΔiL é o pico de tensão no indutor, F_s é a frequência de operação e L é o valor de indutância requerido.

Equação 3

$$L = \frac{V_{in} \times (V_{out} - V_{in})}{\Delta I_l \times F_s \times V_{out}}$$

$$L = \frac{12 \times (80 - 12)}{0,2 \times 50.000 \times 80}$$

$$L = 0,00102$$

$$L = 1mH.$$

Para efeito de segurança e durabilidade, foi escolhido um indutor de 5A.

O capacitor que, armazena e soma energia com o indutor, pode ser dimensionado a partir da Equação 4, onde I_{out} é a corrente de saída, D é o ciclo de trabalho, F_s é a frequência de operação, ΔV_{out} é o ripple de saída e C é o valor de capacitância necessário.

Equação 4

$$C = \frac{I_{out} \times D}{F_s \times \Delta V_{out}}$$

$$C = \frac{0,100 \times 0,88}{50.000 \times 0,025}$$

$$C = 78\mu F.$$

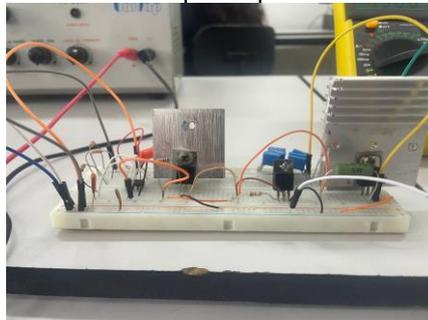
Sendo o ΔV_{out} o ripple de tensão na saída, uma pequena queda de tensão que ocorre entre um pico de tensão e outro. O valor de capacitância determinado não está disponível no comércio, por isso foram escolhidos dois capacitores, um de 10uF e outro de 68uF, que associados em paralelo resultam na capacitância calculada.

Para o circuito de chaveamento, o ICM 7555 foi escolhido devido ao seu bom desempenho em altas frequências em relação ao NE 555.

Resultados

O desenvolvimento de um dispositivo de estimulação elétrica nervosa transcutânea (TENS) de baixo custo e fácil manutenção foi abordado com sucesso neste projeto. Utilizando o circuito integrado ICM 7555, em substituição ao NE 555, sendo possível criar um conversor DC-DC Step-Up eficiente, capaz de elevar a tensão de 12V para 80-140V, mantendo o controle preciso dos parâmetros essenciais para o tratamento de dores em seres humanos.

Figura 2 - Foto do protótipo até o momento.



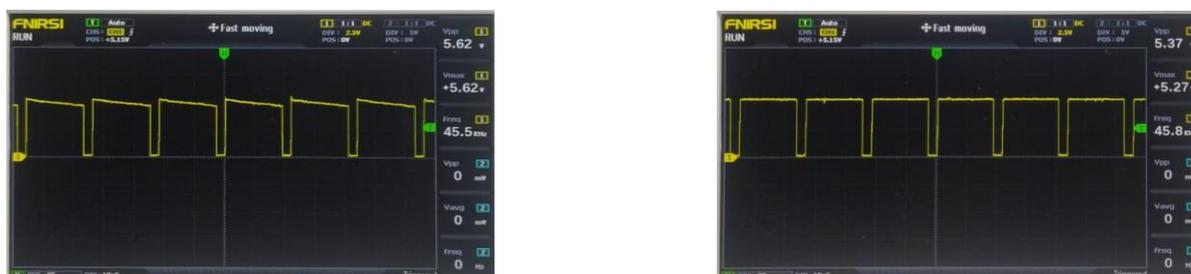
A escolha pelo ICM 7555 se demonstrou fundamental para a eficiência energética e estabilidade do circuito, características essenciais para um dispositivo que visa não apenas atender as necessidades dos pacientes, mas também garantir durabilidade e baixo custo operacional. A abordagem técnica incluiu cálculos detalhados para o dimensionamento de indutores, capacitores, transistores e outros componentes, garantindo a funcionalidade e segurança do circuito.

Além disso, o projeto conseguiu realizar a modulação dos pulsos elétricos na faixa de 50-250Hz, com precisão nos pulsos de 100-200µs, utilizando uma combinação dos modos astável e monoestável do CI 7555. A implementação de um amplificador classe A para o chaveamento do MOSFET também foi uma decisão técnica que contribuiu significativamente para o desempenho do circuito.

Discussão

A razão que levou a escolha do 7555 foi que, embora haja uma curva de tensão que foge dos padrões ideais, no 555 há um pico de interferência que pode causar alterações não desejadas no circuito.

Figura 3 - Curva de Comutação do 555 e do 7555.



Além disso, o projeto conseguiu realizar a modulação dos pulsos elétricos na faixa de 50-250Hz, com precisão nos pulsos de 100-200 μ s, utilizando uma combinação dos modos astável e monoestável do CI 7555. A implementação de um amplificador classe A para o chaveamento do MOSFET também foi uma decisão técnica que contribuiu significativamente para o desempenho do circuito. Vale ressaltar que os testes necessários para constatar o funcionamento e os valores não foram executados em humanos ou cobaias, foram utilizados osciloscópios e multímetros para aferição dos valores.

Conclusão

Portanto, o projeto não só alcançou os objetivos propostos de criar um aparelho TENS acessível e de qualidade, mas também estabeleceu uma base sólida para futuras melhorias e adaptações, podendo ser replicado e utilizado em diferentes contextos clínicos. O resultado final é um dispositivo robusto, eficaz e economicamente viável, que pode contribuir para a disseminação do tratamento de dores crônicas e agudas de maneira mais acessível e eficiente.

Referências

HAUKE, Brigitte. Basic calculation of a boost converter's power stage. Texas Instruments, Application Report November, p. 1-9, 2009.

TUOMI, Joni. Fuse protection optimization of drive DC link. 2018.

SARKAR, Soumyadeep. Design of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulating Machine Using 555 Timer and 7555 Timer. **International Journal of Science and Research**, v. 5, n. 11, 2015.

ADMIRAL, Tiago Destéffani. Sistema de aproveitamento de água automatizado com Ne555 em modo monoestável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 103814-103823, 2021.

Agradecimentos

Aos Colégios Univap, aos Professores José Eduardo Loureiro da Costa e Wagner Clementino do Santos Jesus