

# Iberdiscap

2006

## IV Congreso Iberoamericano Sobre Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad

## IV Congresso Ibero-Americano Sobre Tecnologias de Apoio a Portadores de Deficiência



Vitória-ES, Brasil

20, 21 e 22 de fevereiro de 2006

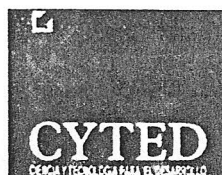
Foto: Fran Bernardes

Volume II

Organização:



PPGEE/UFES



# Eletroestimulador Neuromuscular Digital Adaptável a um Andador

Bruno P. Zanotti<sup>1</sup>, Wellington A. J. Silva<sup>2</sup>, Maria Claudia F. Castro<sup>3</sup>

Centro Universitário da FEI, Depto. Engenharia Elétrica  
Av. Humberto A. C. Branco, 3972 - São Bernardo do Campo - SP - CEP09850-901  
<sup>1</sup>[brunozanotti@uoi.com.br](mailto:brunozanotti@uoi.com.br), <sup>2</sup>[wesilva@hotmail.com](mailto:wesilva@hotmail.com), <sup>3</sup>[mclaudia@fei.edu.br](mailto:mclaudia@fei.edu.br)

## Resumo

Um sistema neuroprotético foi desenvolvido visando a reabilitação de membros inferiores. O sistema é composto por um eletroestimulador microcontrolado de quatro canais associado a um andador com dois modos de operação. No modo exercício, o eletroestimulador é usado separado do andador, visando o fortalecimento da musculatura. No modo marcha, o paciente, através do uso de botões instalados no andador, tem a possibilidade de comandar os seus próprios passos. Independente do modo de operação, o sinal de saída corresponde a pulsos de corrente bifásicos, com duração de 300  $\mu$ s, frequência de 25 Hz, modulados por um sinal de envoltória trapezoidal com temporização fixa e amplitude variável. A seleção do modo de operação, bem como da configuração (número de canais, e amplitude) é feita de maneira digital.

## 1. Introdução

A Eletroterapia, uma das técnicas mais utilizadas no tratamento de quadros patológicos associados a dor e a reabilitação neuromuscular, consiste na aplicação de pulsos elétricos sobre a pele, através de eletrodos, que estimulam músculos, nervos periféricos e demais tecidos, realizando uma ampla gama de benefícios terapêuticos, dentre eles:

- Restauração da função motora em pacientes com lesão medular ou acidente vascular cerebral, auxiliando principalmente nas atividades básicas diárias (locomotoção, preensão de objetos) [1,2];
- Analgesia em processos de dor agudos e crônicos, tais como artrite reumatóide, lombalgias, cialgias, cervicalgias, dores articulares e contusões [3];
- Retardo de processos inflamatórios e cicatrização tecidual [4,5];
- Retardo dos quadros de atrofia por desuso e após a sua instalação como parte do tratamento visando o aumento e manutenção da amplitude do movimento [2, 5, 6];
- Condicionamento muscular e aumento da resistência à fadiga [7, 8];
- Facilitação e reeducação muscular [9];

## 2. Materiais e Métodos

Desenvolveu-se, neste trabalho, um sistema composto por um eletroestimulador microcontrolado de 4 canais

independentes associado a um andador. A figura 1 apresenta um diagrama de blocos geral do sistema, inter-relacionando os circuitos analógico e digital e as interfaces.

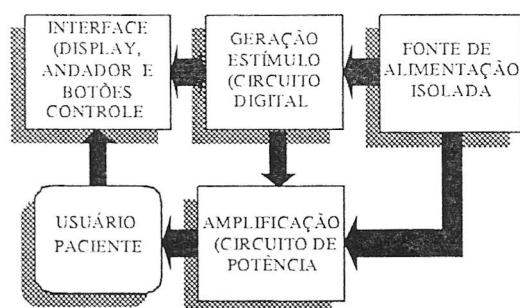


Fig. 1 - Diagrama em blocos do sistema.

O sistema digital é responsável pelo controle da interface com o usuário, mediante a qual pode-se definir o modo de operação e a configuração do sistema, e pelo controle e geração dos estímulos elétricos. O diagrama do sistema digital está representado na figura 2.

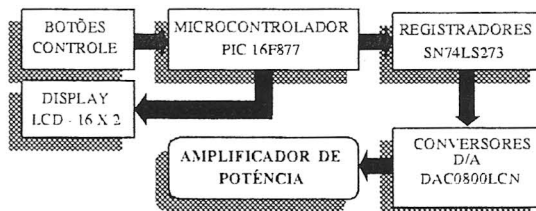


Fig. 2 - Diagrama em blocos do circuito digital.

O software foi desenvolvido com uma lógica voltada para o controle dos menus, e baseada nas telas que estão sendo mostradas no display, já que o teclado tem apenas 3 botões para controlar e configurar todo o sistema. Um dos botões corresponde a uma seta ascendente e outro a uma seta descendente que podem movimentar o cursor no display apontando as opções de configuração e incrementar e decrementar a amplitude do estímulo. O terceiro botão corresponde à seleção e confirmação da função.

Existem dois modos de operação denominados modo "exercício" e modo "marcha". No modo "exercício" o eletroestimulador deverá ser utilizado em separado,

possibilitando ao paciente um tratamento rico em diversidade de exercícios. No modo "marcha" o eletroestimulador deverá ser usado junto ao andador. A sequência de estímulo é disparada através de dois botões de controle, um botão no lado esquerdo e outro no lado direito do andador. O paciente, através do uso destes botões, tem a possibilidade de comandar seus próprios passos.

O sinal de estimulação corresponde a pulsos de corrente bifásicos com 300  $\mu$ s de duração e frequência 25 Hz, modulados por um sinal de envoltória trapezoidal com temporização fixa e amplitude variável.

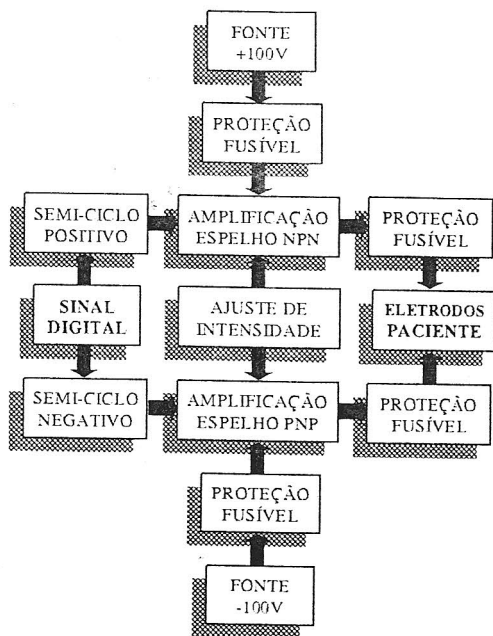


Fig. 3 – Diagrama em blocos do circuito Amplificador de Potência.

O circuito analógico de amplificação do sinal gerado digitalmente, esquematizado na figura 3, é baseado em fonte linear de corrente utilizando transistores na forma de espelho de corrente. Para a alimentação dos amplificadores de potência foi projetado um transformador para transferir ao secundário uma potência de 300VA, necessária à alimentação dos quatro canais de saída do amplificador de potência simultaneamente, caso fosse necessário. Entre os enrolamentos primário e secundário existem duas películas de elevada resistência dielétrica (com isolamento de 4KV). Ainda visando a segurança do sistema, no circuito analógico, foram utilizados relés nas saídas dos canais os quais permitem o desacoplamento do paciente ao circuito. Fusíveis foram instalados de modo que a corrente de saída seja limitada e Resistores para proteção de curto-circuito e circuito aberto entre os eletrodos foram posicionados estrategicamente.

### 3. Resultados

No modo exercício, os tempos de subida, descida e sustentação foram definidos em 5 s e o tempo de repouso em 15 s, resultando em um ciclo de trabalho de 1/3, que apresenta um bom rendimento com relação à fadiga muscular (figura 4). Pode-se ainda optar na configuração com dois ou quatro canais. Para dois canais, o sinal é alternado entre os canais, ora canal 1, ora canal 2 (figura 5). Para quatro canais, o processo de estimulação acontece de forma análoga, mas com dois canais ativados simultaneamente em cada fase.

Fig. 4 – Sinal de estimulação.

Fig. 5 - Modo de operação com dois canais.

No modo marcha, a diferença aparece na temporização de ativação dos canais, que não é feita de maneira automática como no modo exercício, sendo necessário pressionar o botão do andador para liberar o estímulo na perna correspondente. Com os eletrodos posicionados nos músculos quadríceps e nervo fibular de ambos os membros tem-se a seguinte sequência de ativação: sem pressionar nenhum dos botões os músculos quadríceps de ambos os membros estarão sendo estimulados, mantendo os joelhos em extensão. Ao pressionar o botão da esquerda interrompe-se o estímulo para o quadríceps esquerdo e estimula-se o nervo fibular do mesmo membro, resultando na flexão do joelho no reflexo de retirada. Soltando o botão, o joelho é novamente estendido e o paciente dará um passo com a perna esquerda. Pressionando-se o botão da direita o procedimento se repete mas o passo será dado com a perna direita.

Esta sequência pode ser utilizada inicialmente com o paciente sentado visando um treinamento prévio e em uma segunda etapa, já com a musculatura condicionada, inicia-se o processo de deambulação.

Após os testes do sistema e verificado a sua adequação a próxima fase do projeto será a sua aplicação junto a um programa de reabilitação física.

#### 4. Conclusão

O projeto oferece inovação na interface com o usuário, o qual terá total controle dos passos no modo marcha.

Baixo custo em relação à equipamentos semelhantes existentes no mercado.

Considerável tecnologia empregada ao projeto, equivalente ou superior à projetos a nível nacional, internacional e equipamentos existentes no mercado.

#### Referências

- [1] A. R. Kralj, T. Bajd, FES Assisted Walking in Complete SCI Patients. In: \_\_\_\_\_ - Functional Electrical Stimulation: Standing and Walking after Spinal Cord Injury. CRC Press, Inc., Florida, p.139-192, 1989.
- [2] M. C. F. Castro, A. Cliquet Jr., An Artificial Grasping System for the Paralyzed Hand. Artificial Organs, vol. 24(3): 185-188, 2000.
- [3] J. Low, A. Reed. Eletroterapia Explicada, Manole, 3. Ed., SP, 2001.
- [4] G. D. Mulder, Treatment of open-skin wounds with electric stimulation. Arch. Phys. Med. Rehabil., vol. 72(6), p. 375-377, 1991.
- [5] J. J. Daly, E. B. Marsolais, L. M. Mendell, W. Z. Rymer, A. Stefanovska, J. R. Wolpaw, C. Kantor, Therapeutic Neural Effects of Electrical Stimulation. IEEE Trans. Rehabil. Eng., vol. 4(4), p.218-230, 1996.
- [6] C. Neumayer, W. Happak, H. Kern, H. Gruber, Hypertrophy and Transformation of Muscle Fibers in Paraplegic Patients. Art. Org., vol. 21(3), p. 188-190, 1997.
- [7] P. H. Peckham, J. T. Mortmer, E. B. Marsolais. Alteration in the Force and Fatigability of Skeletal Muscle in Quadriplegic Humans Following Exercise Induced by Chronic Electrical Stimulation. Clin. Orthop. Relat. Res., vol. 114(1), p. 326-334, 1976.
- [8] B. O. Peixoto, A. Cliquet Jr., Redução da Fadiga Muscular através da Estimulação Elétrica Neuromuscular em Pacientes Portadores de Lesão Medular. Rev. Bras. Eng. - Cad. Eng. Biomed., vol. 12(2), p. 21-46, 1996.
- [9] M. C. F. Castro, A. Cliquet Jr., Estimulação Elétrica neuromuscular e Estimulação Eletrotátil na Restauração Artificial da Preensão e da Propriocepção em Tetraplégicos, Acta Ortopédica Brasileira, vol. 9(3):19:28, 2001.