

# Sistema microcontrolado multicanal portátil para estimulação elétrica funcional

Rogério Quiarim Zarza; José Carlos Teixeira de Barros Moraes

Laboratório de Engenharia Biomédica (LEB) - Depto. de Engenharia Elétrica - EPUSP  
Av. Prof. Luciano Gualberto, 158, travessa 3, bloco D 05508-900 São Paulo (SP)

**Resumo** - Este trabalho refere-se ao desenvolvimento de um estimulador elétrico funcional portátil, microcontrolado (80C32) e multicanal (8 canais com 8 parâmetros ajustáveis por canal), através do qual pretende-se restabelecer a atividade motora funcional em pacientes acometidos de lesão medular desde que estes sejam elegíveis para tratamento utilizando a técnica de estimulação elétrica funcional (FES). O estimulador gera um estímulo, em corrente elétrica, adequado para ativação neuromuscular usando pulso bifásico retangular com modulações AM, PWM e FM, de acordo com ensaios realizados em bancada e com pacientes (artigo complementar).

**Abstract** - This work refers to the development of a portable multichannel (8 independent channels with 8 adjustable parameters each channel) stimulator for functional electrical stimulation, incorporating a microcontroller 80C32, to recover the motion in patients with spinal cord injury since they are eligible for the treatment using the functional electrical stimulation technique (FES). The stimulator generates a stimulus, in electrical current, for neuromuscular activation with double-phase rectangular pulses with AM, PWM and FM modulation, according to laboratory tests and patients stimulation (supplementary paper).

## Introdução

A estimulação elétrica funcional<sup>1</sup> (FES) é uma técnica que usa um estímulo, normalmente por tensão ou corrente elétrica, para restabelecer uma função perdida por um deficiente. Atualmente a tecnologia FES é utilizada para pacientes com distúrbios musculares resultantes de lesão medular ou AVC, além de casos de escoliose, impossibilidade de visão ou audição e controle de funções rítmicas (batimento cardíaco e controle da respiração). No caso de pacientes com deficiências motoras, a técnica permite não apenas o restabelecimento parcial ou total da atividade motora como também é utilizada em aplicações terapêuticas, possibilitando o progresso de uma condição deficiente, por exemplo, fortalecimento muscular. Neste sentido têm-se desenvolvido equipamentos para estimulação elétrica funcional, denominados estimuladores<sup>2</sup> para FES, que vêm sendo utilizados com relativo êxito.

O estimulador elétrico referido neste trabalho possibilita aplicações funcionais e terapêuticas para membros superiores e inferiores. Resultados de avaliação clínica com deficientes são apresentados em um artigo complementar.

As especificações básicas do estimulador, relativas à forma de onda do pulso bifásico retangular, são as seguintes: amplitude: 0-120mA, largura de pulso: 0,1-1,6ms, intervalo entre pulsos: 6-1000 $\mu$ s e frequência: 30-100Hz.

O estímulo poderá ser configurado através de 8 parâmetros (tempos de repouso, de subida, de sustentação e de descida, amplitude, frequência e largura de pulso, e intervalo entre pulsos), além de

permitir escolha entre as modulações AM (Fig. 1), PWM (Fig. 2) e FM (Fig. 3).

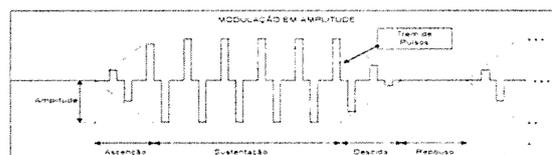


Fig. 1 Aspecto da forma de onda usada na modulação AM.



Fig. 2 Aspecto da forma de onda usada na modulação PWM.



Fig. 3 Aspecto da forma de onda usada na modulação FM.

Parte do *hardware* é constituída basicamente por uma CPU (80C32), por uma memória RAM para gravação das variáveis e dos parâmetros de estimulação definidos pelo usuário antes do início do processo de estimulação, por uma memória EPROM na qual estará gravado todo o *software* básico do estimulador escrito em *Assembler 8051*, propiciando a versatilidade e funcionalidade adequadas, conforme mostra a Figura 4. Para

melhor interface homem-máquina utilizamos um *display* de 16 colunas por 2 linhas, aonde o usuário visualiza as mudanças realizadas nos parâmetros e as mensagens de *status* de operação do estimulador, e um teclado matricial, através do qual o usuário entrará com os dados desejados.

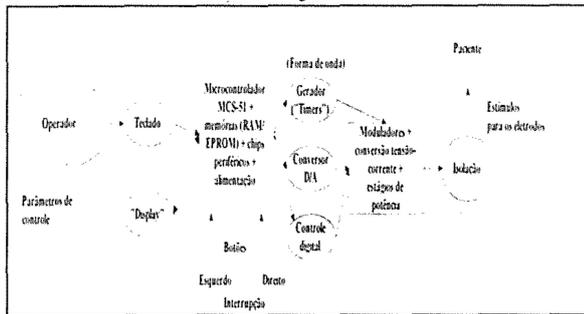


Fig. 4 Diagrama em blocos do estimulador elétrico funcional

O *hardware* restante é composto por um conversor D/A de 12 bits e demultiplexador analógico, usados para efetuar exclusivamente a modulação AM, e por temporizadores e multiplicadores que são utilizados nos três processos de modulações (AM, PWM e FM). Os estágios de saída convertem os sinais de tensão em corrente elétrica, além de amplificá-los e condicioná-los adequadamente para efetuar a estimulação através de eletrodos de superfície.

### Metodologia

O *software* básico do estimulador foi desenvolvido utilizando uma ponta emuladora (NOHAU), um computador PC-AT 486 e um osciloscópio. Os ensaios com o estimulador elétrico foram realizados segundo a metodologia a seguir: a) usou-se o software *PSPICE* para simulação; b) realizou-se ensaios de bancada qualitativos para verificação funcional; e c) realizou-se ensaios de bancada quantitativos para avaliação de desempenho e análises de sensibilidades e efeitos de cargas.

### Resultados

Os resultados principais, correspondentes aos efeitos de cargas resistivas e capacitivas, são apresentados na Figura 5 e na Tabela 1, havendo sido obtidos resultados similares usando os 8 canais da saída separada e conjuntamente.

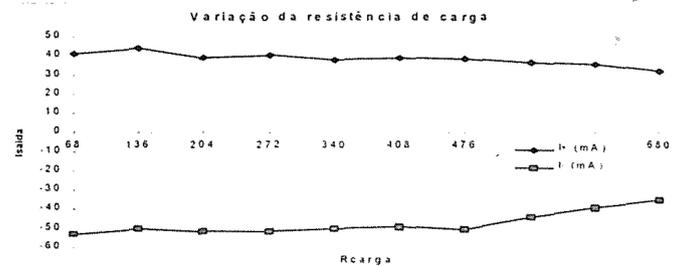


Fig. 5 Gráfico relacionando a variação da corrente elétrica na saída com cargas resistivas.

Para cargas resistivas da ordem de *Kohms* o comportamento é similar ao descrito na Figura 5, demonstrando a função do estimulador como gerador de corrente.

Tabela 1 (Rcarga = 200 Ω)

C <sub>nominal</sub> (nF)	C <sub>medidor</sub> (nF)	V <sub>saída</sub> (V)
0,1	0,1038	± 6,9
1,0	0,9061	± 6,9
3,3	3,533	± 6,9
4,7	4,864	± 6,9
5,7	5,770	± 6,9
10,0	9,215	± 6,9

### Conclusões

Os ensaios realizados com o estimulador elétrico, incluindo ensaios qualitativos e quantitativos, avaliaram seu desempenho em bancada e confirmaram a sua utilidade em Laboratório de pesquisa. Os resultados obtidos podem realmente ser considerados bons.

Devido à flexibilidade de escolha (parâmetros e modulações) o estimulador pode ser usado tanto para fins de pesquisa como em clínica.

### Referências

- BAJD, T.; KRALJ, A. **Functional electrical stimulation: standing and walking after spinal cord injury**. Edward Kardelj University, Ljubljana, Yugoslavia, 1989.
- KACZMAREK, K. A; WEBSTER, J. G. A 16-channel 8-parameter waveform electro-tactile stimulation system. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 38, n. 10, p. 933-43, Oct. 1991.