

# 다변수 근신경 자극 시스템을 위한 전기자극 펄스 발생기의 설계

○고 경록, 김 희찬\*

서울대학교 대학원 협동과정 의용생체공학전공, 서울대학교 의과대학 의공학교실\*

## Design of an Electrical Pulse Generator for the Multi-parameter Neuromuscular Stimulation System

○K. R. Ko and H. C. Kim\*

Interdisciplinary Program, Biomedical Engineering Major, Graduate School, and  
Department of Biomedical Engineering\*, College of Medicine,  
Seoul National University

### ABSTRACT

A multi-parameter neuro muscular electrical simulator (NMES) system was developed to be used to find the optimal parameter condition in obtaining maximum muscle power and minimal fatigue. Since the performance of NMES is mainly determined by the characteristic of its output-stage circuit, we implemented 3 different circuits and compared output characteristics of them. Three amplifier circuits are; 1) a resonant switching converter, 2) a linear amplifier with a transformer, and 3) a step-up DC/DC converter with a high-voltage linear amplifier. Experimental results showed that the step up DC/DC converter with a high-voltage linear amplifier has the best performance.

### 서 론

기능적 전기자극(Functional Electrical Stimulation, FES)은 “더 이상 자발적으로 제어하지 못하게 된 근육에 전기자극을 가하여 근육수축을 유발하고 기능적으로 유용한 움직임을 만들어내는 작용”으로 정의된다.[1] 또한 기능적 운동을 포함하여 단순한 근력회복을 위한 운동에도 전기자극이 사용될 수 있는데 이런 경우를 포함하여 근신경 자극 (Neuro Muscular Electrical Stimulation, NMES)이라는 표현이 사용되기도 한다. 이러한 전기자극 장치에서 고려해야 할 요소 중의 하나는 원하는 근육의 기능을 얻기 위해 인가하는 전기자극 펄스의 형태에 따라 근력이나 피로도 등이 다양하게 변하게 된다는 사실이다. 근신경 자극에 있어 영향을 주는 파라미터들로는 전압, 전류, pulse폭, 반복주기, 파형 등 여러 가지가 있으며, 이런 파라미터들을 바꾸어가며 환자에게 최적화된 프로토콜을 작성할 필요가 있다. 따라서 생성되는 전기자극 펄스의 파라미터들을 다양하게 변화시킬 수 있는 다변수 근신경 자극시스템이 필수적으로 요구된다.

본 연구는 기능적 전기자극의 파라미터를 최적화하기 위한 다변수 근신경 자극 시스템의 개발에 있어서 가장 핵심이 되는 출력 발생부 회로를 여러

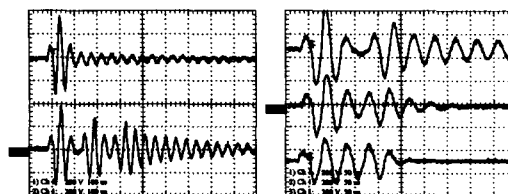
방법으로 구현하고 각각의 특성을 분석하기 위한 것으로서, 가장 현실성 있는 3가지 출력 발생 방식을 제작, 각각의 성능을 분석하였다.

### 본 론

본 연구에서 제작한 3가지의 전기 펄스 발생장치는 공진형 스위칭 컨버터, 리니어 앰프와 트랜스포머를 사용한 승압형, 그리고 승압 DC/DC 변환기와 고전압 리니어 앰프형이다.

#### (1)공진형 스위칭 컨버터

-직렬공진 또는 전류공급형 병렬공진 컨버터를 이용하여 승압 출력하는 방식으로 효율이 매우 높은 특징이 있으나 과도특성이 나쁘고 부하의 경,중에 따른 파형 변동이 심하다.



<파형 1>

<파형 2>

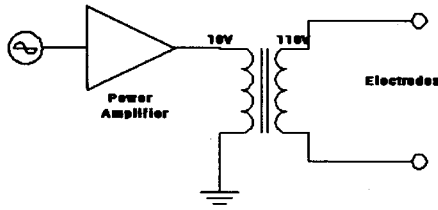
<파형1>은 무부하에서  $50\mu\text{s}$ 와  $500\mu\text{s}$ 의 Burst 출력을 발생시킨 것인데 over-shoot 감쇄진동이 지속됨을 보이고 있다.

<파형2>는  $200\mu\text{s}$  Burst 출력을 발생시키고 부하를  $10\text{k}\Omega$ ,  $5\text{k}\Omega$ ,  $2\text{k}\Omega$ 으로 증가시켰다. 부하가 증가될수록 과도현상이 줄어들음을 보여준다.

-장점: 회로가 간단하고 효율이 높음, 주로 휴대용(Hand-Held) 기기에서 채용하고 있다.

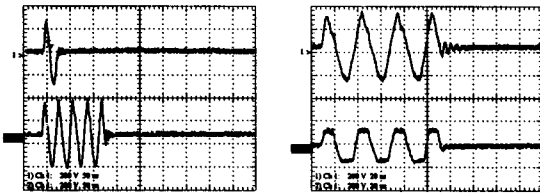
-단점: 나쁜 과도특성, 부하에 따른 파형 변화(공진 회로의 Q-factor, 공진 주파수 변화에 기인)가 크므로 미세 조정이나 미묘한 파형 출력이 불가능하다. 평균전력이 작아도 승압 트랜스포머와 공진용 인덕턴스와 커패시턴스는 최대 peak전력( $110\text{V} \cdot 50\text{mA} = 5.5\text{W}$  정도)에 맞춰 설계되어야 하고 또 반송파(carrier) 주파수에 의해 용량이 정해지므로 부피가 커지고 이용율이 떨어진다.

(2) 리니어 앰프와 트랜스포머를 사용한 승압형



<그림 1>

-이 방식은 <그림1>과 같이 AB-class 전력증폭기 출력에 승압 트랜스포머를 연결하여 바로 승압시키는 방법으로 과도특성이 좋으나 과부하에 약하다.



<파형 3>

<파형 4>

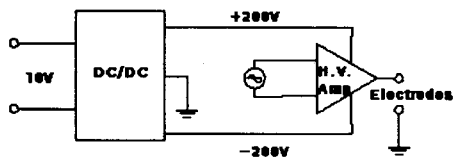
<파형3>은 무부하에서 50 $\mu$ s, 200 $\mu$ s Burst 출력 파형으로 과도 특성이 적은 정확한 on-off가 가능함을 보여준다.

<파형4>는 무부하시의 파형(1>)과 중부하시의 파형 (2>)를 보여주는데 이와 같이 중부하에는 대응하기 어렵다.

-장점: 과도현상이 적어서 미세조정이 가능, sine파형외에 어떤 형태의 파형도 전달가능 (단 DC 성분이 전혀없는 대칭파형만), 회로가 비교적 간단. 최대 출력전압에 제한이 없다.

-단점: 과부하에서 파형의 왜곡이 심하다.(리니어 앰프는 트랜스포머 부하를 구동하기 어렵다.), 반송파주파수의 하한이 트랜스포머에 의해 제한된다. DC offset이 있는 파형이 가해지면 코어의 자기 포화가 발생한다. 트랜스포머의 크기가 최대 peak전력, 반송파주파수에 따라 정해지므로 트랜스포머의 크기가 크고 활용율이 낮다.

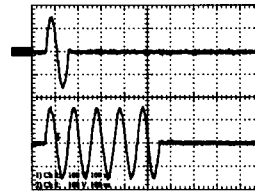
(3)승압 DC/DC 변환기와 고전압 리니어 앰프형



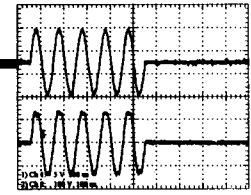
<그림 2>

<그림2>와 같이 소형의 DC/DC 변환기로 전원전압을 출력 peak전압까지 승압시킨후 고전압 앰프로 바로 구동하는 방식이다. 과도현상은 전혀 없으며 어떠한 형태의 파형이나 주파수를 모두 처리할 수 있다.

<파형5>는 단 1주기의 파형도 정확히 발생시킴을 보여준다.

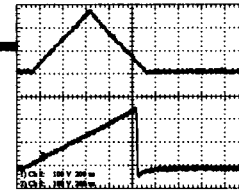


<파형 5>

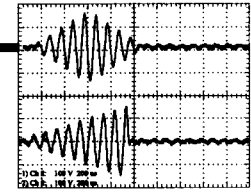


<파형 6>

<파형6>은 150V<sub>peak</sub> 출력에서 무부하 (1>)와 2k $\Omega$  부하 (2>)시의 출력 파형으로 중부하에서도 왜곡이 거의 없음을 보여준다.



<파형 7>



<파형 8>

<파형7>은 기존의 NMES에서 주로 사용되는 단순 삼각파와 정사파형이다.

<파형8>은 <파형7>에 10kHz 반송파를 변조한 파형으로 기존의 방식에서 출력하기 어려운 파형도 쉽게 출력할 수 있음을 보인다.

-장점: 출력특성이 가장 뛰어나다. 파형의 모양이나 주파수의 제약이 전혀 없다. 임의 파형을 출력할 수 있는 것이 최대 장점이다. DC/DC 승압기는 출력 peak가 아닌 평균전력만 공급하면 되므로 소형화 할 수 있다. 정전류 출력, 출력 차단기능 등을 쉽게 구현 할 수 있다.

-단점: 회로가 복잡하고 비용이 많이 든다. 최대 출력전압은 앰프의 내압에 의해 제한되므로 최대 전압을 높이기 힘들다. 앰프 효율이 50% 정도에 불과하고 DC/DC 승압기가 계속 작동하므로 전체 효율이 낮아 전지 작동형 기기에서는 이를 보완하는 기법이 필요하다.

결론

3가지 출력발생 방식은 각각 장단점을 가지고 있으나, 여러 파라미터들을 쉽게 가변 할 수 있는 DC/DC 승압기와 고전압 앰프를 사용한 방식이 다 변수 근 신경 자극 시스템의 출력단으로 가장 적합하다고 볼 수 있다. 그러나 이 방식의 문제점인 회로의 복잡성과 낮은 효율은 휴대형 시스템으로의 응용을 어렵게 만들고 있다. 따라서 이 방식을 휴대형 시스템에 적용하기 위한 연구가 계속되어야 한다.

참고문헌

[1] A. kralj, T.Bajd, "기능적 전기자극", 강 권역, 여문각, 1994.