

## EEG 를 이용한 마인드 스위치 제작

°안순관, 전상범, 김성준  
서울대학교 전기공학부

### A Mind Switch using EEG

°Soon Kwan Ahn, Sang Beom Jun and Sung June Kim  
School of Electrical Engineering, College of Engineering, Seoul National University

#### ABSTRACT

In this experiment, we developed a mind switching device which uses  $\alpha$ -wave with its amplitude varying between the eye-open and closed states. If the subject closes eyes, the switch toggles with a small delay. The circuit consists of an amplifier, a filter and a switch. An instrument amplifier is used for high CMRR and for high input impedance. An 8th order Butterworth filter was able to reduce noise satisfactorily. The signal is then converted to a DC level, and finally a Schmitt trigger was used to generate a switching pulse.

#### 1. 서론

앞에서 알아본 바와 같이 뇌파의 8~13Hz의 주파수 특성을 갖는  $\alpha$ 파는 relaxed state, eye-closed states에서 크기가 커지고, eye-open states에서 그 크기가 작아지는 것을 알 수 있다. 이 차이를 이용하여, switching 기능을 할 수 있는 circuit을 설계하여 TV를 on/off할 수 있는 'EEG Mind Switch'을 만들어 보았다

이 회로는 크게 다음과 같은 3부분으로 나누어 볼 수 있다.

- 1) electrode로부터 추출해 낸 EEG 신호 증폭
- 2) filtering을 통해 Noise를 제거
- 3) switch 회로의 구현

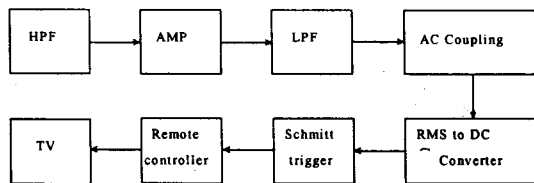


그림 1 EEG switch의 block diagram

#### 2. 회로 설명

우리가 사용하려는  $\alpha$ 파의 크기는 10 ~ 20  $\mu$ V인데, 이때 DC 성분이 약 15mV 정도로 측정되었다. 이 경우 수십  $\mu$ V 정도의 뇌파를 관측을 위해 1000 배 이상의 증폭을 할 경우, DC 성분이 증폭되어 output이 saturation되어 EEG를 관측할 수 없게 되는 문제가 발생하게 된다. 이 DC 성분은 너무 커서 AC Coupling이나 OP Amp의 DC offset control로

는 제거할 수가 없었고, 결국 2nd order HPF를 이용하게 되었다. 우리가 사용할  $\alpha$ 파가 8~10Hz 정도이므로 cut off frequency를 7Hz로 잡았다. 그 결과 saturation을 방지하여 EEG의 관측이 가능하게 되었지만, DC 성분의 완전한 제거는 이루어지지 않아 증폭 후 출력단에서 약 4.8V의 DC 성분이 존재하였다.

수십  $\mu$ V 밖에 되지 않는 EEG 신호를 관측 가능한 크기로 증폭하기 위하여 다음과 같은 특성을 갖는 Analog Device社의 AMP01 instrumentation amp를 사용하였다.

Low Noise : 0.12uVp-p (0.1Hz to 10Hz)

Gain range : 1 to 10000

High CMRR : 125dB min (G=1000)

High input impedance : 1Gohm (G=1000)

Amp01의 Gain을 약 8000 배로 조절하였는데 그 결과 눈을 뜬 상태의  $\alpha$ 파의 최대 크기가 약 20mV 정도로 관찰되었고 switching에 필요한 충분한 크기의 EEG를 얻기 위하여 Gain 조절(G=1~100)이 가능한 간단한 Inverting Amp를 뒤에 연결하였다.

60 Hz noise 및 고주파 제거를 위해서 Butterworth 8th order LPF를 설계, 제작하였다. Passband 폭이 너무 좁아서 그 설계가 이론적으로는 가능하다 하더라도 실제에 있어 passband에서의 안정된 출력을 보장할 수 없으며 앞에서 HPF를 통해 대략적이지만 저주파 성분을 filtering하였기 때문에 이 단계에서는 13 Hz 이상의 뇌파 성분과 60Hz noise 성분의 제거에 그 목적을 두게 되었다. 이 filter를 통해 transition에서 약 80dB/dec의 attenuation을 얻을 수 있었다.

앞에서 HPF로 DC 성분을 걸러 내었는데 이것이 아직 완전하지는 않아서 switch설계시 threshold voltage를 정하기가 매우 곤란하였다. AC Coupling을 통해 이 DC 성분을 완전히 제거할 수 있었고, 뒷단의 switch 회로에 안정된 입력을 보장하기 위해 Buffer를 달아 주었다.

Switching circuit는 RMS to DC Converter (AD636)와 Schmitt Trigger 회로로 구성하였다. RMS value를 비교 대상으로 삼을 경우 각 주기의 peak 값 보다는 변화에 덜 민감하여 매끄러운 출력을 얻을 수 있고, 이것은 결국 눈을 감고 있는 상태에서 불규칙한 파형이 섞여도 그 출력의 크기의 변화가 적을 것이라는 것을 의미한다. 눈을 감고 있는 상태에서의 뇌파 크기의 변화 (전체적으로 눈을 뜬 상태에서 보다는 크긴 하지만 집중도의 차이로 그 크기가 변하여 RMS가 threshold voltage 아래로 떨어지는 경우)에 대한 문제를 해결하기 위하여 Schmitt Trigger 회로를 사용하

었는데 threshold voltage 를 각각  $V_r$ ,  $V_f$ 로 잡아  $\alpha$ 파의 RMS value 값이  $V_r$  을 넘어설 때만 switching 동작을 하고  $V_f$  보다 낮아져야 switching 동작을 하지 않는 안정 상태로 되게 한다.(그림 2) 그리고  $V_f$ ,  $V_r$  사이의 값에서는 이전의 상태를 유지하게 하므로 눈을 감고 있는 상태에서  $\alpha$  파의 크기가 조금 작아져서  $V_r$  보다 떨어져도  $V_f$  보다 작지만 않으면 계속 감고 있는 상태와 같은 상태를 유지하게 할 수 있다. 이로 인해 앞에서의 나머지 문제를 해결할 수 있었다. 실험을 통해 9V battery 사용 시  $V_{ref} = 125mV$ ,  $V_r - V_f = 90mV$ 로 조절할 때 가장 안정되게 동작함을 알 수 있었다. (이는 피실험자의 집중도, electrode contact 정도에 따라 약간의 조절이 필요하다.)

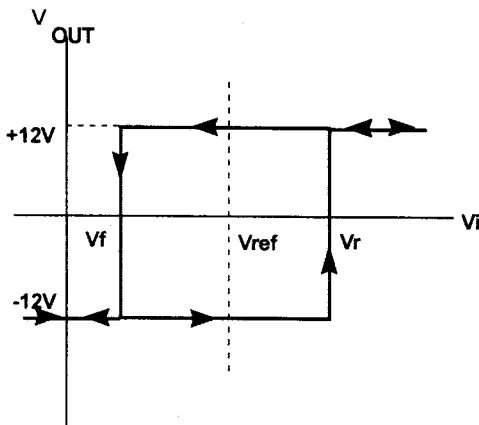


그림 2 Schmitt Trigger Circuit 의 Characteristic Curve

Schmitt trigger circuit 의 output 은 relay 의 input 으로 사용된다. 즉, signal 의 RMS value 가 Schmitt trigger 의  $V_r$  을 넘어서게 되면 Schmitt trigger output 이 +12V 가 된다. 이 때, TV remote controller 의 On/Off switch 와 연결된 relay 의 output 단자가 단락되어 TV 전원을 제어하게 된다. 눈을 떠서  $\alpha$ 파의 RMS value 가  $V_f$  보다 작아지면 switch 가 open 되어 다음 동작을 준비하게 된다

### 3. 실험 결과

이 실험에서 사용하는 EEG 인  $\alpha$ 파는 후두부(머리의 뒷부분, occipital lobe)에서 잘 관측이 된다. 따라서 '10-20 system'에서 사용하는 방식에서와 같이 귀를 reference 로 하고(귀에는 신경분포가 희박하여 noise 가 적은 EEG 를 측정하는데 유리하기 때문이다.), 후두부를 source 로 하여 측정하였다.

측정에는 Ag-AgCl electrode 를 이용하였는데, Electrode Cream (Grass Instrument Company) 를 electrode 에 발라서 후두부에 부착시켰다. 이는 source 의 impedance 를 줄이기 위한 것으로서 실제 귀와 후두부 사이의 impedance 가  $5k\Omega \sim 10k\Omega$ 사이일 때 신호가 제대로 측정되며, impedance 가 그 이상이 되면, loading effect 에 의해서 신호가 크게 줄어들기 때문에 switch 동작에 충분한 크기의 EEG 를 얻을 수 없었다.

본 switch 는 toggle 방식으로 작동하도록 제작하였기 때

문에, 스위치를 동작시킬 때마다 TV 가 On/Off를 반복하게 된다. 회로의 input 단자인 electrode 를 부착한 피실험자가 눈을 감았을 때, 약 2초 후에 스위치가 동작하였으며, 눈을 떴을 때에는 약 1초 후에 뇌파가 충분히 작아져서 스위치가 다시 다음 동작을 기다리는 상태가 된다. 여기서 동작할 때까지 걸리는 시간은 amplifier 의 증폭도와 Schmitt trigger 의  $V_r$ ,  $V_f$ 에 의해 결정되는데, 앞에 측정된 시간은 가장 오동작이 적고, 빠른 switching 동작을 할 수 있는 상태에서의 값이다.

실험 도중 팔이나 다리를 움직이게 되는 경우, 이 때 발생하는 EMG 에 의한 artifacts 로 인해서 스위치가 오동작하는 경우가 많았다. 이는 EMG 의 크기가 EEG 에 비해 훨씬 커서, 피실험자의 몸을 통해 전도된 EMG 가 electrode 를 통해 입력되었기 때문이다. 이는 filtering 을 통해 어느 정도 차단되었지만, 결국  $\alpha$ 파와 같은 frequency 대역의 EMG 는 그대로 남아서 switch 의 오동작을 완전히 없앨 수는 없었다.

### 4. 향후계획 및 전망

이번 실험에서 artifacts 로 인한 오동작을 완전히 해결하지 못하였는데, 이와 같은 artifacts 는 실제 EEG 를 측정하여 환자를 진단하는 경우에도 문제가 발생하기 때문에 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 아직 artifacts 의 제거가 analog circuit 만으로는 성공한 예는 없고, 대부분의 경우 digital signal processing 을 통해 이루어져 왔다. 이와 같은 digital signal processing 의 경우에도 artifacts 와 EEG 의 구분은 경험적인 사실을 토대로 이루어지기 때문에 부정확한 면이 남아 있다. 즉, 대부분의 경우 artifacts 를 제거하기 위한 algorithm 보다는 artifacts 가 거의 없는 양질의 EEG 와 그렇지 않은 것을 구분하여 양질의 EEG 를 사용하는 것이 일반적이다. 따라서 현재 실용화된 EEG switch 의 경우에도 동작의 정확도가 일반적인 switch 에 비해 현저히 떨어지는 것이 현실이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 실시간으로 artifacts 를 제거하여 switch 를 동작시킬 수 있는 방법이 필요할 것으로 보인다.

앞으로 EEG 를 인간과 기기 작동의 interface media 로 활용하여 최상급의 의사전달수단으로 활용하려는 연구가 더욱 활발해질 것으로 예측된다. 인간의 감각과 지각에 대한 정보처리를 가능하게 하는 뇌파 신호처리 기술은 컴퓨터와 통신기술의 발달로 이에 대한 연구가 가능하게 된 기술이며, 시각, 청각, 촉각(음성, 화상, 기타입력수단)을 통한 인간과 기계와의 기존의 interface 를 대체 및 보조할 수 있는 새로운 핵심수단으로 부상될 수 있는 기술분야로 주목을 받고 있다.

### 참고문헌

- [1] Eric R.Kandel, James H.Schwartz, Thomas M.Jessell, "Essentials of Neural Science and Behavior", Prentice Hall International, Inc., 1995.
- [2] Norbert R.Malik, "Electronic Circuits", Prentice Hall International, Inc., 1995.
- [3] James W.Nilsson, Susan A.Riedel, "Electric circuits fifth edition", Addison Wesley, 1995.