

# 인공심장 전류 신호의 신호대 잡음비 개선을 위한 회로 구현

\*최종훈, \*이정훈, 최원우<sup>†</sup>, 안재목<sup>‡</sup>, \*김옥은, 이종진<sup>†</sup>, 엄경식<sup>†</sup>, 최재순<sup>†</sup>,  
박성근<sup>†</sup>, 조영호<sup>†</sup>, 김희찬<sup>†</sup>, 민병구<sup>†</sup>

\*서울대학교 공과대학 전기공학부, <sup>†</sup>서울대학교 공과대학 의공학과, <sup>‡</sup>서울대학교 의과대학 의공학과

## Implementation of a Circuit for the Enhancement of Signal to Noise Ratios of Current Signal in a Artificial Heart

\*J. H. Choi, \*J. H. Lee, J. J. Lee<sup>†</sup>, \*W. E. Kim, K. S. Om<sup>†</sup>, J. S. Choi<sup>†</sup>, J. M. Ahn<sup>†</sup>,  
W. W. Choi<sup>†</sup>, S. K. Park<sup>†</sup>, Y. H. Cho<sup>†</sup>, H. C. Kim<sup>†</sup>, and B. G. Min<sup>†</sup>

\*School of Electrical Eng., College of Eng., Seoul National Univ., <sup>†</sup>Dept. of Biomedical Eng., College of Eng., Seoul National Univ., <sup>‡</sup>Dept. of Biomedical Eng., College of Med. Seoul National Univ.

### Abstract

We have developed a ground-isolation circuit in order to reduce the noise of the internal controller system for the total artificial heart(TAH) and ventricular assist device(VAD). Using the ground-isolation technique, we could transmit the analog target signal to other peripheral device including IBM PC via RS232C and polygraph, with no noise. Experimental results of VAD showed that there was less impulsive noise in current signal which caused in our previous conventional system.

Therefore it could be proved that implementation of isolation technique is very effective to improve the signal to noise ratios of analog signal transmission for TAH or VAD.

### I. 서론

사회가 점점 발전해 나감에 따라 오늘날 심장병 환자는 급증하게 되었다. 이러한 심장병 말기의

환자에게 인공 심장의 개발은 이들의 치료를 가능하게 해 준다. 이러한 개발 중 주목받고 있는 것이 전치환 인공심장(total artificial heart ; 이하 TAH) 과 심실보조장치(ventricular assist device : 이하 VAD)의 개발이다 [1].

이러한 TAH와 VAD의 시스템을 구현하다보면, 아날로그 회로와 디지털 회로가 만나는 부분이 생기게 된다. 이때 아날로그 회로와 디지털 회로의 그라운드가 공유되어 사용된다면, 잡음으로 인한 오동작과 시스템의 안정화에 큰 장애 요인이라 할 수 있다. 이러한 현상은 공통의 임피던스의 증가로 인해 내부의 전기자기적인 효과에 의해 발생한다.

인공 심장의 생리학적인 제어를 위해서는 좌우심 방압인 전부하와 동맥계의 저항 성분인 후부하를 알아야 하는데, 에너지변환장치인 모터의 입력 전류 신호는 매우 간단하면서, 전후부하의 정보를 내포하므로, 많은 연구기관에서 전류신호를 이용하여 생리학적 제어 연구를 수행하고 있다 [2]. 본 연구팀도 전류 신호를 이용한 제어를 연구하여 왔으나, 특히 LVAD의 전류 신호는 잡음으로 왜곡되어 있어서 완벽한 제어 알고리즘을 구현하는데 큰 장애

가 되었다. 노이즈 발생 원인은 TAH나 VAD 등 대부분 인공장기는 모터를 에너지 변환기로 응용함으로써 모터의 유도성 부하가 회로상의 전류변화를 미분한 결과의 노이즈가 전압의 형태로 나타나므로 이러한 잡음신호들이 시스템의 신뢰성을 저하시킨다. 접지 분리는 논리회로의 안정성을 보장할 뿐만 아니라, 프로그램의 신뢰성을 높일 수 있어서 모터구동형 제어기에서는 반드시 응용되어야 한다. 그라운드 분리 기술중 펄스 형태의 파형은 포토트랜지스터로 간단히 구현 할 수 있고, 아날로그 신호의 전송은 기존의 포토 OP-amp를 이용할 수 있으나, 본 연구에서는 전압-주파수 변환기를 이용하여 원신호인 아날로그 전류 파형을 복원하는데 성공하였다. 따라서 본 연구의 목적은 접지분리의 도입으로 시스템 잡음을 개선함과 동시에 모터 입력 전류파형을 이용한 제어 알고리즘을 구현할 수 있도록 신호대 잡음비(SNR) 개선하는 회로를 구축하는 것이다.

이를 실현하기 위해서 노이즈 특성이 향상된 아날로그 회로와 디지털 회로의 접지분리법을 제시하고 실제 시스템을 제작하여 기존 회로와의 성능을 비교 분석하여 보았다.

## II. 본론

응용회로에서 아날로그 신호 분리 영역만을 변형하여 회로시스템을 구성하면 그림1과 같으며 실제 회로는 그림 2와 같이 구현되어진다.

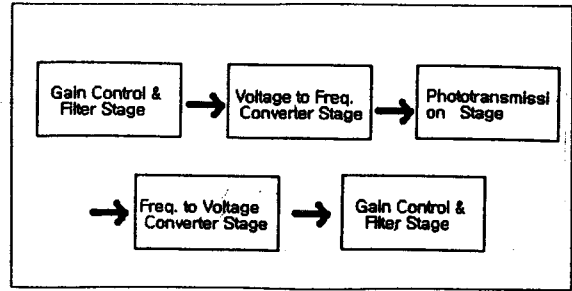


그림 1. 전체 회로의 Block Diagram

각각의 단의 기능과 출력신호에 대해서 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 첫 번째 단계에서는 입력에서 들어오는 전류의 이득을 조정하기에 앞서 수동소자로 구성된 입력 Filter단(차단주파수, 300Hz)을 통하여 고주파 성분의 여러 잡음들을 걸러주게 된다. 그 다음은 전압-주파수변환기로서 모터의 입력 전류가 전력저항 양단에 걸리는 전압을 주파수로 변환하여준다. 전압 대 주파수특성은 소자에 따라 달라질 수 있으나, 본 시스템에 응용한 AD537은 100kHz의 플스케일링에서도 비교적 선형성이 우수한 편이다. 변환원리는 입력 전압을 전류로 바꾼 후 이 전류 커패시터를 통하여 충전되고, 방전되는 동작을 통하여 변환이 이루어지게 된다. 이렇게 변환된 주파수를 가진 펄스파는 phototransmission 단을 거치면서 반전된 신호를 보내주게 된다.

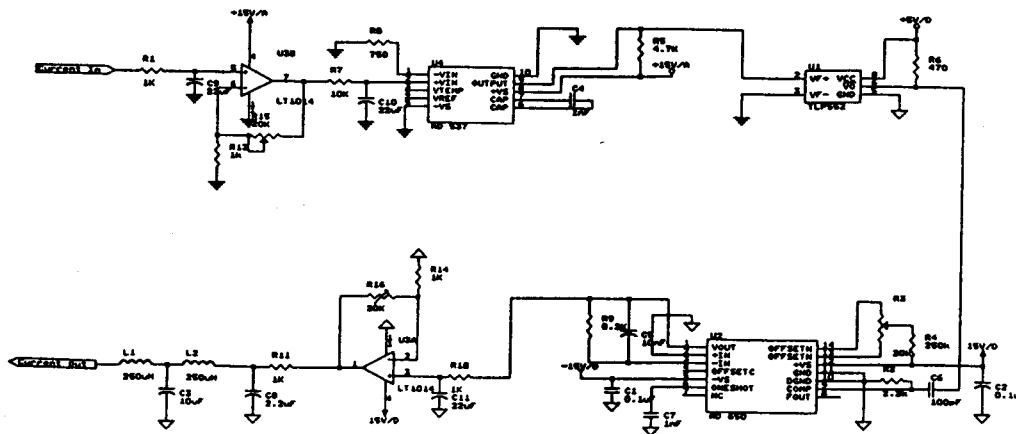
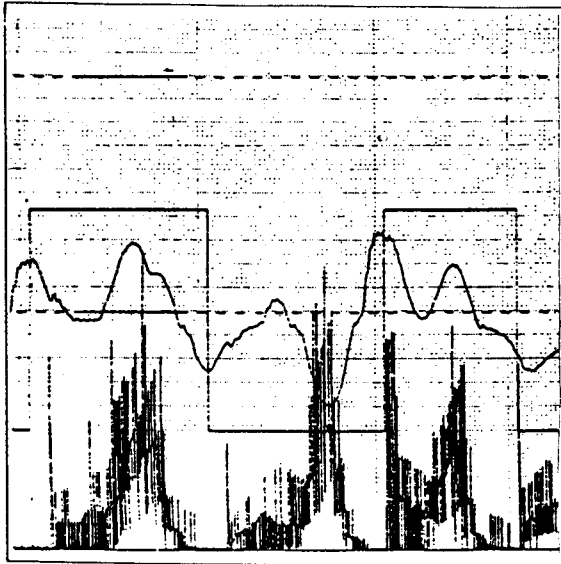


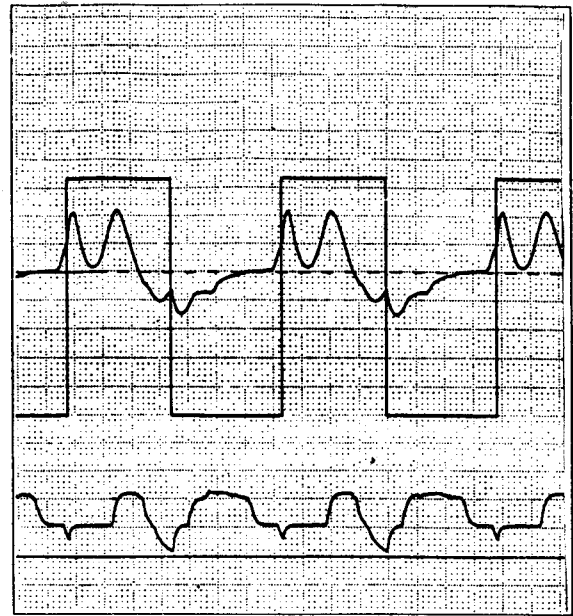
그림 2. 전체 회로도

이 반전된 신호는 여전히 전압-주파수 변환기에서 나오는 신호와 같은 주파수를 가지게 되며 입력 전압의 정보가 들어 있는 해당 펄스파가 다시 주파수를 전압으로 변환해 주어 아날로그 전류 파형을 그대로 재생해 주게 된다. 주파수-전압의 원리는 입력으로부터 들어오는 펄스파를 평균하여서, 출력 전압을 얻어낸다. 주파수가 높아질수록 이 변환기 내부의 커패시터에 들어오는 전하의 양이 증가하게 되어 출력 전압이 높아지게 되는 것이다. 이 과정에서 잡음이 생기므로, 필터단을 거쳐 그 잡음을 없애주고, 이득을 조정함으로써, 잡음이 제거된 입력 전류와 같은 신호를 완벽하게 복원하게 된다. 이 중 고속의 포토커플러의 온.오프 동작시 야기되는 고주파 노이즈의 특성을 분석하여 전원필터의 값을 설정하였으며 보다 개선된 원신호의 재생에 기여를 하게 된 것이다.

IV. 실험 및 고찰



(a)



(b)

그림 3. (a) Isolation을 하기 전의 전류 파형 (b) 제안된 Isolation기법을 적용하였을 때의 전류 파형

위의 그림 3은 VAD 시스템에서 응용한 예로서 실제 시스템을 제작하여 출력파형을 기존의 제어기와 비교한 디지털기록장치의 출력파형이다. 세 개의 신호 중 구형파는 모터의 방향 전환 신호이며 이 신호와 중복되어서 표시된 신호는 VAD의 혈액 유입정보를 나타내는 Bellows pressure 신호이다. 맨 밑에 있는 신호가 바로 우리가 관심을 가지는 전류 파형이다. 그림 3(a)의 전류 파형은 위에서 보듯이 매우 임펄스형 잡음이 매우 많이 생기는 것을 볼 수가 있다. 반면에 그림 3(b)의 전류 파형은 그런 잡음이 현저히 개선되어 있음을 알 수가 있다. 기존의 임펄스파의 잡음으로 전류파형을 이용한 자동제어 알고리즘의 구현에 큰 장애가 되었으나, 본 연구의 결과로 얻어진 SNR의 개선이 이를 가능하게 하였다. 제어기의 깨끗한 전류 파형은 디지털 회로의 노이즈 제거를 의미하기 때문에 전체 시스템의 안정성 측면에서 크게 향상시켰다고 볼 수 있다.

본 연구에서 응용한 접지 분리 회로는 다른 디바이스 즉 우수한 잡음 특성을 요구하는 TAH나 인공 장치의 제어기 및 의료기기에서도 적용이 가능하여 본 연구의 성과가 큰 의의를 가진다고 할 수가 있다. VAD시스템 이외에 다른 응용 분야에서는 TAH의 신호를 보여주는 PolyGraph와 TAH

Control Board를 연결하여서 직접 TAH의 신호를 보내주려고 할 때, PolyGraph의 시스템은 매우 복잡한 구조를 가지므로, PolyGraph의 여러 임피던스 성분이 TAH Control Board에 영향을 끼치게 되어 오동작이 일어날 가능성은 있다. 그래서, 이러한 오동작을 막기 위해서, 서로의 그라운드를 분리시켜 주면, 시스템이 더욱 안정화되어 Control Board의 신호를 안정되게 전송받을 수 있다.

이 회로는 다른 아날로그 회로에서도 시스템이 복잡하여서 시스템의 한 단이 다른 단에 잡음의 영향을 끼치게 될 때, 응용되어지면 좋은 효과를 얻을 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 노이즈 발생원인 고전력 회로와의 접지 분리를 시도함으로써 대상시스템의 잡음을 현저하게 감소시켜주는 회로의 제안과 분석을 해 보았다. VAD나 인공 심장에서는 IN VITRO의 성능을 평가하기 위해서 다른 외부 장치에 연결하여 측정할 경우, 외부장치의 잡음이 제어기에 흡수되어 시스템의 신뢰도를 저하시킨다. 이를 방지하기 위한 방법으로서 본 연구 결과로 얻어진 접지분리의 신호 전송에 커다란 효과를 얻을 수 있음을 확인 할 수 있었다. 아날로그 신호의 접지 분리는 기존의 팡 OP-Amp를 사용하여도 가능하지만, Op-Amp의 특성상 입력 오프셋 전압이 크고, 슬루레이트가 낮으며, 특히 오픈루프의 DC이득이 최고 90dB정도이므로, 최종 출력 신호가 왜곡되거나 또한 입력 진폭이 클 경우 출력 전압이 포화되어 VAD나 혹은 TAH의 제어장치에 적용할 수 없었다. 하지만, 이 전압-주파수 변환기와 주파수-전압 변환기를 사용한 회로는 그러한 단점들을 제거할 수 있어서 VAD, TAH 이외의 다른 응용시스템에 하나의 모듈로서 접목시킬 수 있다고 본다.

## 참고 문헌

- [1] 김 인영, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 완전 이식형 전기기계식 인공심자의 분석, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 의공학과, 1994. 2.
- [2] J. M. Ahn, B. G. Min, W. G. Kim, and J. R. Roh, "Implantable Controller with Fault Tolerance for the Moving-Actuator Total

Artificial Heart(TAH): Use of a Dual Board," Springer-Verlag, Tokyo, pp. 297-300, 1996

[3] Data Conversion Products Databook, Analog Devices, pp 4.5-4.24, 1988