

초소형 전원발생장치를 위한 축전 회로

박주한, 김호성, 김혜중
 중앙대학교 전자전기공학부

Charging circuit for Micro-Power Generator

Juhan park, Hoseong kim, Hyejoong kim
 School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

Abstract - 본 논문에서는 초소형 전원발생장치의 구현 방법에 따라 최대 출력을 얻을 수 있는 충전회로를 제안하였으며, 초소형 전원발생장치의 동작 회로를 제시하였다. 이를 바탕으로 시뮬레이션을 하여 실제 실험과 비슷한 출력을 얻어 내었고, 초소형 전원 발생장치를 압전소자를 이용하여 구현하는 경우에는 누설전류가 작은 다이오드를 사용해야 하며, 유도기전력을 이용하여 구현하는 경우에는 전압강하가 작은 다이오드를 사용해야 한다는 것을 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하였다.

1. 서 론

최근 들어 IT, NT, BT분야에 있어서 급격한 기술발달이 이루어졌으며 과학기술의 목표가 단순히 편리하고 쾌적한 환경을 이룩한다는 것에 건강 한 삶을 누린다는 것이 추가되어 BT에 대한 연구가 대단히 활성화되고 있다. 이러한 목표를 이루기 위하여 IT, NT, BT가 융합된 융합기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 그 대표적인 예가 유비쿼터스를 기반으로 하는 건강관리시스템, 홈 네트워크, RFID를 이용한 물류관리이다. 건강 관리시스템과 홈 네트워크 시스템의 physical layer는 신체의 상태, 또는 실내의 상태를 측정하는 microsensor이며 그 위 단계는 센서의 출력을 처리 하는 신호처리회로 그리고 그 결과를 외부로 전달해 주는 통신회로이다. 현재 microsensor나 신호처리, 통신회로에 대한 연구는 상당한 진척이 이루어 졌으나 이러한 센서나 회로이 작동하기 위해 필요한 전원장치에 대한 연구는 초기단계에 머물고 있다.

시스템의 특성 상, 모든 회로에 220 V 전원 연결하거나 전지를 장착 할 수는 없으므로 신체의 온도나 진동을 전기에너지로 변환하거나, 공간에 존재하는 전자기파의 에너지를 실용 가능한 전기에너지로 변환하는 초소형 전원발생장치(Micro-Power Generator, 이하 MPG)가 필요하다. 본 논문에서는 MPG구현 방법에 따른 충전회로를 제작 및 시뮬레이션 해보고 충전회로를 구성하는 다이오드의 특성이 출력에 미치는 영향을 분석해 보았다.

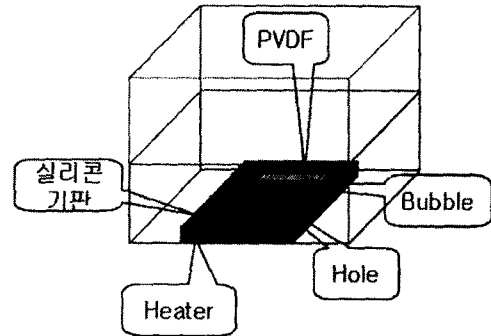
2. 본 론

2.1 MPG의 구현 방법

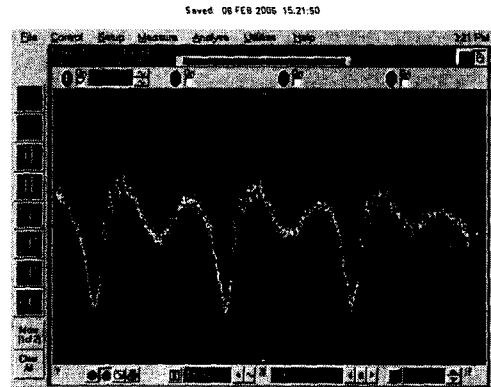
MPG를 구현하는 방법은 크게 압전소자를 이용하는 방법과 자석을 이용하는 방법으로 나뉘어 진다. 압전소자를 이용하는 경우에는 압전소자에 진동을 주어 자체에서 발생하는 전압을 축전하며 자석을 이용하는 경우에는 Faraday's Law에 의해 발생하는 전압을 축전한다.

MPG에서 나오는 출력은 두 경우 모두 교류로 나오게 되는데 이렇게 나오는 신호를 충전시키기 위해서 다이오드4개를 이용하여 전파 정류를 하는 브리지정류회로를 사용한다. 그런데 압전소자를 이용한 MPG의 경우에는 높은 내부 전압이 발생하지만 내부 저항이 매우 크고, 자석을 이용한 MPG의 경우에는 작은 전압이 발생하지만 내부 저항 또한 작기 때문에 정류회로에 사용되는 다이오드 특성이 충전전압에 큰 영향을 미치게 된다. 두 경우 모두 다이오드에 흐르는 전류가 매우 작아서 다이오드가 비선형구간에서 작동하므로 이를 분석하기 위해서는 일반적으로 많이 사용되는 간략화된 다이오드모델을 사용할 수 없다. 또한 입력 파형이 수식적으로 정의하기 힘든 모양이고 다이오드 특성을 수식적으로 표현하기 위해서는 많은 파라미터들을 사용하여 계산해야 하므로 해석적인 방법을 사용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 출력 파형을 분석하고 예측하였고 그 결과를 실험과 비교, 분석하였다.

일반적으로는 순방향 전압강하가 작은 Schottky다이오드를 사용하고 있으나 본 연구에서는 역방향 누설전류가 작은 다이오드(PAD1, $I_r = 1 \mu A$)를 채택하여 시뮬레이션 하였고 실험결과와 비교, 분석하였다. 압전소자로는 PVDF를 이용하였고 진동을 주는 장치로는 버블 발생기를 사용하였다. PVDF는 압전소자로 많이 사용하는 PZT에 비하여 강도가 낮아서 변위를 많이 줄 수 있다는 장점이 있으나 내부 저항은 수 100MΩ으로 매우 크다고 알려져 있다. 버블 발생기는 끓는점이 낮은 액체를 가열하여서 버블을 발생시키는 장치이다. 이렇게 만든 MPG는 그림1과 같고 여기에서 나오는 출력을 오실로스코프로 측정한 파형을 그림2에 나타내었다. 그림 1에서 PVDF의 길이는 11mm, 폭은 1mm, 두께는 90 μm 이다. 그리고 버블을 특정 한 위치에서 발생시키기 위해 Heater 위에 실리콘 판을 두고 작은 홈을 내었다.



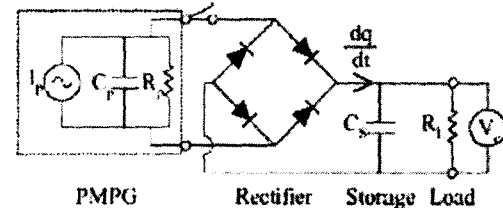
<그림 1> 압전소자를 이용한 MPG



<그림 2> 압전소자를 이용한 MPG의 출력파형

2.2 시뮬레이션을 통한 등가 회로 추정

압전소자를 이용한 MPG의 경우 기존에 사용하는 등가회로는 그림 5와 같다.[1]

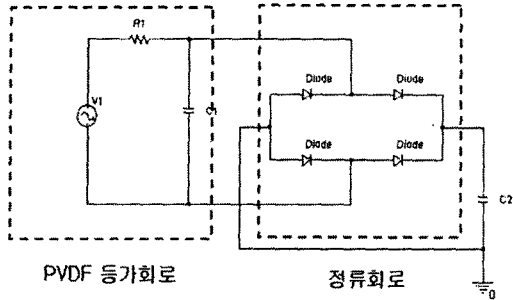


<그림 3> 기존 압전소자 등가회로

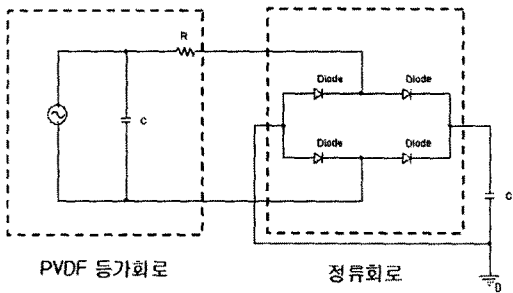
그러나 실험적으로는 그림 2와 같이 출력전압을 측정할 수 있으므로 그림 3과 같이 전류원을 사용하는 등가회로를 사용해서는 측정된 값과 비교 분석하기 어렵다. 따라서 측정된 값을 바탕으로 하여 추출한 전압원을 사용한 새로운 등가회로를 구성하여 그림4에 나타내었고 이를 사용하여 시뮬레이션 한 결과를 실험결과와 비교 분석하였다.

등가회로에서 저항과 커패시터의 값을 결정하기 위하여 LRC meter로 측정하였는데 커패시터는 25 pF으로 측정되었으나 저항은 너무 커서 측정되

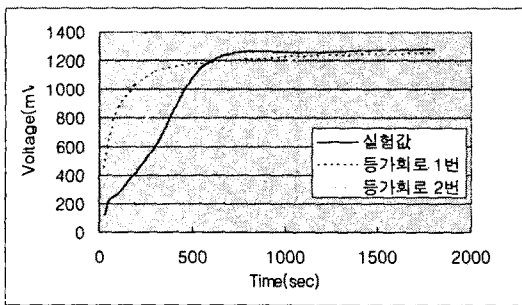
지 않았다. 본 연구에서는 전압원의 크기와 저항을 모두 변화시키면서 시뮬레이션과 실험값이 가장 잘 맞는 값을 선정하였다.



〈그림 4〉 압전소자 등가회로 1번



〈그림 5〉 압전소자 등가회로 2번



〈그림 6〉 충전 시뮬레이션 결과

그림6에서 실선은 실험값으로 시간에 따른 충전 전압을 실험을 통하여 측정 한 값이다. 가는 점선은 등가회로 1번, 긴 점선은 등가회로 2번을 사용하여 실험값과 가장 비슷한 결과가 나오도록 내부저항과 내부전압을 조정 한 것이다. 결과를 보면 등가회로 2번이 실험값과 더 비슷한 경향을 가진다. 따라서 본 연구에서는 등가회로 2번을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

2.3 시뮬레이션을 통한 다이오드 선정

자석을 이용한 MPG의 경우에는 내부저항과 내부전압이 직렬로 연결되어 있는 등가회로를 사용하고, 압전소자를 이용한 MPG의 경우에는 등가회로 2번을 사용하여 각각에 대하여 다이오드의 전압강하와 누설전류를 바꾸어 가면서 시뮬레이션 하였고 결과를 표1로 정리 하였다.

〈표 1〉 다이오드 종류에 따른 충전 전압(시뮬레이션 결과)

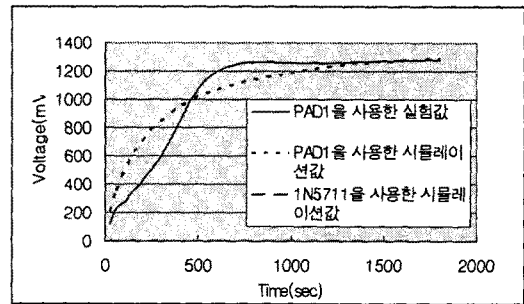
다이오드 종류	입력전압 & 내부저항	
	source : sin, 0.1V, 60Hz 내부저항 : 5Ω (자석)	source : sin, 15V, 60Hz 내부저항 : 50KΩ (압전소자)
PAD1_original (Vf=0.8V, Ir=1pA@20V)	Charged voltage 2.6mV/1.8Ksec	Sat. voltage : 12.5V Sat. time : 70sec
PAD1_edited (Vf=0.6V, Ir=1pA@20V)	Charged voltage 14.5mV/1.8Ksec	Sat. voltage : 12.8V Sat. time : 70sec
schottky 1N5711_original Vf=0.4V, Ir=68.5nA@20V	Sat. voltage : 27mV Sat. time : 0.3sec	Sat. voltage : 3.8V Sat. time : 50sec
schottky 1N5711_edited Vf=0.4V, Ir=48.5nA@20V	Sat. voltage : 29mV Sat. time : 0.5sec	Sat. voltage : 5.9V Sat. time : 40sec

압전소자를 이용한 MPG의 경우에는 누설전류가 작은 PAD1을 사용하였을 경우에 충전된 전압이 크고 자석을 이용한 MPG의 경우에는 전압강하가 작은 1N5711을 사용한 경우에 충전된 전압이 크다는 것을 확인 할 수 있다. 이런 경향과 비슷하게 누설전류가 작은 PAD1(Ir = 1 pA@20V, Vf = 0.8V)과 이것의 파라미터를 수정하여 전압강하도 더 낮은 PAD1edit(Ir = 1 pA@20V, Vf = 0.6V)를 사용하여 시뮬레이션 한 결과를 분석해보면 자석을 이용한 MPG의 경우 충전된 전압이 약 5배 이상 증가 하였으나 압전소자를 이용한 MPG의 경우에는 약간 증가하였음을 볼 수 있다. 마찬가지로 전압강하가 작은 1N5711(Vf = 0.4V, Ir=68.5nA@20V)과 이것의 파라미터를 수정하여 누설전류도 더 낮은 1N5711edit(Vf = 0.4V, Ir=48.5nA@20V)를 사용하여 시뮬레이션 한 결과를 분석해 보면 자석을 이용한 MPG의 경우에는 충전된 전압이 약간 증가하였으나 압전소자를 이용한 MPG의 경우에는 약 1.5배 정도 증가한 것을 볼 수 있다.

압전소자를 이용한 MPG의 경우에는 발생하는 내부 전압이 크기 때문에 전압 강하의 효과는 무시 할 수 있지만, 내부 저항이 크기 때문에 충전되는 속도가 느리게 되고 오랜 시간 충전을 해야 한다. 따라서 누설 전류의 양이 크게 되면 커패시터에 전압이 충전이 되지 않고 계속 세어 나가되어 충전이 되지 않는다. 자석을 이용한 MPG의 경우에는 발생하는 내부 전압 자체가 크지 않기 때문에 전압 강하에 의해 발생하는 내부 전압자체가 줄어들게 되어 커패시터에 충전되는 전압의 크기가 작아진다. 그러나 내부 저항은 작기 때문에 빠른 속도로 충전이 되어 누설 전류에는 별 영향을 받지 않는다.

2.4 실험 결과

시뮬레이션을 통하여 얻어낸 결과를 바탕으로 실제로 압전소자를 이용한 MPG를 제작하여 정류회로에 들어가는 다이오드를 다르게 하여 실험한 결과를 그림7에 나타내었다.



〈그림 7〉 충전 시뮬레이션 결과

그림7에서 실선은 충전회로의 다이오드를 PAD1으로 사용하였을 경우의 실험결과 이고, 가는 실선은 등가회로 2번을 사용하고 충전회로의 다이오드를 PAD1으로 하였을 경우 시뮬레이션 결과이다. 마지막으로 긴 실선은 등가회로 2번을 사용하고 충전회로의 다이오드를 1N5711로 하였을 경우 시뮬레이션 결과인데 전압은 약 230mV로 측정된다. 충전회로의 다이오드를 1N5711로 하여 실험하였을 경우에는 측정불가능 할 정도의 작은 전압이 나온다. 이것으로부터 시뮬레이션과 실험결과가 일치한다는 것을 확인 할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 Micro-Power Generator를 구현 하는 방법에 따라 충전회로에 사용되는 다이오드의 특성이 충전되는 전압에 미치는 영향을 알아보았다. 압전소자를 이용한 MPG의 경우에는 누설전류가 작은 다이오드를 사용해야 하며, 자석을 이용한 MPG의 경우에는 전압강하가 작은 다이오드를 사용해야 한다는 것을 시뮬레이션을 통하여 분석해 보고 실험을 통하여 확인하여 보았다. 압전소자로서 PVDF를 사용하고 버플을 사용하여 PVDF를 20Hz로 10분 정도 구동한 결과 0.1μF의 커패시터에 약 1.2V의 전압을 충전 하였다. 이러한 MPG 3개를 병렬로 연결하여 충전하면 일반적인 CMOS 소자를 구동하기에 충분한 2.3V이상의 전압을 충전할 수 있을 것이므로 각종 센서와 이 센서로부터 얻어진 데이터를 전송하는 응용분야에 적용이 가능 하리라 사료된다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] Y.B. Jeon, R. Sood, J.-h. Jeong, S.-G. Kim "MEMS power generator with transverse mode thin film PZT" Sensors and Actuators A 2005
- [2] Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith "Microelectronic Circuits"
- [3] OrCAD Pspice A/D User's Guide