

가전기기 대기전력 보상을 위한 에너지 하베스팅 시스템

이재우, 오창열, 김민중, 이병국[†]
성균관대학교 정보통신대학

Energy Harvesting System for Standby Power Compensation of Home Appliances

Jae Woo Lee, Chang Yeol Oh, Min Jung Kim, Byoung Kuk Lee[†]
College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 가정용 전기기기의 대기전력을 보상하기 위해 에너지 하베스팅 시스템을 제안한다. 제안하는 에너지 하베스팅 방법을 주요 가전기기에 적용하여 각각의 사용 패턴 및 환경에 따른 발전량을 계산하고, 발전량과 대기전력을 고려하여 주요 가전기기에 전력을 공급하는 배터리가 포함된 전체 시스템을 구성한다. 이를 토대로 대기 전력량과 가전기기에 공급되는 전력량을 비교하여 제안하는 시스템의 타당성을 검증한다.

1. 서 론

국제 에너지 기구에서는 모든 가전기기 및 전력기기에 대기전력을 1 W 이하로 줄이도록 하고 있다. 이와 관련하여, 정부는 2010년부터 국내 유통되는 모든 전자제품에 대해 대기전력 1 W 정책을 시행하여 각 기업에서 관련 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

하지만 부품의 손실 저감 및 반도체 스위칭 손실 저감과 같은 연구는 손실을 아예 없앨 수 없다는 기술적인 한계가 있으며 전력의 소모를 최대한 줄이기 위한 고사양 부품의 사용에 있어 원가 상승과 같은 문제점이 야기된다^[1].

본 논문에서는 에너지 하베스팅을 통한 대기전력 보상 시스템을 제안한다. 가정 내에서 주로 사용되는 가전기기를 선정하고 대기전력량을 고려하여 배터리의 용량을 결정한다. 에너지 하베스팅을 통하여 발생한 전기에너지를 배터리에 저장하고 DC DC 컨버터를 통하여 전력을 보상하는 시스템을 제안한다. 선정된 가전기기에서 발생하는 대기전력과 시스템을 통하여 공급되는 전력을 비교하여 제안하는 시스템의 대기전력 보상여부를 판단한다.

표 1 2011년 가전기기의 대기전력 조사^[2]

Table 1 Standby power survey of home appliances in 2011

가전기기	대기전력	가전기기	대기전력
TV	1.27 W	홈 시어터	5.10 W
셋톱박스	12.27 W	에어컨(스탠드)	5.81 W
인버터 스탠드 컴퓨터	0.60 W	전기밥솥	3.47 W
인터넷 모뎀	2.62 W	전자레인지	2.19 W
오디오 스피커	5.95 W	DVD	3.72 W
	5.60 W	오디오(컴포넌트)	4.42 W

2. 에너지 하베스팅 시스템

2.1 적용 가전기기 및 소자 선정

2011년에 전력거래소에서 조사한 결과 가정당 TV, 냉장고, 세탁기, 전기밥솥 등의 보유율이 높은 것으로 나타났다. 가전기기 중에서 냉장고와 같이 상시 사용하는 제품과 세탁기와 같이 사용시간이 짧은 제품들은 대기전력을 보상하기 위한 시스템을 구성하기에 적합하지 않다. 에너지 하베스팅 시스템을 구축하기 위해 하루 중 사용시간이 4시간 이상이며 일반 가정 보급률이 높은 가전기기를 분류하면 TV, 에어컨, 전기밥솥 등을 선정할 수 있다.

대기전력을 보상하기 위한 에너지 하베스팅 시스템을 구성하기 위해서는 적용 가전기기의 설치 환경 및 동작 특성을 고려하여 적합한 하베스팅 소자를 선정해야 한다. TV, 에어컨, 전기밥솥은 실내에 위치하기 때문에 실내조명을 이용한 에너지 발전이 가능하지만 실내조명 빛의 세기가 약하여 얻을 수 있는 에너지는 극히 소량이므로 적합하지 않다. 따라서 TV와 전기밥솥의 경우는 제품이 동작 시 발생하는 열을 회수하여 발전하는 열전 소자를 이용한 시스템이 적합하며, 특히 전기밥솥의 경우 내부에서 고열이 발생하므로 많은 양의 에너지를 얻을 수 있다. 에어컨의 경우 실외기가 외부에 설치되므로 실외기에 태양전지를 설치하여 태양광을 직접 이용한 발전이 적합하다.

2.2 발전량 계산 및 배터리 선정

에너지 하베스팅 소자를 이용하여 가전기기의 사용 패턴 및 환경에 따른 발전량을 계산한다. 열전소자는 Bi Te계열 제품을 적용하여 $\Delta T=150^\circ\text{C}$ 의 조건에서 발전량을 계산하였으며, 태양전지는 실리콘 재료의 제품으로 STC (태양전지의 온도가 25°C 이면서 $1,000\text{ W/m}^2$ 의 직사광선 입사) 조건에서 발전량을 계산하였다. 각각의 소자에 대한 세부 정보는 표 2와 같다.

열전소자에 의한 전압의 크기 및 발전량은 온도차에 따른 출력값을 이용하여 식 (1), (2)와 같다.

표 2 에너지 하베스팅 소자의 세부 정보

Table 2 Parameter of energy harvesting element

소자	V_{op}	I_{op}	W_{max}	면적
열전소자	4.2 V	2.5 A	15.4 W	$50 \times 54\text{ mm}^2$
태양전지	0.56 V	4.2 A	3.1 W	$125 \times 125\text{ mm}^2$

$$V_{out} = V_{Ts} \times \frac{\Delta T}{\Delta T_s} \quad (1)$$

$$P_{out} = P_{Ts} \times \left(\frac{\Delta T}{\Delta T_s}\right)^2 \quad (2)$$

- V_{Ts} : 온도차가 ΔT_s 일 때의 출력 전압
- P_{Ts} : 온도차가 ΔT_s 일 때의 생성 전력
- ΔT_s : 기준 온도차(150 °C)
- ΔT : 가전기기에 의한 온도차

태양전지의 출력 전압 및 생성 전력은 식 (3), (4)와 같다.

$$V_{out} = N \times V_{Ps} \quad (3)$$

$$P_{out} = N \times P_{Ps} \quad (4)$$

- V_{Ps} : 32,000 lux 조건에서의 출력 전압
- P_{Ps} : 32,000 lux 조건에서의 생성 전력
- N : 직렬로 연결된 태양전지 개수

에너지 하베스팅으로 발전된 전력을 저장하고 가전기기에 공급해 줄 배터리의 용량은 식 (5)를 통하여 정한다.

$$P_{Sp} = V_{out} \times C_{Bat} \times N \quad (5)$$

- P_{Sp} : 일일 총 대기전력량
- V_{out} : 배터리의 출력 전압
- C_{Bat} : 배터리 한 개의 용량. 단위는 Ah
- N : 병렬로 연결된 배터리 개수

배터리 용량 C_{Bat} 및 배터리 개수 N 의 관계를 고려하여 배터리는 출력 전압 5 V, 출력 전류 1 A, 용량 5,000 mAh의 Li polymer 배터리 팩을 병렬로 연결한 것으로 선정하였다.

가전기기의 일일 사용 시간은 표 3과 같고, 식 (1)~(4)를 이용하여 에너지 하베스팅으로 얻을 수 있는 각 가전기기 당 출력 전압 및 발전량은 그림 2와 같다.

2.3 에너지 하베스팅 시스템 구성

그림 3은 제안된 에너지 하베스팅 시스템이다. 추가로 고려해야 할 것은 시중에서 판매되는 승압형 컨버터의 효율은 90~95% 사이이므로, 시스템에 적용하는 승압형 컨버터의 효율을 93%로 정한다. 그림 2에서 보인 에너지 하베스팅에 의한 일일 총 발전량은 182.74 Wh이다. 이 중 목표 가전기기에 전달되는 전력량은 컨버터의 효율 (93%)을 고려했을 때, 158.05 Wh로 계산된다. 표 1, 표 3을 이용하여 계산한 일일 발생하는 대기전력량은 158.81 Wh이다. 가전기기에 전달되는 전력과 대기전력을 비교한 결과, 99.5%의 대기전력을 보충하는 것을 검증하였다.

표 3 가전기기의 일일 사용시간^[3]

Table 3 Daily used time of home appliances

구분	일 평균 사용시간(분)	대기시간(분)
TV	320	1,120
에어컨(스탠드)	360	1,080
전기밥솥	76(취), 869(보)	495

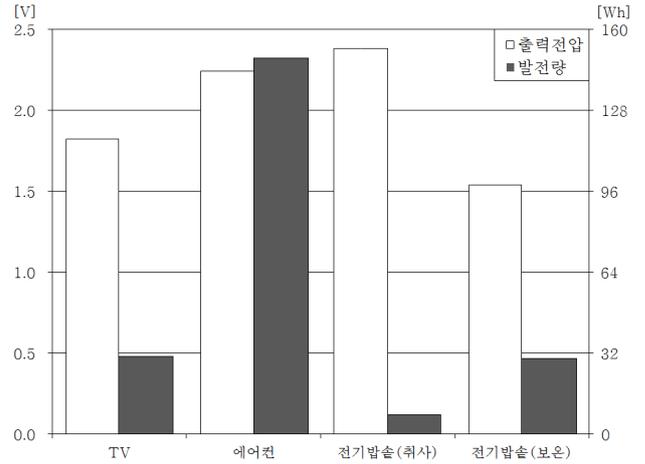


그림 2. 에너지 하베스팅 출력 전압 및 일일 발전량.

Fig. 2. Output voltage and daily generated power by energy harvesting.

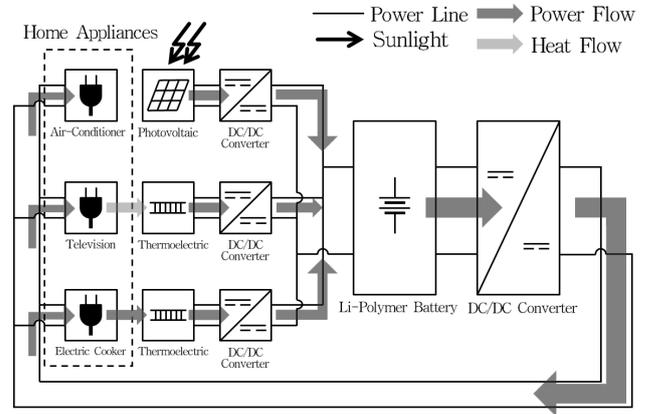


그림 3. 제안된 에너지 하베스팅 시스템.

Fig. 3. Proposed energy harvesting system.

3. 결론

본 논문에서는 가전기기의 대기전력을 보충하기 위하여 에너지 하베스팅 소자를 이용한 에너지 보상 시스템을 제안하였다. 일반적인 조건에서 에너지 하베스팅 소자로 얻을 수 있는 전력을 분석하고, 그 결과를 토대로 가전기기에 발생하는 대기전력량과 비교하여 제안된 시스템의 적합성을 증명하였다.

참고 문헌

- [1] 정봉근, 장상호, 김은수, 최문기, 계문호, "대기전력 저감을 위한 플라이백컨버터," *전력전자학회 논문지*, Vol. 14 No. 4, pp. 299-306, Aug. 2009.
- [2] 김호용, "2011년 전국 대기전력 실측조사," 한국전기연구원, 2012. 06
- [3] 김상범, 한근식, 정재환, 채광식, 김대성, "2011년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사 결과보고서," 전력거래소, 2011. 12