

Capacitive Divider Power Supply(CDPS)를 이용한 대기전력 저감용 고효율 전원제어회로

신승환*, 강성묵, 박경진, 장근수, 김호성**
 중앙대학교*

High Efficiency Power Control Circuit for Standby Power Reduction Using Capacitive Divider Power Supply(CDPS)

Seunghwan Shin*, Sungmuk Kang, Kyoungjin Park, Keunsu Chang, Hoseong Kim**
 Chung-Ang University*

Abstract - 본 논문에서는 가전기기의 대기전력 저감을 위해 Capacitive Divider Power Supply(CDPS)로 전원을 공급받는 고효율 전원제어회로를 제안하였다. 이 제어회로는 220 V의 AC 전압을 높은 효율로 기기의 구동용 저전압 DC로 변환하기 위하여 기존의 변압기나 SMPS를 사용하는 대신 커패시터 분압기(Capacitive Divider)를 사용하여 전원을 공급하도록 제작되었으며, 대기 상태에서 교류전력선과 가전기기를 완전히 분리시킨 상태에서 적외선 수신기, MCU, 래치 타입 릴레이 등의 소자를 이용하여 기존 상용 리모컨으로도 전원제어가 가능하도록 설계되었다. 설계된 회로의 소비전력은 2.2 mW이며 본 논문에서 제안한 전원제어회로를 대기전력이 700 mW인 모니터에 적용하여 측정된 결과 대기전력이 7 mW로 낮아지는 것을 확인하였으며, 태양전지를 보조전원으로 추가 할 경우 태양전지에서 공급해주는 전력만큼 대기전력이 감소함을 확인하였다.

1. 서 론

전 세계적으로 저탄소 녹색성장이 화두가 되고 있다. 탄소 배출 양을 줄이기 위해 여러 규제들이 마련되고 있으며, 태양광, 풍력, 조력 발전 등 화석연료를 사용하지 않고 에너지를 생산할 수 있는 신재생 에너지에 관한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 탄소 배출 양을 줄이기 위한 또 하나의 노력중의 하나가 대기전력을 저감하는 것이다. 대기전력이란 “기기가 외부 전원과 연결된 상태에서 해당 기기의 주 기능을 수행하지 않거나 외부로부터 켜짐 신호를 기다리는 대기상태에서 소비하고 있는 전력”이라고 정의되고 있으며[1], 전원 오프 시 소비전력 및 동작 중 비사용 시 소비전력을 모두 포함한다. 한국전기연구원에서는 국내 최초로 대기전력을 실측하여 조사하고 그 결과를 발표한 바 있다. 이에 따르면 가정의 평균 대기전력은 3.66 W이고, 가구당 연간 평균 대기전력 소모량은 306 kWh로서 전체 소비전력의 10.6 %에 해당하는 양이다. 이러한 대기전력을 순시전력으로 환산하면 525 MW로서 국내의 화력발전소 1기의 발전용량을 가정한 대기전력 공급을 위하여 가동 하는 것과 같은 것이다[2].

이에 대한 대처 방안으로 2010년부터 국내에서 유통되는 모든 전자제품들에 대하여 의무적 대기전력 1 W 제도를 시행하고 있으며 유럽에서는 2013년부터 대기전력이 1 W 이상인 제품은 사용 할 수 없도록 규제하고 있다. 이러한 대기전력을 줄이기 위해 많은 업체들이 대기전력을 줄이는 기술들을 개발, 출시하고 있으며 이들 대부분이 SMPS기술을 근간으로 하고 있거나 대기전력 공급전용으로 용량이 작고 손실이 작은 보조전선을 사용하고 있다. 그러나 SMPS를 사용 할 경우 대기모드 상태에서 공급하는 전력 이외에 추가적으로 컨트롤러 자체의 전력소모를 피할 수 없으며 보조전선을 사용하는 방법 역시 권선의 손실을 피할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 변압기나 SMPS를 사용하지 않고, 높은 효율로 전력공급이 가능한 CDPS를 제어회로의 전원으로 사용하였고 대기모드에서 릴레이를 사용하여 교류전력선과 전기기기를 물리적으로 분리시킨 상태에서 수신된 리모컨의 신호를 판단, 릴레이의 On/Off를 제어하는 회로 설계를 통하여 mW 수준의 대기전력을 구현하였다.

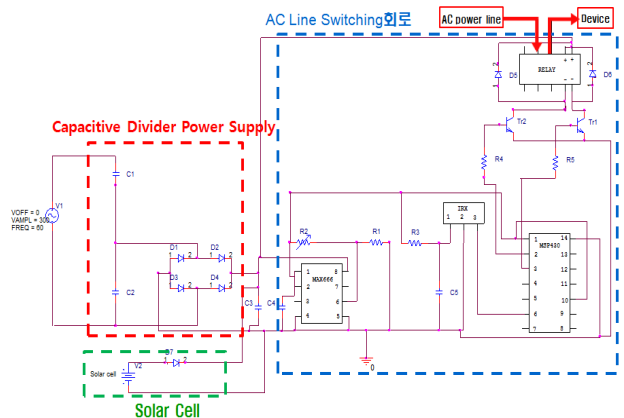
2. 본 론

2.1 전원 제어회로

본 논문에서 제안한 CDPS를 이용한 고효율 전원제어회로를 아래 그림 1에 나타내었으며 그 동작 원리는 다음과 같다.

이 회로는 대기모드에서 릴레이에 의해 교류전력선과 가전기기의 연결이 끊어진 상태에서 수신된 리모컨 신호를 판단, 릴레이의 On/Off를 제어하는 회로이다. 대기상태에서 CDPS를 통해 출력을 정류하여 적외선 수신기와 MCU에 5 V 전압을 인가해 준다. 적외선 수신기를 통해 들어온 신호는 Active Low 형태로 MCU의 입력으로 들어가게 되고 MCU

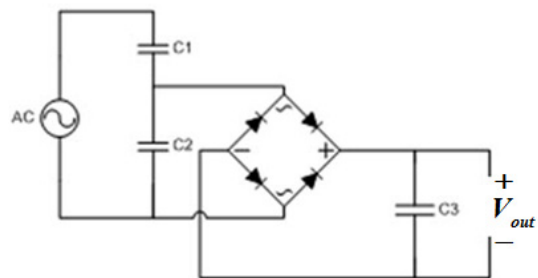
에서 들어온 신호의 코드를 판단하여 On/Off신호가 맞을 경우 출력 단에서 펄스 전압을 내보낸다.



〈그림 1〉 CDPS를 이용한 대기전력 저감용 고효율 전원제어회로

MCU에서 나온 펄스가 BJT의 베이스로 들어가면 BJT가 On이 되고, C1 커패시터의 전압이 릴레이의 Set 단자에 인가된다. 릴레이가 On이 되면서 끊어져 있던 교류전력선과 가전기기가 연결되어 전력을 공급하여 On 상태가 된다. 리모컨의 On/Off 신호가 다시 들어올 경우 C1 커패시터의 전압이 릴레이의 Reset 단자에 인가되어 교류전력선과 가전기기의 연결이 끊어져 다시 Off상태가 되게 된다. 이때 CDPS 외에 태양전지를 추가로 보조전원으로 사용 할 경우 태양전지에서 공급해주는 전력만큼 CDPS에서 공급해지는 전력은 낮아지게 된다. CDPS의 설계와 ID 체크, 태양전지를 통한 추가적인 전력 공급은 뒤에서 더 자세하게 설명하였다.

2.1.1 Capacitive Divider Power Supply 설계



〈그림 2〉 Capacitive Divider를 이용한 전원 공급 장치

그림 2에 커패시터 분압기(Capacitive Divider)를 이용한 전원 공급 장치를 나타내었다.

CDPS에 사용되는 Capacitor들의 용량은 부하에서 필요로 하는 조건에 따라 결정되며 출력전압 V_{out} 은 아래와 같으며 V_o 은 무부하 상태에서 C_2 에 걸리는 전압, V_{diode} 는 다이오드의 순방향 전압강하를 의미한다.

$$V_{out} = V_o - 2V_{diode}$$

무부하 상태에서 부하가 증가하면 C_2 전압의 최대값 V_{o2} 가 V_o 보다 낮아지게 되어 부하의 유무에 따른 전압 차 ΔV_{o2} 가 발생하게 되며, 이때

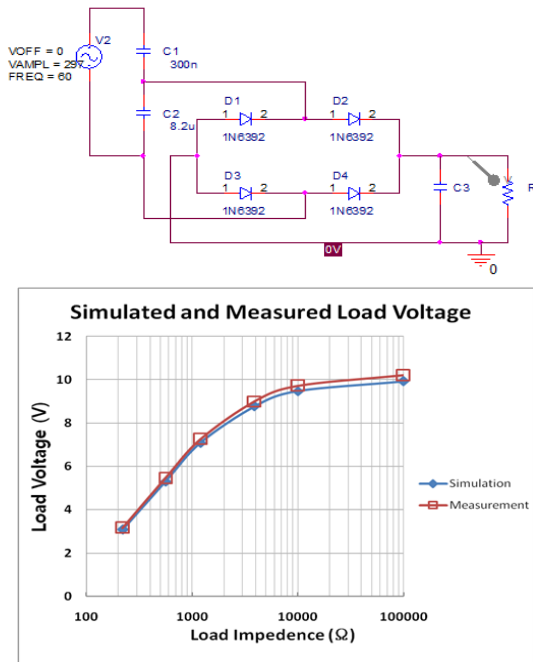
ΔV_{c2} 는 C_2 의 용량과 부하의 크기의 함수로서 아래와 같이 표현 할 수 있다. 여기서 Q 는 한 주기 동안 부하에 공급되는 전하량을 의미하며, R_1 은 부하의 등가저항, I_{out} 은 부하에 흐르는 평균전류를 뜻한다.

$$\Delta V_{c2} = \frac{Q}{4C_2} = \frac{I_{out}T}{4C_2} = \frac{V_{out}}{4fR_1C_2}$$

따라서 부하에 걸리는 전압 V_{out} 은 $V_{out} = V_0 - \Delta V_{c2} - 2V_{diode}$ 로 나타낼 수 있으며 이를 정리하면 결과적으로 아래와 같은 식이 된다.

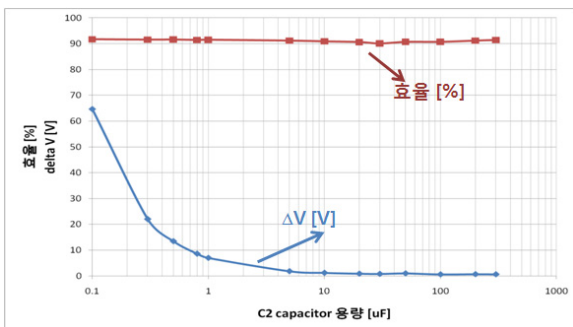
$$V_{out} = (V_0 - 2V_{diode}) \frac{4fR_1C_2}{4fR_1C_2 + 1}$$

위 식을 확인하기 위하여 실제 AC 콘센트의 전압을 측정하고 (210 V_{AC}, 297 V_p), C_1 과 C_2 의 용량을 고정시킨 후 R_1 값을 변화시키며 시뮬레이션 값과 실험값을 비교하였으며 그 결과는 그림 3과 같다.



〈그림 3〉 시뮬레이션과 측정결과 비교

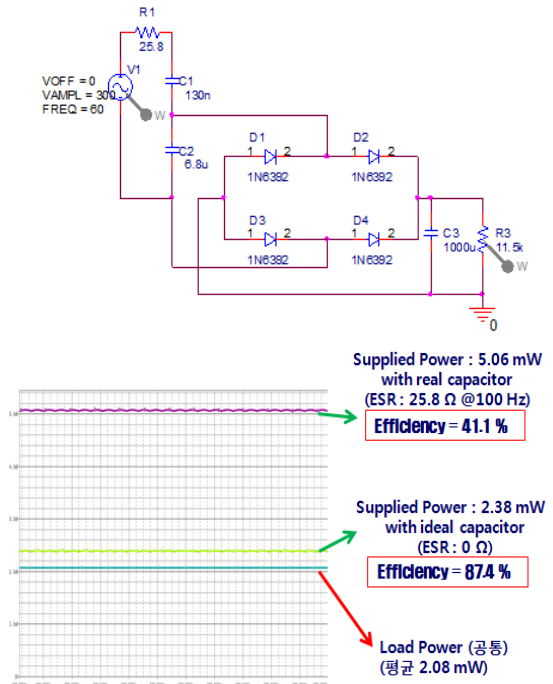
또한 위 식에 의하면 CDPS의 부하 R_1 이 결정될 경우 V_{out} 을 만족시킬 수 있는 C_1 과 C_2 의 조합은 무수히 많다. 본 논문에서 사용된 IR 수신기의 대기모드시 소비전력은 1.2 mW(@3.3 V)이고 MCU의 소비전력은 150 uW(@3.3 V)이며 레귤레이터의 효율은 약 60 %이므로 CDPS로 공급해 주어야 할 대기전력은 2.2 mW이다. 이를 토대로 계산된 부하의 등가저항 R_1 은 11.5 kΩ으로 R_1 을 고정 한 후 C_2 의 값을 변화시키며 효율과 ΔV 값을 시뮬레이션을 통해 확인 해 보았다. 이때 C_1 의 값은 CDPS가 항상 일정한 파워를 공급하도록 변화시켜 가며 시뮬레이션을 진행하였다.



〈그림 4〉 Capacitor의 용량에 따른 효율과 ΔV

위의 결과를 통해 여러 가지 C_1 , C_2 값에 관계없이 일정한 효율이 나

오는 것을 확인할 수 있었으며, ΔV 를 작게 해 회로를 안정적으로 구동시키기 위해선 C_2 의 용량이 커야함을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 설계된 회로는 ΔV 를 작게 해 회로의 동작을 안정적으로 하기 위해 각 커패시터의 용량을 130 nF(C_1)과 6.8 uF(C_2)로 결정하였으며 시뮬레이션을 통하여 효율을 분석하였다. 그 결과는 아래와 같다.

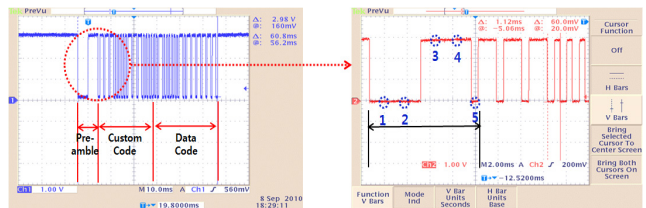


〈그림 5〉 시뮬레이션을 이용한 CDPS의 효율 분석

시뮬레이션 결과 부하에서 사용하는 전력은 2.08 mW이고 다이오드의 전압강하만을 고려하면 CDPS에서 공급해주는 전력은 2.38 mW로 87.4 %의 효율이 나와야 하지만 커패시터의 내부 직렬저항인 25.8 Ω에서 소모되는 전력이 약 2.7 mW이기 때문에 CDPS에서 공급해주는 전력은 5.08 mW로 효율이 약 41 %로 낮아짐을 확인 하였다.

2.1.2 리모컨 ID 체크를 통한 제어 회로부 구동

실험에 사용된 리모컨은 삼성 Pavv 리모컨으로 적외선 수신기의 출력 신호는 아래 그림 5와 같이 신호의 시작을 알리는 Pre-ambble, 제품 고유 ID의 Custom Code, 버튼의 기능을 구별하는 Data Code로 구성되어 있다.

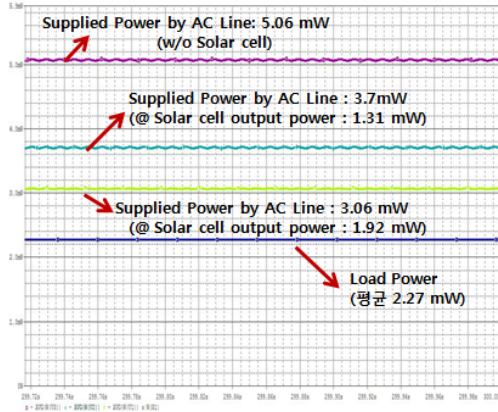
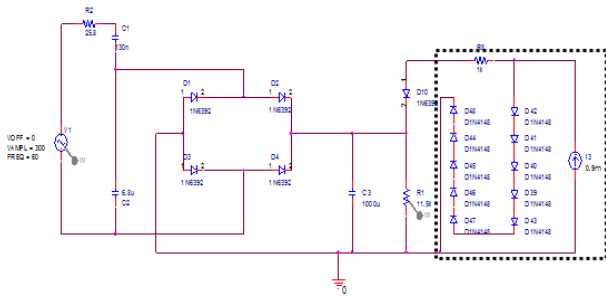


〈그림 6〉 리모컨의 Signal 파형과 ID Check 지점

MCU로 리모컨의 ID를 체크하여 타 제품의 리모컨으로는 동작하지 않게 하기 위하여 Pre-ambble과 Custom Code의 5개 지점의 High/Low를 감지하여 체크한 ID가 일치하면 MCU의 출력단(2,3번 Pin)에서는 교대로 Pulse전압을 출력으로 내보내게 된다. 펄스전압이 출력으로 나오면 저항을 지나 연결된 BJT의 베이스에 전류가 유입되어 BJT가 On이 되고 C_1 커패시터에 충전되어있던 전류가 흐르게 되어 릴레이가 Set 또는 Reset된다. 릴레이가 Set 되면 교류전력선이 연결되어 가전기기가 On되고, Reset되면 교류전력선이 끊어져 가전기기가 Off상태가 된다.

2.1.3 CDPS + Solar Cell을 이용한 대기전력 공급

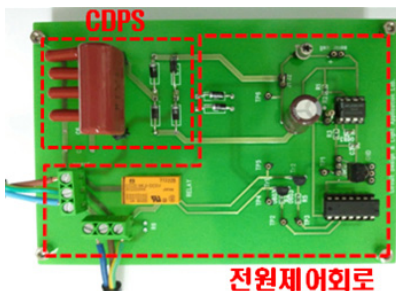
CDPS와 태양전지를 함께 사용하여 대기전력을 공급 할 경우 태양전지에서 공급하는 전력에 따라 교류전력선을 통해 공급받는 전력의 변화를 파악하기 위하여 아래 그림 7과 같이 시뮬레이션을 통하여 그 결과를 확인하였으며 태양전지에서 공급하는 전력이 늘어날수록 CDPS가 공급하는 전력의 양은 줄어든다는 것을 확인 할 수 있었다.



〈그림 7〉 태양전지의 공급 전력에 따른 CDPS의 공급 전력 변화

2.2 CDPS를 이용한 전원제어회로 제작 및 실험 결과

그림 1에 제안된 전원제어 회로를 아래 그림 8과 같이 제작하여 대기 전력 측정 실험을 진행하였다. 실제 제작된 회로의 사이즈는 $135 \times 92 \text{mm}^2$ 이다.



〈그림 8〉 실제 제작된 전원제어회로

실제 제작된 회로를 대기전력이 700 mW인 40 W 모니터에 연결 후 대기 전력을 측정된 결과 본 논문에서 제안된 전원제어 회로를 적용 시 대기전력이 7 mW로 감소함을 확인하였고 $67 \times 150 \text{mm}^2$ 의 실내용 A-Silicon 태양전지를 CDPS와 함께 보조전원으로 사용할 때 조도 640 lux의 환경에서 약 2 mW를 공급해 대기전력이 5 mW로 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 아래 그림 9는 전력계를 사용하여 대기전력을 측정 한 결과이다.



〈그림 9〉 대기전력 측정 자료 (좌 : CDPS, 우 : CDPS + 태양전지)

3. 결 론

본 논문에서는 Capacitive Divider Power Supply(CDPS)를 전원으로 사용하는 고효율 전원제어회로를 제안하였다. 이 회로는 대기모드에서

교류전력선과 전자기기를 물리적으로 완전히 분리한 시킨 상태에서 상용 리모컨으로도 전원제어가 가능하며, 낮은 수준의 소비전력을 요구하는 IR 수신기와 MCU를 사용하여 대기상태에서 소비전력을 최소화 하였다. 또한 대기모드에서 IR 수신기와 MCU에 필요한 전력을 매우 높은 효율을 가지는 CDPS방식을 사용함으로써 대기전력을 10 mW 이하로 낮추었으며, 태양전지를 보조전원으로 사용할 경우 태양전지에서 공급해주는 전력만큼 Power Line으로부터 소비하는 대기전력이 낮아짐을 확인 하였다. 따라서 TV, 에어컨, 셋탑박스 등 리모컨을 사용하는 가전기기에 본 논문에서 제안한 회로를 적용 할 경우 가전기기를 사용하지 않는 동안 소비되는 대기전력을 획기적으로 줄일 수 있다고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 일반연구자 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0011506).

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전기연구원, “대기전력 소비행태조사 및 절전기준 표준화연구”, 산업자원부 에너지기술표준화사업 보고서, 2004.
- [2] 김남균, 서길수, 김상철, 김은동, “한국의 가정용 대기전력 소모현황 조사연구”, 대한전기학회 논문지, Vol. 53A, pp.472~475, 2004.