

대기전력저감을 위한 SMPS

정봉근, 장상호, 김은수[†], 최문기*, 이재삼*
전주대학교, LG이노텍(주)*

SMPS for Low Standby Power Consumption

Bong-Geun Chung, Sang-Ho Jang, Eun-Soo Kim[†], Moon Gi Choi*, Jae-Sam Lee*
Jeonju University, LG Innotek*

ABSTRACT

최근 대기전력저감기능을 갖는 PWM IC를 적용한 플라이백 컨버터는 대기전력 모드 시 Burst 스위칭 동작에 의해 소모 전력을 최소화 할 수 있지만 경 부하 및 대기전력모드 시 변압기를 통해 흐르는 큰 여자전류에 의해 여전히 낮은 효율특성을 가지는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 경 부하 및 대기전력 모드 동작 시 변압기에 흐르는 여자전류를 최소화함으로써 효율을 개선한 회로를 제안하였으며 50인치 PDP TV PSU (Power Supply Unit)에 있어서 대기전력 및 보조전원으로 사용된 74W 플라이백 컨버터에 적용하여 비교 검토하여 보았다.

1. 서론

최근 높아지는 에너지에 대한 관심과 환경적인 문제점 때문에 에너지의 소비를 줄이기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 현재 우리나라 가정에서의 전력소비량 중 약 10%가 대기전력으로 소모 되고 있으며[1], 이로 인해서 발생하는 환경파괴와 에너지 사용의 증가와 같은 문제점을 개선하고자 국제 에너지 기구에서는 모든 가전기기 및 전력기기에 대기전력을 1W 이하로 줄이도록 권고하고 있다. 그러한 대기전력 정책들은 대부분 나라들이 자발적 규제 제도를 가지고 있으나, 최근에는 의무규정으로 채택 해 가고 있는 추세이다.[2] 이에 대응하기 위해 대기전력 저감을 위한 전원장치 기술개발이 활발하게 진행되고 있다.[3, 4] 하지만 이러한 1W 이하의 대기전력저감 제품을 생산하기 위해서는 대기전력만을 공급 할 수 있는 수W정도의 대기전력용 플라이백 컨버터(Flyback Converter)와 같은 전원회로를 추가로 사용하여야 하는데 이는 제품원가상승과 같은 문제점이 야기된다. 따라서 그림 1에 나타 낸 바와 같이 원가절감 차원에서 기존에 적용되었던 60~70W급 플라이백컨버터(Flyback Converter)로 대기전력모드 시 대기전력 전원(Stby 5V/10mA~60mA)을 공급 할 수 있도록 적용하고 있다. 하지만, 60~70W정도 큰 용량의 플라이백 컨버터를 사용하여 동작하게 되면 정격용량에서 전력을 전달 할 수 있도록 설계된 작은 값의 변압기 자화인덕턴스(L_M)를 통해 여자전류가 많이 흐르게 되어 플라이백 컨버터를 구성하는 부품에서 발생하는 손실이 증가되어 효율을 저감시키는 원인이 되고 있다. 이를 해결하기 위해 최근 대기전력저감기능을 갖는 산켄 IC(STR-W6252) 및 Infineon IC(ICE3BR0665J)를 적용한 플라

이백 컨버터는 대기전력 모드 시 Burst 스위칭 동작에 의해 소모 전력을 최소화 할 수 있지만 경 부하 및 대기전력모드 시 변압기를 통해 흐르는 큰 여자전류에 의해 여전히 낮은 효율특성을 가지는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 경 부하 및 대기전력모드 동작 시 효율개선을 위한 회로를 제안하였으며 50인치 PDP TV 전원장치(PSU : Power Supply Unit)에 적용 비교 검토하여 보았다.

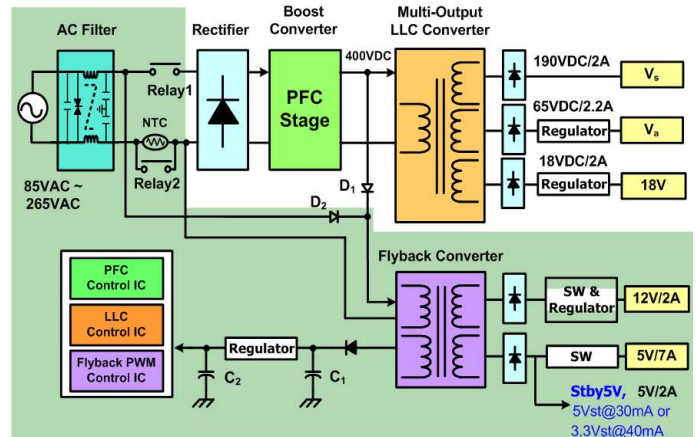


그림 1. PDP TV PSU 주회로 구성도

2. 본론

2.1 주회로 구성

그림 1에 나타낸바와 같이 PDP TV PSU 전원장치의 동작은 실제 동작 시 크게 정상상태동작과 대기전력모드 동작 상태로 나눌 수 있으며 PDP TV PSU 주회로 구성도에서 PDP TV PSU 주전원인 PFC Boost Converter와 Multi-Output LLC Resonant Converter는 동작을 하지 않고 단지 리모트컨트롤을 통해 턴-온/오프 제어가 가능한 상태를 대기전력모드 상태로 정의하고, 리모트컨트롤이나 다른 수동적인 방법을 통해 PDP TV PSU의 모든 전원이 동작하고 있는 상태를 정상모드 동작 상태라 정의한다.

대기전력전원 및 다 출력 보조전원을 위한 플라이백컨버터는 그림 1 및 그림 2에 나타낸 바와 같이 PDP TV PSU 전원장치에 있어서 주전원(V_s, V_a, 18V)이 아닌 70W 정격용량의 보조전원(12V/2A, 5V/7A/2A)을 위해 사용되고 있다. 적용된 플라

이백컨버터의 입력전원은 정상모드 동작 시에는 입력역률개선을 위한 PFC Boost Converter 출력전압(400VDC)에 의해 (D_1)를 통해 공급되고, 대기전력모드 동작 시는 AC 입력 단에 연결된 Relay가 차단되고 단지 AC입력전원 단 (85VAC~260VAC)에 의해 연결된 다이오드 (D_2)에 의해 단상반파정류 된 전원을 공급받아 동작된다. 두 가지 동작모드를 갖는 플라이백 컨버터에 있어서 변압기 설계는 정상동작모드 상태에서 70W 정격부하조건 (5VDC/7A/2A, 12VDC/2A) 및 입력전압조건 (300VDC~400VDC)을 가지고 설계를 해야 한다. 위의 설계 조건을 가지고 변압기 제작 시 플라이백 컨버터의 정격용량에서 전력전달이 되기 위해서는 변압기의 자화인덕턴스(L_M)를 작은 값으로 설계해야한다. 이와 같은 경우 자화인덕턴스(L_M) 값이 줄어들기 때문에 대기전력모드 동작 및 경 부하 동작 시에 작은 값을 갖는 변압기 자화인덕턴스(L_M)에 많은 여자전류가 흐르게 되어 스위칭소자에서의 손실과 변압기 권선에서의 손실, 스너버손실 등이 많이 발생되게 된다. 따라서 이와 같은 손실 발생 문제점을 개선하기위해서 본 논문에서는 플라이백 컨버터의 주회로 동작을 대기전력동작모드와 정상모드의 두 가지 동작모드 상태로 분류 제어하여, 회로의 동작모드 상태에 따라 적용 변압기 자화인덕턴스($L_M \Rightarrow L_M'$) 값을 가변시켜 대기전력모드 동작 시 변압기 여자전류를 최소화함으로써 각 구성품의 발생손실을 저감 할 수 있는 플라이백 컨버터를 제안 적용하였다.

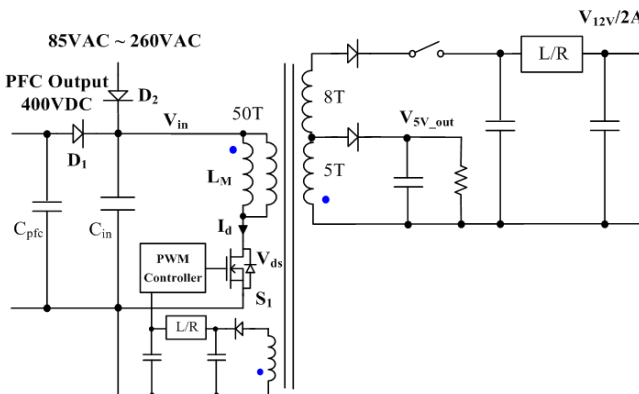


그림 2. 대기전력 및 다 출력 보조전원을 위한 기존 Flyback 컨버터

2.2 대기전력 저감을 위한 제안된 Flyback 컨버터

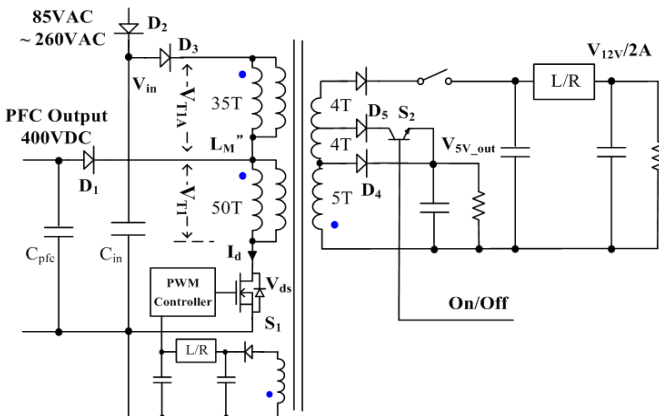
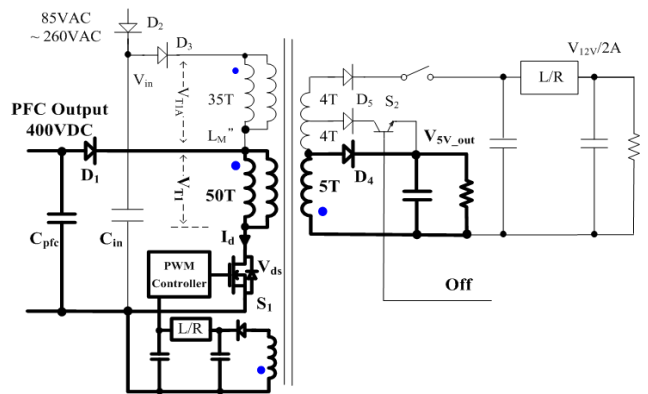
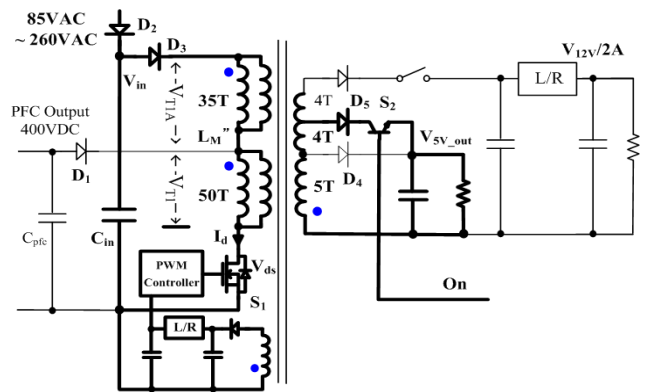


그림 3. 대기전력 저감을 위한 제안된 Flyback 컨버터 1



(a) 정상모드동작 시



(b) 대기전력모드 동작 시

그림 4. 플라이백 컨버터의 동작모드

그림 3은 대기전력 저감을 위한 제안된 플라이백 컨버터이고, 그림 4(a)와 그림 4(b)에 나타난 바와 같이 제안된 플라이백 컨버터는 부하 및 입력전압상태에 따른 제어 조건에 따라 두 가지 동작모드로 동작된다. 그림 4(a)에 나타난 정상모드 상태의 동작은 AC입력전원 단 (85VAC~260VAC)에서 공급된 전력은 차단되고 PFC Boost Converter 출력 단(400VDC)에서 전력을 공급받아 동작된다. 이때는 그림 2에 나타난 기존의 플라이백 컨버터와 동일조건인 변압기 자화인덕턴스(L_M) 및 1, 2차 측 턴-수비(50T/5T)에 의해서 동작을 하게 된다. 그림 4(b)의 대기전력모드 상태에서는 PFC Boost Converter 출력 단에서 공급되는 전력은 차단이 되고 AC입력전원 단 (85VAC~260VAC)에서 공급되는 입력전원으로 플라이백 컨버터가 동작하게 되는데 이때 그림2에 나타난 변압기 50Turn의 1차측 권선에 그림 4(b)에 나타난 것처럼 작은 용량의 전류를 흐릴 수 있는 정도의 권선 굵기를 갖는 35Turn 권선을 직렬로 연결하여 대기전력모드 동작 시 자화인덕턴스(L_M')를 증가시켜 변압기에 흐르는 여자전류를 저감시킴으로 플라이백 컨버터 각 구성부품에서 발생될 수 있는 손실을 최소화하여 대기전력모드 및 경 부하 시 효율을 개선시키고자 하였다. 이때 대기전력모드 동작 시 변압기 1차측 턴-수(85T/5T)가 증가함에 따라 자화인덕턴스가 증가하게 되지만 변압기 2차 측 턴-수(5Turn)가 변함이 없다면 2차 측 5VDC 정전압 제어 시에 주 스위칭소자 턴-오프 시 1차 측으로 유도(Reflected)되는 전압이 증가하여 주 스위칭소자의 턴-오프전압이 증가하게 되고 이에 따라 주 스위칭소자의 스위칭손실 증가 및 스너버 손실이 증가하여 효율

을 저감시키기 때문에 2차 측 턴-수비를 고려하여 설계해야한다. 따라서 본 논문의 실험에서는 변압기 누설인덕턴스 및 여러 조건을 고려하여 정상모드 동작 시와 비슷한 변압기 턴-수비(85T/9T)로 두고 실험 적용하였다.

3. 실험결과

제안된 대기전력저감 주회로인 플라이백 컨버터의 스위칭소자와 다이오드, 스너버 커패시터 및 저항(R,C) 값과 PDP TV PSU의 AC입력부의 필터 및 구성부품 등에 대한 내용을 표 1에 작성하여 나타냈으며, 표 2에는 70W 플라이백 컨버터에 적용된 변압기의 측정 파라미터를 나타냈다. 플라이백컨버터의 제어 및 주스위칭소자는 Power Mosfet와 PWM 전류모드 및 제어 IC를 포함하며 경부하시 Burst Mode로 자동 전환되는 기능을 갖는 산켄(주)의 STR-W6252(650V, 2.7A) Power IC를 가지고 실험하였다.

적용 부품소자		품명
플라이백 컨버터	주스위칭소자 S_1	STR-W6252, 650V, 2.7A
	2차측다이오드 D_4	FCH30A10 100V, 30A
스너버 소자	스너버다이오드	1N4007 1000V, 1A
	스너버커패시터	2200[pF]
	스너버저항	75[k Ω]
PFC출력 단 다이오드 D_2	GPP20M \times 1 1000V, 2A	
AC입력 단 다이오드 D_1, D_3	GPP20M \times 2 1000V, 2A	
AC입력 필터 및 정류부	VARISTOR	14D621K, 385V
	THERMISTOR	DSC-8D, 8[Ω], 5.5[A]
	정류다이오드	GPP20M \times 2 1000V, 2A
	필터인덕턴스	50[uH]
	필터커패시터	1000[pF] \times 2

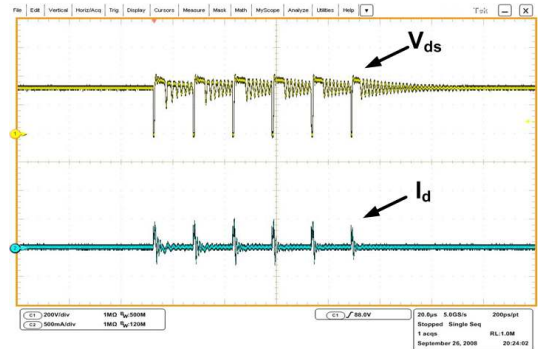
표1. PDP TV PSU AC 입력 단 및 플라이백컨버터 적용 소자

변압기 권선에 따른 각 부분 측정	50T/5T	85T/9T
	측정값	측정값
1차측인덕턴스(L1)	447.16[uH]	1.335[mH]
2차측인덕턴스(L2)	4.69[uH]	15.69[uH]
자화인덕턴스(L_M/L_M')	454.4[uH]	1.321[mH]
1차측 누설 인덕턴스	1.775[uH]	13.65[uH]
등가누설인덕턴스(Leq)	24.2[uH]	87.44[uH]

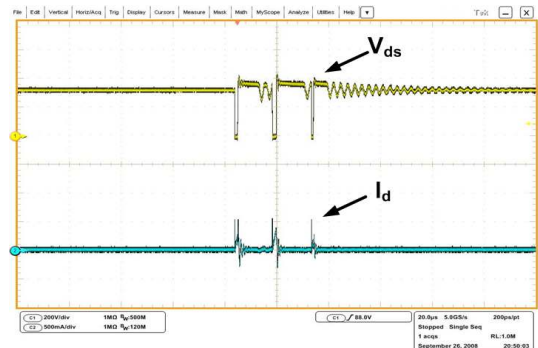
표2. 권선방법에 따른 변압기 파라미터

그림 5의 실험파형은 입력전압 230VAC, 출력/전압전류 5VDC/30mA 조건에서 측정되었고, 그림5 (a), (c)는 기존회로의 대기전력(Stand-by) 동작 모드 시 스위칭소자 S_1 양단전압(V_{ds})과 전류(I_d)의 파형이고 그림 5 (b), (d)는 제안된 회로의 스위칭 소자 S_1 양단전압(V_{ds})과 전류(I_d) 파형이다. 그림 5에 나타낸 바와 같이 제안된 회로는 큰 자화인덕턴스(L_M')에 따라 전류기울기가 완만히 상승하여 대기전력 모드 시 제어 IC(STR-W6252)의 전류모드 제어를 위한 정해진 전류제어 Ref신호에 의해 Turn-off 되는 시점이 길어짐에 따라 턴-온(Turn-on) 시간이 증가하여 변압기 자화인덕턴스에 저장된 에너지가 기존 회로에 비해서 증가하므로 특히 경 부하 및 대기

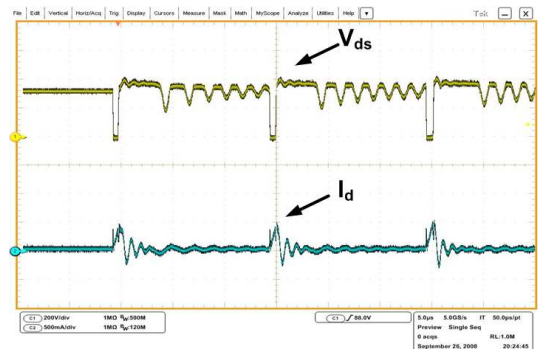
전력동작 모드 시 기존회로에 비해서 자주 스위칭하지 않은 특성을 가지고 있어 Power Mosfet 구동 및 스위칭손실을 최소화할 수 있으므로 효율개선 효과를 얻을 수 있다.



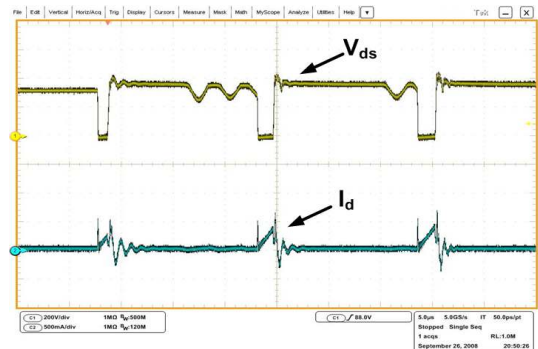
(a) 기존회로 (200V/Div, 500mA/Div, 20us/Div)



(b) 제안된 회로 (200V/Div, 500mA/Div, 20us/Div)



(c) 기존회로 (200V/Div, 500mA/Div, 5us/Div)



(d) 제안된 회로 (200V/Div, 500mA/Div, 5us/Div)

그림 5. 기존 회로 및 제안된 회로의 대기전력모드 동작 시 주 스위칭소자(S_1) 전압, 전류 실험파형 (입력전압 230VAC, 출력/전압전류 5VDC/30mA)

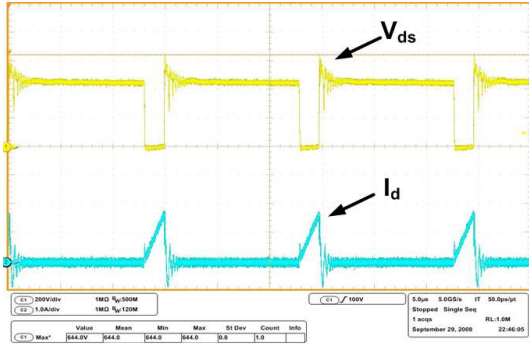


그림 6. 제안된 회로의 정상모드 동작 시 주 스위칭소자 (S_1) 전압. 전류실험파형(입력전압 400VDC, 출력/전압전류 5V/7A) (200V/Div, 1A/Div, 5us/Div)

그림 6은 제안된 대기전력저감 회로에서 정상모드 동작 시 플라이백 컨버터는 AC입력 단 정류다이오드 D_1 에서 입력되는 전원이 아닌 PFC Boost Converter로부터 다이오드 D_2 를 통해 입력되는 전압 400VDC로 동작된다. 부하조건(5V/7A) 및 실험과 측정을 위해 점퍼 및 배선을 길게 연결되어 동작되고 있는 중에서도 스위칭소자의 전압정격 아래에서 안정되게 동작됨을 볼 수 있다.

그림 7과 그림 8에 기존회로 및 제안된 회로에 대해 AC 230V 입력전압조건에서 부하 전류변화(5V, 10mA ~ 60mA)에 따른 효율특성 및 입력소모 전력량을 나타냈다. 출력부하 (5V, 10mA ~ 60mA) 범위에서 기존 플라이백 컨버터보다 전체적으로 15%이상의 효율특성이 향상됨을 볼 수 있었고, 뿐만 아니라 입력소모전력도 기존회로대비 60mW이상 저감된 특성을 확인할 수 있었다.

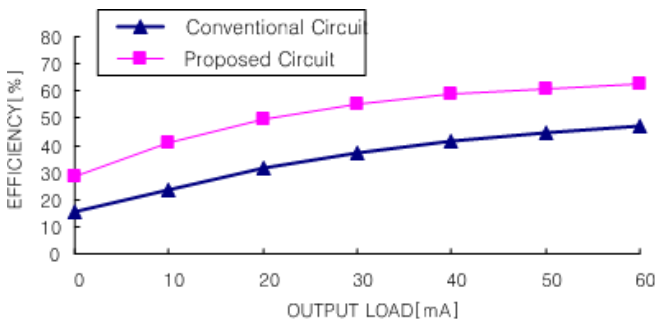


그림 7. 입력전압 230VAC에서 부하전류(5V, 10mA ~ 60mA)에 따른 대기전력모드 동작 시 효율특성비교

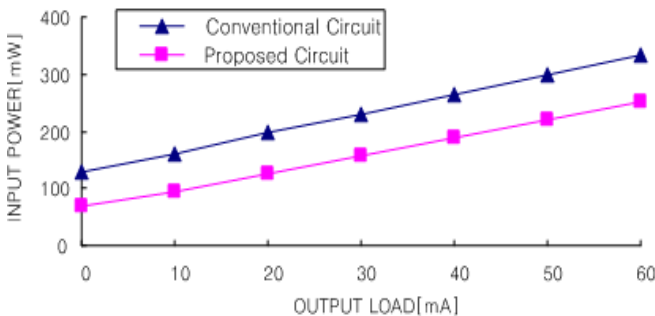


그림 8. 입력전압 230VAC에서 부하전류 (5V, 10mA ~ 60mA)에 따른 대기전력 특성비교

4. 대기전력 저감을 위한 제안된 플라이컨버터 II

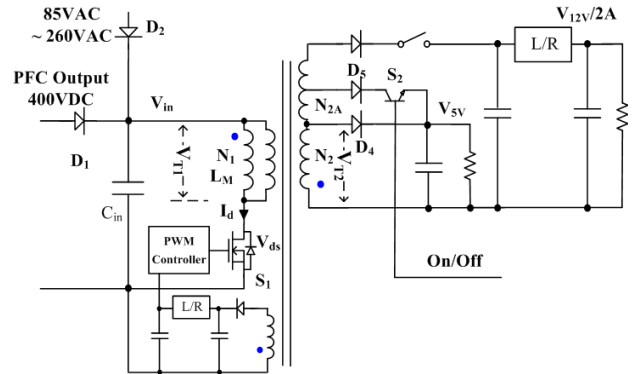


그림 9. 대기전력 저감을 위한 제안된 플라이백컨버터 2

그림 9의 제안된 주회로는 그림3에 나타난 회로와 같이 스위칭소자 (S_2)를 각각 Turn-off(정상동작모드), Turn-on(대기전력 동작모드) 함을 통해서 정상동작모드 동작일 경우와 대기전력 모드 동작 시로 나눌 수 있고,

대기전력모드 동작 동안 플라이백 컨버터 주 스위칭소자(S_1)가 Turn-off 구간동안 변압기 자화인덕턴스(L_m)에 저장된 에너지가 2차 측 권선($N_2 + N_{2A}$)을 통해 전달되고, 전달되는 2차 측 전류에 의해 변압기 1차 측 권선으로 유도된 전압은 더 높아진 2차측 권선($N_2 + N_{2A}$)에 따라 1차 측 권선에 낮은 전압 ($N_1 V_{5V} / (N_2 + N_{2A})$)이 유도되어 변압기와 병렬로 연결되어 있는 스너버 손실 저감과 2차 측의 높은 권선($N_2 + N_{2A}$)에 따른 Burst 모드 동작 시 기존회로에 비해서 Burst 스위칭동작 횟수가 저감됨으로 Power Mosfet 구동손실저감, 스위칭손실 저감 등의 이유로 기존회로보다도 대기전력소모를 최소화 할 수 있다. 추후 이에 대한 연구 내용을 발표하고자 한다.

참고 문헌

- [1] 김남균, "국내 가전기기의 대기전력 현황과 전망", 전력전자학회지제 11권 제4호, 2006. 8
- [2] 김영래, "국제 에너지효율 및 대기전력 규제동향", 전력전자학회지제 11권 제4호, 2006. 8
- [3] Jim-ho Choi, Jung-won Kim, Dong-young Huh, "The new technique for the lowest power consumption in the stand-by of power supply", IEEE PESC2004, pp.741~746, 2004. 6
- [4] 정지훈, 최종문, 권중기, "다출력 컨버터의 대기전력저감에 관한 연구", 전력전자학회 논문지 제12권, 제6호, pp.433~440, 2007. 12.
- [5] Sanken Electric Co., Ltd, "STR-W6200 Series Application Note", 2005. 11.

이 논문은 한국에너지자원기술기획평가원 에너지기술 학술진흥사업 (2007-E-EL-03-P-03) 연구비지원에 의하여 연구되었음