

Capacitor 모델을 이용한 플라이백 컨버터 변압기의 해석

김춘희, 임혜영, 신용환, 신휘범
경상대학교 전기공학과

Analysis of Flyback Converter Transformer with Capacitor Model

Chun-hui Kim, Hye-yeong Im, Yong-hwan Shin, Hwi-beom Shin
Dept. of Electrical Engineering, Gyeong Sang National University

ABSTRACT

플라이백 컨버터는 다른 컨버터에 비해 간단한 구조를 갖고 있기 때문에 가장 많이 쓰이는 저전력용 컨버터 중 하나이다. 일반적으로 플라이백 컨버터에 있는 변압기를 전기적 등가회로를 이용하여 해석해 왔다. 하지만 컨버터의 정밀한 특성을 필요로 하는 최근 추세로 변압기를 근사적으로 표현하는 전기회로의 사용에는 한계가 있다. 이에 플라이백 컨버터 변압기를 Gyrator Capacitor 모델링을 하여 이해하기 쉽고 정확한 분석과 설계를 가능하게 하고자 한다.

1. 서론

플라이백 컨버터는 전기적인 측면과 자기적인 측면을 모두 고려해야 하는데, 현재 플라이백 컨버터를 해석할 때 많이 쓰이는 등가회로는 인덕턴스 등가회로이다. 인덕턴스 등가회로는 자기소자의 특성 중 많은 부분을 숨기고 있기 때문에 자기소자의 물리적인 특징을 알 수 없다는 단점이 있다. 이 등가회로는 자기 모델인 릴럭턴스 모델에 기초를 두고 있고, 이 자기모델은 전기 회로와 바로 연결할 수 없다는 단점이 있는데, 인덕턴스 모델과 릴럭턴스 모델의 단점을 보완한 Gyrator Capacitor^{[2][3]} 모델은 전기 회로와 자기 회로를 연결할 수 있게 하는 모델이다. 이 논문에서는 Capacitor Model^[1]를 이용하여 더 편리하게 Gyrator Capacitor 모델을 분석할 수 있다. Capacitor 모델을 이용하여 누설 성분을 포함한 플라이백 컨버터 변압기를 모델링하고 분석할 것이고, 이를 PSIM 시뮬레이션을 이용하여 결과를 확인할 것이다.

2. Capacitor Model을 적용한 Flyback Converter(DCM)의 분석

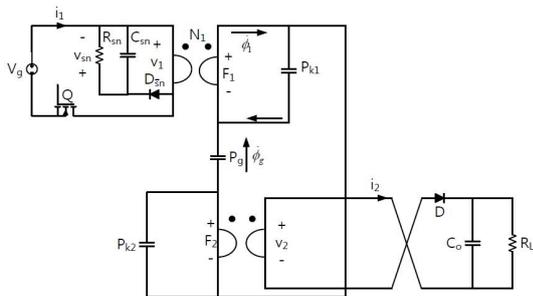


그림1 Gyrator Capacitor 모델로 표현한 단일출력 플라이백 컨버터

플라이백 변압기의 Gyrator Capacitor 모델은 변압기의 구조도 포함하고 있어 더 보기 쉽고 정확한 분석이 가능하다.

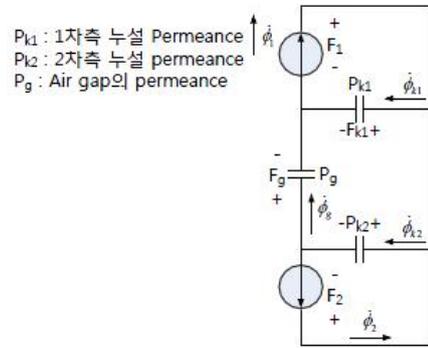


그림 2 플라이백 컨버터의 변압기의 Capacitor 모델

Mode 1 [t₀~t₁] MOSFET Q ON, Diode D OFF

그림3 에서 자속 변화율 $\dot{\Phi}_1 = V_g/N_1$ 은 이고 변하지 않는 상수이다. 그리고 $F'_g = F'_1 = F'_{k1}$ 이고, F'_1 는 다음과 같다.

$$F'_1 = F'_g = \frac{\dot{\Phi}_g}{P_g} = \left(\frac{1}{P_{k1} + P_g}\right)\dot{\Phi}_1 \quad (1)$$

이는 F_1 이 선형적으로 증가한다는 것을 보여주고 F_1 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_1 = \left(\frac{V_g}{N_1}\right)\left(\frac{1}{P_{k1} + P_g}\right)t \quad (2)$$

이를 이용하여 1차측 전류 i_1 를 구할 수 있다.

$$i_1 = \frac{F_1}{N_1} = \left(\frac{V_g}{N_1^2}\right)\left(\frac{1}{P_g + P_{k1}}\right)t \quad (3)$$

1차측 전류는 MOSFET Q가 OFF 될 때 최대값이 되고, 그 시간은 t_1 이다.

2차측의 다이오드에 역바이어스가 걸려서 2차측의 전류는 0이 되고 그 결과 $F_2 (=N_2 i_2)$ 는 0이 된다.

Mode 2 [t₁~t₂] MOSFET Q OFF, Diode D ON

1차측 누설 permeance에 저장된 에너지가 1차측으로 넘어가면서 1차측 전류는 Clamp 회로로 넘어가게 된다. 1차측 전류의 초기값은 1차측 전류의 첨두값 I_{peak} 이며 서서히 줄어들게

된다. F_1 은 F_{k1} 이 걸리게 된다.

그림 3에서 자속변화율 $\dot{\Phi}'_2 = v_2/N_2 = -V_o/N_2$ 이고 변하지 않는다. 그리고 $F'_2 = F'_g = -F'_g$ 이고, F'_2 는 다음과 같다.

$$F'_2 = -F'_g = \frac{\dot{\Phi}'_g}{P_g} = -\frac{V_o}{N_2} \frac{1}{P_g + P_{k2}} \quad (4)$$

이는 F_2 이 선형적으로 감소한다는 것을 보여주고 F_2 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_2 = \left(\frac{1}{P_g + P_{k2}}\right)\dot{\Phi}'_2 t = -\left(\frac{1}{P_g + P_{k2}}\right)\frac{V_o}{N_2} t \quad (5)$$

이를 이용하여 2차측 전류 i_2 를 구할 수 있다.

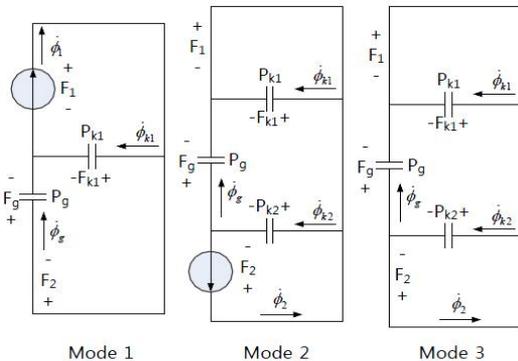
$$i_2 = \frac{F_2}{N_2} = -\frac{V_o}{N_2} \left(\frac{1}{P_g + P_{k2}}\right) t \quad (6)$$

2차측 전류도 1차측 전류와 마찬가지로 MOSFET Q가 OFF 될 때 최대값이 되고, 그 시간은 t_1 이고 이 때 전류를 구해보면 다음과 같다.

$$I_{2peak} = \frac{F_2(t_1)}{N_2} = -\left(\frac{N_1}{N_2}\right)I_{1peak} \quad (7)$$

Mode 3 [$t_2 \sim t_3$] MOSFET Q OFF, Diode D OFF

DCM의 경우는 P_g 의 값이 작기 때문에 2차측 전류의 변화율이 크다. 그래서 전류가 0이 되는 시점이 빨리 오고 P_g 에 남은 에너지는 다시 1차측으로 넘어가게 되는 구간이다.



Mode 1 Mode 2 Mode 3

그림 3 각 Mode별 변압기의 등가회로

3. 시뮬레이션 결과

누설성분이 포함된 Capacitor 모델을 사용한 플라이백 컨버터를 PSIM tool을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시비율은 고정되어 있고, 시뮬레이션 사양은 다음과 같다.

표 1 시뮬레이션 사양

출력전력	10 [W]	출력전압	5 [V]
시비율	0.278	출력전류	2 [A]
입력 전압	38 [V]	스위칭주파수	50[kHz]
자화인덕턴스	87.9 [uH]	공극 Permeance	0.219 [nH]
누설인덕턴스	1.44, 0.09 [uH]	누설 Permeance	3.6, 5.6 [nH]

Capacitor 모델과 인덕턴스 모델을 비교하였을 때, 그림4와 그림 5를 보면 이 두 결과가 유사한 것을 알 수 있고, 이는 이 모델링이 옳게 된 것임을 의미한다. 그리고 이를 실험결과를 통해 분석한 결과가 맞는지 확인해 볼 계획이다.

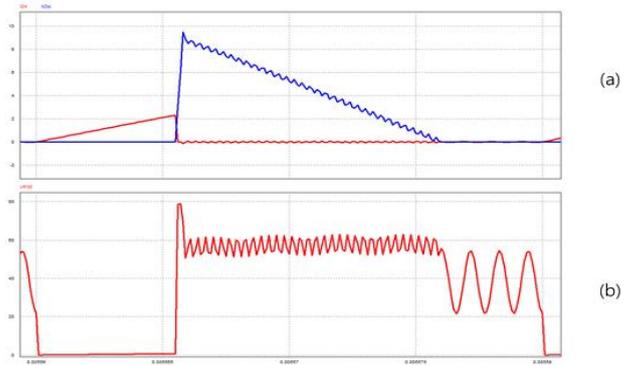


그림 4 Capacitor 모델의 시뮬레이션결과 (a) 1,2차측 전류, (b) MOSFET Q에 걸리는 전압

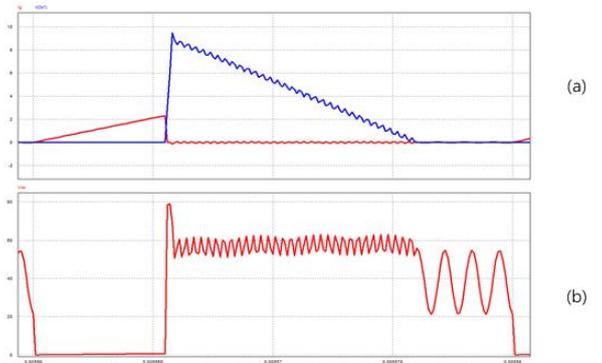


그림 5 인덕턴스 모델의 시뮬레이션 결과 (a) 1,2차측 전류, (b) MOSFET Q에 걸리는 전압

4. 결론

본 논문에서는 누설 성분이 포함된 단일 출력 플라이백 컨버터를 Capacitor 모델을 이용하여 자기적인 입장에서 모델링, 분석하였고 이를 시뮬레이션을 통해서 검증하였다. 자기적인 측면과 전기적인 측면을 모두 고려한 이러한 모델을 이용하여 플라이백 뿐만 아니라 자기 소자가 들어간 다른 회로에서도 더 정확한 분석이 가능할 것이다.

이 논문은 경상대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] Liang Yan, Brad Lehman "A Capacitor Modeling Method for Integrated Magnetic Components in DC/DC Converters", IEEE Transactions, 2005. pp.987-996
- [2] D. C. Hamill, "Lumped equivalent circuits of magnetic components: the gyrator - capacitor approach," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 8, no. 2, pp. 97-103, April 1993
- [3] D. C. Hamill, "Gyrator-capacitor modeling: A better way of understanding magnetic components," in Proc. APEC94, vol.1, pp. 326-332, Feb 1994
- [4] Fundamentals of Power Electronics, 2nd Ed. Erickson, Chapter 13