

적분기를 이용한 Cuk 컨버터의 순시추종형 PWM 제어

손제봉 · 정순용 · 김광태[☆] · 이우석
부산 정보 대학

Instantaneous Following PWM Control Strategy of Cuk Converter Using Integrator

Shon Je Bong · Jeong Soon Yong · Kim Kwang Tae[☆] · Lee Woo Seok
Pusan Info-Tech College

Abstract - Instantaneous following PWM control technique is pulsed nonlinear dynamic control method. This new control technique using analog integrator is proposed to control the duty ratio D of Cuk converter. In this control method, the duty ratio of a switch is exactly equal to or proportional to the control reference in the steady state or in a transient. Proposed control method compensates power source perturbation in one switching cycle, and the average value of the dynamic reference in one switching cycle. There is no steady state error nor dynamic error between the control reference and the average value of the switched variable. Experiments with Cuk converter have demonstrated the robustness of the control method and verified theoretical prediction. The control method is very general and applicable to all type PWM.

데는 하나의 스위칭 사이클(one switching cycle)이 소요되며, 스위칭 변수의 평균치와 제어 변수 사이에는 어떤ダイ나믹한 오차나 어떤 정상상태 오차도 존재하지 않는다. 따라서 제안된 제어 기법은 빠른 다이내믹한 응답성과 전원전압 변동에 대한 탁월한 보상 특성과 강인한 동작 특성 및 스위치 오차의 자동 보상 특성을 갖는다.

제안된 기법은 가변 주파수 스위칭 제어에까지 확장 할 수 있음은 물론 범용으로 사용가능하며, 공진 컨버터의 전압 및 전류제어와 PWM 컨버터를 제어하는 데에도 적절하게 적용할 수 있다 [1-3]. 이 후에 본 제어 기법의 동작원리에 대하여 설명하기 위하여 벡 컨버터(buck converter)에 적용하여 실험한 결과를 제시한다. 이 제어기법은 어떤 형태의 스위치 제어에도 일반화 할 수 있으며 비연속 모드와 스위칭 에러 자동 보상기능도 있음을 알 수 있다[4].

1. 서론

아나로그 적분기를 이용한 새로운 비선형 제어 기법인 순시추종형 PWM 제어기법은 일정한 스위칭 주파수로 동작한다. 이 제어기법은 스위칭 컨버터의 펄스 변조에 있어서 비선형성(nonlinear nature)이 갖는 장점을 갖는 것은 물론 스위칭 변수의 평균값을 순시 다이내믹 제어(instantaneous dynamic control)를 가능하게 한다. 특히 전압과 전류 전류제어에 있어서 스위칭 변수의 평균값이 과도상태 다음에 새로운 안정된 상태에 도달하는

2. 제어의 개념

그림1.은 Cuk 컨버터의 개요도이다. 직류 전원 전압원은 V_{DC} 이고, Cuk 컨버터의 주 스위치는 IGBT로 표시하였다. 주 스위치 다음 단의 다이오드 D 는 주 스위치 S 와 동기되어 자동으로 스위칭 동작을 하며, 스위치 블록 S 는 일정 주파수 $f_s=1/T_s$ 로 동작한다.

$$V_D = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_D dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{DT_s} V_{DC} dt \quad (1)$$

식 (1)은 스위칭 출력전압인 다이오드 양단전압의 평균치를 말하며, 이때 다이오드 전압의 평균값(V_D)은 DT_s 동안에 출력되는 펄스 상의 다이오드 전압을 적분하여 스위칭 주기로 나눈 값으로 계산된다.

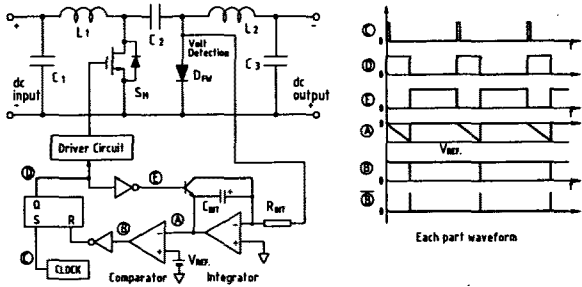


그림 1. Cuk 컨버터의 개요도

이 식을 기본으로 하여 일정한 주파수로 스위칭 제어되는 새로운 제어를 설계하면 그림 1.의 Cuk 컨버터 주 회로아래에 있는 제어회로가 된다. 제안된 제어회로는 clock에 의하여 정주파수로 동작한다. 그림에서 보는 것과 같이 스위칭 출력 전압인 다이오드 전압은 적분기에서 적분되고, 적분 결과는 비교기를 통하여 제어 기준값과 비교된다. 적분된 다이오드 전압 V_D 가 제어 기준값에 도달되면, 즉시 비교기의 상태는 변화될 것이다. 그리고 비교기의 변화에 동기 되어 컨버터의 주 스위치를 턴 오프 시키고, 이와 동시에 적분기를 영으로 다시 리셋 시키게 된다. 제어회로의 주요 파형은 그림 1.의 파형과 같다.

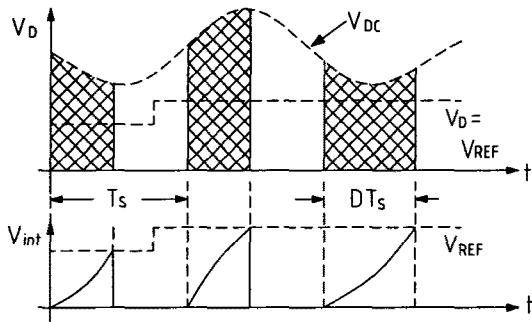


그림 2. 전원전압이 변동시 가변제어 특성

그림 2.는 전원 전압이 변동되고 제어 기준 전압이 가변 될 때 제어기의 추종제어특성을 나타낸다.

그림에서 에서 보는 것과 같이 적분기에서 적분되는 적분전압의 기울기(경사면)가 전원전압의 크기에 비례함을 알 수 있다. 그리고 적분값은 일정한 값을 갖는 제어 기준치와 연속적으로 비교된다. 전원전압이 높으면, 적분값의 경사는 급격하게 되므로 적분값은 빠른 시간 내에 제어 기준값 V_{REF} 에 도달하게 된다. 따라서 스위칭 듀티비는 작아질 것이다. 이와 반대로 전원전압이 낮은 경우에는 적분값의 기울기가 완만하기 때문에 제어 기준값 (V_{REF})에 도달하는 시간이 길어지므로 스위칭 듀티값(D)는 크진다. 따라서 다이오드 전압의 평균값은 일정한 값으로 제어됨을 알 수 있다.

3. 스위칭 오차의 자동 보정

지금까지 컨버터의 주 스위치가 이상적이라고 가정하고 설명하였다. 그러나 실제의 전자 스위치는 온 상태전압이 존재하고 온 및 오프 상태에서 과도적인 스위칭 특성이 나타난다. 그러나 제안된 제어방식의 경우에 있어서 적분기의 리셋 시간이 주 스위치의 스위칭 시간 보다 실제로 아주 적다면, 이러한 오차는 자동으로 보정 됨을 쉽게 알 수 있다.

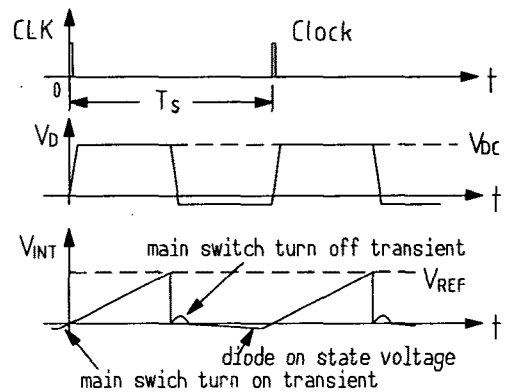


그림 3. 스위칭 소자의 스위칭 특성과 적분전압

그림 3.에서 보는 것과 같이 주 스위치는 턴 온 및 오프 시간을 가지고 있다. 그리고 다이오드가 휠링 전류를 흘릴 동안 다이오드 양단에는 그림과 같이 전압강하가 발생된다. 이때 적분기는 그림 3.

에서 보인 주 스위치의 턴 온 및 턴 오프 과도상태와 다이오드의 온 상태 전압 모두를 적분하는과정에서 보상하고 있음을 알 수 있다.

4. 실험결과

그림 4는 전원이 변동될 때 제어기의 추종 특성을 나타내고, 그림 5는 제어기의 기준전압이 변동될 때 제어기의 추종특성을 나타내는 사진이다.

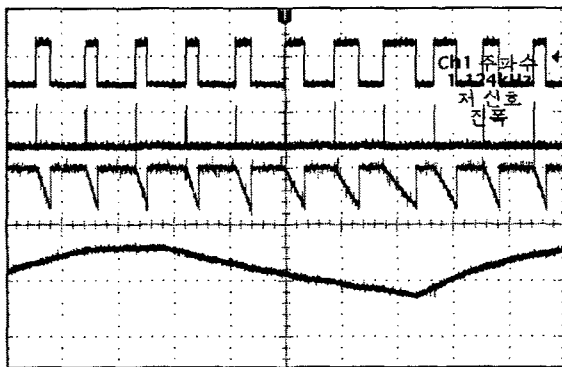


그림 4. 전원 변동시 제어기의 추종특성

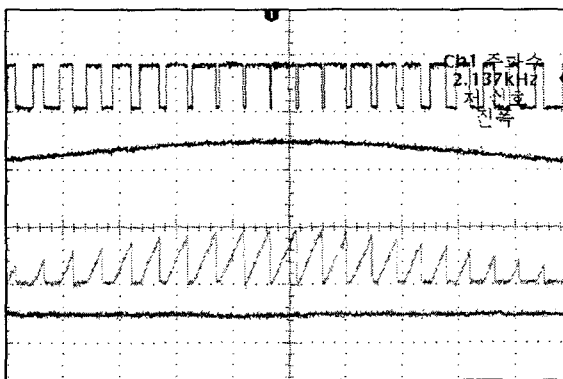


그림 5. 기준전압 추종특성

5. 결론

제안된 제어기법은 입력 전원 전압에서 어떠한 형태의 전원 교란이 발생하여도 한 싸이클 내에 이를 추종하여 보정한다. 제어 형식은 정 주파수 비선형 제어 스위치로 동작하지만 제어 결과는 선형제어의 결과를 얻는다. 오차 신호를 추종하여 보정하는 시간은 스위칭 주파수에 의해서 결정된다.

전원전압에 어떠한 형태의 전압 변동이 발생되어도 스위칭 주파수가 30[kHz]인 경우 평균17[uS] 이내에 이를 보상하여 추종 제어한다. 그리고 제어 기준값이 변하는 경우는 물론 불연속인 경우도 제어 기준값에 이를 추종 제어함을 알 수 있다.

스위칭 주파수는 주 전류의 크기와 스위칭 소자의 종류에 따라 다르지만 소용량인 경우 MOSFET를 주 스위칭 소자로 사용할 경우 100[kHz] 이상 높일 수 있으며 이대 보정하여 추종제어하는 시간은 10[uS] 이하가 됨을 알 수 있다. 정상상태는 물론 과도 상태에 대해서도 모두 안정된 제어 특성을 갖고 있다.

본 연구에서는 Cúk 컨버터를 사용하여 제어기의 특성을 조사하였으나 이외의 어떠한 컨버터에 대해서도 우수한 제어 특성을 나타낸다. 제어 이론과 실험결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. 제어회로에 아나로그 적분기를 사용하므로 회로가 간단하고 정밀제어가 이루어짐을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] K. M. Smedley and S. Cúk, "One-cycle control of switching converter," in *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 1991 Record, pp. 1173-1180.
- [2] A. Capel, G. Frrante, D. O'Sullivan, and A. Weinderg, "Application of the injected current mode fore the dynamic analysis of the switching regulators with the new concept of LC² modulator," in *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 1978 Record, pp. 135-147.
- [3] C. W. Deisch, "Simple switching control method changes power converter into a current source," in *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 1978 Record, pp. 300-306.
- [4] R. D. Middlebrook and S. Cúk, "Advances in switched mode power conversion vol. I, II, & III," TESLAcO 1981 and 1983.