

아나로그 적분기를 이용한 리플전압 순시추종 보상 제어기

Ripple Voltage instantaneous following Compensation Controller using Analogue Integrator

김광태*, 김상돈**, 고희석#, 이현우#
*부산정보대, **경남애니메이션고교, #경남대학교

K.T. Kim*, S.D. Kim**, H.S. Gho#, H.W. Lee#
*Busan Info-Tech College, **Kyungnam Animation High School, #Kyungnam University

Abstract - 대용량의 직류 전원을 연속적으로 얻기 위한 가장 손쉬운 방법은 상용 교류전력을 정류하여 사용하는 것이다. 이렇게 얻어진 직류 전압 원은 리플을 포함하는 문제와 허용된 범위에 있지만 전압 변동율이 존재하게 된다. DC-DC 컨버터나 인버터 제어에서 이러한 문제를 해결하기 위하여 많은 연구가 행해지고 있다. 그러나 보상제어시간이 길거나 제어나 제어 이론이 복잡하여 시스템이 복잡하게 되는 등 각각의 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 아나로그 적분기의 적분시간이 적분기 입력전압의 크기에 반비례하는 원리를 이용하여 이 펄스 변조 스위칭 컨버터를 순시 추종 제어하는 방법을 제시한다. 제안된 제어방법의 주요 특징은 정주파수로 동작한다. 보상제어시간은 스위칭 주기를 기본단위로 추종제어 한다. 제어결과는 한 주기의 평균치로 추종 제어한다. 정상상태는 물론 과도 상태에서도 정확하게 지령치에 추종하여 제어됨을 알 수 있다.

1. 서 론

스위칭 전력변환 시스템은 펄스 변조 방식의 비선형 시스템이다. 이러한 전력변환 시스템이 적절한 펄스 변조 방식으로 제어 될 때 시스템은 동급의 선형 피드백 시스템보다 강인하고, 전원전압의 변동에 대해서도 보다 안정된 보상특성을 갖는다. 따라서 전력전자분야의 연구자들에 의해서 전력변환시스템을 제어하기 위한 대전력용 비선형 제어에 대한 연구가 계속 되고 있다.

종래의 피드백 제어에서 듀티비는 오차신호가 제로가 되도록 선형 변조되었다. 이러한 방법은 전원 전압이 갑자기 크게 상승하였을 때 스위칭 듀티비 제어에서 에리신호는 즉시 제로가 되지 못하기 때문에 듀티비의 제어도 순시적으로 추종되지 못하였다. 그리고 표준의 과도적인 오버 샷 전압이 나타났다고 할 때 과도현상이 일어나는 시간은 루프 이득 밴드

폭에 의해서 검출되므로 계가 안정상태에 들어가기 위해서는 상당한 수의 스위칭 사이클이 경과되어야 함을 알 수 있다[1].

이러한 불일치 때문에 전류 모드 제어 컨버터는 하나의 스위칭 사이클 내에서 전원 전압의 교란을 보상하는 것은 불가능하게 된다. 경우에 따라 제어 기준 값이 다이내믹하게 변한다면, 전류 모드 제어에서는 제어기준 값을 추종할 수도 없고, 어떠한 형태의 인위적인 램프 신호를 취하거나 어떠한 형태의 컨버터를 사용한다고 해도 한 사이클 동안에 전원 전압의 변동분을 보상 할 수 없게 된다.

본 연구에서 제안된 제어기는 아나로그 적분기를 이용한 새로운 비선형 제어 기법을 사용한 순시추종형 PWM 제어기를 제시한다. 제어기는 일정한 스위칭 주파수로 동작하며 특징은 스위칭 컨버터의 펄스 변조에 있어서 비선형성이 갖는 장점을 갖는다. 동작은 제어 지령치의 평균값에 순시추종제어하며, 입력 전압과 제어 기준 값에 변화될 경우에도 이러한 변화에 즉시 추종하여 제어한다. 실험결과와 제안된 과도추종특성이 잘 일치함을 알 수 있었다.

2. 본 론

2.1. 적분 제어기

그림 1은 아나로그적분기를 이용한 순시추종 PWM 제어기의 개용도이다. 적분 제어기의 회로 구성은 적분기와 정주파수 클럭 발생기와 비교기와 PWM 제어기로 구성되어있다. 동작의 특징은 아나로그 적분기를 이용하여 전원의 리플전압을 순시 추종하여 한 사이클 단위로 평균치가 일치되게 보상한다.

제어회로에서 정주파수 클럭(const. freq. clock) 회로는 적분 제어기 동작의 기준이 되는 클럭 신호를 발생한다. 아나로그 적분기(analog integrator)는 클럭 신호에 동기 되어 보상하여 제어 될 리플전압을 적분한다.

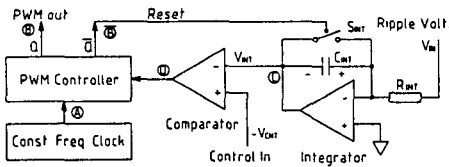


그림 1. 적분 제어기의 개요도

정주파수 클럭 발생회로는 PWM 제어기와 함께 매 스위칭 동작의 시작점에서 주 스위치를 턴 온 시킨다. 아나로그 적분기는 주 스위치가 턴 온 되는 시점과 동기 되어 리플이 포함된 전원전압을 적분하며, 적분 값(V_{INT})이 제어 기준 값(V_{CNT})과 같아지는 시점에서 주 스위치를 턴 오프 시키고, 이와 동시에 적분 값도 다시 초기치(제로 볼트)로 리셋시킨다.

2.2 정현파 제어

그림 2는 제어 기준 값을 정현파로 한 경우 적분 제어기의 추종 제어 특성을 나타낸다. 이 경우에도 스위칭 출력 전압은 제어기준치에 추종하여 출력전압이 한 사이클의 평균치로 제어됨을 알 수 있다. 제어 지령치가 정현파인 경우 매 사이클을 기본 단위로 평균치를 일치시키는 방법으로 제어되므로 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{T_s} \int_0^{DT} V_{IN} dt = V_p \sin t \quad (1)$$

위 식에서 $V_p \sin t$ 는 제어 기준 전압이 정현적으로 변하는 정현파 함수임을 나타낸다. 스위칭 사이클의 듀티비는 식에서 알 수 있는 것과 같이 바로 앞 스위칭 사이클의 어떤 조건이나 상태와 전혀 무관함을 알 수 있다. 따라서 스위칭 기준 값이 정현적으로 변하는 경우에도 적분 제어기는 한 사이클 내에 제어출력의 평균치를 제어 기준 값에 추종하여 제어하고, 전원 전압의 리플도 보상한다.

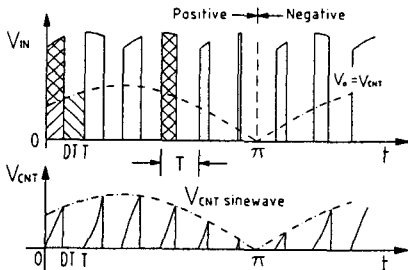


그림 2. 제어기의 가변전압 제어특성

2-3. 리플전압특성

그림 3은 교류를 DC로 변환하는 과정에서 발생되는 대표적인 리플전압 파형을 나타낸다. DC-DC 컨버터나 인버터에 사용되는 정류된 직류전원은 이러한 리플 성분을 포함하게 되고, 아울러 전압변동율도 함께 포함하게된다. 이외에도 비정규적인 잡음성 전압도 포함 될 수 있다. 따라서 제어기는 이러한 파형에 대한 보상특성을 가져야 한다.

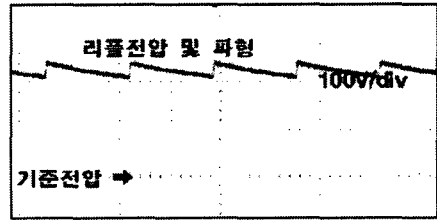


그림 3. 표준적인 리플전압 파형

2-4. 직류 정전압 특성

본 연구에서 제안된 적분 제어기의 보상 및 추종 제어 특성을 조사하기 위하여 벽 컨버터에 이를 적용하였다. 그림 4는 벽 컨버터와 적분 제어기의 기본회로를 나타내는 개요도이다. 직류 전원 전압원은 V_{IN} 이고, 벽 컨버터의 주 스위치는 MOSFET로 표시하였다. 주 스위치 다음 단의 다이오드 D는 주 스위치 S와 동기되어 자동으로 스위칭 동작을 하므로 주 스위치 S와 다이오드 스위치를 합하여 스위치 블록이라 부르기도 한다. 스위치 블록은 일정 주파수 $f_s=1/T_s$ 로 동작한다.

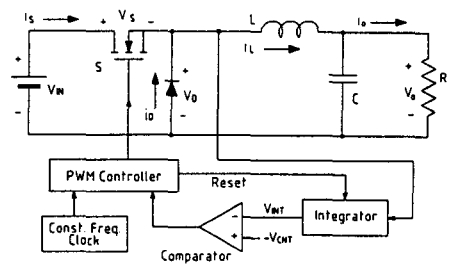


그림 4. 적분 제어기에 의한 벽 컨버터 제어

다이오드 양단에 나타나는 스위칭 출력전압(V_D)을 면밀하게 관찰해보면, 벽 컨버터의 출력전압은 스위칭 출력전압의 평균값이 됨을 쉽게 알 수 있다. 그리고 매 스위칭 순간 출력전압(V_{DAV})은 순시적으로 $V_D=V_{IN}$ 의 관계가 성립하므로 다음 식 과 같이 쓸 수 있다.

$$V_{DAV} = \frac{1}{T_s} \int_0^{DT} v_D dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{DT} V_{IN} dt \quad (2)$$

위 식에서 V_{DAV} 는 스위칭 출력전압인 다이오드 양단전압의 평균치를 말한다. 이 식에서 알 수 있는 것과 같이 부하에 공급되는 출력전압의 평균치는 다이오드 양단 전압(전원전압)을 DTs 동안에 적분하여 스위칭 주기로 나눈 값이 됨을 알 수 있다.

3. 실험 결과

3-1. 제어회로

실험은 제안된 적분 제어기가 제안 방법대로 잘 동작하며 원하는 특성을 만족하고 있음을 증명하는 방법으로 시행하였다. 그림 5는 제안된 적분 제어기의 제어회로를 나타낸다.

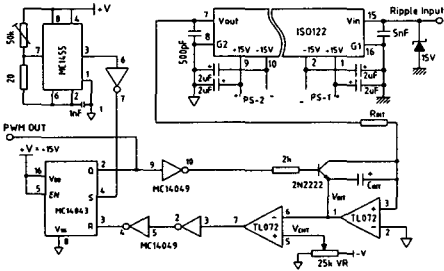


그림 5. 순시 추종 PWM 제어기

정주파수 클럭회로는 555 타이머를 사용하여 설계하였고, 정주파수 클럭 f_s 는 50[kHz]로 발진하도록 하였다. PWM 제어기는 SR 플립플롭을 사용하였으며, 정 주파수 클럭에 의하여 매 사이클의 시작점에서 세트된다. 이 세트 신호에 의한 플립플롭의 출력(active high)은 컨버터의 주 스위치를 턴 온시키고, 동시에 적분기를 동작(active low)시킨다. 주 회로에서 검출되는 전압(실험 회로의 다이오드 전압)은 분배기를 통하여 강압시킨 후 ISO122 절연 앰프를 통하여 제어회로의 적분기로 입력되게 하였다. 적분기는 TL072 OP Amp.를 사용하였으며, 적분은 입력저항 R_{INT} 와 적분 캐패시터 C_{INT} 를 통하여 적분된다. 적분기의 리세트는 고속 트랜지스터 2N2222A를 사용하였다.

3-2. 주 회로

그림 4에서 제시된 백 컨버터의 주 회로의 회로 정수는 다음과 같다. $V_{IN}=150[V]$ 이고, 주 회로의 인덕터 L은 600[μ H], 캐패시터 C는 1000[μ F], 부하저항은 50[Ω]을 사용하였다.

3-3. 정전압 제어특성

그림 6은 전원 전압에 리플이 포함되어 있을 때 일정한 기준 값으로 제어한 경우 적분제어기의 추종 특성을 나타낸다. 이 실험파형에서 보는 것과 같이 전원에 리플을 포함하고 있는 경우에도 제어기는 이를 추종하여 제어하고 있음을 알 수 있다. 이에 따라 적분되는 전압의 경사(추이)는 전압의 변화에 추종하여 변화되며 최종적으로 제어 기준 값에 도달하게 될 것이다. 따라서 전원전압의 변화는 직접적으로 또한 순시적으로 스위칭 듀티비 D에 영향을 미쳐서 다이오드 전압의 평균치를 매 사이클마다 제어 기준 값이 되게 제어 할 것이다.

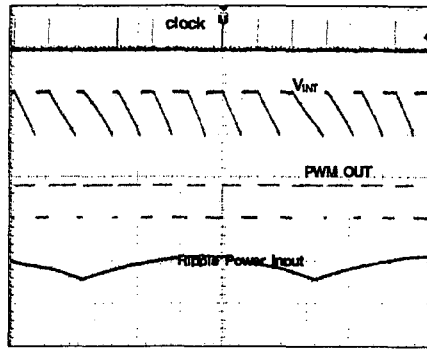


그림 6. 제어기의 일정전압 제어특성

3-4. 가변전압 제어특성

그림 7은 정현파 제어를 할 경우 적분 제어기의 순시 정현파 추종 제어 특성을 보여준다. 본 파형을 통하여 제어기는 정현파를 사용할 경우에도 잘 추종하고, 동시에 전원의 리플을 잘 보상하고 있음을 알 수 있다.

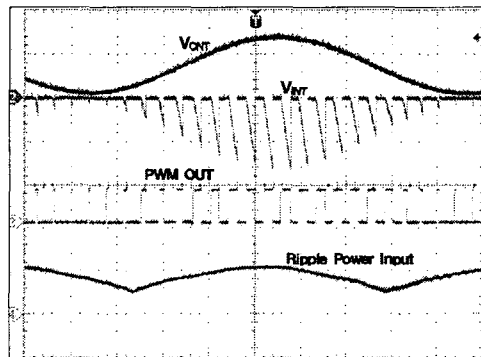


그림 7. 제어기의 가변전압 제어 및 보상 특성

3-5. 과도응답특성

그림 8은 적분 제어기의 과도적 응답특성을 관찰하기 위하여 제어 기준 전압으로 구형파를 사용하였다. 이 경우도 제어기는 제어 기준값에 순시추종하고 아울러 보상하고 있음을 알 수 있다.

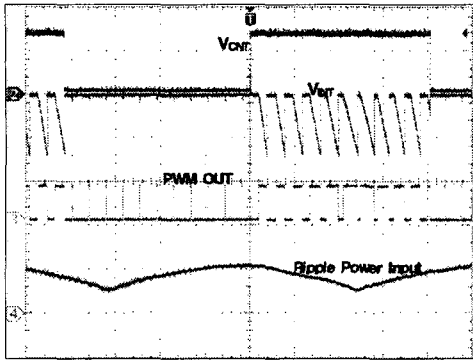


그림 14. 적분 제어기의 과도 응답 특성

[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 LC^2 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.
- [5] F. C. Schwarz, "Engineering Information on an analog signal to discrete time interval converter(ASDTIC)," NASA CR-134544, 1972.
- [6] Z. Lai and K. Smedley, "A new extension of one-cycle control and its application to switching power amplifier," in Proc. 1994 IEEE Applied Power Electronics Conf. and Extension-ASPEC'95. Dallas. TX, vol.2, pp.635-641, Feb.5-9, 1995.