3상 인터리브드 벅컨버터의 해석 및 설계

서현욱, 변병주, 권완성, 한동화, 반충환, 최규하,김동진*
건국대 전기공학과 전력전자 연구실(KOPEL),선광엘티아이*

Analysis and Design of Three Phase Interleaved Buck Converter

Hyou Uk Seo, BB Joo, CH Ban, DH Han, WS Kwon, Gyu Ha Choe ,DJ Kim*
Konkuk Univ. Electrical Engineering, SUNKWONG*

ABSTRACT

본 논문은 직류배전에서 신재생에너지와의 연계를 위한 3상 인터리브드 벅 컨버터의 제어 및 동작원리, 시뮬레이션을 다루었다. 인터리브드의 정확한 설계에 기반이 되는 인터리브드 벅 컨버터의 구성 및 동작원리 에 대하여 서술하고, 3상 인터리브드 벅 컨버터의 제어를 위한 제어기를 설계하여 PSIM 9.0을 사용하여 검증하였다. 또한 같은 스팩의 벅 컨버터와 비교하여 각 부의 전류 및 전압이 어떤 차의를 가지는지 살펴보았다.

1. 서 론

최근 디지털 부하의 증가로 인해 변환효율을 최소화 할 수 있는 직류배전에 관심이 증대대고 있다. 직류배전은 가정내에 직류를 공급하는 것을 말하나 신재생에너지와 연계시 신재생에너지로부터 발전된 에너지를 교류전압 및 직류전압으로 변환해 주는 장치가 요구되어진다.

본 논문에서는 신재생에너지와 교류출력 사이에 위치하는 DClink전압으로부터 가정내로 직류를 공급하는 장치를 다루며, 이전의 연구에서 기존의 교류전압에 대하여 안정적인 동작 및 손실저감을 꾀할 수 있는 가정내에 공급될 직류전압의 대하여 연구된 바 있다.[1] 이 전압은 기존의 교류전압의 실효치와 같은 220[Vdc]로써 본 논문에서는 이 전압을 출력으로 가지는 강압형 컨버터를 해석하고자한다.

인터리브드 방식의 벅 컨버터는 기존에 사용되었던 단일구성의 벅 컨버터에 비해 많은 이점을 가진다.[2] 이는 입력단의 리플저감및 전류분배의 효과를 가져와 전류의 품질 및 손실의 관점에서의 효율 상승을 기대 할수 있다. 이러한 효과는 인터리브드 방식의 구성으로 입력전류의 위상차를 발생시켜, 상의 중첩으로 인한 리플의 상쇄효과에서 기인한다.

본 연구에서는 기존의 단일구성 벅컨버터와 인터리브드 방식의 컨버터의 장단점 및 인터리브드 방식의 제어, 설계, 동작원리를 다루고자한다.

2. 인터리브드 벅 컨버터의 연구

2.1 인터리브드 벅 컨버터의 구성 및 동작

3상 인터리브드 벅 컨버터의 전체 구성은 그림 1과 같다. 직

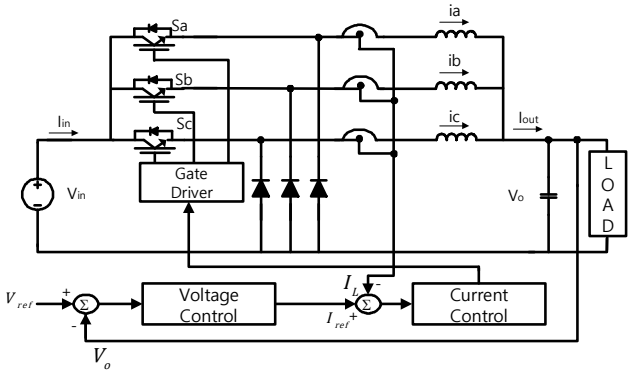


그림 1 3상 인터리브드 벅 컨버터 시스템
Fig. 1. Three phase Interleaved Buck Converter System

류배전을 위한 인터리브드 방식의 컨버터는 3대의 단일 벅컨버의 병렬연결의 하드웨어부와 신호처리, 3상의 위상차 및 스위치 온 오프 지령을 발생시키는 제어부로 구성된다.

컨버터의 전력부는 3개의 인덕터, 다이오드, 스위치로 구성되어진다. 또한 입, 출력 부에 커패시터를 설치하여 전원의 안전성을 기하는 필터부 역시 컨버터 구성의 주요 구성 부분이다. 전력부 동작은 3개의 스위치가 120° 의 위상차를 가지고 그림 1과 같이 스위치 Sa, Sb, Sc 가 순차적으로 On/Off되는 방식으로 작동된다. 이러한 동작으로 입력측 및 출력측의 전압 및 전류 리플은 기존의 단일구성 벅컨버터에 비해 3배의 주파수를 가지며 상의 중첩으로 인해 저감될 수 있다.

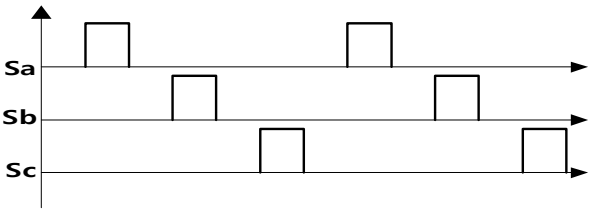


그림 2. 컨버터의 스위칭 온-오프 순차도
Fig. 2. Time Table of Interleaved Converter Switching

2.2 인터리브드 벅 컨버터의 제어부 설계

인터리브드 벅 컨버터는 출력단 전압제어로 출력전압을 일정한 값으로 제어한다. 제어기는 Outer loop의 전압제어기와 Inner Loop의 전류제어기의 2중루프 제어기법을 사용하여 속

응성 및 안정적인 동작을 수행한다.

1) 전압 제어기

인터리브드 벅 컨버터의 출력전압 커패시터에 흐르는 전류에 의한 식으로 구성되어지며 출력전압과 커패시터의 전류의 관계식은 아래와 같다.

$$V_o = \frac{1}{C_o}\int i_{Co} \cdot dt \quad (1)$$

이로 시스템의 전달함수는 적분기로 구성되어지며, 전달함수는 아래와 같이 주어진다.

$$G(S) = \frac{1}{S \cdot C_{DClink}} \quad (2)$$

전압제어기를 PI제어기로 사용하면, 페루프 전달함수는 아래의 식과 같다.

$$G(S) = \frac{V_{CB}}{V_{CB}^*} = \frac{k_{Pv} \cdot S + k_{Iv}}{C_B \cdot S^2 + k_{Pv} \cdot S + k_{Iv}} \quad (3)$$

극배치 기법에 따라 전압제어기의 비례게인 k_{Pv}와 적분게인 k_{Iv}를 구하면 아래의 식(4)와 같다.

$$k_{Iv} = \omega_n{}^2 C, \qquad k_{Iv} = \omega_n{}^2 C \quad (4)$$

2) 전류제어기

인터리브드 벅 컨버터의 빠른 동적응답을 위해 전압제어기 루프내에 전류제어기를 포함시켜 각상의 인덕터전류를 제어한다. 전압제어기의 출력의 전류지령치는 각상전류의 합으로써 이를 N개로 나누어 각상별 전류지령을 형성시킨다.

인덕터 L_a를 지나는 전류를 전압방정식으로 표현하면 인덕터의 전류는 아래의 식(5)와 같이 표현된다.

$$L\frac{di_{La}}{dt} = V_{in} - V_o \quad (5)$$

전류제어기를 PI제어기로 사용하면, 페루프 전달함수는 아래의 식(6)과 같이 얻어진다.

$$G(S) = \frac{i_{La}}{i_{La}^*} = \frac{k_{PI} \cdot S + k_{Ii}}{L_B \cdot S^2 + k_{PI} \cdot S + k_{Ii}} \quad (6)$$

극배치법에 따라 k_{Pi}와 k_{Ii}를 구하면 아래와 같다.

$$k_{Pi} = 2\zeta\omega_n L_a\ , \quad k_{Ii} = \omega_n{}^2 L_a \quad (7)$$

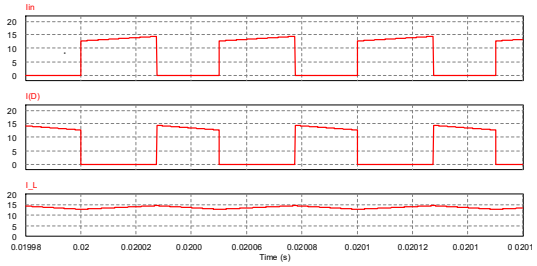
2.3 인터리브드 벅 컨버터의 시뮬레이션

인터리브드 벅 컨버터의 제어기 설계의 타당성 및 단일 벅 컨버터와의 비교를 위하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레인션은 PSIM 9.0을 이용하였다.

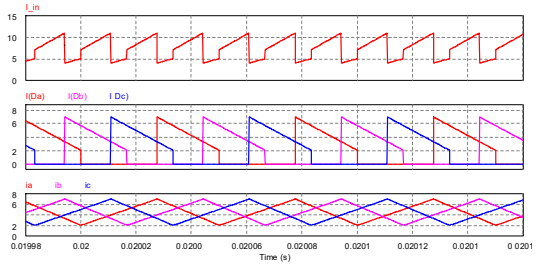
시뮬레이션에서 사용된 단일 및 3상 인터리브드 벅 컨버터의 전기적사양은 다음의 표 1과 같다.

표 1 벅 컨버터와 인터리브드 벅컨버터의 사양
Table1. Buck Converter and interleaved Buck Converter Spec

	단일구성 벅 컨버터	3상 인터리브드 벅 컨버터
입력전압	400[Vdc]	400[Vdc]
출력전압	220[Vdc]	220[Vdc]
용량[W]	3000[W]	3000[W]
인덕턴스	3[mH]	1[mH] * 3
스위칭 주파수	20[kHz]	20[kHz]



(a) 단일구성 벅 컨버터의 입력, 다이오드, 인덕터 전류



(b) 인터리브드 벅 컨버터의 입력, 다이오드, 인덕터 전류

그림 3. 각부 전류파형
Fig. 3. The current waveforms of each part

그림 3은 단일 구성 및 인터리브드 방식의 각부 전류파형을 보여주고 있다. 앞서 언급한바와 같이 입력전류의 리플은 단일구성의 벅컨버터에 비해 3배의 주파수를 가지며, 연속전류로 동작하고있으며, 모든 전류의 리플이 감소한 것을 확인할 수 있다.

3. 결과 검토 및 결론

본 논문에서는 DC 배전 시스템의 신재생 에너지와 연계하기 위한 3상 인터리브드 벅 컨버터 구현에 기반이 되는 동작구성 및 동작 원리, 제어기 설계 방법에 대하여 다루었으며, 또한 단일 벅 컨버터와 비교하여 인터리브드 벅 컨버터가 어떤 전압 및 전류의 특징을 가지는지를 비교 하여 입력전류의 3배의 주파수를 가지며, 연속전류로 동작하며, 모든 전류 리플이 감소한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 장점은 배전시스템과 같은 대용량의 시스템에서 손실저감 효과와 안정성 증대를 기대할 수 있는 중요한 기술이라 판단되어진다.

ㅇ 본 연구는 지식경제부 에너지자원기술개발사업의 일환(2009T100100100)으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Young Jin Lee, “하이브리드 급전을 위한 다양한 가정용 교류부하의 직류특성연구”전력전자학회논문지

[2] Michael O'Loughlin, "An Interleaving PFC Pre Regulator for High Power Converters", Texas Instruments. Topic

[3] Rais Miftakhutdinov “Optimal design for an interleaved synchronous buck converter under highslew rate, load current transient conditions”,Texas Instruments Incorporated