

EMTP를 이용한 직류배전계통 연계용 양방향 DC/DC 컨버터 모델링

Modeling of Bi-directional DC/DC Converter for Connecting DC Distribution System using EMTP

한 준* · 김 두 응* · 오 윤 식* · 권 기 현* · 노 철 호* · 정 택 현* · 김 철 환†
(Joon Han · Doo-Ung Kim · Yun-Sik Oh · Gi-Hyeon Gwon · Chul-Ho Noh · Tack-Hyun Jung · Chul-Hwan Kim)

Abstract - With development of electrical power system, the DC distribution system has been considered as a promising technology to be used in the future smart distribution system. Among the various components comprising the DC distribution system, the bi-directional DC/DC converter is one of the most important equipment to interconnect between main power system and various renewable resources such as photovoltaic power generation, wind power generation, and electrical vehicles. In this paper, a bi-directional DC/DC converter based on three-phases interleaved method which is effective to reduce ripple of input current and output voltage is modeled using ElectroMagnetic Transient Program(EMTP), and the verification of modeled bi-directional DC/DC converter is conducted.

Key Words : Bi-directional DC/DC converter, DC distribution system, EMTP, Interleaved

1. 서 론

최근에 디지털 부하의 급속한 확대와 더불어 신재생 에너지의 수요가 점차 커지면서 직류 방식의 전력계통에 대한 필요성이 대두되고 있는 추세이다. 현재 사용되는 교류 방식의 경우, 전력공급이 교류로 이루어짐에 따라 다수의 전력 변환 과정을 거친 후에 직류 전원으로 사용되고 있지만, 변환 과정을 거치는 동안에 수많은 전력변환 기기들이 사용될 뿐만 아니라 전력변환에 따른 손실이 발생하게 된다. 또한, 신재생 에너지원의 설비가 점차적으로 증가함에 따라 직류 전원을 출력하는 전원장치가 늘어나고 있으며, 이러한 전원 장치들과 메인 계통과의 연계를 위해서는 현행 방식인 교류 형태로의 변환이 요구된다. 하지만, 이는 불규칙한 출력 특성을 갖는 신재생 에너지원의 이용 효율을 더욱 저하시키는 주요 원인으로써 작용할 수 있다[1-2].

이러한 문제점으로 인해 전 세계적으로 전력에너지의 효율성을 높이고 에너지 손실은 절감하기 위한 노력이 이루어지고 있으며, 하나의 솔루션으로써 직류 기반의 전력계통 도입이 새로운 방안으로 떠오르고 있다[3-4]. 이러한 관심 속에 직류 계통을 구축하기 위한 다양한 토폴로지에 대한 연구가 수행되고 있으며, 토폴로지를 구성하는 수많은 구성요소 중에서도 신재생 에너지와 같은 직류 출력의 전원장치들과 메인 계통을 직접 연결하기 위한 양방향 DC/DC 컨버터

의 역할은 매우 중요하다고 볼 수 있다[5]. 그러나, 전력계통 과도현상 해석 프로그램 중 하나인 ElectroMagnetic Transient Program (EMTP)은 직류배전계통에서 가장 중요한 구성요소 중 하나인 컨버터 모델을 제공하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 직류배전계통 연구를 위한 초석으로 EMTP를 이용하여 계통 연계용 양방향 DC/DC 컨버터의 모델링을 수행하였다. 기존에 연구가 진행되었던 다양한 방식의 양방향 DC/DC 컨버터 구조 중에서 전류 흐름의 다분화와 상의 수만큼 분배된 위상차의 발생으로 전류 간 리플 전류의 상쇄효과를 통해 입력 전류 및 출력 전압 리플의 감소에 가장 효과적인 인터리브드 방식을 적용하였다. 이를 구현하기 위하여 EMTP 프로그램에서 제공하는 MODELS 기능을 통해 회로 내 스위치 신호 및 펄스 신호의 제어를 수행하였으며, 모델링 된 컨버터의 출력 전압 및 리플 특성을 확인함으로써 모델링 된 컨버터의 정확성을 검증하였다.

2. 양방향 DC/DC 컨버터

양방향 DC/DC 컨버터는 기본적으로 절연(isolated)형과 비절연(non-isolated)형으로 구분할 수 있다. 일반적으로 절연형의 양방향 DC/DC 컨버터는 컨버터 내부의 변압기를 통해 전압의 승압 및 강압을 쉽게 조절할 수 있는 장점이 있으나, 절연형 타입의 내부에 사용되는 변압기로 인해 전력 변환 장치 자체의 부피가 크게 증가한다는 단점이 있다. 반면에, 비절연형의 양방향 DC/DC 컨버터는 비교적 구조가 간단하고 효율이 높으며, 절연형에 비해 무게가 절감된다는 장점이 있다[6]. 비절연형의 양방향 DC/DC 컨버터 구조는 현재보다 높은 효율을 지향하기 위해 다양한 방식들이 제안되었으나, 그 중에서도 인터리브드 방식은 각 상에 흐르는 전류의 크기가 다상으로 분배되므로 전력소자의 전류 스트레스를 저감시킬 수 있으며, 이로 인해 전력소자 크기와 전

* Dept. of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea

† Corresponding Author : Dept. of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea

E-mail : hmwkim@hanmail.net

Received : February 11, 2014; Accepted : April 25, 2014

류의 정격이 감소되고 입력 전류 및 출력 전압의 리플이 감소하는 특징이 있다[7-8].

2.1 3상 인터리브드 양방향 DC/DC 컨버터 동작

일반적으로, 다상 인터리브드 방식의 양방향 DC/DC 컨버터는 각 상이 360°/N상의 위상차를 가지고 스위칭 동작을 수행한다. 본 논문에서는 3상 인터리브드 방식을 고려하였으므로 스위칭 동작 사이의 위상차는 120°가 된다. 그림 1은 본 논문에서 고려한 비절연형 타입의 3상 Half bridge 양방향 DC/DC 컨버터를 나타낸 것이며, 기본적으로 스위치와 인덕터, 그리고 다이오드로 구성된 형태이다[6]. 그림 1에서 확인할 수 있듯이, 양방향 컨버터의 동작 모드는 동작이 이루어지는 방향에 따라서 Boost 모드와 Buck 모드로 구분된다.

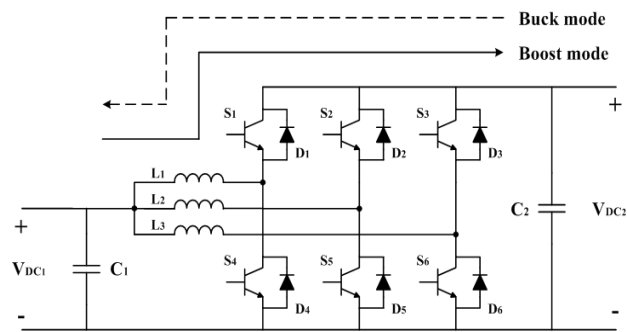


그림 1 Half bridge 양방향 DC/DC 컨버터
Fig. 1 Half bridge type of bi-directional DC/DC converter

2.2 3상 인터리브드 방식의 동작 모드

2.2.1 Boost 동작 모드[9]

그림 2는 양방향 DC/DC 컨버터가 Boost 모드로 동작하는 경우의 동작 시퀀스를 나타낸 것이다. 컨버터가 Boost 모드로 동작을 하기 위해서는 S₄, S₅, S₆이 주 스위치로 사용되어 On/Off 제어가 되며, S₁, S₂, S₃의 역병렬 다이오드 D₁, D₂, D₃은 환류다이오드로 동작한다.

S₄, S₅, S₆ 스위치가 On이 되면, 그림 2의 (a)와 같이 V_{DC1} 측의 충전된 전기 에너지가 스위치를 통해 인덕터에 자기 에너지를 축적한다. S₄, S₅, S₆ 스위치 Off 시에는 그림 2의 (b)와 같이 V_{DC1} 측의 전기 에너지와 인덕터에 축적된 에너지가 D₁, D₂, D₃을 통해서 부하 측으로 전달되어 V_{DC2}의 전압이 상승하는 원리이다. 이와 같이, Boost 모드는 낮은 V_{DC1} 측의 전압을 V_{DC2} 측에서 요구하는 전압으로 승압시켜 줌으로써 부하에 대한 안정적인 전압원이 될 수 있도록 전압을 유지시켜 준다. V_{DC2} 측의 경우 일정한 전압으로 유지되고 있기 때문에 필요한 전기 에너지를 V_{DC1}로부터 지속적으로 공급받게 된다. 최종적으로 컨버터가 Boost 모드인 경우 출력 전압인 V_{DC2}는 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{DC2} = \frac{V_{DC1}}{1-D} \quad (1)$$

여기서, V_{DC2} : Boost 모드 시의 출력단 전압
V_{DC1} : Boost 모드 시의 입력단 전압
D : 듀티비

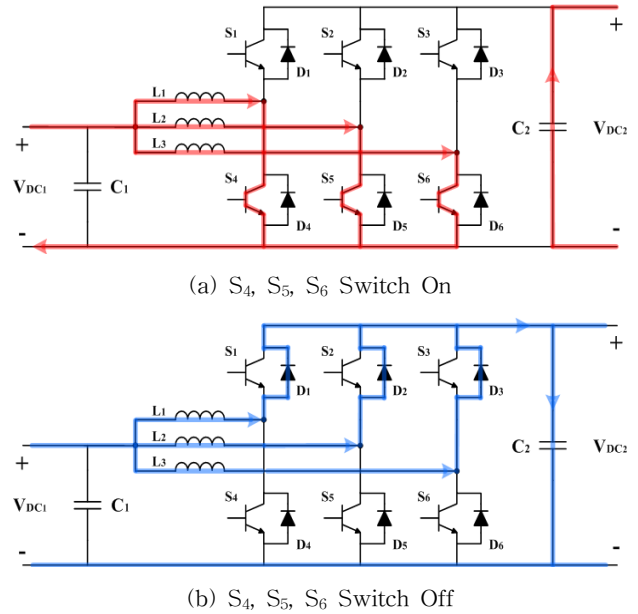


그림 2 양방향 DC/DC 컨버터의 Boost 모드
Fig. 2 Boost mode of bi-directional DC/DC converter

다음 그림 3은 양방향 컨버터가 Boost 모드로 동작할 경우의 출력 파형을 나타낸 것이다.

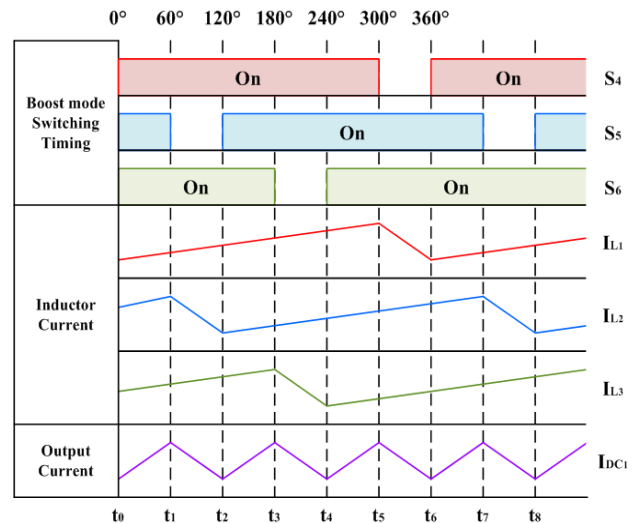


그림 3 Boost 모드의 출력 파형
Fig. 3 Output waveform of Boost mode

그림 2의 (a)에서 S₄, S₅, S₆ 스위치는 각각 L₁, L₂, L₃ 소자를 거쳐 흐르는 전류의 이동 경로가 된다. 따라서 그림 2에서 각각의 스위치가 On 상태가 되는 시간 동안에는 각 스위치와 연결된 인덕터 소자에 흐르는 전류는 증가하고, 스위치가 Off 상태 시에는 전류가 감소한다. 이는 그림 3에서 확인할 수 있으며, 각 스위치 소자들 간 스위칭 동작 사이의 위상차는 120°이다. 즉, 각 인덕터 전류의 총합인 입력 전류는 위상차를 갖는 전류가 중첩됨으로써 리플 상쇄 효과를 얻게 되며, 이는 전류뿐만 아니라 출력 전압에 대한 리플 감소의 효과로 이어진다.

2.2.2 Buck 동작 모드[9]

그림 4는 양방향 DC/DC 컨버터가 Buck 모드로 동작하는 경우의 동작 모드를 나타낸 것이다. 컨버터가 Buck 모드로 동작하기 위해서는 S₁, S₂, S₃이 주 스위치로 사용되어 On/Off 제어가 되며, S₄, S₅, S₆의 역병렬 다이오드 D₄, D₅, D₆은 환류다이오드로 동작한다.

컨버터가 Buck 모드로 동작할 경우, S₁, S₂, S₃ 스위치가 On이 되어 그림 4의 (a)와 같이 V_{DC2} 측의 전기 에너지가 스위치와 인덕터를 거쳐 V_{DC1} 측으로 전달되어 저장된다. 반면에 S₁, S₂, S₃ 스위치 Off 시에는 L₁, L₂, L₃에 축적된 전기 에너지가 D₁, D₂, D₃을 통해 환류되어 설계된 값만큼 전압이 강압함으로써 제어가 되는 원리이다. 최종적으로 컨버터가 Buck 모드인 경우 V_{DC1} 측의 출력 전압은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{DC1} = V_{DC2} \times D \tag{2}$$

여기서, V_{DC1} : Buck 모드 시의 출력단 전압
 V_{DC2} : Buck 모드 시의 입력단 전압
 D : 듀티비

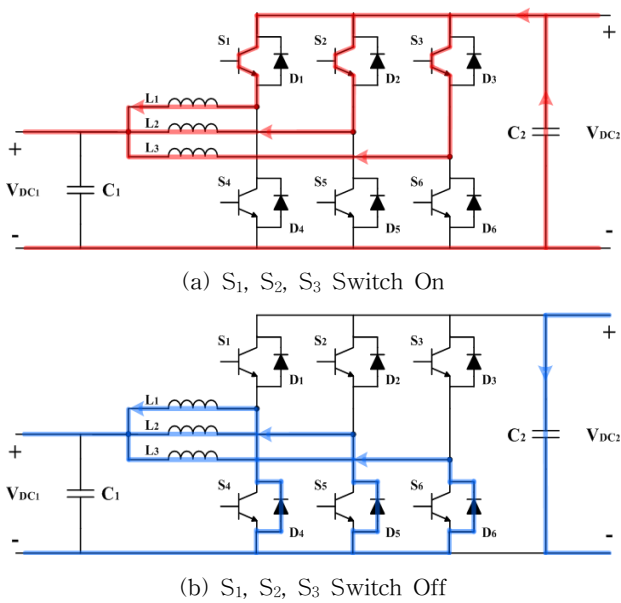


그림 4 양방향 DC/DC 컨버터의 Buck 모드
 Fig. 4 Buck mode of bi-directional DC/DC converter

그림 5는 양방향 컨버터가 Buck 모드로 동작할 경우의 출력 파형을 나타낸 것이다. 그림 5의 (a)에서 S₁, S₂, S₃ 스위치는 각각 L₁, L₂, L₃ 소자를 거쳐 흐르는 전류의 이동 경로가 된다.

Buck 모드 시에는 Boost 모드와는 반대로 각각의 스위치가 On 상태가 되는 시간 동안에는 각 스위치와 연결된 인덕터 소자에 흐르는 전류는 감소하고 스위치가 Off 상태 시에는 전류가 증가한다. 각 스위치 소자들 간 스위칭 동작 사이의 위상차는 120°로 동일하다. Buck 모드로 동작할 경우에도 입력 전류가 위상차를 갖고 각 인덕터 소자에 분배되어 흐르므로 전류 및 출력 전압에 대한 리플이 감소하게 된다.

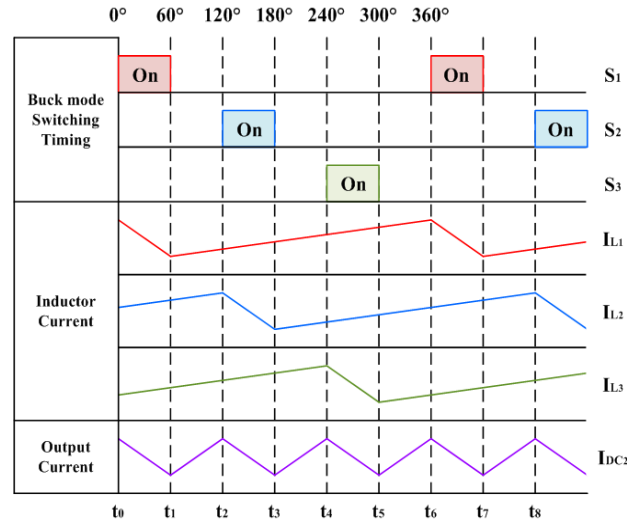


그림 5 Buck 모드의 출력 파형
 Fig. 5 Output waveform of Buck mode

3. EMTP를 이용한 양방향 DC/DC 컨버터 모델링

3.1 배전계통 모델링

EMTP를 이용하여 양방향 DC/DC 컨버터의 모델링을 수행하기 위하여 그림 1을 바탕으로 그림 6과 같은 회로도를 구성하였다.

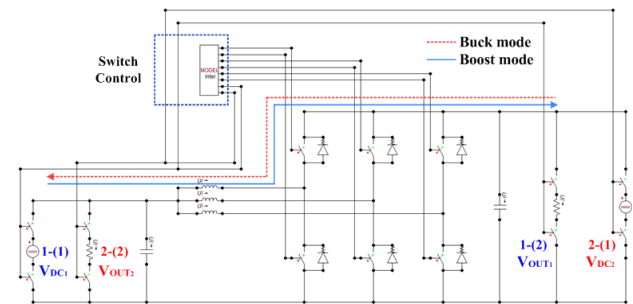


그림 6 양방향 DC/DC 컨버터 모델링
 Fig. 6 Modeling of bi-directional DC/DC converter

그림 6의 양방향 DC/DC 컨버터 모델링 회로에서 양방향 동작을 수행하기 위하여 2개의 전원부와 2개의 출력부를 구성하였다. 만약 컨버터가 Boost 모드로 동작할 경우 1-(1)과 1-(2)에 연결된 스위치는 On, 2-(1)과 2-(2)에 연결된 스위치는 Off 상태로 제어되며, 따라서 1-(1)에 해당하는 V_{DC1}이 전원 측이 되고 1-(2)의 V_{OUT1}이 부하 측이 된다. 2-(1)과 2-(2)에 연결된 스위치는 개방 상태이므로 Boost 모드 회로에 영향을 끼치지 않는다.

이와 반대로, 컨버터가 Buck 모드로 동작할 경우에는 2-(1)과 2-(2)에 연결된 스위치는 On, 1-(1)과 1-(2)에 연결된 스위치는 Off 상태로 제어된다. 즉, 2-(1)에 해당하는 V_{DC2}가 전원 측이 되고 2-(2)에 해당하는 V_{OUT2}가 부하 측이 되어 동작하는 원리이다. 이 경우에는 1-(1)과 1-(2)에 연결된 스위치는 개방 상태이므로 Buck 모드 회로에 영향을 끼치지 않는다.

Switch Control 부분은 EMTP 프로그램에서 제공하는 MODELS 기능을 통해 회로 내 스위치 신호 및 펄스 신호를 제어하는 부분으로써, 양방향 DC/DC 컨버터의 Boost 모드와 Buck 모드를 구분하여 동작하기 위한 제어부로 사용된다. 즉, 컨버터의 동작 모드에 따라서 스위치 신호를 제어하여 각 동작 모드에 따라 요구되는 스위치의 On/Off 동작이 이루어지며, 입력된 펄스 신호의 120° 위상 이동을 통해 3상 인터리브드 방식을 구현하기 위한 펄스 신호 제어가 수행된다. 다음 그림 7은 Switch Control 부분에 대한 EMTP/MODELS 코드의 일부를 나타낸 것으로써, 변수의 설정이나 펄스 신호의 입력 및 스위치 신호 등이 제어되는 부분이다.

```

Text Editor
File Edit Character Done Help
MODEL inter
OUTPUT S1,S2,S3,S4,S5,S6,SW1,SW2
VAR S1,S2,S3,S4,S5,S6,SW1,SW2,p1,p2,p3
FUNCTION pulse_train1(amp1,width,period,tshift):=amp1*(((t-tshift+period) MOD period)<width)
FUNCTION pulse_train2(amp1,width,period,tshift):=amp1*(((t-tshift+period) MOD period)<width)
FUNCTION pulse_train3(amp1,width,period,tshift):=amp1*(((t-tshift+period) MOD period)<width)
INIT
S1:=0
S2:=0
S3:=0
S4:=0
S5:=0
S6:=0
SW1:=0
SW2:=0
p1:=0
p2:=0
p3:=0
(1) 변수 설정
(2) 스위치 신호 및 펄스 신호 제어를 위한 초기값 설정
ENDINIT
EXEC
p1:=pulse_train1(1,2.5e-4,5e-4,0)
p2:=pulse_train2(1,2.5e-4,5e-4,1.66e-4)
p3:=pulse_train3(1,2.5e-4,5e-4,3.33e-4)
(3) 펄스 신호 입력
    
```

그림 7 EMTP/MODELS 코드의 일부
Fig. 7 Part of EMTP/MODELS code

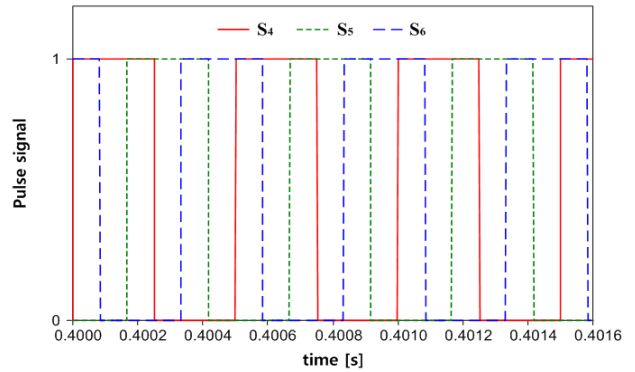
그림 7에 제시한 MODELS 코드 내부의 펄스 함수를 통해 생성된 펄스 신호는 한 주기가 0.5[ms]이고, 펄스가 On 상태를 유지하는 시간은 0.25[ms]로 설정하였다. 따라서, 듀티비 D는 식 (3)을 이용하여 0.5의 값으로 계산된다.

$$D = \frac{S_{on}}{S_{on} + S_{off}} \quad (3)$$

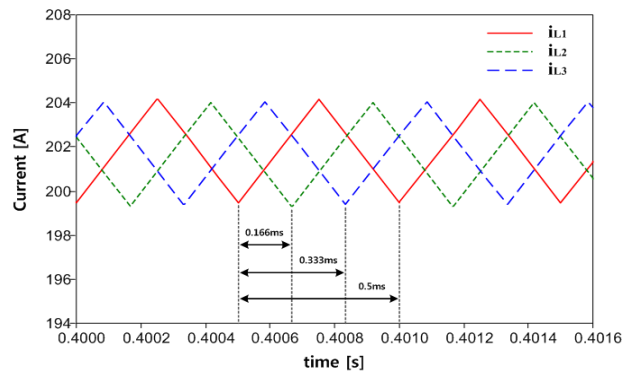
여기서, S_{on} : 펄스 신호 on 시간
 S_{off} : 펄스 신호 off 시간

다음 그림 8은 양방향 DC/DC 컨버터가 Boost 모드로 동작하는 경우에 펄스 입력에 따른 인덕터 전류 출력 파형의 예를 나타낸 것이다. S_4, S_5, S_6 스위치가 순차적으로 On 상태가 되는 구간에서는 각 스위치와 연결된 인덕터 전류가 지속적으로 상승하다가 스위치가 Off 상태가 되는 구간부터는 인덕터 전류가 감소하는 동작 특성을 보인다. 앞서 언급했듯이 각 펄스 신호의 한 주기는 0.5[ms]이며, 입력된 3개의 펄스 신호들 간에 360°/3상인 120°의 위상 이동을 표현하기 위하여 각각의 펄스가 인가되는 스위칭 시간은 펄스 신호의 한 주기인 0.5[ms]의 1/3에 해당하는 시간을 계산하여 스위칭 시간차를 두고 펄스 신호가 입력된다. 즉, S_4 스위치를 기준으로 했을 때 S_5 와 S_6 스위치는 S_4 스위치가 On 상

태가 된 이후에 각각 0.166[ms]와 0.333[ms]의 시간차를 두고 순차적으로 On 상태가 되어 펄스 신호가 입력된다.



(a) 펄스 신호



(b) 인덕터 전류

그림 8 Boost 모드의 출력 파형

Fig. 8 Output waveform of Boost mode

위의 그림 8을 통해서 스위치의 On/Off 동작에 따라 시간차를 두고 입력되는 펄스 신호 제어를 기반으로 한 컨버터 제어가 정상적으로 이루어졌음을 확인하였다. 또한, 모델링의 검증을 위해서는 입력단 전압과 출력단 전압의 비교를 통해 양방향 컨버터를 이용한 출력 전압의 승압 및 강압이 정상적으로 이루어졌는가를 판단할 수 있다. 출력 전압의 측정을 위해 본 절에서는 그림 6에서 제시한 양방향 컨버터 모델링을 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였다. 컨버터의 동작 모드에 따라 전원부로서 사용되는 V_{DC1} 과 V_{DC2} 의 입력 전압을 1500[V]로 동일하게 고려하였고, 펄스 신호의 듀티비는 0.5로 고정하였다. 또한, 전체 시뮬레이션 시간은 1[s]로 설정하였으며, 컨버터의 양방향 동작 특성을 확인하기 위하여 0~0.5[s]까지는 Boost 모드 동작을 수행하고 0.5[s] 이후로는 Buck 모드로 동작하도록 구성하였다.

그림 9는 본 논문에서 모델링 한 양방향 DC/DC 컨버터의 동작 모드에 따른 출력 전압을 나타낸 것이다. 그림 9(a)는 양방향 DC/DC 컨버터의 전체 출력 전압을 나타낸 것으로서 0.5[s]까지는 Boost 모드로 동작한다. 듀티비는 0.5를 고려하였으므로 입력 전압 1500[V]에 대한 Boost 모드의 출력 전압은 식 (1)을 통해 3000[V]로 계산되며, 모델링 된 컨버터가 Boost 모드로 동작하는 경우의 출력 전압이 3000[V]

로 제어되는 것을 확인할 수 있다.

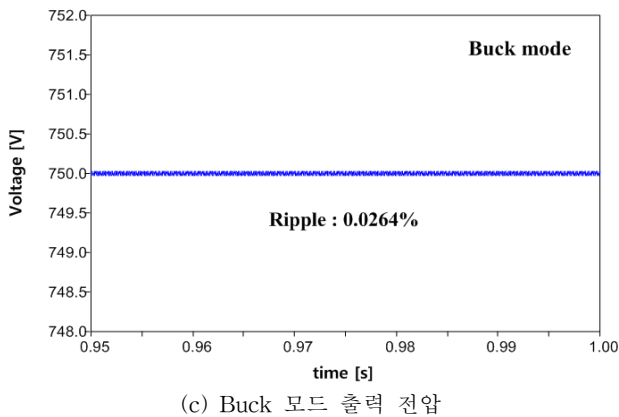
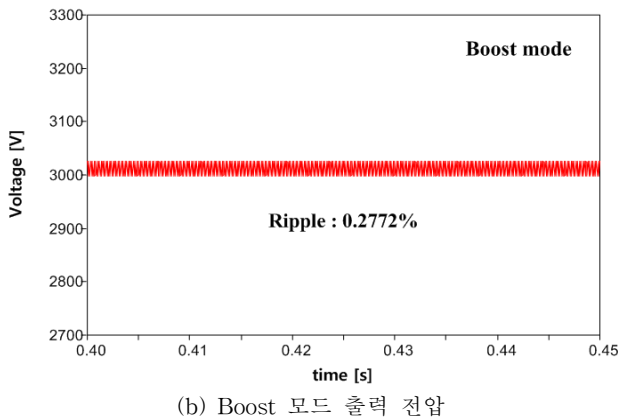
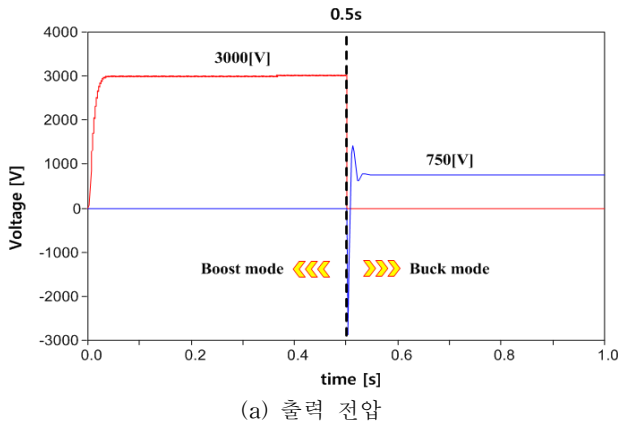


그림 9 양방향 DC/DC 컨버터의 출력 전압
Fig. 9 Output voltage of bi-directional DC/DC converter

반면에, 0.5[s] 이후부터 컨버터가 Buck 모드로 동작하는 경우에는 입력 전압 1500[V]에 대한 Buck 모드의 출력 전압의 크기는 식 (2)를 통해서 750[V]로 계산되며, Buck 모드 동작 시의 출력 전압이 정확하게 제어되는 것을 확인함으로써 정확한 모델링이 수행되었음을 알 수 있다.

4. 양방향 DC/DC 컨버터의 계통 연계 시뮬레이션

본 절에서는 시험 계통을 대상으로 앞서 모델링 된 양방향 DC/DC 컨버터의 동작 특성을 검증하기 위한 다양한 검

토를 수행하였다. 이를 위해 다음 그림 10과 같은 시험 계통을 구성하였다.

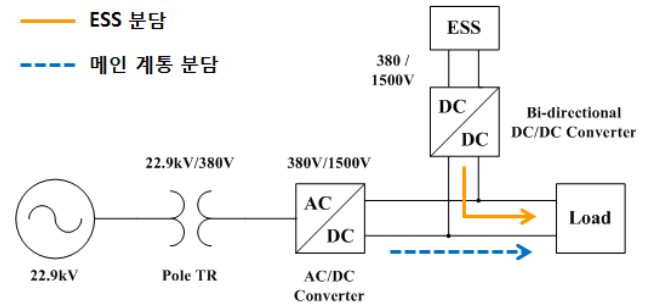


그림 10 시험 계통
Fig. 10 Test system

시험 계통은 기존의 교류 전원을 직류 전원으로 변환하기 위한 AC/DC 컨버터, 1500[V]의 메인 선로 전압으로 변환하기 위한 DC/DC 컨버터, 부하, 그리고 양방향 DC/DC 컨버터와 연결된 ESS로 구성된다. 여기서 ESS는 다양한 장점을 가진 Li-ion 배터리 타입으로 고려하였으며[10], 양방향 DC/DC 컨버터를 통해 정상시에는 충전 모드를 유지하고, 방전 모드로 전환 시에는 부하 측에 대한 메인 계통의 전류 부하를 감소시키기 위한 목적으로 설치하였다. 본 절에서는 양방향 컨버터를 통해 이루어지는 ESS의 충·방전 상태 및 ESS 연계 시 양방향 컨버터를 통한 부하 전류 분담에 대해서 검토하였다. ESS 동작 시 고려사항은 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 조건

Table 1 Simulation condition

| | |
|--------------------|---------|
| 배터리 용량 | 50[Ah] |
| ESS 용량 | 19[kWh] |
| 초기 SoC | 0.1 |
| 최대 SoC | 0.9 |
| SoC 범위 | 0.1~0.9 |
| 배터리 충·방전 전류 C-rate | 0.4C |
| 배터리 방전 시간 | 1.2[s] |

충·방전 전류의 크기는 C-rate에 의해 결정되며, 일반적으로 배터리의 완속 충전의 경우에는 배터리의 보호를 위해 C-rate 범위를 0.2~0.5C로 제한한다. 본 연구에서는 충·방전 시 C-rate 범위를 0.4C로 고려하였기 때문에 배터리의 충·방전 전류 크기는 배터리 용량의 40[%]에 해당하는 20[A]이다. 그림 11과 표 2는 그림 10의 시험 계통에서 양방향 DC/DC 컨버터를 통해 배터리의 충·방전 동작이 이루어지는 과정을 4개의 구간으로 구분하여 설명하였다.

위의 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이, 메인 계통과 연결된 ESS가 양방향 DC/DC 컨버터를 통해 표 1에서 제시한 조건에 따라 정상적으로 충·방전 동작을 수행하는 것을 확인할 수 있다.

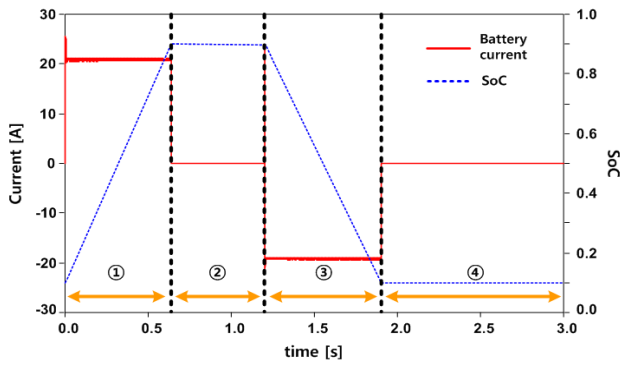


그림 11 배터리 충·방전에 따른 SoC
Fig. 11 SoC according to battery charging and discharging

표 2 ESS 동작

Table 2 ESS operation

| 구간 | 동작 모드 | 전류[A] | SoC |
|----|-------|-------|---------|
| ① | 충전 | 20 | 0.1~0.9 |
| ② | 방전 대기 | 0 | 0.9 |
| ③ | 방전 | -20 | 0.1~0.9 |
| ④ | 방전 대기 | 0 | 0.1 |

다음 그림 12는 ESS의 계통 연계 시 부하 측에 대한 메인 계통과 ESS의 전류 분담 과형을 나타낸 것이다. ESS가 충전 모드인 경우에는 메인 계통에서 부하에 대한 전류를 모두 부담하지만, ESS가 방전 모드 시점 이후에 방전 모드로 전환되어 메인 계통에 전류를 공급할 경우 메인 계통과 함께 전류를 분담하게 된다. ESS의 방전 모드가 종료되어 방전 대기 상태가 된 이후에는 다시 메인 계통에서 부하 측에 대한 모든 전류를 공급한다.

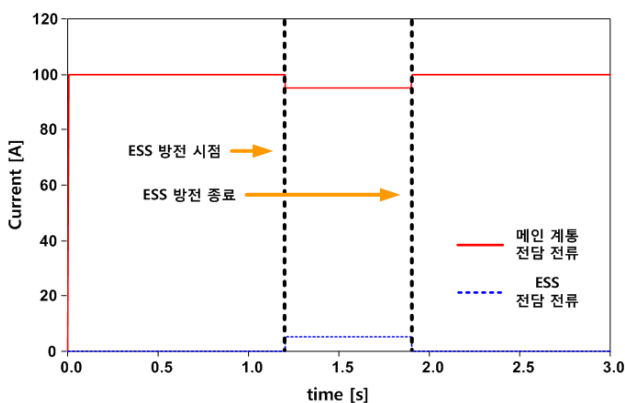


그림 12 ESS 연결에 따른 전류 분담
Fig. 12 Current divide according to the connection of ESS

즉, 양방향 DC/DC 컨버터가 계통과 ESS 사이에 연결되어 정확한 동작을 통해 ESS의 충·방전 과정이 정상적으로 수행되는 것을 검증하였다. 또한 ESS의 계통 연계 시 양방향 컨버터를 통해 메인 계통에 대한 전류 분담이 정상적으

로 이루어지는 것을 확인하였다. 따라서 상기의 결과들을 통해 본 연구에서 모델링을 수행한 양방향 DC/DC 컨버터의 동작 성능뿐만 아니라 계통 연계 시 ESS와 연결된 양방향 DC/DC 컨버터가 정상적으로 동작하는 것을 확인함으로써 모델링이 성공적으로 수행되었음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 EMTP를 이용한 직류배전계통 연계용 양방향 DC/DC 컨버터의 모델링을 최초로 수행하였다. 이를 위해, 가장 최신의 모델로써 높은 효율을 갖는 인터리브드 방식을 적용하였으며, 인터리브드 방식을 구현하기 위하여 모델링 회로 내 스위치 신호 및 펄스 신호를 제어하기 위한 제어부는 EMTP의 MODELS 기능을 이용하여 구성하였다. 3절에서 제시한 양방향 DC/DC 컨버터의 동작 특성을 통해 Boost 및 Buck 모드 동작 시 정상적인 출력 전압을 갖는 것을 확인하였으며, 모델링 된 컨버터 모델의 타당성을 살펴 보기 위하여 시험 계통을 대상으로 양방향 DC/DC 컨버터의 동작에 대한 검토를 수행하였다. 시뮬레이션 결과, 계통 연계 시 양방향 DC/DC 컨버터를 통해 ESS의 충·방전 동작이 정상적으로 이루어지는 것을 확인하였으며, 부하 측에 대한 전류 분담을 목적으로 사용한 경우에도 양방향 DC/DC 컨버터의 동작에 의해 메인 계통에 대한 ESS의 전류 분담이 적절하게 이루어지는 것을 확인함으로써 모델링이 성공적으로 수행되었음을 확인하였다.

따라서, 본 연구를 통해 모델링 된 양방향 DC/DC 컨버터는 분산 전원 또는 ESS와 같은 직류 출력 기반의 전력 공급원을 직류 계통과 직접 연계 시에 효과적으로 활용이 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20131010501750)입니다.

References

- [1] T. Kaipia, P. Salonen, J. Lassila, and J. Partanen, "Possibilities of the low voltage dc distribution systems," Proc. NORDAC 2006 conference, Stockholm, 2006
- [2] Pasi Salonen, Pasi Nuutinen, Pasi Peltoniemi, Jarmo Partanen, "LVDC Distribution System Protection - Solutions, Implementation and Measurements", Power Electronics and Applications, 2009. EPE '09. 13th European Conference on.
- [3] Pasi Salonen, Tero Kaipia, Pasi Nuutinen, Pasi Peltoniemi and Jarmo Partanen, "An LVDC Distribution System Concept", NORPIE 2008.
- [4] A. Sannino, G. Postiglione and M. H. J. Bollen, "Feasibility of a DC network for Commercial

Facilities”, IEEE Transactions on Industrial Applications, 2003

- [5] A. Emadi, S. S. Williamson, A. Khaligh, "Power electronics intensive solutions for advanced electric, hybrid electric, and fuel cell vehicular power systems", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 21, pp. 567-577, 2006.
- [6] R. M. Schupbach, J. C. Balda, "Comparing DC/ DC Converters for Power Management in Hybrid Electric Vehicles", Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03. IEEE International Vol. 3, pp. 1369-1374, 2003.
- [7] John Betten, Robert Kollman, "Interleaving dc-dc converters boost efficiency and voltage", Texas Instruments. EDN, pp. 78-84, 2005, October.
- [8] R. Y. Kim, J. S. Lai, "High-power density design of a soft-switching high-power bidirectional dc- dc converter", IEEE Trans. on PE, vol. 4, pp. 1-7, July 2007.
- [9] Han-Jeong Jeong. "Control of 3 Phase Interleaved Bidirectional DC/DC Converter for EV", master's thesis, Sungkyunkwan university, February 2011.
- [10] Jun-Hyeok Kim, Soon-Jeong Lee, Eung-Sang Kim, Seul-Ki Kim, Chul-Hwan Kim and Laszlo Prikler, "Modeling of Battery for EV using EMTP/ ATPDraw", Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 9, pp. 379-377, January, 2014.

저 자 소 개



한 준 (韓 準)

1986년 2월 7일생. 2011년 순천향대 정보통신공학부 졸업. 2013년 성균관대 정보통신대학 졸업(석사). 2013년~현재 동대학원 정보통신대학 박사과정.

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : j3angh@gmail.com



김 두 응 (金 杜 雄)

1986년 9월 8일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2012년~현재 동 대학원 정보통신대학 석·박사통합과정.

Tel : 031-299-4630

Fax : 031-299-4137

E-mail : krkic@hanmail.net



오 윤 식 (吳 潤 植)

1987년 7월 10일생. 2011년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2013년 동 대학원 정보통신대학 졸업(석사). 2013년~현재 동 대학원 정보통신대학 박사과정.

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : fivebal2@naver.com



권 기 현 (權 起 賢)

1985년 9월 3일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2014년 동 대학원 정보통신대학 졸업(석사). 2014년~현재 동 대학원 정보통신대학 박사과정.

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : elysium03@skku.edu



노 철 호 (盧 哲 鎬)

1987년 12월 19일생. 2013년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2013년~현재 동 대학원 정보통신대학 석·박사통합과정.

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : chcoo87@naver.com



정 택 현 (鄭 澤 賢)

1988년 7월 1일생. 2013년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2013년~현재 동 대학원 정보통신대학 석사과정.

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : wjdxorgus123@nate.com



김 철 환 (金 喆 煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업, 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박), 현재 성균관대 정보통신대학 교수, 전력IT인력양성센터 센터장

Tel : 031-290-7124

Fax : 031-299-4137

E-mail : hmwkim@hanmail.net