



Researcher 정원규, 전자공학과 (jyg2480@ajou.ac.kr), 박정철, 전자공학과 (pjc95222@ajou.ac.kr)
이태현, 전자공학과 (merongvvv@ajou.ac.kr), 전용, 전자공학과 (nicolaus94@ajou.ac.kr)
도경빈, 전자공학과 (hyundai9059@ajou.ac.kr), 김태수, 전자공학과 kim93sf@ajou.ac.kr)
Professor 이교범, 전자공학과

ABSTRACT

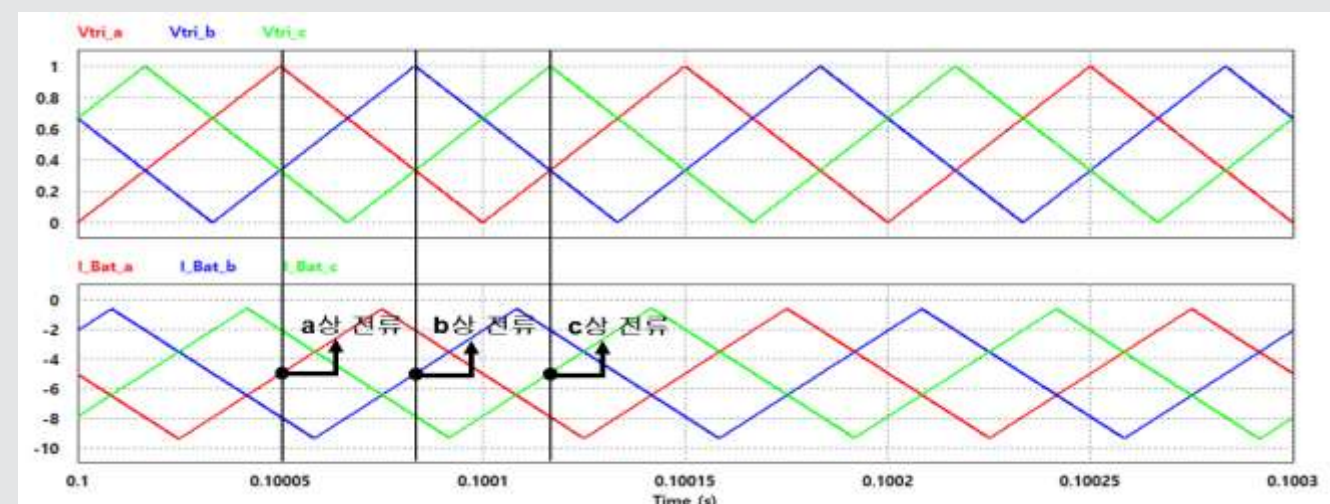
- 다상 컨버터는 단상 컨버터에 비해 출력 전류 리플을 저감할 수 있어 스위치의 손실 및 전력 품질을 향상시킬 수 있다.
- 다상 컨버터는 2상 이상의 구성으로 입력 전류의 위상차를 발생시켜 상의 중첩시키는 방법으로 서로 다른 리플이 상쇄되어 단상 컨버터보다 높은 효율 및 전력 품질을 얻을 수 있다.
- TMS320F28335를 이용하여 실제 3상의 인버리브드 DC-DC 컨버터를 위한 PWM 파형을 출력하고 오실로스코프를 통해 이를 확인하였다.

OBJECTIVES

- 본 연구에서는 TMS320F28335를 이용하여 3상 인터리브드 PWM 파형을 출력하기 위해 레지스터의 값을 설정하고 오실로스코프를 통해 확인해보았다.
- 3상 PWM 출력을 실제 스위치에 인가할 경우에 상하 스위치가 같이 동작하는 현상이 발생하지 않도록 Dead Time을 설정하고 오실로스코프를 통해 확인해보았다.

METHODOLOGY

1. 인터리브드 PWM 생성 원리



DC-DC 컨버터의 Phase Interleaving

- 일반적으로, 컨버터의 동작 위상이 $2\pi/n$ 만큼 변이된 n상 인터리브드 컨버터가 사용될 수 있다.
- 스위칭 파형이 120° 만큼의 위상 변이된 3상 인터리브드 컨버터를 보여주고있다.
- 인터리브드 다상 컨버터의 장점은 입력과 출력에 있어서 리플이 상당 부분이 상쇄되며 전력 품질 향상 및 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

2. 이론적인 3상 PWM 출력 파형 발생 방법

- (1) Time-Base(TB) PWM 동작의 삼각파 형태와 주기를 설정
- PWM time-base 카운터(TBCTR)로 주기와 주파수를 형성

- (2) Time-Base 위상을 형성
- TBPHS 레지스터로 EPWM4A는 0° , EPWM5A는 120° , EPWM6A는 240° 의 위상을 갖도록 설정

- (3) Counter-Compare(CC)
- 설정한 Duty Ratio를 갖도록 CMPA 레지스터 값을 설정

- (4) 동작 설정
- TBCTR이 CMPA 레지스터 값과 같아질 때, PWM 출력의 HIGH/LOW 설정

- (5) Dead-Time 설정
- DBRED, DBFED 레지스터를 이용하여 Dead-Time 설정

3상 인터리브드 컨버터

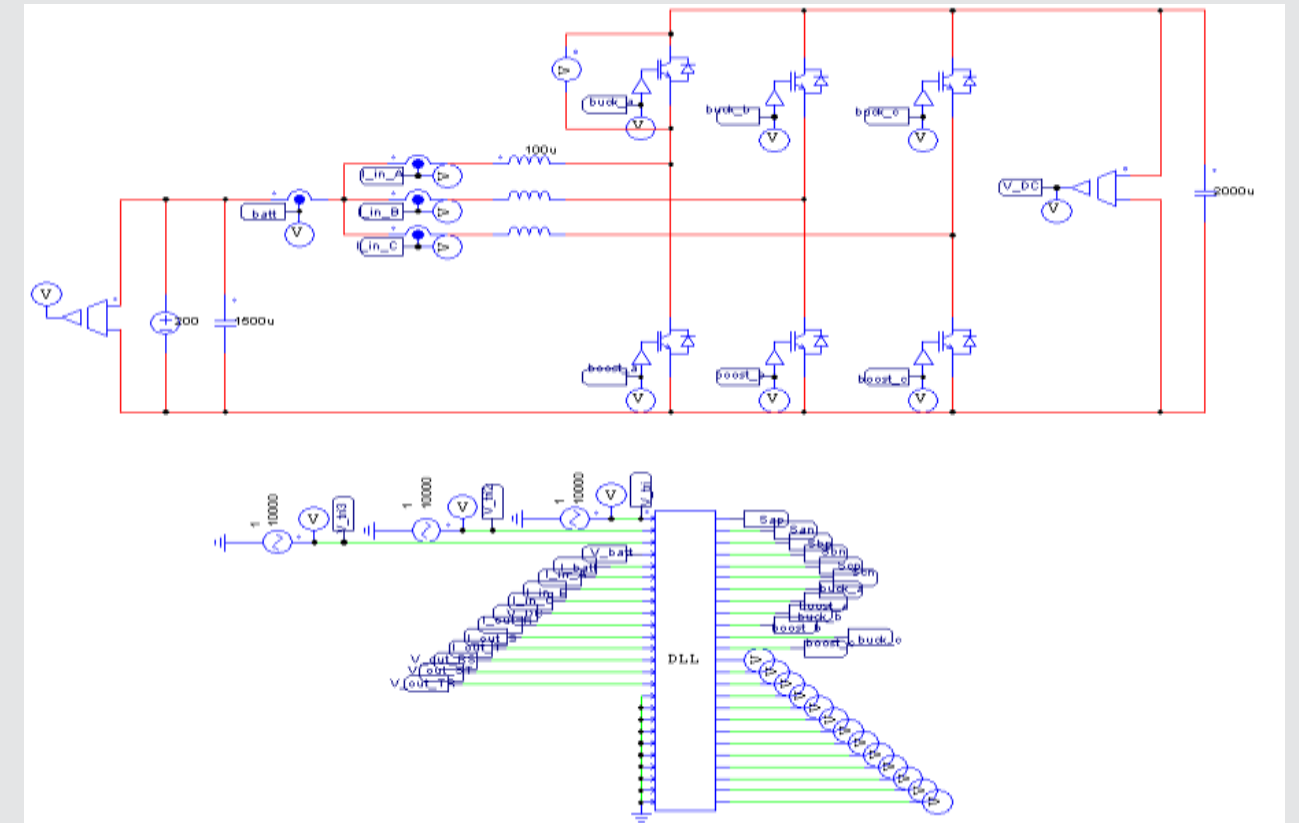


Fig 1. PSIM 툴을 이용하여 설계한 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터

1. DC-DC 컨버터는 배터리 충전시스템, 컴퓨터의 파워 서플라이 등 여러 분야에서 사용
2. 승압 및 감압이 가능한 양방향 모드를 위해 Buck-Boost 컨버터를 사용하여 제어를 수행

3. PWM 동작에 따른 컨버터의 동작

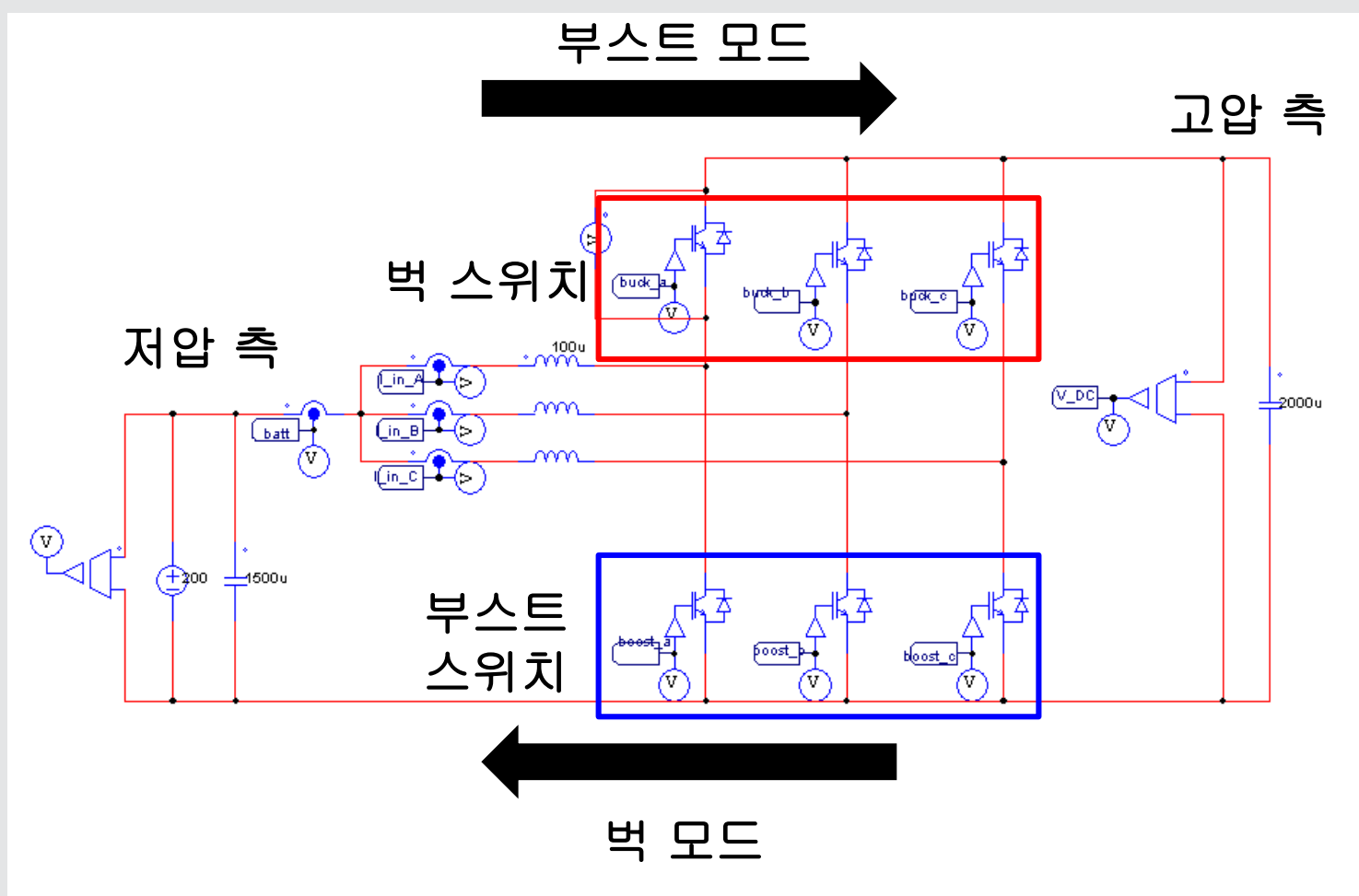


Fig 2. PSIM으로 설계한 양방향 DC-DC컨버터 회로도

RESULTS

1. S/W 펌웨어 설계

(1) Phase Interleaved PWM

- EPWM4A (master)

```
EPwm4Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = 2; /* Count Up/Down (Symmetric) */
EPwm4Regs.TBPHS.half.TBPHS = 0; /* Phase is 0 */
EPwm4Regs.TBCTL.bit.PHSEN = 0; /* Master module, Disable phase loading */
EPwm4Regs.TBCTL.bit.SYNCSEL = 1; /* Sync down-stream module */
EPwm4Regs.TBCTL.bit.PRDL = 0; /* Period Register is loaded from its shadow when CNTR=Zero */
EPwm4Regs.TBCTL.bit.HSPCLKDIV = 0; /* Clock ratio to SYSCLKOUT */
EPwm4Regs.TBCTL.bit.CLKDIV = 0; /* TBCLK = SYSCLK / (HSPCLKDIV * CLKDIV) */
```

- EPWM5A (slave1)

```
EPwm5Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = 2; /* Count Up/Down (Symmetric) */
EPwm5Regs.TBPHS.half.TBPHS = (EPwm5Regs.TBPRD * 2) / 3; /* Phase = TBPHS / (TBPRD * 2) * 360 = 120 deg */
EPwm5Regs.TBCTL.bit.PHSEN = 1; /* Slave module1, Enable phase loading */
EPwm5Regs.TBCTL.bit.SYNCSEL = 0; /* Sync flow-through */
EPwm5Regs.TBCTL.bit.PHSDIR = 0; /* Count-down on sync (= 120 deg) */
EPwm5Regs.TBCTL.bit.PRDL = 0; /* Period Register is loaded from its shadow when CNTR=Zero */
EPwm5Regs.TBCTL.bit.HSPCLKDIV = 0; /* Clock ratio to SYSCLKOUT */
EPwm5Regs.TBCTL.bit.CLKDIV = 0; /* TBCLK = SYSCLK / (HSPCLKDIV * CLKDIV) */
```

- EPWM6A (slave2)

```
EPwm6Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = 2; /* Count Up/Down (Symmetric) */
EPwm6Regs.TBPHS.half.TBPHS = (EPwm6Regs.TBPRD * 2) / 3; /* Phase = TBPHS / (TBPRD * 2) * 360 = 120 deg */
EPwm6Regs.TBCTL.bit.PHSEN = 1; /* Slave module2, Enable phase loading */
EPwm6Regs.TBCTL.bit.SYNCSEL = 0; /* Sync flow-through */
EPwm6Regs.TBCTL.bit.PHSDIR = 1; /* Count-up on sync (= 240 deg) */
EPwm6Regs.TBCTL.bit.PRDL = 0; /* Period Register is loaded from its shadow when CNTR=Zero */
EPwm6Regs.TBCTL.bit.HSPCLKDIV = 0; /* Clock ratio to SYSCLKOUT */
EPwm6Regs.TBCTL.bit.CLKDIV = 0; /* TBCLK = SYSCLK / (HSPCLKDIV * CLKDIV) */
```

두 개의 Slave파가 각각 $+120^\circ$, -120° 의 위상을 갖게 해주었다.

2. DSP 보드를 통해 구현한 결과



Fig 3. 인터리브드를 위한 PWM 위상차와 Dead Time을 고려한 PWM 파형

3. Psim을 이용해 PWM을 구현한 결과

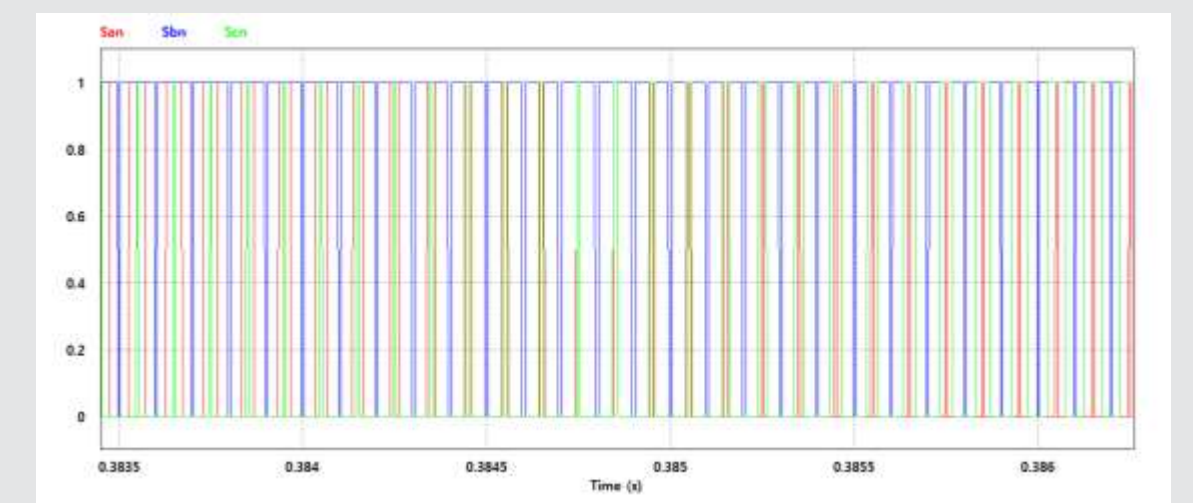


Fig 3. 시뮬레이션을 통해 구현한 3상 인터리브드 PWM (위상차 120°)

4. Psim을 이용하여 컨버터 동작 성능 시뮬레이션한 결과

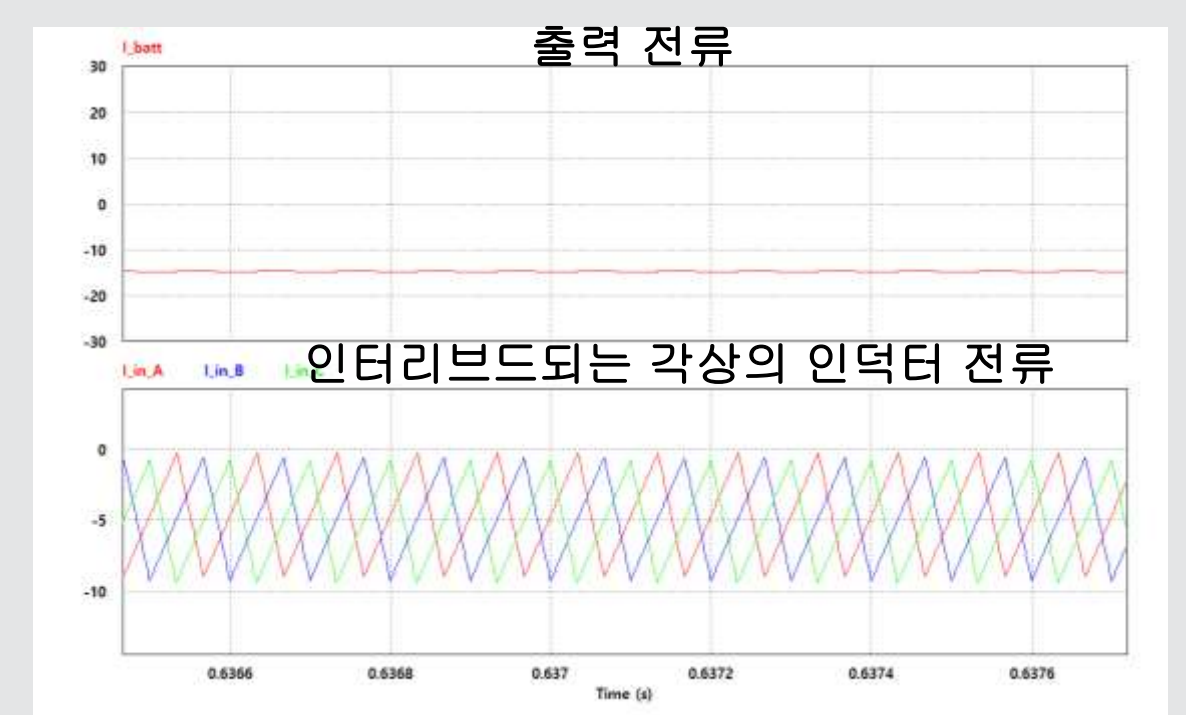


Fig 4. 기본 동작 시뮬레이션 결과



Fig 5. 벅 및 부스트 모드 동작 시뮬레이션 결과

CONCLUSIONS

- 본 연구에서는 TMS320F28335 모듈의 ePWM 레지스터를 이용하여 각각 0° , 120° , 240° 의 위상을 갖는 3상 인터리브드 PWM 제어를 구현하였다.
- 시스템 클럭은 150 MHz, 반송주파수는 20 kHz, 듀티비는 0.5로 설정하였고, $1\mu s$ 의 Dead-Time을 갖도록 설정하여 스위치가 동시에 동작하는 현상을 방지했다.
- TBPHS 레지스터를 이용하여 120° 의 위상 차이를 갖는 3개의 PWM 파형이 출력되도록 S/W 펌웨어를 설계하였다.
- 실제 설계한 3상 인터리브드 PWM을 Buck-Boost 컨버터에 적용하여 컨버터 동작 성능을 확인하였다.