

대용량 FB DC/DC 컨버터에 있어서 고주파변압기 편 여자 현상 및 제어

김은수, 김태진, 김윤호*, 조용현*
한국전기연구소, 중앙대학교*

DC Bias Control of High Frequency Transformer in High Power FB DC/DC Converter

E.S Kim, T.J Kim, Y.H Kim, Y.H Cho
KERI, Chung-Ang Univ.

ABSTRACT

By the use of the DSP and microprocessor controller, many high power converters such as especially inverter and motor drive system may be enhanced resulting in the improved robustness to EMI, the ability to communicate the operating conditions and the ease of adjusting the control parameters. However the digital controller using DSP or microprocessor has not been applied in the high frequency switching power supplies, especially in full bridge dc/dc converters. This paper presents a promising solution to the dc bias control problem of high frequency transformer in high power full bridge converter

1. 서론

IGBT를 이용한 고속 스위칭 방식의 DC-DC 컨버터는 장치의 소형 경량, 저소음, 제어성능의 향상을 위하여 대단히 중요하다. 장치의 대용량화를 위해서는 주 회로방식으로서 Full Bridge Inverter, 변압기, 고주파 정류회로 등으로 구성되어진 FB DC/DC 컨버터가 유효하다. 하지만, 용접의 고속화를 위한 용접전원의 경우와 저전압 대전류 고주파 펄스형 도금전원 등 대용량 및 고주파 화를 행함에 있어 이들 부하는 전기적으로 임피던스변동이 매우 크므로 이들 전원의 고속제어를 위해서는 고주파변압기의 편 여자(偏勵磁)에 따른 보호 및 대책이 필요하다.

2. 고주파변압기 편 여자 현상

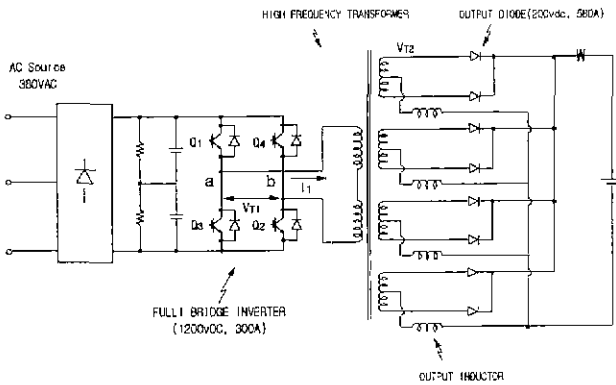
FB DC/DC 컨버터 1차 측 고주파변압기 전압의 $+$ - 전압시간 곱의 차이에 따라서 발생하는 직류 성분이 변압기에 인가되어지면, 변압기가 편 여자되어 DC bias 전류가 극단적으로 증가하게 된다. 그리고, 최악의 경우에는 코어가 자기포화(磁氣飽和)에 이르게되어 단락전류 및 과전류가 스위칭소자에 흐르게되어 전류 스트레스 및 파괴에 이르게 할 수 있다. 이를 방지하기 위해서 종래에는 변압기 코아에 약간의 Gap적용 또는 변압기와 직렬로 Blocking 캐패시터를 삽입하여 보호하였다. 하지만, 대용량 FB DC/DC 컨버터에 있어서 직렬로 연결된 Blocking 캐패시터는 주 전원의 전류를 다 감당하여야하고, Blocking 캐패시터를 적용한다 할지라도 편자 시 한쪽으로 DC bias된 상태에서 계속 동작하게 되므로 DC bias된 한쪽 압의 스위칭소자에 전류가 증가하여 전류스트레스에 의한 손실이 발생하고, 또한, FB DC/DC 컨버터를 40kW 정도로 장기간 운전 시 Blocking 캐패시터 내부임피던스에 의한 온도상승으로 캐패시터 내부온도가 180 °C까지 상승하여 열화가 발생되고, Blocking 캐패시터가 대형화되는 등 가격, 성능 면에서 문제가 되고 있다.

고주파변압기 직류 편 여자현상의 주원인으로서

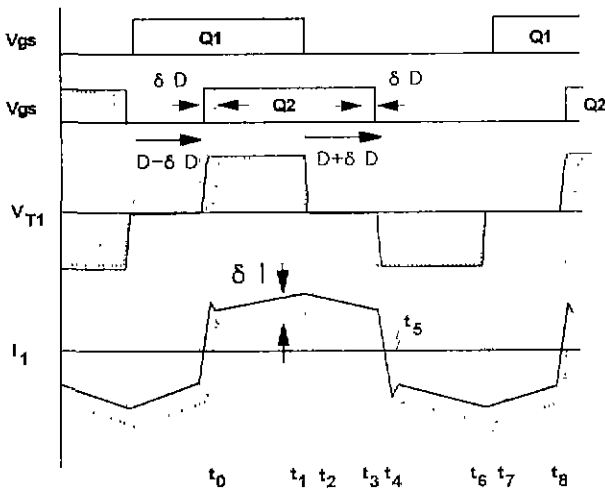
- 주 스위칭소자의 Turn-on/off, Rising/Falling 시간과 Dead time 시간차이
- 주 스위칭소자의 도통전압 또는 ON 저항차이
- 고주파변압기 2차 측 센터 탭의 권선에 의한 Winding flux 차이가 있다.

3. 변압기의 편 여자 방지제어

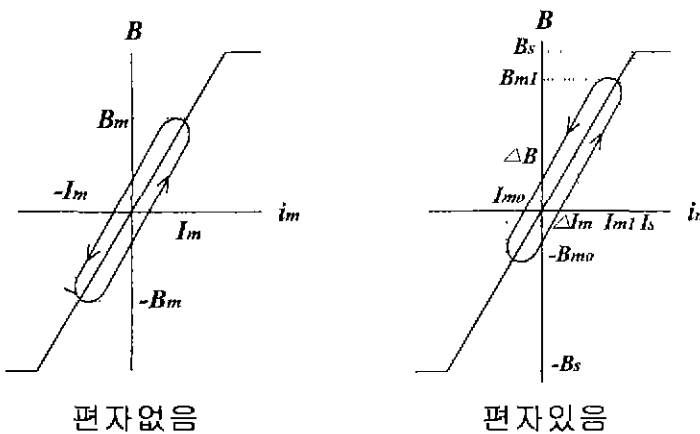
본 논문에서 제시된 직류 편 여자 방지제어는 참고문헌[2]에 서술된 Digital-to-phase shift PWM 발생회로를 사용하여 DC bias에 따른 편 여자 문제를 간단하게 제어될 수 있음을 서술하고자 한다.



(a) 주 회로



(b) 동작파형



(c) 자속밀도 변동 을

그림 1. DC bias에 의한 전류 불 평형제어 개념도

그림 1에 나타낸바와 같이 FB DC/DC 컨버터 1차 측 고주파 변압기 교류전압 파형의 \pm 전압 폭이 평균값에 대하여 $\pm \delta D$ 만큼 어긋나 있을 경우, 고주파 변압기의 1차 측 전류에 편자전류성분 δI 가 포함되어지게 된다.

이때, FB DC/DC 컨버터 1차 측 고주파 변압기에 Hall CT 전류센서를 적용하여 이를 검지하고 고주파 변압기 전류 파형의 편차를 검지 하여 평균화 한 다음 편 여자 량에 비례한 검출신호에 따라 1차 측 고주파변압기 전압 파형의 정부전압의 전압의 폭이 평균값에 대하여 편자 량이 0이 되도록 $\pm \delta D$ 만큼 제어함으로써 고주파변압기 1차 측 전류에 편자전류성분 δI 를 더하게된다.

$$T_a = D \mp \delta D = C_{ga} \pm C_{gc} \dots \dots (1)$$

$$T_b = D \mp \delta D = C_{ga} \mp C_{gc} \dots \dots (2)$$

여기서, δD : 편자량에 따른 전압 폭 조절 듀티,

T_a, T_b : 다운카운터 값,

C_{ga} : 주 전력제어 카운터 값,

C_{gc} : 편자 제어 카운터 값

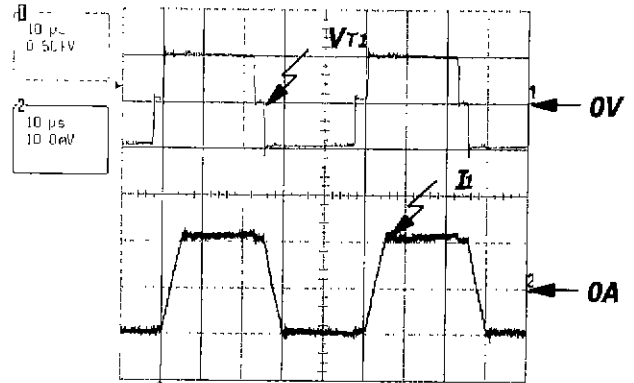
즉, 인버터의 \pm 의 전압 폭 평균값은 일정 값으로 보존되어지므로 FB DC/DC 컨버터의 출력전압 제어에 대하여서는 비 간섭 제어할 수 있다. 그림 2에 편여자 방지제어 블럭도를 나타냈다.

구체적 구현 방법으로는 고주파변압기 1차 교류 전류를 Hall CT로 검출하고, 검출된 신호를 적분 회로를 거치게되면 DC bias된 성분만 평균화되어 출력되고 DSP제어기의 A/D 컨버터를 통해 입력하여 편자검출신호를 얻고 검출된 신호는 DSP 제어기 Timer interrupt의 각각 반주기마다 주 전력제어 펄스 폭 D 이외에 편자 량 δD 만큼 펄스 폭을 그림 2, 3에서와 같이 10bit Counter data값을 제어 하여 줌으로서 편자 량을 0으로 제어할 수 있다.[2] 즉, 반주기마다 Q2/Q4의 Turn-on/off 하는 시간을 제어 할수 있도록 다운카운터 값을 편자량 만큼 순시 적으로 미소 제어하여 줌으로써 b상 오른쪽 암 아래쪽 스위칭소자(Q2, Q4) 구동신호가 가감산 되어져, 각각의 FB DC/DC 컨버터 구동회로에 입력 되어진다.

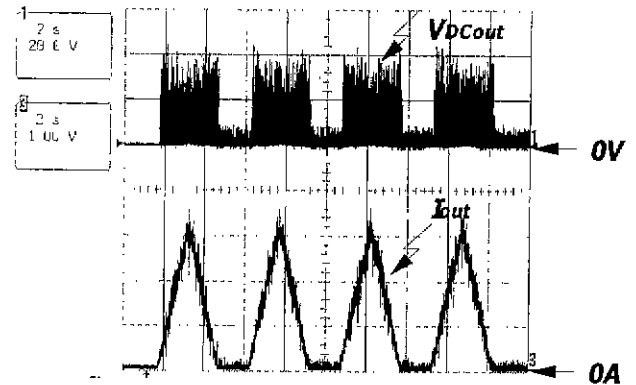
그 결과, 그림 1(a)에 나타낸 변압기 + 쪽 a상 전압 폭은 δD 증가 또는 감소하고, 변압기 - 쪽 b상 전압 폭은 δD 감소 또는 증가하여, DC bias 량이 0이 되도록 제어시킨다.

4. 실험결과

입력전압 DC 540VDC(500V~600V), 출력전압 20V, 출력용량 40kW이고, 변환효율은 87%이다. 또, IGBT를 이용하여, 20kHz의 스위칭과 고속제어를 행함으로써 출력전류 100% 급변 시에도 변압기의 DC bias에 의한 편 여자 없이 정밀한 선형제어 및 유연성을 얻을 수 있었다.



(a) 고주파 변압기 1차측 전압 전류 파형 (500V/div, 100A/div, 10µs/div)



(b) 전류 Command에 따른 출력 응답특성 파형 (20V/div, 650A/1V/div, 2µs/div)

그림 4. 100%부하에서의 출력 제어 특성

5. 결론

스위칭 주파수 20kHz, 40kW 레벨에서의 FB DC/DC 컨버터를 위한 Digital-to-phase shift PWM 발생회로 및 고주파 변압기의 편자방지제어를 위한 제어개념을 제시하여 컨버터의 과도특성 및 제어의 유연성 및 변환효율특성이 우수해지고, 또, 40kW의 대용량 FB DC/DC 컨버터를 실현하였다. 이후로는 본 장치의 특징을 가진 용접기 또는 도금용전원, MRI 및 초전도 전원장치에의 적용을 도모할 예정이다.

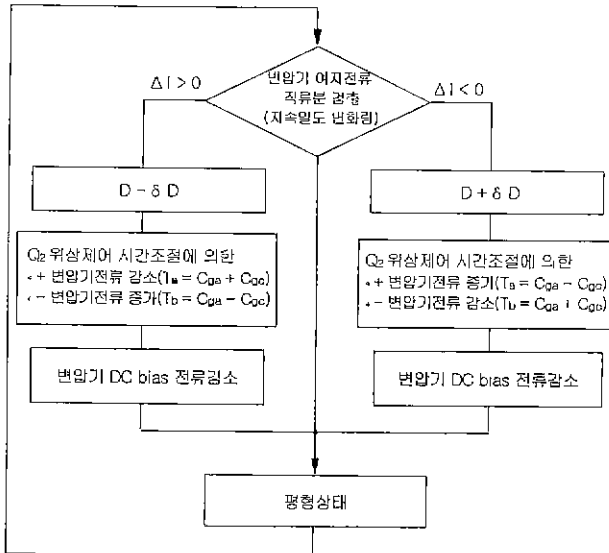


그림 2. DC bias에 의한 전류 불평형 방지제어 블럭도

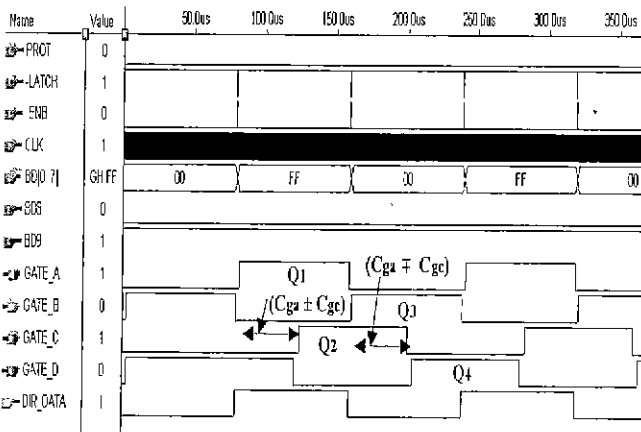
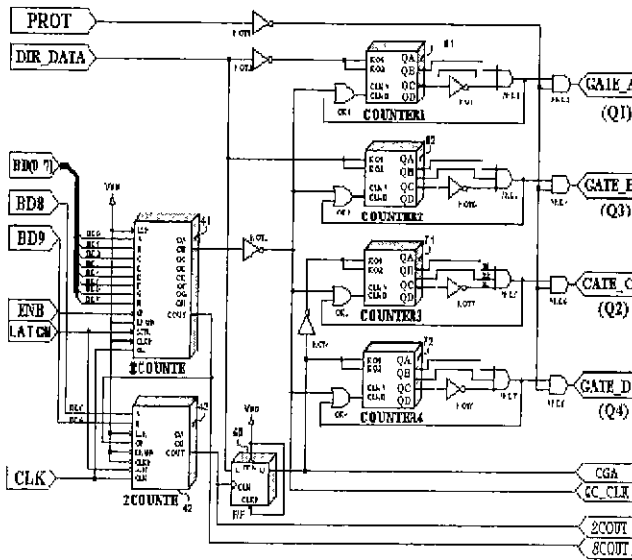


그림 3. DSP 적용 Digital-To-Phase Shift 발생회로와 제어 파형도

참 고 문 헌

- [1] P.F. Kocybik, K.N. Bateson "Digital Control of a ZVS Full-Bridge DC-DC Converter", IEEE APEC, 1995, pp. 687~693
- [2] 김은수, 김태진, 변영복, 박순구, 김윤희, 이재학, "대용량 ZVS Full Bridge DC/DC 컨버터에 있어서 Digital-To-Phase Shift PWM 발생회로", 전기학회, 49B권 1호, 2000, pp.54~61
- [3] 岩田明彦 外, "溶接電源の高速制御に伴う問題點と對策", SPC-86-13, 1986, pp.21~33