

풀 브리지 방식을 이용한 대용량 정류기 구현

이제민, 윤경섭, 임성운, 김우현, 권우현
경북대학교

Development of a Large capacity Rectifier for using Full-Bridge Type.

Je-Min Lee, Kyung-Sub Yun, Sung-Woon Lim, Woo-Hyun Kim, Woo-Hyun Kwon
Kyungpook National University

Abstract - Generally, It was used to use a unit of a Large regularity in developing Large Capacity Converter System of the electric power. Lager a capacity of a unit of regularity, more expensive cost of it. So, normally, We overcome the limit of a proper form of an electricity semiconductor which be used in application field of Large capacity electricity conversion system through the Composition of Multi-level Circuit or Dual-Mode or parallel switch. but some problem is discussed.

Using parallel RC-diode circuit instead of Large Capacity diode, We implemented a circuit that it overcome the limit of a regularity with dealing current distributed by parallel RC-diode circuit.

1. 서 론

산업 사회가 더욱 고도로 발달 되면서 전기분해, 금속 표면 처리, 반도체 도금, 전동기용 전원 등의 산업용과 전자교환기(ESS), 사설교환대용 Inverter등 다양한 형태의 대용량 전력기기들의 사용이 점점 증가하고 있다.

일반적으로 사용되는 대용량 전력 변환기로 구조가 간단하여 구현하기 쉬운 풀-브리지 변환기가 많이 사용되고 있다.

대용량 전력전력변환시스템은 큰 정격의 전력소자를 사용하게 되며, 대용량 전력 소자의 경우 대부분 고가이다. 따라서 산업체에서는 가격이 비싼 대용량 정격의 소자 대신에 저렴한 소용량 정격의 소자를 사용한 시스템 연구가 활발하게 진행되고 있다.

대용량 소자를 이용한 전력 변환 시스템을 저용량 소자를 이용한 시스템으로 바꾸는 방법에는 반도체 스위칭 소자인 IGBT를 병렬로 운전 하는 방법[1], 소용량의 여러 개의 시스템을 병렬로 연결하여 사용하는 방법, 브리지 모듈 2대를 병렬로 사용하는 듀얼 모드로 사용하는 방법 등이 있으며[2][3], 멀티레벨 회로구조를 통해 스위칭 반도체 소자의 전력소자 양단에 걸리는 전압의 크기를 축소시키고, 이용할 수 있는 전압백터의 수를 증가시켜 고조파특성을 개선시킨 전력 변환 시스템을 구성하는 방법이 있다.[4] 그러나 IGBT 병렬 운전 방법의 경우 다수의 스위칭 소자를 사용하여야 하며, 듀얼 모드 방법의 경우에는 여러 대의 변압기를 사용하게 됨으로써 시스템의 복잡도와 신뢰성을 저하시킬 수 있다. 또 전압백터 방식의 경우 별도로 마이크로프로세서나 DSP와 같은 제어용 컨트롤러를 필요로 한다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 저용량 전력 소자를 사용하기 위한 방법으로 변압기 1차 측에서의 스위칭 회로의 구조는 일반적인 풀-브리지 방식을 사용하고, 2차 측에 이용되는 대용량 다이오드를 대신 소용량 다이오드와 저항 및 콘덴서로 구성된 회로를 병렬로 연결하여 대용량의 전력을 분배하여

처리하도록 하는 방법을 제안한다. 제안한 방법의 경우 소용량의 다이오드와 저항 및 콘덴서로 구성된 회로를 병렬로 연결함으로써 시스템의 복잡성을 줄여 주며 기존의 전력 변환기에 2차 측에 연결할 수 있는 장점이 있다. 실험결과를 통해 제안한 구조의 유용함을 확인한다.

2. 본 론

2.1 일반적인 풀-브리지 변환기

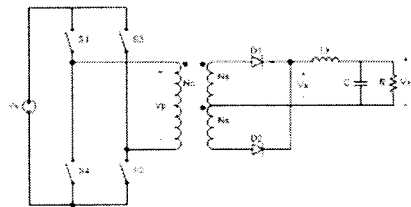


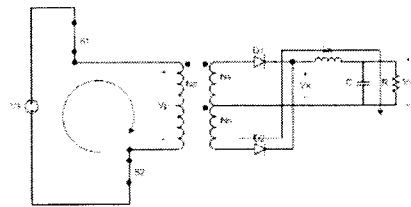
그림 2.1 풀-브리지 정류회로

풀-브리지 변환기는 직류를 교류로 변환하는데 사용되는 기본적인 회로이다. 동작 면에서는 푸시풀(Push-Pull) 변환기와 유사하다.

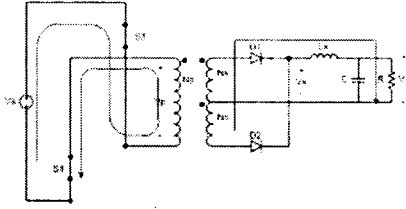
풀-브리지 변환기에서, 열려있는 스위치 양단에 걸리는 최대 전압은 푸시풀 변환기와 포워드 변환기에서의 $2V_s$ 보다 낮은 V_s 이다. 열린 스위치 양단의 전압 응력(voltage stress)이 낮다는 것은 입력 전압이 높을 경우에는 중요한 것으로 같은 출력전압이 필요한 경우, 스위치 양단에 다른 변환기의 반 정도인 V_s 로 해결이 가능하다. 따라서 비교적 출력 용량이 클 때에는 일반적으로 풀-브리지 회로를 사용한다.

2.1.1 풀-브리지 변환기의 동작

풀-브리지 전력변환기의 작동원리는 다음과 같다.



(a)



(b)

그림 2.2 스위치 상태에 따른 동작 (a) S1, S2 on S3, S4 off (b) S1, S2 off S3, S4 on

풀-브리지 변환기는 교대로 동작하는 스위칭 쌍(S1, S2)와 (S3, S4)가 동작한다. 변압기의 1차 권선 양단에 걸리는 전압은 S1과 S2가 닫혀 있으면 $V_p - V_s$ 이고 S3와 S4가 닫혀 있으면 $V_p - V_s$ 이다. 여기서 변압기는 이상적이라고 가정하면 모두 열려있게 되면 $V_p = 0$ 이다.

풀-브리지 변환기의 출력은 S1, S2가 닫히면, 다이오드 D1이 순방향 바이어스 상태이고, D2가 역방향 바이어스 상태이므로 출력단의 전압은

$$v_x = v_o = V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) \quad (2-1)$$

$$v_{L_x} = v_x - V_o = V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) - V_o \quad (2-2)$$

으로 주어진다. 출력전압이 V_o 로 일정하다고 가정하면, L_x 의 양단 전압이 일정하므로 L_x 에서의 전류가 선형적으로 증가한다. L_x 에 흐르는 전류의 변화량은

$$\frac{\Delta i_{L_x}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_{L_x}}{DT} = \frac{V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) - V_o}{L_x} \quad (2-3)$$

$$(\Delta i_{L_x})_{closed} = \left(\frac{V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) - V_o}{L_x} \right) DT \quad (2-4)$$

이다.

S3, S4가 닫히면, 다이오드 D2가 순방향 바이어스 상태이고, D1이 역방향 바이어스 상태이므로 출력단의 전압은

$$v_x = v_o = V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) \quad (2-5)$$

$$v_{L_x} = v_x - V_o = V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) - V_o \quad (2-6)$$

으로 나타나며, 이것은 S1, S2가 닫혀 있는 동안과 같은 값이다. 역시 L_x 의 전류가 선형적으로 증가하며, 전류의 변화량도 S1, S2가 닫힌 상태와 같다.

$$\frac{\Delta i_{L_x}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_{L_x}}{DT} = \frac{V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) - V_o}{L_x} \quad (2-7)$$

$$(\Delta i_{L_x})_{closed} = \left(\frac{V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) - V_o}{L_x} \right) DT \quad (2-8)$$

모든 스위치가 OFF 상태에서는 1차 권선에는 전류가 흐르지 않는다.

$$v_x = 0 \quad (2-9)$$

$$v_{L_x} = v_x - V_o = -V_o \quad (2-10)$$

L_x 양단의 전압이 $-V_o$ 이므로 L_x 에 흐르는 전류는 선형적으로 감소한다.

$$\frac{\Delta i_{L_x}}{\Delta t} = \frac{\Delta i_{L_x}}{T - DT} = -\frac{V_o}{L_x} \quad (2-11)$$

$$(\Delta i_{L_x})_{open} = -\left(\frac{V_o}{L_x} \right) \left(\frac{1}{2} - D \right) T \quad (2-12)$$

한주기 동안 인덕터 전류의 순수 변화량이 정상상태 동작에서 0이어야 한다.

$$(\Delta i_{L_x})_{closed} + (\Delta i_{L_x})_{open} = 0 \quad (2-13)$$

$$\left(\frac{V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) - V_o}{L_x} \right) DT - \left(\frac{V_o}{L_x} \right) \left(\frac{1}{2} - D \right) T = 0 \quad (2-14)$$

식 2-14에서 V_o 를 구하면,

$$V_o = 2V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) D \quad (2-15)$$

이다. D는 각 스위치 쌍의 듀티비이다.[5][6]

2.1.2 스너버 회로의 추가

고속 스위칭 시에 주 전류(I_c : 컬렉터 전류)의 전류 상승률 또는 하강률(di/dt)이 아주 높아진다. 한편, 주회로의 배선에는 반드시 부유 인덕턴스 L_s 가 존재한다. 따라서 파워 디바이스 스위칭 시에는 주 단자에 다음 식으로 표현되는 스위칭 서지전압 ΔV_{CE} 가 발생한다.

$$\Delta V_{CE} = L_s \times \frac{di}{dt} \quad (2-16)$$

서지(Surge)전압이란 전기회로나 전기 계통에 있어서 정상전압 이상의 순간적으로 또는 간헐적으로 발생하는 과전압이며, 이 서지전압에 의하여 전자기기 특히, 반도체나 IC 등 반도체를 사용한 정보화 기기는 절연파괴나 기능의 정지, 열화 등 여러 가지 영향을 받는다.

이 서지전압을 억제하는 방법으로는 스너버 회로를 사용하는 방법과 전압 클램프 소자에 의한 방법이 있다. 전압 클램프 회로는 흡수되어야 할 서지 에너지가 제어용 다이오드 소자에서 소비되기 때문에 좋은 방법이라 할 수 없다.

그래서 일반적으로 스너버 회로가 널리 사용되고 있다. 특히 고주파 스위칭 용도에 있어서 IGBT의 서지전압 억제에는 콘덴서 C, 저항 R, 다이오드 D를 조합한 서너버 회로가 일반적으로 사용된다.[7]

2.2 제안한 다이오드 병렬 연결 풀-브리지 정류기

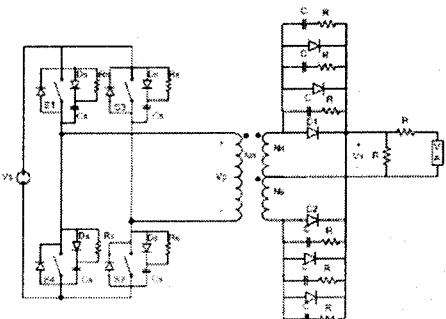
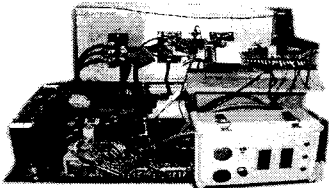


그림 2.5 다이오드가 병렬 연결된 풀-브리지 정류기

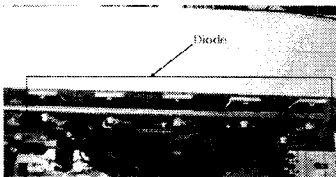
그림 2.5 회로에서 변압기에 의해 증폭되어진 전류들은 병렬로 연결된 소용량 다이오드와 저항 및 콘덴서로 구성된 회로에 의해서 전류가 분배되어 정류된다.

2.3 실험

본 논문에서 제안한 방법의 유용성을 확인하기 위해서 그림 2.6과 같은 대용량 정류기 시스템을 구성하였다. 그림 2.6의 (a)는 풀-브리지 방식의 대용량 시스템의 1차 측을, (b)는 제안된 회로로 구현된 2차 측을 나타낸다. 제안된 방법에서는 변압기 2차 측의 경우 소용량 다이오드와 저항 및 콘덴서로 구성된 병렬 회로에서 대용량 전류를 분배하게 된다.



(a)



(b)

그림 2.6 실험에 사용된 풀-브리지 방식의 대용량 정류기 시스템 (a)전체 시스템. (b) 병렬로 연결된 다이오드 회로.

일반적으로 대용량 정류기 시스템의 경우 저전압 출력과 대용량 전류 출력의 두 가지 모드를 가지게 된다. 따라서 본 논문에서도 두 가지 모드 즉, 전압 모드와 전류 모드에 대해 각각 실험을 수행 하였다.

2.3.1 실험결과

저전압 모드의 성능을 확인하기 위해 직류 10V의 지령을 인가한 경우의 출력 파형을 그림 2.7에 나타내었다. 그림 2.7의 1, 3번 파형은 IGBT의 게이트에 인가되는 지령 펄스를 나타내며, 4번 파형은 출력전압을 나타낸다. 그림 2.7로부터 저전압 모드에서의 동작이 양호함을 알 수 있다. 다음은 대용량 전류 모드의 성능을 확인하기 위해서 그림 2.8과 2.9에 100A의 지령과 1000A의 지령에 대한 실험 파형을 각각 나타내었다. 그림 2.8과 2.9에서의 1,3번 파형은 IGBT의 게이트에 인가되는 지령 펄스를 나타낸다.

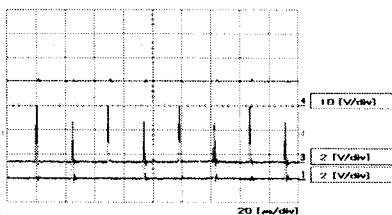


그림 2.7 10V 지령에 대한 출력전압파형

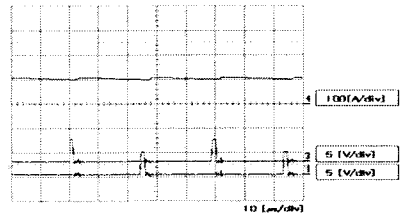


그림 2.8 100A 지령에 대한 출력전류파형

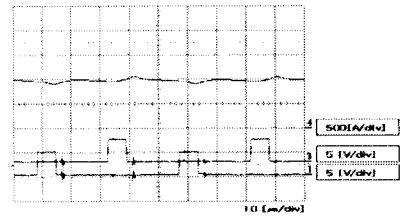


그림 2.9 1000A 지령에 대한 출력전류파형

그림 2.8과 2.9의 출력 전류 파형으로부터 제안된 방법의 병렬회로가 대용량 전류를 잘 분산시킴을 알 수 있다. 따라서 제안된 방법의 유용함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 대용량 전력 변환기에서 사용되는 대용량 전력 변환소자들을 소용량 소자로 대체하기 위한 방법으로 변압기 1차 측에서의 스위칭 회로의 구조는 일반적인 풀-브리지 방식을 사용하고, 2차 측에 사용되는 대용량 다이오드를 대신하여 소용량의 다이오드와 저항 및 콘덴서로 구성된 회로를 병렬로 연결하여 대용량의 전류를 분배하는 방법을 제안하였다.

실험을 통해 제안된 다이오드와 저항 및 콘덴서로 구성된 회로의 병렬연결의 유용성을 확인하였다.

제안된 방법은 기존 전력변환 시스템의 2차 측 회로만 간단하게 다이오드와 저항 및 콘덴서 회로로 대체함으로써 기존 시스템에 손쉽게 적용할 수 있으며, 대용량 전력 소자를 소용량으로 교체함으로써 시스템의 단가를 낮출 수 있고, 시스템의 유지 보수가 용이한 장점을 가지고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박건태, 윤재학, 정명길, 김부식, "중·대용량 인버터용 IGBT 병렬 운전 연구", *전력전자 학술대회 논문집* pp 430-433, 2003, 7.
- [2] 김정원, 조보형 "고 입력전압 전력변환 응용에 적합한 입력 직렬-출력병렬 컨버터 시스템", *전력전자 학술대회 논문집* pp 2-4, 1998, 7.
- [3] 계문호, 김성철, 조기연, 김은수, "대용량 정류기용 Dual Module DC-DC 컨버터 Topology 연구", *전력전자 학술대회 논문집* pp. 7-19, 1997, 7.
- [4] 이현원, 최세경, 김병찬, 이선재, 이상봉 "대용량 전력변환 장치의 벌티레벨 펄스폭 변조기법", *전력전자 학술대회 논문집*, pp85-88, 1999, 11.
- [5] 전동화, "전력전자 및 전동기 제어", 도서출판 인터비전, 2004
- [6] Daniel W. Hart, "Introduction to power electronics.", *Prentice Hall*, pp 333-347, 1997.
- [7] 정재원, 김민희, 우정인, "디지털 전력전자", pp 95- 108, 보성각, 2003.