

## 포화유도도와 차단용량을 결합한 완전다리 직류-직류변환기에 대한 연구

김영광, 정원철, 리영명

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《전자공학은 현대과학기술의 정수를 이루는 가장 중요한 과학분야입니다. 전자공학을 발전시키지 않고서는 인민경제 모든 부문을 현대적기술로 장비하고 생산공정과 경영활동전반을 새로운 과학기술적도대우에 올려세울수 없습니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 486페이지)

대출력직류-직류변환기는 전기기계와 전기화학부문에서 중요한 직류전원으로 많이 이용되며 현재 그에 대한 연구[1-3]가 끊임없이 진행되고있다.

일반적인 완전다리직류-직류변환기는 절환소자의 구동신호로 대칭임펄스변조신호를 이용하는데 절환과정에 유도도의 특성에 의하여 높은 맥동전압과 전류가 발생한다.[1]

론문에서는 완전다리직류-직류변환기의 구동신호로 비대칭위상밀림임펄스변조신호를 이용하고 포화유도도와 차단용량을 결합하여 령전압, 령전류절환을 실현하여 맥동전압을 감소시키고 절환손실을 줄여 변환효률을 높이기 위한 연구를 하였다.

### 1. 령전압령전류완전다리직류-직류변환기의 구조와 동작원리

령전압령전류완전다리직류-직류변환기구조를 그림 1에 보여주었다.

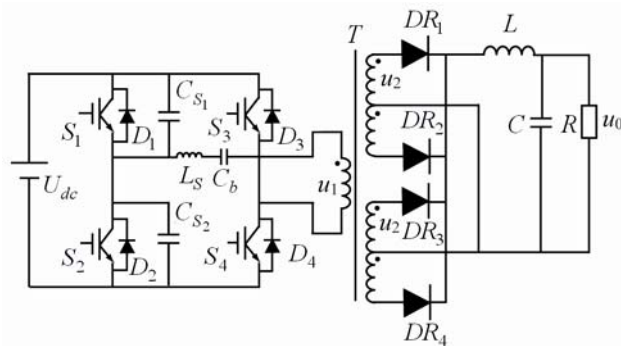


그림 1. 령전압령전류완전다리직류-직류변환기구조

그림 1의 동작과정을 설명하기 위하여 다음과 같은 몇가지 가정을 하였다.

- ① 모든 소자들은 리상적으로 열림저항은 령이고 차단저항은 무한대이다.
  - ② 포화선류의 유도도는 그것이 포화되지 않았을 때에는 무한대이고 그것이 포화되었을 때에는 령이다.
  - ③ 출구려과유도도는 절환주기동안 상수전류원천으로 볼수 있을 정도로 충분히 크다.
- 그림 1의 정류회로동작과정을 설명할 때 하나의 정류회로만을 고찰한다.

그림 1의 조종극구동신호와 회로의 동작과형을 그림 2에 보여주었다.  $S_1$ 과  $S_4$ (혹은  $S_2$ 와  $S_3$ )의 열림순간은 같으며 그것들의 차단순간은 다르다. 그리고  $S_1$ ,  $S_2$ 의 구동신호들은 임펄스너비변조신호이며  $S_3$ ,  $S_4$ 의 구동신호들은 최대너비임펄스신호이다. 그러므로 출구전압은  $S_1$ ,  $S_2$ 의 임펄스너비변조에 의하여 조절된다. 이런 의미에서  $S_1$ ,  $S_2$ 를 단속스위치,  $S_3$ ,  $S_4$ 를 지연스위치라고도 한다.

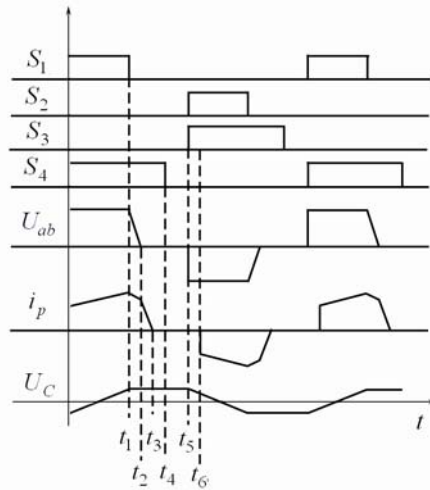


그림 2. 조종극구동신호와 회로의 동작과형

이 변환기는 다음과 같은 6가지 방식의 동작과정을 거치게 된다.

① 방식 1(그림 3의 ㄱ))

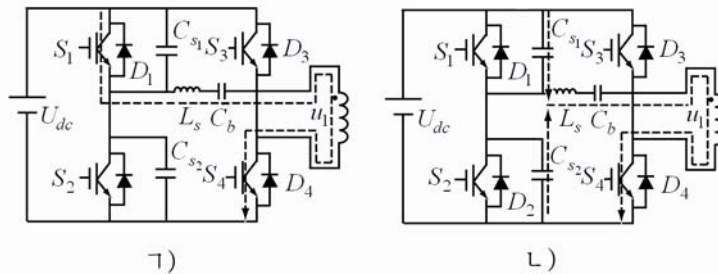


그림 3. 방식 1(ㄱ))일 때와 방식 2(ㄴ))일 때의 등가회로

이 방식에서는  $S_1$ 과  $S_4$ 가 열리며 전력은 입구로부터 출구로 전달된다. 이때 포화선류는 포화상태에 이르고 차단용량의 전압은 부의 최대값으로부터 다음과 같이 선형적으로 증가한다.

$$V_{C_b}(t) = \frac{nI_0}{C_b}t - V_{C_{bp}} \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 변압기의 변성비이고  $V_{C_{bp}}$ 는 차단전압의 맥동값,  $I_0$ 은 2차출구전류이다.

② 방식 2(그림 3의 ㄴ))

여기서는  $S_1$ 이 차단되고 1차권선을 통하여 흐르는 전류는 흡수콘덴서  $C_{S_1}$ 을 충전시

키며 그것의 전압은 다음과 같이 선형적으로 증가한다.

$$V_{C_{S_1}}(t) = \frac{nI_0}{C_{S_1} + C_{S_3}} t \quad (2)$$

③ 방식 3(그림 4의 ㄱ))

$D_2$ 가 열리기 시작한 후  $V_{ab}$ 는 령까지 감소하며 계속 - 값으로 감소한다. 이때 차단용량의 령단전압은 입구전압에 비하여 매우 작으며 이것은 변압기의 루설유도도의 두 끝에 가해지는데 차단용량이 충분히 커서 정전압원으로 볼수 있기때문에 1차권선의 전류는 다음과 같이 선형적으로 감소한다.

$$I_p(t) = -\frac{V_{C_{bp}}}{L_{lk}} t + nI_0 \quad (3)$$

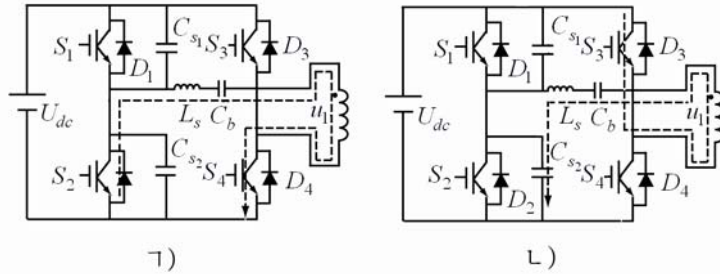


그림 4. 방식 3일 때(ㄱ))와 방식 4일 때(ㄴ))의 등가회로

이때 포화유도도는 여전히 포화되어있는 상태이다.

④ 방식 4(그림 4의 ㄴ))

1차권선전류가 령까지 감소되었을 때 그것은 계속 - 로 감소되려고 하지만 포화유도도가 포화상태로부터 벗어나면서 1차권선전류는 령으로 유지되게 되며 결국  $S_4$ 는 령전류차단되게 된다.

⑤ 방식 5(그림 2의  $[t_4, t_5]$  구간)

이 방식에서 4개의 스위치들은 차단되게 된다. 이때 변압기의 루설유도도와 포화유도도에 의하여 변압기의 1차권선의 전류는 령으로 유지되며 차단용량의 전압은 변하지 않는다.

⑥ 방식 6(그림 2의  $[t_5, t_6]$  구간)

이 방식에서는  $S_2$ 와  $S_3$ 이 열리며 1차권선의 전류가 순간적으로 증가할수 없기때문에 포화유도도는 짧은 절환시간동안에 포화에 이르지 못한다.

이때 령전류절환이 이루어지며 1차권선의 전류는 다음과 같이 선형적으로 증가한다.

$$I_p(t) = -\frac{V_{C_{dc}} + V_{C_{bp}}}{L_{lk}} t \quad (4)$$

위의 설명은 반주기에 해당하는 동작과정이며 다른 반주기동작과정도 이와 같이 설명할수 있다. 즉 제안된 회로는 절환소자들에 대하여 령전류절환열림과 령전압절환차단을 실현한다.

## 2. 변환기의 특성

### ① 최대충만비

령전압령전류완전다리직류-직류변환기의 최대충만비는 다음의 식에 의하여 결정된다.

$$D_{\max} = 1 - \frac{t_d + \Delta T + T_{ZC}}{T/2} \quad (5)$$

여기서  $t_d$  는 방식 2의 주기이고  $\Delta T$  는 방식 3의 주기,  $T_{ZC}$  는 방식 5의 주기이다.

단속다리스위치들사이의 령전압절환을 보장하기 위한 필요한 휴식시간은 다음과 같다.

$$t_d = V_{dc} \frac{C_{S_1} + C_{S_3}}{nI_0} \quad (6)$$

방식 3에서  $\Delta T$  는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\Delta T = \frac{nI_0 L_{lk}}{V_{C_{bp}}} \quad (7)$$

여기서  $V_{C_{bp}}$  는 차단용량의 맥동전압으로서 다음과 같다.

$$V_{C_{bp}} = \frac{nI_0 DT}{4C_b} \quad (8)$$

식 (8)을 식 (7)에 대입하면 다음과 같다.

$$\Delta T = \frac{4L_{lk}C_b}{DT} \quad (9)$$

식 (9)에서 보는바와 같이  $\Delta T$  는 충만비에 반비례한다.

식 (5)와 (9)로부터 충만비의 조종범위를 최대로 하자면 루설유도도는 최소로 되어야 하지만 이때 차단콘덴서의 맥동전압이 증가하는것으로 하여 무제한하게 작게 할수 없다. 그러므로 충만비의 최대조종범위와 차단용량의 크기, 포화유도도의 크기는 실지 응용할 때 균형을 맞추어 설정하여야 한다.

### ② 절환손실

우선 단속다리스위치에서 령전류절환열림과 령전압절환차단을 실현하였으므로 열림손실과 차단손실은 령으로 된다.

한편 지연다리스위치에서는 령전류절환열림을 실현하였으므로 열림손실이 령으로 되며 결국 제안된 회로에서 절환소자들의 손실전력은 매우 작아진다.

## 3. 실험 및 결과분석

그림 1과 같이 제작된 변환기의 특성량들은 다음과 같다.

직류입구전압  $V_{dc} = 280$  V, 출구전압  $V_0 = 30$  V, 출구전류  $I_0 = 200$  A, 절환주파수  $f_s = 20$  kHz

그리고 완전다리직류-직류변환기에서 4개 IGBT들의 구동신호들은 그림 5와 같다.

단속다리스위치들과 지연다리스위치들은 동시에 열리지만 차단되는 시각은 각이하다. 단속다리스위치들의 구동신호들은 PWM조종되며 한편 지연다리스위치들의 구동신호들은 최대유지되어 결국 넓은 부하범위안에서 출력조절을 실현한다.

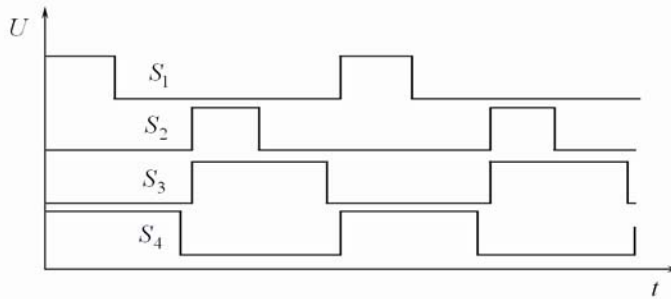


그림 5. 4개 IGBT들의 구동신호

측정된 변환기다리의 출구전압파형, 변압기1차권선의 전압파형, 자연다리스위치들의 랑끝전압파형들과 변압기1차권선의 전류파형을 그림 6에 보여주었다.

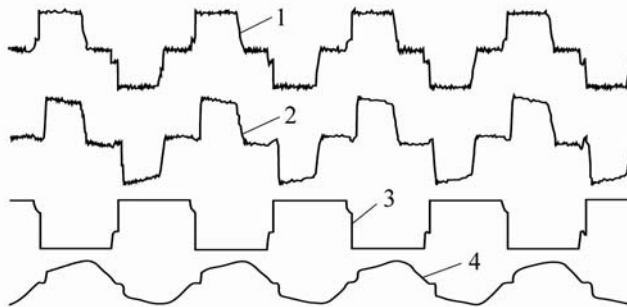


그림 6. 변환기의 동작파형

1-2차전압파형, 2-1차전압파형, 3-자연스위치랑끝전압파형, 4-1차전류파형

그림 6에서 보는바와 같이 자연스위치는 령전류도통과 차단이 이루어지며 충격전압파형이 나타나지 않는다.

단속다리스위치들의 랑끝에서의 전압파형들과 변압기의 1차권선에서의 전류파형을 그림 7에 보여주었다.

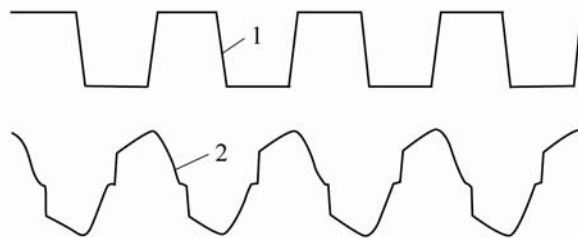


그림 7. 단속다리전압과 1차전류파형

1-단속스위치전압파형, 2-1차전류파형

그림 7에서 보는바와 같이 단속스위치전압파형에는 충격전압이 나타나지 않으며 내림면과 오름면경사도는 차단용량에 의하여 결정되는데 자연다리스위치들과 같은 급격한 변화는 없다는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

포화유도도와 직류차단콘덴샤를 추가하고 비대칭위상밀립PWM조종을 리용한 새로운 령전압령전류절환완전다리직류-직류변환기를 제안하고 실현하였다. 실험을 통하여 제안된 변환기가 맥동전압을 줄이고 절환손실을 감소시킨다는것을 확증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] X. Zhang et al.; Transactions of China Electrotechnical Society, 25, 81, 2010.
- [2] W. Jiang et al.; Transactions of China Electrotechnical Society, 26, 8, 2011.
- [3] M. J. Baei et al.; Journal of Power Electronics, 14, 237, 2014.

주체108(2019)년 11월 5일 원고접수

### **Study on Full-Bridge DC-DC Converter Adding Saturable Inductor and a DC-Blocking Capacitor**

*Kim Yong Gwang, Jong Won Chol and Ri Yong Myong*

We added a saturable inductor and DC-Blocking capacitor, suggested and implemented the Asymmetric Phase-shifted PWM Control. Through the experimentation, we have proved that a converter decreases the peak voltage and switching loss.

Keywords: DC-DC converter, full-bridge, PWM