

## 연여단기직류전원의 동작특성분석과 실현

김은성, 림원철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학기술을 확고히 앞세우고 과학기술과 생산을 밀착시키며 경제건설에서 제기되는 모든 문제들을 과학기술적으로 풀어나가는 기풍을 세워 나라의 경제발전을 과학기술적으로 확고히 담보하여야 합니다.》

전력전자기술의 발전에 의해 전통적인 조종정류기대출력직류전원들이 여단기식직류전원으로 대체되면서 체적과 중량, 력률과 효율, 동적응답과 잡음 등의 방면에서 많은 문제들을 해결하였지만 PWM여단기방식에서 여단기손실로 인하여 직류전원들의 고주파화는 제한을 받는다.[2, 3]

논문에서는 여단기손실을 줄이기 위하여 령전압여단기를 실현하는 상유킴연여단이변환기주회로를 제안하고 동작특성을 분석하였으며 여단기의 동작과형을 통하여 연여단기변환기동작의 정확성을 확증하였다.

### 1. 령전압연여단기전다리변환기의 구조와 동작분석

령전압연여단기전다리변환기는 기본상유킴변환기[1]의 기초우에서 1차권선에 하나의 직류차단용량  $C_b$ 를 추가한것이다.

주회로는 그림 1에 보여준것처럼 려파용량  $C_d$ , 방전저항  $R$ , 전다리역변환기, 직류차단용량  $C_b$ , 고주파변압기  $T$ , 2차정류2극소자  $D_{ri}(i = 1, 2)$ , 출구려파유도도  $L_f$ 와 용량  $C_f$  등을 포함한다.

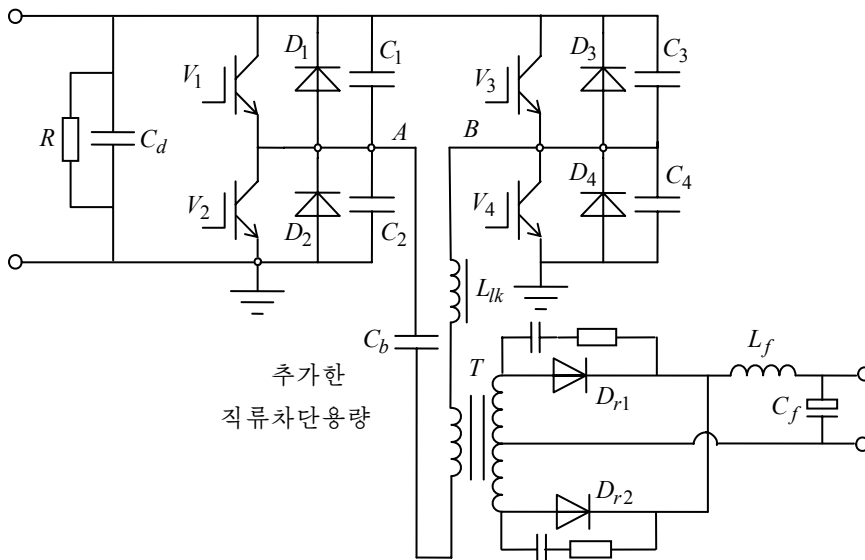


그림 1. 직류차단용량을 추가한 주회로의 구조

상용직류변환기조종방식의 특징은 다음과 같다.

① 1개 여닫이주기  $T_s$ 에서 매 여닫이의 도통시간은 모두  $T_s/2$ 보다 약간 작고 차단시간은 모두  $T_s/2$ 보다 약간 크다.

② 동일한 다리의 아래우여닫이는 동시에 도통상태에 놓일수 없고 1개 여닫이를 차단시키고 다른 여닫이를 도통시킬 때 일정한 휴지시간을 설치하여야 한다.

③ 대각인 두쌍의 여닫이  $V_1-V_4$ 와  $V_2-V_3$ 의 여닫이함수파형을 비교하면  $V_1$ 의 파형은  $V_4$ 에 비하여 그리고  $V_2$ 의 파형은  $V_3$ 에 비하여  $0 \sim T_s/2$  앞선다.

그러므로  $V_1$ 과  $V_2$ 를 앞선요소,  $V_3$ 과  $V_4$ 를 뒤선요소라고 한다.

그림 1에서  $D_1-D_4$ 는  $V_1-V_4$ 내부의 2극소자이며  $C_1-C_4$ 는  $V_1-V_4$ 의 기생용량과 외부에 병렬연결한 용량의 병렬값,  $L_{lk}$ 는 조화진동유도도 즉 고주파변압기의 루설유도도이다. 직류차단용량  $C_b$ 는 변압기의 볼트초평형을 보장하는데 리용되어 변압기의 자기편이를 막는다.

변환기의 기본동작과정은 다음과 같다.

변환기대각선상의 2개 여닫이가 동시에 도통될 때 입구에서 출구로 에너기가 전송되며 직류차단용량  $C_b$ 는 1차전류  $i_p$ 로 충전되고 전압  $u_{C_b}$ 는 원래의 방향에서 다른 방향으로 선형으로 변한다.  $L_{lk}$ 와 여닫이병렬용량  $C_1-C_4$ 사이의 조화진동에 의해  $L_{lk}$ 의 에너지방출과정에 용량전압  $u_{C_i}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )는 점차 령으로 떨어져 2극소자  $D_i$ 를 도통시키게 되며 결과적으로 4개 여닫이에 대하여 령전압도통을 실현한다. 변환기는 대각선 여닫이구동신호의 위상차 즉 충만비를 변화시켜 출구전압을 조절한다.

그림 2에 변환기의 주요동작파형을 보여주었다.

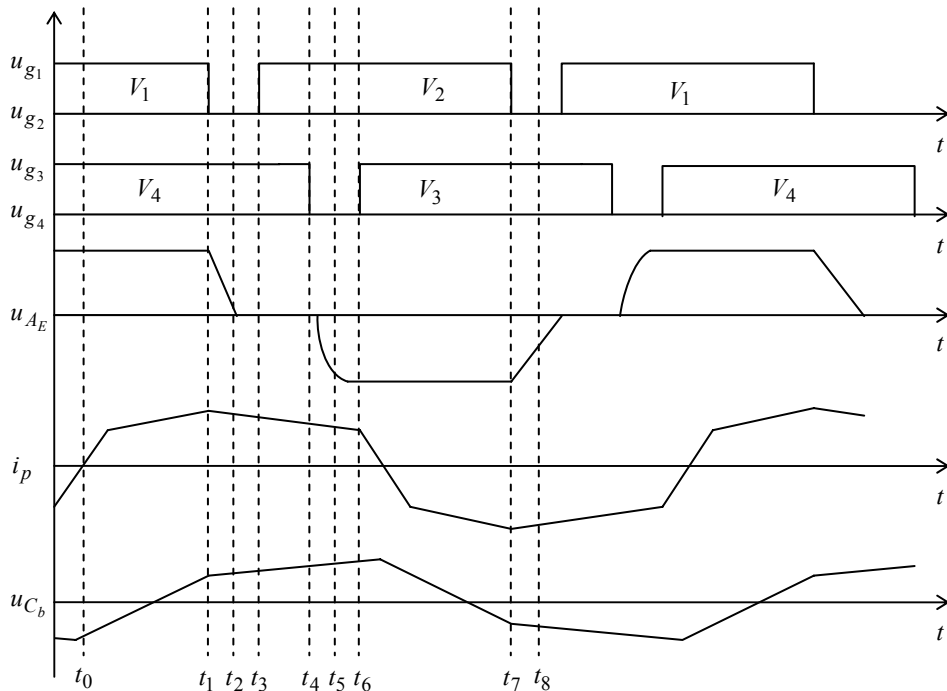


그림 2. 변환기의 주요동작파형

변환기동작과정분석에 앞서 다음과 같은 가정을 진행한다.

① 주회로의 여단자와 2극소자는 모두 리상요소이다.

② 출구려파유도도  $L_f$ 는 충분히 크며 반주기동작내에서 그 전류는 정전류원으로 볼 수 있다.

③ 용량은  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4$ 이다.

이 변환기동작의 반주기를 6개의 구간으로 나눌 수 있다.

①  $t_0 - t_1$  구간

$t_0$ 시각에서  $V_1, V_4$ 는 이미 도통되어있으므로 1차전류  $i_p$ 는 전원의 정극에서  $V_1$ , 변압기의 1차권선, 직류차단용량  $C_b, V_4$ 를 거쳐 전원의 부극으로 돌아온다. 입구에너지는  $T, D_{r1}, L_f$ 를 통하여 부하에 전송되는 한편 직류차단용량  $C_b$ 를 충전한다. 이때 1차전류  $i_p = I_p = I_o/n$ 이다. 여기서  $n$ 은 변압기의 변압비,  $I_o$ 는 출구전류이다.

이 구간의 초기시각  $t_0$ 에서 직류차단용량의 전압은 거의  $-U_{C_{bp}}$  ( $U_{C_{bp}}$ 는  $U_{C_b}$ 의 정의 부우리값전압)이다. 이 구간에서  $C_b$ 의 전압변화는

$$u_{C_b}(t) = \frac{1}{nC_b} \int I_o dt - U_{C_{bp}} \quad (1)$$

이다.

②  $t_1 - t_2$  구간

$t_1$ 시각  $V_1$ 은 차단된다.  $C_1$ 의 량단전압은 갑자기 변할수 없으므로  $V_1$ 은 거의 령전압 차단되며  $V_4$ 는 여전히 도통상태에 놓여있다. 휴지시간으로 하여  $V_2$ 는 즉시 도통될수 없고 또  $V_3$ 은 차단상태에 놓여있다. 이때 1차유도도권선의 전류  $i_p$ 는 갑자기 변할수 없으므로 전류는  $V_1$ 로부터  $C_1$ 과  $C_2$ 분기회로로 이행하며  $C_1$ 은 충전되고  $C_2$ 는 방전된다. 이 구간에서 변압기의  $L_{lk}$ 와 2차려파출구유도도  $L_f$ 의 원인으로 하여 1차전류는  $i_p = I_p = I_o/n$ 으로 거의 불변이라고 볼수 있다.

그러면  $C_1, C_2$ 상의 전압변화는

$$u_{C_1}(t) = \frac{1}{n(C_1 + C_2)} \int I_o dt, \quad u_{C_2}(t) = U_{in} - u_{C_1}(t) \quad (2)$$

이다.

만일  $t_2$ 시각 전압  $u_{C_2}$ 는 령으로 떨어지고  $u_{C_1}$ 은 전원전압까지 상승하면  $D_2$ 는 자연도통되어  $V_2$ 량단의 전압은 령으로 고정되어 령전압도통을 위한 조건이 마련된다.

$u_{C_2}$ 가 령까지 떨어지는 시간은

$$\Delta t = nU_{in}(C_1 + C_2)/I_o \quad (3)$$

이다.

③  $t_3 - t_4$  구간

$t_3$ 시각에  $D_2$ 는 자연도통이므로  $V_2$ 는 령전압도통될수 있다. 1차전류  $i_p$ 는  $V_4$ 와  $D_2$ 를 통하여 속류되며 역변전압  $u_{AB}$ 는 령상태로 준위고정되며  $C_b$ 의 전압은 계속 상승한다. 출구전류  $I_o$ 는 변압기의 2차권선과 정류소자  $D_{r1}$ 을 통하여 속류된다.

④  $t_4 - t_5$  구간

$t_4$ 시각에  $V_4$ 는 차단,  $C_4$ 의 전압은 갑자기 변할수 없으므로  $V_4$ 는 거의 령전압에서 차단된다.

휴지시간을 설정한것으로 하여  $V_3$ 은 즉시 도통될수 없으며 1차권선의 전류  $i_p$ 는 갑

자기 변할수 없으므로 전류는  $V_4$ 로부터  $C_3$ 과  $C_4$ 분기회로로 이행하여  $C_4$ 를 충전하고  $C_3$ 을 방전하며 유도도  $L_{lk}$ 와 조화진동을 발생한다.

이때 변압기의 1차전류  $i_p$ 는

$$i_p(t) = I_p \cos \omega_b t \quad (4)$$

이다.

그러면 용량  $C_3, C_4$ 의 전압은

$$u_{C_3}(t) = U_{in} - u_{C_4}(t), \quad u_{C_4}(t) = \omega_b L_{lk} \sin(\omega_b t) - U_{C_b}(t) \quad (5)$$

이다. 여기서

$$\omega_b = 1/\sqrt{L_{lk}(C_3 + C_4)}$$

이다.

만일  $t_5$ 시각에  $C_3$ 전압이 령으로 떨어진다고 가정하면  $C_4$ 전압은 전원전압으로 상승하고  $D_3$ 은 자연도통되어  $V_3$ 량단의 전압은 령상태로 준위고정되어 령전압도통조건을 마련한다.

⑤  $t_5 - t_6$ 구간

$t_5$ 시각에  $D_3$ 은 자연히 도통되므로 변압기의 1차전류  $i_p$ 는 부극으로부터  $V_2, C_b, D_3$ 을 거쳐 정극으로 돌아오며  $L_{lk}$ 의 에너지는 무효전력의 형식으로 직류전원으로 귀환된다.

⑥  $t_6 - t_7$ 구간

$t_6$ 시각에  $D_3$ 은 자연도통이므로  $V_3$ 은 령전압도통을 실현한다.  $V_2$ 는 이미 도통상태에 놓여있으므로 입구전압은 변압기루설유도도  $L_{lk}$ 와 직류차단용량  $C_b$ 에 가해지고 1차전류  $i_p$ 는 반대방향으로 그리고 선형으로 증가하며 출구전류를 1차에 환산한 수값과 같을 때에 끝난다. 이 과정에서  $i_p$ 가 령을 지날 때 직류차단용량  $C_b$ 의 전압은 최대값  $U_{C_{bp}}$ 까지 상승한다.

## 2. 결과 분석

령전압여단기전다리변환기의 설계지표는 다음과 같다.

- ① 입구전압 :  $U_{in}=530V$  ( $U_{in(min)}=500V, U_{in(max)}=560V$ )
- ② 출구전압 :  $U_o = 0 \sim 50V$ 에서 조절가능
- ③ 출구전류 :  $I_o = 0 \sim 400A$ 에서 조절가능
- ④ 여단이주과수 :  $f_s = 20kHz$
- ⑤ 변환회로형식 : 전다리회로
- ⑥ 출구정류회로형식 : 중심답브전과정류

이러한 지표에 따라 설계제작한 령전압여단기전다리변환기주회로를 그림 3에 보여 주었다.

연여단기전다리변환기의 실제동작과형을 측정하고 분석을 진행한 결과 그림 4와 5에서 보는바와 같이 구동전압  $u_{gV}$  및 배출극-원천극전압  $u_{DsV}$ 과형으로부터 전다리변환기의 앞선요소는 도통과 차단시에 모두 령전압여단기를 실현한다는것을 알수 있다.

과형으로부터 도통과정에 조종극구동신호가 가해지기 전에 배출극과 원천극전압은 이미 령이며 차단시에도 차단신호가 가해진 후 일정한 시간구간 배출극과 원천극전압이 령을 유지한다는것을 알수 있다.

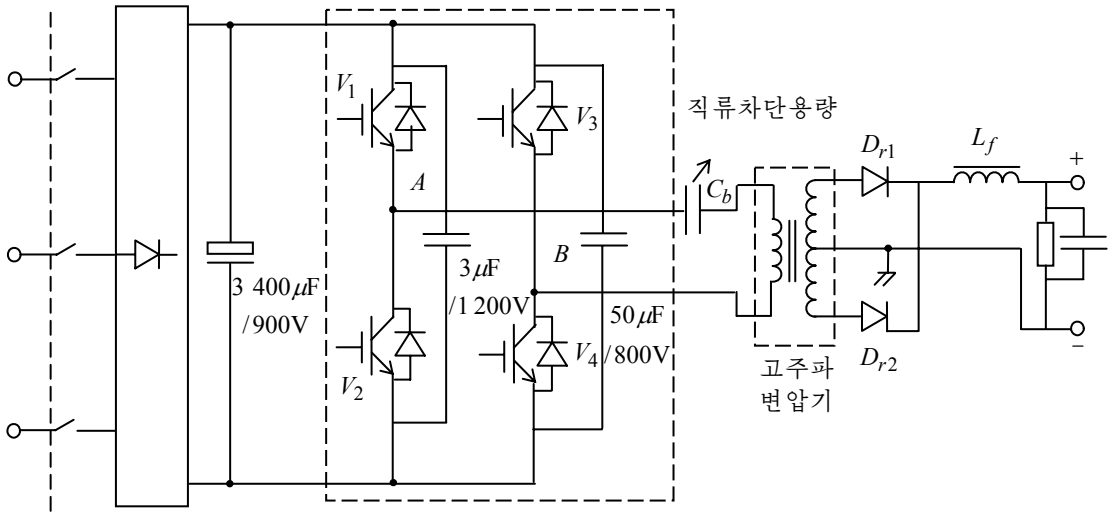


그림 3. 령전압여닫기전다리변환기주회로

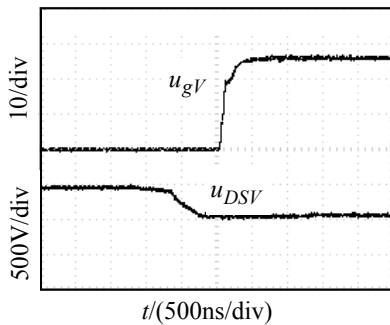


그림 4. 도통시 앞선요소의 구동과 배출극—원천극전압

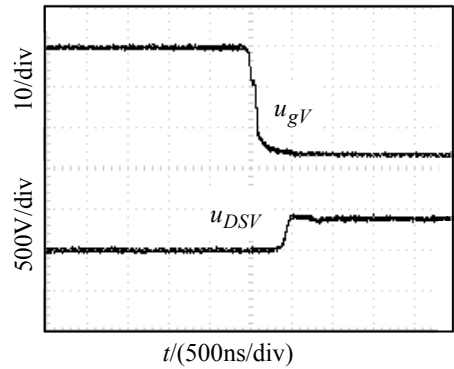


그림 5. 차단시 앞선요소의 구동과 배출극—원천극전압

## 맺 는 말

상용김연여닫기전다리직류—직류변환기의 주회로를 제안하고 동작원리를 분석하였으며 제작한 변환기의 동작파형을 통하여 령전압여닫기의 정확성을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 림원철 등; 현대전력변환기술, 김일성종합대학출판사, 25~100, 주제106(2017).
- [2] 余恒 等; 电源技术应用, 1, 1, 1, 2008.
- [3] 刘星桥 等; 电力电子技术, 42, 2, 28, 2008.

## **Analysis about Operating Character of Soft Switching DC Power Supply and Its Realization**

*Kim Un Song, Rim Won Chol*

Firstly this paper presents the main circuit of a phase-shifted soft-switching full-bridge converter and analyzes the operating principle. Secondly illustrates the accuracy of zero-voltage-switching by the operating waveform of the manufactured converter.

Keywords: zero-voltage switching(ZVS), phase-shifted soft-switching, full-bridge converter