

### 3상 고역률 AC/DC 컨버터의 부하에 따른 최적 인덕터값

<sup>0</sup>진 중합 김 천식\* 박 점문\* 이 석형\*\* 이 현우\*

<sup>0</sup>대구보건전문대 \*\*두리기전 \*경남대학교

#### Optimal Inductance of Three-phase High-Power Factor Converter

\*Chun J.H. Kim C.S.\* Bark J.M.\* Lee S.H.\*\* Lee H.W.\*

<sup>0</sup>Daegu Health J. COLL.\*\*Du Ri M/E Co. \*Kyung-Nam UNI.

**Abstract**-This paper proposed a partial resonant switching three-phase high power factor converter using a lossless snubber. The proposed converter has a merit of simple controlled circuit because the input current control discontinuously. And it is improve to input power factor that the snubber capacitor's energy regenerate to the AC source side. This topology is reduced a current/voltage stresses of resonant devices in addition to a partial resonant strategy. The result of simulations with the proposed topology included in this paper.

#### 1. 서 론

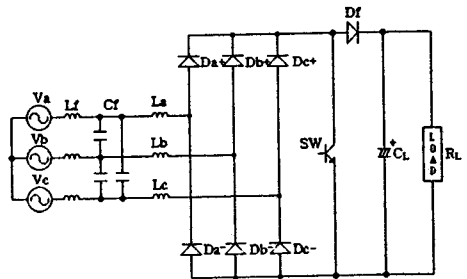
본 논문에서는 정류회로와 부스터 업 초퍼로 구성시킨 부분공진형 PWM 컨버터에 대한 해석 결과를 토대로, 정류회로와 공진용 무손실 스너버를 가진 부스터 업 초퍼로 구성하여, 스너버에 축적된 에너지를 전원으로 회생시켜 고효율화를 실현하며, 소프트 스위칭 기술을 이용하여 입력전류를 불연속으로 동작하게 함으로써 입력전류를 정현파로 만들어 고역률화를 시도한다. 또한 부분 공진 기법을 도입하여 제어용 소자들의 공진 스트레스를 줄인다. 콘덴서 Cr은 스너버 콘덴서 보다는 공진용 콘덴서로서의 역할의 비중이 크기 때문에 스너버는 없는 것으로 가정하여도 무관하다. 그래서 무손실 스너버로 동작 되어지기 때문에 3상 고역률 부분 공진형 전력변환장치라 한다. 이 고역률 부스터 업 AC-DC 컨버터의 동작 모드를 설명하고, 부하에 따른 인덕터의 최적치를 구하고 부분공진에 의한 ZVS, ZCS 동작시의 소프트 스위칭 손실과 하드 스위칭 손실비교, 왜형률을 비교 분석한다.

#### 2. 부분 공진형 3상 컨버터

##### 2.1. 3상 고역률 컨버터

전류 불연속에서 사용하는 3상 고역률 컨버터는 그림 1에 표시한 것과 같이 인덕터 La, Lb, Lc와 3상 다이오드 브리지 그리고 부스터 업 초퍼로 구성하여 심플하게

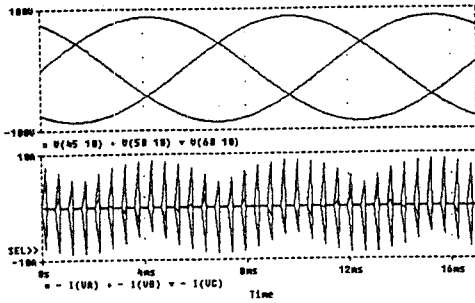
구성하였다. 이러한 회로 구성은 하나의 제어소자로 3상 고역률 컨버터를 구성할 수 있으며, 제어회로의 구성이 간단하다. 부스터 업 스위치 SW는 일정 주파수로 턴 온한다. SW의 시비율은 부하에 따라서만 변화하고, 입력전류는 항상 불연속이다. 스위치의 온 기간 동안은 모든 3상 입력 교류전류는 3개의 인덕터와 6개의 정류 다이오드가 스위치를 통하여 단락 된다. 그 결과 세 입력 전류는 동시에 그 각상의 순시값에 비례하는 비율로 상승한다. 전류 펄스가 항상 영에서 시작한다는 의미는 그 전류의 평균값 역시 정현적이라는 것이다. La, Lb, Lc의 전류는 그림 2에서 상전압과 상전류의 위상 관계를 나타내었고, 전원전압에 비례하는 불연속 펄스 전류로서 정현파가 얻어진다. 그것의 기본파는 전압과 동위상으로 단위 역율이 된다. 스위치 턴 온은 제로 전류 스위칭(ZCS)으로 무손실로 동작하지만, 턴 오프는 최대 전류에서 동작되어진다. 이것으로 인하여 스위칭 손실은 증가하게 된다.



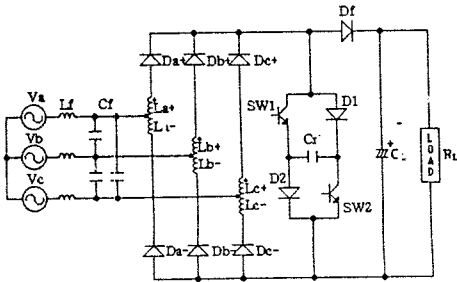
<그림 1> 3상 고역률 컨버터

##### 2.2. 무손실 스위칭 3상 컨버터

그림3은 그림1의 SW를 무손실 스너버 1조로 치환되어진 소프트 스위칭형 AC-DC 3상 컨버터 토폴로지로서 턴 오프시에는 스위치의 제로 전압의 상태에서 Cr을 충전하면서 SW1, SW2의 전압이 서서히 상승하기 때문에, ZVS로 동작되어 스위치 전압 스트레스가 경감된다. 또한 스위치에 흐르는 전류는 SW1-D2와 D1-SW2로 분할되어 흐르기 때문에 전류 부담을 반으로 줄인다. Cr의 에너지는 스위치 턴 온시에 SW1, SW2를 통하여 6개의 정



<그림 2> 불연속 모드의 3상 전압 및 전류 파형



<그림 3> 무손실 스위칭 3상 컨버터

류 다이오드를 통하여 공진 콘덴서 Cr의 에너지를 6개로 분리된 3상 인덕터에 전송 되므로 희생하게 된다.

### 3. 회로 해석

고역률 3상 컨버터 회로해석은 회로스위치의 ON/OFF 상태로 나누어 해석한다.

#### 3.1. S/W ON시 해석

3상의 스위치 온 시점에서  $t_a=0$ 를 잡으면 그림4에서 아래와같이 볼수 있다.

$$\frac{V_a - V_n}{L_a} t + \frac{V_b - V_n}{L_b} t + \frac{V_c - V_n}{L_c} t = 0$$

$$L_a = L_b = L_c = L$$

$$\frac{V_a - V_n - V_b - V_n - V_c - V_n}{L} t = 0$$

$$\therefore \frac{V_a + V_b + V_c - 3V_n}{L} t = 0$$

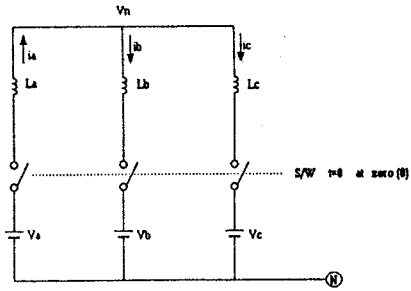
$$V_a + V_b + V_c = 3V_n$$

$$\therefore V_n = 0(V)$$

여기서,  $V_n$ 은 3상입력의 중성점 전압이고 평형3상에서  $V_a + V_b + V_c = 0$ 이다.

#### 3.2. S/W OFF시 해석

Switching 1주기 동안 상전압의 변동이 없다고 가정하면, 다음과 같이 나타낼수 있다.



<그림 4> 고역률 3상 컨버터 S/W ON시 해석도

$$i_a = \frac{V_a}{L} T_{on}, \quad i_b = \frac{V_b}{L} T_{on}, \quad i_c = \frac{V_c}{L} T_{on}$$

$$+V_b + V_{I,b} = +V_c + V_{I,c} = V_p$$

$$\frac{V_p - V_b}{L} t_b - \frac{V_b}{L} t_{on} = 0$$

$$\frac{V_p - V_c}{L} t_c - \frac{V_c}{L} t_{on} = 0$$

$$V_p + V_s = V_L$$

$$(V_p - V_b)t_b - V_b t_{on} = 0$$

$$(V_p - V_b)t_b = V_b t_{on}$$

$$\frac{V_b}{V_p - V_b} = \frac{t_b}{t_{on}}$$

$$\therefore \frac{1}{\frac{V_p}{V_b} - 1} = \frac{t_b}{t_{on}}$$

여기서,  $V_a$ 가  $t_b$ 에 비례한다.

### 4. 회로 동작 및 시뮬레이션

무손실 스위칭 3상 컨버터 토폴로지의 동작 모드를 그림 5에 나타내었다. 동작 모드는 5개로 나누어지고 각각의 동작 모드를 해석하였다. 5개의 동작 모드는 스위칭 한 주기 동안 이루어진다. 여기서 부스터 업 인덕터에 축적된 전류는 영으로 그리고 스너버 콘덴서에는 출력 전압( $V_o$ ) 만큼의 전압이 축적되어진 것을 초기 조건으로 가정한다.

<모드 1 ;  $t_0 < T_1 < t_1$ >

콘덴서 Cr의 방전 모드이다. 콘덴서 Cr의 초기 조건으로  $t=0$ 에서  $V_{out}$ 의 전압을 가지고 있다. 스너버 콘덴서 Cr은 방전되어 에너지는 인덕터로 이동한다. 6개의 브리지 다이오드는 전부  $t=0$ 에서 동시에 온하여 인덕터를 통하여 단락 되지만, 콘덴서 Cr에서 부터의 방전 전류가 끝나는 시각은 그것의 전원전압의 순시값에 따라 다르다. 이 모드는 스너버 콘덴서 Cr이 완전히 방전되어 영으로 되면 끝난다.

<모드 2 ;  $t_1 < T_2 < t_2$ >

인덕터의 에너지 축적 모드이다. 이 모드는 다이오드

D1, D2가 도통 되면 시작된다. 브리지 다이오드의 도통은 전원전압의 순시값에 관계해서 위의 암(arm)2개와 아래의 암(arm) 1개 또는 위의 암(arm)1개와 아래의 암(arm) 2개 어느 것으로도 되기 때문에 도통한 다이오드에 직렬로 접속되어져 있는 인덕터에 전류가 흐른다. 이 모드는 SW1, SW2가 동시에 턴 오프되면 끝난다.

<모드 3 :  $t_2 < T_3 < t_3$ >

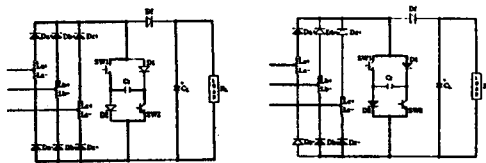
콘덴서 Cr의 충전 모드이다. 이 모드는 SW1, SW2를 동시에 턴 오프하면 시작된다. SW1, SW2를 동시에 턴 오프하면 스위치에 흐르던 전류는 콘덴서 Cr를 충전하게 된다. SW1, SW2의 턴 오프는 Cr의 동작으로부터 ZVS를 실현한다. 이것의 통전 시간은 짧고 인덕터 전류는 이 모드에서는 거의 변함없다. 이 모드는 스너버 콘덴서 Cr이 완전히 충전되어 Vo로 되면 끝난다.

<모드 4 :  $t_3 < T_4 < t_4$ >

La, Lb, Lc의 에너지 방출 모드이다. 이 모드는 다이오드 Df가 도통되면 시작된다. 다이오드 Df를 통하여 직류 출력 축으로 축적 에너지를 방출한다. 축적되어진 에너지량 및 그 시각의 3상 전원 전압의 값으로부터 제로 전류가 되는 시각에 차이가 발생하며, 위의 암(arm)다이오드 1개 아래의 암(arm)다이오드 1개 만의 도통 상태이다. 이 모드는 La, Lb, Lc의 에너지가 영으로 되면 끝난다.

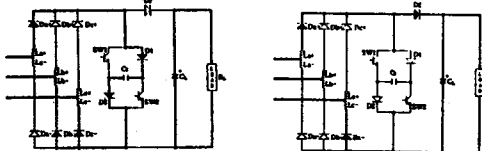
<모드 5 :  $t_4 < T_5 < t_5$ >

인덕터 La, Lb, Lc의 전류가 제로의 상태이며, 콘덴서 Cr에 충전된 에너지가 부하쪽으로 방전되는 구간으로 모든 다이오드 및 스위치는 오프 상태이다. 이 모드가 끝나면 다시 새로운 모드 1이 시작된다.



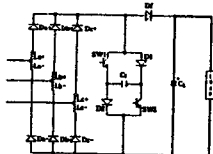
< 모드 1 >

< 모드 2 >



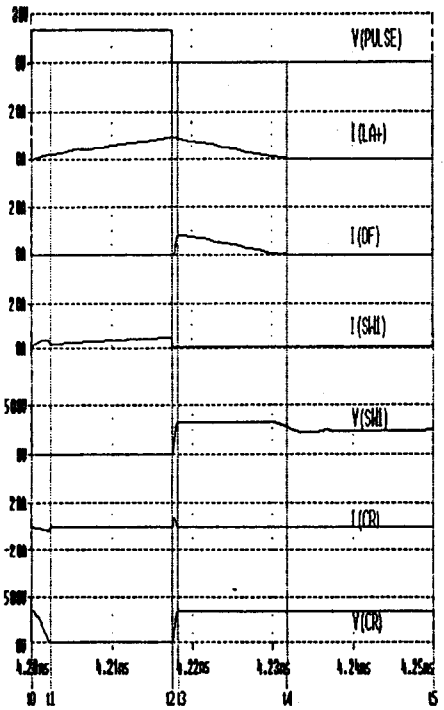
< 모드 3 >

< 모드 4 >

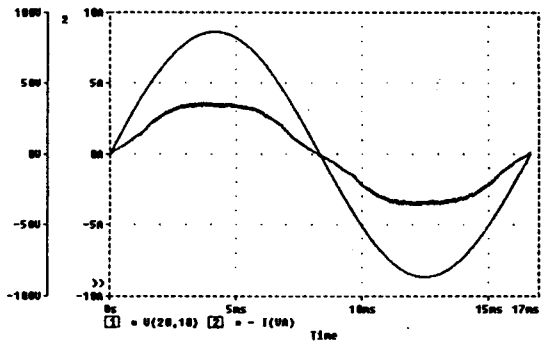


< 모드 5 >

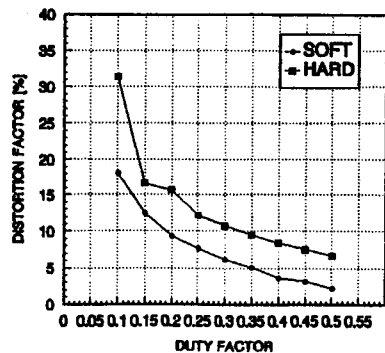
<그림 5> 동작 모드



<그림 6> 시뮬레이션 파형

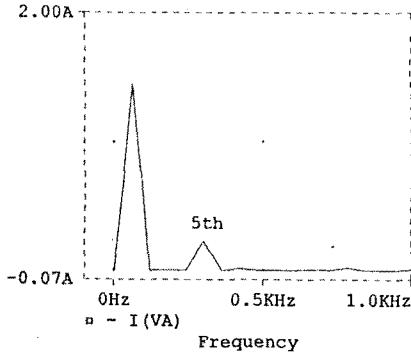


<그림 7> 필터를 포함한 입력전압 및 입력전류

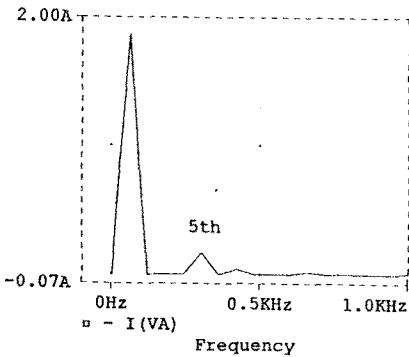


<그림 8> 하드 스위칭과 소프트 스위칭시의 왜곡률

그림 6은 제안된 회로의 동작 시뮬레이션 파형을 보여 준다. 제안된 회로에 있어서 다이오드는 이상적인 다이오드이고, 제어 스위치는 가변저항의 스위치로 하여 PSpice로 시뮬레이션 하였다. 그림 7은 필터를 포함한 입력 전압 및 전류의 파형을 보여준다. 그림 8은 시비율을 변화 시키므로서 왜형률의 변화와 고조파 스펙트럼을 하드 스위칭일때와 소프트 스위칭일때를 비교한다.



<하드스위칭>



<소프트스위칭>

<그림 9> 입력전류의 주파수 스펙트럼

## 5. 결 론

본 논문은 고역률 3상 컨버터에서 전류 불연속 모드로 동작하고 턴 온은 제로 전류 스위칭 (ZCS), 턴 오프시에는 제로 전압 스위칭 (ZVS)을 실현하여 소프트 스위칭되어 스위칭 손실이 적어짐을 알았고, 스너버 콘덴서의 에너지가 전원으로 회생되어 스너버의 손실이 발생하지 않으므로 고효율을 실현하였다.

고역률 3상 컨버터 회로의 부하에 따른 최적 인덕터 값을 산출하여 적용하므로서 입력전류가 입력전압과 등위상인 단위 입력역률임을 보였다. 또, 소프트 스위칭시의 왜형률이 하드 스위칭시의 왜형률보다 적다는 것을 그래프와 스펙트럼으로 보여 입력전류의 파형이 개선되었음을 확인했다.

## 참고문헌

- (1) G.H.CHO, etal "New group of ZVS PWM Converters operable on constant frequency and its application to power factor correction circuit", *ibid* 1441-1446, 1992.
- (2) Hyun-woo Lee,etal "A Novel Quasi-Resonant PWM Converter with high power factor using lossless snubber", *IEICE*, PE 33-60, pp.23-28,1994.
- (3) Johann W.KOLAR, H.Ertl & F.C.Zach, "A comprehensive design approach for a three-phase high-frequency single-switch discontinuous-mode boost power factor corrector based on analytically derived normalized converter componentratings", *IEEE*, pp.931-938, 1993.
- (4) Alexandre Ferrari de Souza and Ivo barbi, "A new ZVS-PWM unity power factor rectifier with reduced conduction losses" *IEEE*, pp.324- 348, 1994.
- (5) Keming Chen, Ahmed Elasser, David A. Torrey, " A Soft Switching Active Optimized for IGBTs in Single Switch Unity Power Factor Three-Phase Diode Rectifiers", *IEEE*, pp. 280 - 286, 1994
- (6) C.S.Kim, J.H.Chun, K.TANIGUCHI,JIYUN-WOO LEE : "Using a Lossless Snubber for Soft-Switching Three-Phase High Power Factor Converter ", *ICPE '95 INTERNATIONAL CONFERENCE ON POWER ELECTRONICS*, pp.355-360, 1995.10.10-14.