

이중 출력과 단위 역률을 갖는 새로운 단일 전력단 정류기

*천 세환, 이 동윤, 박 남주, 현동석
한양 대학교 전기공학과 전력전자 연구실

A New AC/DC Rectifier Using One Power Circuit for Unity Power Factor and Dual Output Application.

*Se-Hwan Chun, Dong-Yun Lee, Nam-Ju Park and Dong-Seok Hyun
M.D. Student in Dept. of Electrical Engineering, Hanyang Univ

Abstract - 이 논문은 이중 출력과 단일 역률 적용에 대한 하나의 전력단 회로를 사용한 새로운 정류기를 나타낸다. 제안된 정류기는 부스트와 플라이백 컨버터가 결합된 하나의 전력단 회로를 갖는 구조를 가지고 있고, PFC(power factor correction) 와 일정 출력 전압 제어를 동시에 수행한다. 따라서, 제안된 정류기는 전형적인 AC / DC 정류기들(멀티 펄스를 갖는 플라이 백 정류기, 투 스테이지 방식을 사용한 부스트와 플라이백 컨버터가 결합된 정류기 등등)보다 낮은 비용과 작은 사이즈의 장점을 갖는다. 제안된 정류기 회로의 동작 원리는 본 논문에서 상세하게 기술 되어진다. 그리고 시뮬레이션을 통하여 제안된 정류기의 타당성을 증명하였다.

1. 서 론

최근 산업의 발달로 모든 것이 전자화 정보화 되어감에 따라 전력의 질적 향상에 대한 요구가 증가되고 이로 인한 IEC-1000-3-2와 같은 고조파 규제가 강하게 대두되고 있다. 특히, 첨단 산업에 이용되는 AC/DC 컨버터의 경우 고조파가 많으면 주변 장치나 기기들에 상당한 영향을 주어 기기의 오동작을 일으키게 하고 고조파로 인한 회로의 손실이 발생하여 입력 측에 더 많은 전력이 소모됨에 따라 시스템의 효율이 떨어지게 된다. 따라서 역률 보상과 고조파를 저감시키기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한 이를 위한 방법으로 다이오드 정류기에 단순히 EMI필터나 ACTIVE POWER 필터 등을 사용하여 왔으나 근본적인 해결책이 되지 못하고 능동 소자를 이용한 역률 보상(POWER FACTOR CORRECTION)이 유일한 대안으로 인식 되어지고 있으며 많은 연구를 수행하고 있다 [1]-[2].

즉, PFC는 AC/DC컨버터에 없어서는 안 될 부분이 되었다. 특히, 이중 출력을 갖는 AC/DC 컨버터 시스템의 경우 시스템의 효율성 증가와 안정성의 필요가 요구 되어진다. 왜냐하면 하나의 전원은 DSP와 같은 시스템 제어 회로에 공급 되어지고 다른 하나는 부하 측으로 공급되기 때문이다. 따라서 각각의 출력은 정확하게 제어된 출력 전압이 요구되며 두 전원 사이는 절연된 특성을 필요로 하게 된다 [3].

그림 1은 전형적인 AC / DC 이중 출력을 갖는 정류기 회로도를 나타내고 있다. 그림 1(a)은 flyback의 멀티 펄스를 이용한 AC / DC 정류기 회로를 나타내고 있다. 이러한 그림 1(a)의 정류기는 그 회로 구성이 간단하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 멀티 트랜스 퍼미로 인한

시스템 크기의 증가 및 멀티 트랜스 퍼미로 인하여 PFC 제어 설계 및 두 전원의 정확한 제어의 어려움 그리고 고 전압 출력 시에 스위치 전압이 높게 인가됨에 따라 대용량에 적합하지 못한 단점이 있다.

그림 1(b)는 two stage 방식을 이용한 이중 출력 회로로써 전력 단이 두 개이기 때문에 두 번의 전력변환으로 인한 single stage 방식에 비해 시스템의 효율이 낮고 size가 증가하는 단점 및 전력용 반도체 소자의 증가로 인한 시스템의 고 비용의 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 발표된 이중출력용 컨버터를 이용하여 역률 제어를 수행하고자 한다 [3].

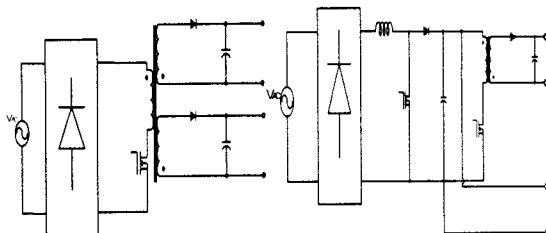


그림1. (a) 멀티 트랜스퍼미를 갖는 (b) 이단 방식을 사용한
플라이백 정류기 ac/dc 정류기

그림 2는 이중 출력과 단위 역률을 갖는 새로운 단일 전력단 정류기를 나타내고 있다. 이 AC / DC 이중 출력 컨버터는 boost 와 flyback 컨버터의 형태를 하나의 펄스로 결합하여 취하고 있어 SINGLE POWER STAGE로 사용함으로써 역률보상 및 정확한 출력전압 제어를 가능하게 할 수 있다. 이러한 AC/DC 정류기의 역률 제어는 두 가지 루프로 구성되어 있으며 이로 인해 입력단의 단위 역률 제어를 수행하게 되고 또한 두 출력전압의 안정적인 제어를 수행하게 된다. 본 논문에서 수행된 이중 출력과 단위 역률을 갖는 새로운 단일 전력단 정류기의 제어 원리 및 출력특성 해석을 자세하게 수행하며 그 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

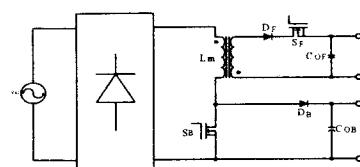


그림2. 이중 출력과 단위 역률을 갖는 새로운 단일 전력단 정류기

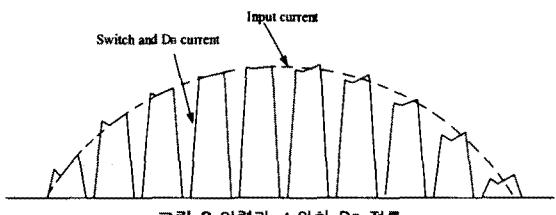


그림.3. 입력과 스위치 DB 전류

2. 본 론

2.1 분석과 동작 개념.

그림 2는 본 논문에서 사용된 단위역률 및 이중출력을 얻기 위한 전체 회로도를 나타내고 있다. 이중 출력용 컨버터는 두 개의 컨버터가 하나의 인덕터를 공유함으로써 쉽게 구현된다. 그중 상단의 컨버터는 시스템의 제어전원으로 이용을 하며 하단의 컨버터는 부하측에 전력을 공급하게 된다. 이러한 이중 출력 컨버터는 아래쪽에는 boost 컨버터와 위쪽에는 flyback 컨버터의 구조를 가지고 있으며 그리고 두 개의 스위치(S_F 와 S_B), 1개의 2차측 권선을 갖는 트랜스 퍼머, 두 개의 다이오드 (D_F 와 D_B) 그리고 두개의 출력 커패시터(C_{OF} 와 C_{OB})로 구성된다. 두 개의 스위치 중에서 S_F 는 상단 컨버터의 출력 전압을 조절하기 위한 제어 스위치로 사용되고 S_B 는 하단 컨버터의 출력 전압 및 입력측의 역률을 제어 하기 위해 사용되어진다. 본 논문에서 제안된 이중 출력용 컨버터의 동작은 입, 출력 전압 및 트랜스퍼머의 턴비와 같은 컨버터 시스템의 조건에 의해 결정되며 식 (1)과 (2)는 이중 컨버터 시스템의 상태를 의미한다.

$$V_{OB} > nV_{OF} + V_i \quad (1)$$

$$V_{OB} = nV_{OF} + V_i \quad (2)$$

여기서, V_i : 입력 전압

V_{OB} : 하단 컨버터의 출력 전압

V_{OF} : 상단 컨버터의 출력 전압(2)

n : 트랜스 퍼머의 턴비 (N1:N2)

이중에서 본 논문에서는 식 (1)의 조건에 의해서만 동작하는 즉 식 (1)의 우항이 하단 컨버터의 출력보다 작게 동작을 이루기 때문에 식(1)의 조건에 대하여만 논하고자 한다.

2.1.2 회로동작

MODE 1($t_0 - t_1$)

스위칭 주기 t_s 에 대하여 주 스위치 SB 가 ON되는 mode1 구간 동안 제안된 컨버터의 동가회로는 그림 4-(a)와 같다. Mode 1에서 제안된 컨버터는 boost와 flyback 컨버터의 on 상태와 동일한 동작을 한다. 따라서, 자화 인덕터에 에너지가 축적 되어진다. 그러므로, 자화 인덕터 전류 I_L 은 선형적으로 증가하게 된다.

이때, 흐르는 자화 인덕터 전류는 식 (1)과 같다.

$$i_L(t) = \frac{V_i}{L_m} t \quad (1)$$

MODE 2($t_1 - t_2$)

스위치 S_F 가 ON되는 mode 2 구간 동안 제안된 컨버터의 동가 회로는 그림4-(b)와 같다. 이 구간 동안에, 하단 컨버터의 출력 전압이 스위치 S_B 의 양단 전압보다 높기 때문에 D_B 는 OFF 상태이다. 따라서, mode 2에서 회로는 flyback 컨버터의 off상태 회로와 동일한 동작을 한다. 그러므로 자화 인덕터에 축적된 에너지는 2차 측으로 통하여 상단 컨버터의 출력 측으로만 전달 된다.

이때, 자화 인덕터에 흐르는 전류는 식 (2)와 같고 감소하게 된다.

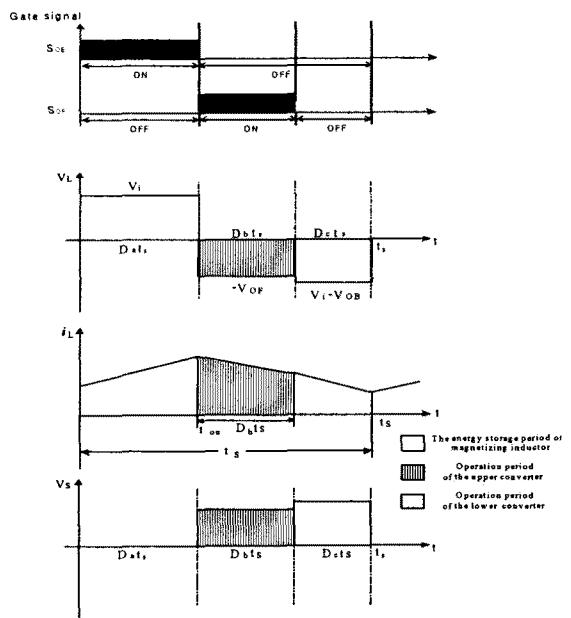
$$i_L(t) = I_{L_f} - \frac{V_{OF}}{L_m} t \quad (2)$$

MODE 3($t_2 - t_3$)

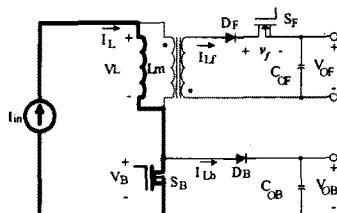
다이오드 D_B 가 ON되는 mode 3 구간 동안 제안된 컨버터의 동가 회로는 그림(c)와 같다. mode 3에서 제안된 컨버터 회로는 S_B 와 S_F 가 off됨에 따라, boost converter 스위치의 off상태와 동일한 동작을 한다. 따라서 자화 인덕터에 축적된 에너지가 하단 컨버터의 다이오드 D_B 를 통하여 출력 측으로 전달된다.

이때 인덕터 전류 I_L 이 식 (3)과 같이 감소한다.

$$i_L(t) = I_L - \frac{V_{OB}}{L_m} t \quad (3)$$



(a) 자화 인덕터의 변화 과정



(b-1) Mode 1($t_0 - t_1$)

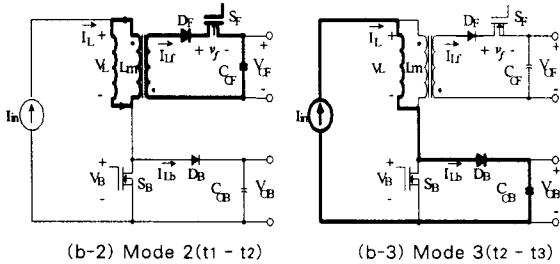


그림. 4. 자화 인더턴스와 동작 모드의 변화 과정

3. 시뮬레이션 결과

본론에서 설명된 제안된 정류기의 타당성을 증명하기 위하여, 제안된 컨버터의 시뮬레이션이 수행 되어졌다. 제안된 회로의 구현과 안정 동작을 고려하여, 제안된 시스템의 파라미터는 다음과 같이 선택 되어졌다.

V_{in} 은 311V 부터 350V까지 가변, 총 전력, $P_o=1.04kW$ (상단: 40W, 하단: 1kW), 상단 컨버터의 출력 전압=20V, 하단 컨버터의 출력 전압=500V, 스위칭 주파수 $f_s=60kHz$, 턴비 $n=n_1/n_2=1$, 상단과 하단의 출력 필터 커패시터 $C_{o1}=6000\mu F$ and $C_{o2}=600\mu F$, 풀 부하상태에서의 상단과 하단 컨버터의 부하저항: ($R_1=15\sim20\Omega$, $R_2=200\sim250\Omega$)

그림 5는 시뮬레이션 결과를 통한 제안된 정류기의 특성을 보여 준다.

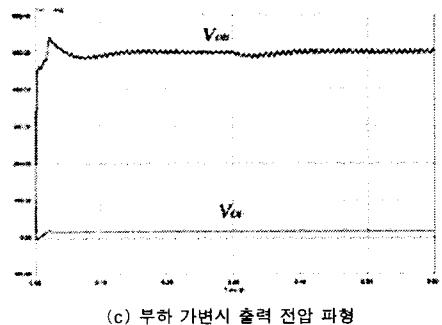


그림. 5. 이중 출력과 단위 역률을 갖는 새로운 단일 전력단 정류기의 입력 전압과 전류 파형

그림 5.(a)는 시뮬레이션 결과를 통하여 제안된 정류기의 특성을 보여준다. 이 파형으로부터, 제안된 정류기가 제안된 정류기의 제어에 의하여 단일 역률이 쉽게 형성됨을 알 수 있다. 그림. 5(b)는 $t=300ms$ 시점에서 입력 전압이 311V부터 350V까지 변화 될 경우에 제안된 정류기의 상단과 하단의 출력 전압 파형을 보여준다. 그림. 5(c)는 $t=300ms$ 시점에서 상단 부하가 15Ω 부터 20Ω 까지 그리고 하단 부하가 200Ω 부터 250Ω 까지 변화할 경우에 제안된 정류기의 각각의 출력 전압 파형을 보여준다.

이 결과로 부터, 부하가 변화 할 때 출력 전압이 일정하게 조절됨을 알 수 있다. 이 결과들에 따라, 제안된 이중 출력과 단위 역률을 갖는 새로운 단일 전력 단 정류기의 타당성이 그림 5.에 보여진 바와 같이 증명 되어 진다.

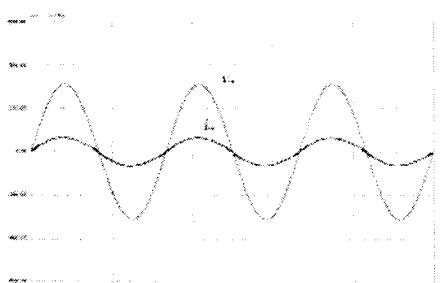
3. 결 론

이 논문은 이중 출력과 단위 역률을 갖는 새로운 단일 전력 단 정류기를 제안 하였다. 또한, 제안된 정류기의 타당성은 시뮬레이션 결과를 통하여 증명 하였다.

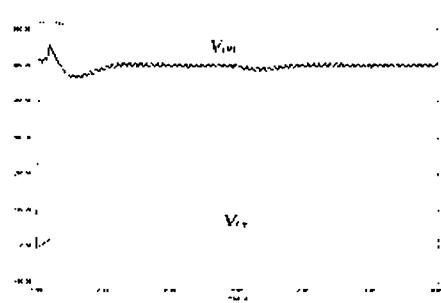
제안된 정류기의 주요 특성.

- 하나의 전력 네트워크를 사용한 간단한 회로
- 단일 역률과 정확히 조절된 이중 출력
- 소형화와 고효율

(참 고 문 헌)



(a) 제안된 정류기의 입력 전압과 전류 파형



(b) 입력 전압 가변시 출력 전압 파형

- [1] C. Zhou and M. M. Jovanovic, "Design Trade-Offs in Continuous Current-Mode Controlled Boost Power-Factor-Correction-Circuit" VPEC, Reprinted, with permission, from Proceedings of the High Frequency Power Conversion Conference, San Diego, CA; May 3~7, 1992; pp. 209~220.
- [2] Zhou, C., Ridley, R.B ; Lee, F, C, "Design and analysis of a hysteretic boost power factor correction circuit" Power Electronics Specialists Conference, 1990. PESC '90 Record, 21st Annual IEEE , 11-14 Jun 1990.
- [3] Charanasomboon, T.; Devaney, M.J.; Hoft, R.G, "Single switch dual output DC-DC converter performance" Power Electronics, IEEE Transactions on , Volume: 5 Issue: 2 , Apr 1990 ; pp. 241 ~245