

직렬접속형 다이오드 정류기 시스템의 전류주입에 의한 고조파 저감

최 세 완*, 오 준 용*, 원 충 연** , 김 영 석***

* 서울산업대학교 제어계측공학과, ** 성균관대학교 전기공학과, *** 인하대학교 전기공학과

Drawing Sinusoidal Input Currents of Series-Connected Diode Rectifiers by A Current Injection Technique

Sewan Choi* Junyong Oh* Chungyuen Won** Youngseok Kim***

* Dept. of Control and Instrumentation Eng. Seoul National University of Technology

** Dept. of Electrical Eng. Sung Kyun Kwan University

*** Dept. of Electrical Eng. Inha University

Abstract

This paper proposes a new series-connected diode rectifier which draws sinusoidal input currents. The proposed rectifier system is configured by adding an auxiliary circuit to the conventional 12-pulse series-connected diode rectifier and employing a current injection technique. A low kVA (0.02P_o (PU)) active current source injects a triangular current into the auxiliary circuit. The current injection results in near sinusoidal input current from the utility with less than 1% THD. The resulting system is suitable for high voltage and high power applications. Experimental results is provided from a 220V, 3kVA rectifier system.

매우 작은 장점이 있다[6-8].

이 논문에서는 병렬형 12-펄스 다이오드 정류기에 근간을 둔 문헌[6]의 방식을 고전압용의 직렬형 12-펄스 다이오드 정류기에 적용하였다.

제안한 방식은 다음의 특징을 갖는다.

- 입력전류의 THD는 1%보다 작아 정현파에 가까운 전류파형을 얻을 수 있다.
- 주입전류원의 용량(약 0.02P_o)은 능동전력필터(약 0.30P_o)의 용량에 비해 매우 작다.
- 주입전류원은 단상 전류제어형 전압원 인버터로 구성할 수 있으며 제어가 용이하다.
- 주입전류원은 전원측의 외란에 영향을 받지 않아 견고하다.

1. 서 론

다이오드 정류기의 입력전류의 고조파 문제와 관련하여 많은 연구가 진행되고 있다[1-7]. 능동전력필터 [2] 및 PWM 정류기[3]에 의한 방식은 성능이 우수하지만 제어가 복잡하고 많은 스위칭 소자와 센서등을 사용하여 효율 및 경제성의 측면에서 어려움이 있다. 한편, 중·대용량급에서는 다중펄스(Multi-Pulsing)방식을 많이 사용하고 있다. 입력전류의 5차와 7차 고조파를 저감하기 위한 12-펄스 다이오드 정류기는 널리 알려진 방식이다[1]. 다이오드 브리지와 위상변압기의 추가 없이 펄스수를 더욱 증가시키기 위하여 여러 방식이 제안되었는데[4-8], 이 방식들은 주로 고전류용에 적합한 병렬형 12-펄스 다이오드 정류기에 적용한 것이다. 이중 상간변압기에 전류를 주입하는 방식은 제어가 용이하고 주입전류의 용량이

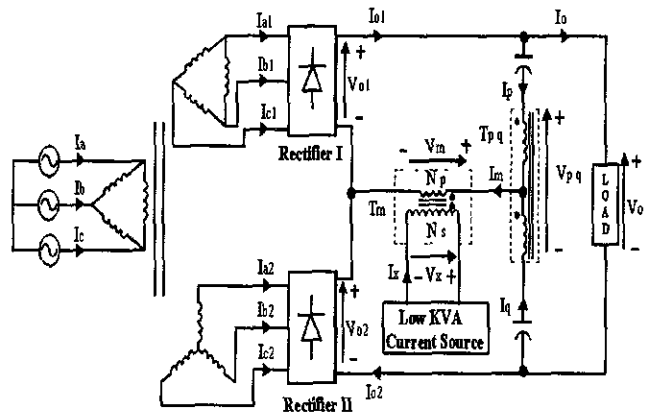


그림 1. 제안하는 다이오드 정류기 시스템

2. 제안하는 다이오드 정류기

그림 1에 제안한 시스템을 나타낸다. 이 시스템은 기존의 12-펄스 직렬접속형 다이오드 정류기에 보조 회로를 추가하여 구성된다. 보조회로는 직류전압 분할용 콘덴서 C_1 과 C_2 , 두 대의 변압기 T_b 와 T_m 그리고 전류원 I_x 로 구성된다 이 전류원 I_x 는 단상의 전류제어형 PWM인버터로 구현되며, 전류가 변압기 T_m 에 주입되면 정현파에 가까운 입력전류를 얻게 된다.

2-1. 전류원 I_x 의 결정

본 절에서는 입력전류의 THD를 최소화하기 위한 전류 I_x 를 결정한다. 주 변압기 결선으로부터 입력전류 I_a 는 다음과 같이 된다.

$$I_a = I_{a1} + \frac{1}{\sqrt{3}}(I_{a2} - I_{a2}) \quad (1)$$

정류기 입력전류는 스위칭함수와 정류기 출력전류로 표현할 수 있다[6].

$$\begin{bmatrix} I_{a1} \\ I_{b1} \\ I_{c1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{a1} \\ S_{b1} \\ S_{c1} \end{bmatrix} I_{o1}, \quad \begin{bmatrix} I_{a2} \\ I_{b2} \\ I_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{a2} \\ S_{b2} \\ S_{c2} \end{bmatrix} I_{o2} \quad (2)$$

한편, 정류기 출력전류 I_{o1} 과 I_{o2} 는

$$I_{o1} = I_o + I_b \quad (3)$$

$$I_{o2} = I_o - I_a$$

로 되고, 변압기 1차측의 전류 I_m 은 다음과 같다.

$$I_m = I_b + I_a \quad (4)$$

변압기 T_b 의 동작으로,

$$I_b = I_a \quad (5)$$

이므로, 식(3)-(5)로부터 정류기 출력전류는 부하전류 I_o 와 전류 I_m 에 의해 다음과 같이 된다.

$$I_{o1} = I_o + \frac{1}{2} I_m \quad (6)$$

$$I_{o2} = I_o - \frac{1}{2} I_m$$

또한, 변압기 T_m 에서 전류 I_m 은 다음과 같이 표현된다.

$$I_m = kI_x \quad (7)$$

여기서 $k = \frac{N_s}{N_p}$ 는 변압기 T_m 의 권수비를 나타낸다.

따라서 식(1), (2), (6), (7)로부터 입력전류 I_a 은 다음과 같이 된다.

$$I_a = I_o S_x + \frac{1}{2} kI_x S_y \quad (8)$$

여기서,

$$S_x = S_{a1} + \frac{1}{\sqrt{3}}(S_{a2} - S_{a2}) \quad (9)$$

$$S_y = S_{a1} - \frac{1}{\sqrt{3}}(S_{a2} - S_{a2})$$

이다. 식 (8)은 입력전류 I_a 와 주입전류 I_x 의 관계를 나타내므로, 여기서 입력전류 I_a 를 정현파로 만들기 위해서는 I_a 대신 I_a 의 기본과 실효값인 $I_{a,1}$ 을 대입하고, I_x 를 구하면 다음과 같다.

$$I_x = \frac{2(I_{a,1} - I_o S_x)}{k S_y} \quad (10)$$

또한, 각 소자의 손실을 무시하면, 입력전력과 출력전력이 같으므로 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\sqrt{3} V_{LL} I_{a,1} = V_o I_o \quad (11)$$

여기서, V_{LL} 은 선간 입력전압의 실효값을 나타낸다. 두 개의 다이오드 브리지가 직렬접속이기 때문에

$$V_o = 2 \times 1.35 V_{LL} \quad (12)$$

되고, 식 (11), (12)로부터 부하전류의 크기에 대한 $I_{a,1}$ 을 구할 수 있다.

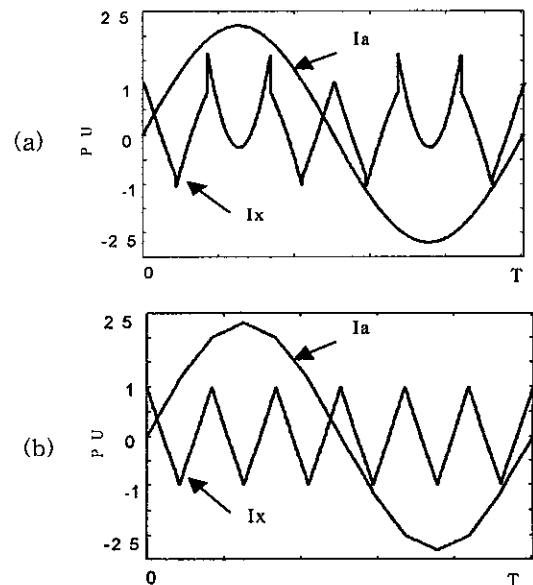


그림 2. 계산결과 (a) 식 (10)로부터 I_x 를 주입한 경우의 입력전류 (b) I_x 를 삼각파로 근사 시킨 경우의 입력전류($I_o=1PU$ 로 가정)

$$I_{a,1} = 1.5588 I_o \quad (13)$$

결국, 그림 2(a)에서의 계산결과가 보여주듯이, 식 (10)에 의해 결정된 전류 I_x 를 변압기 T_m 에 주입하면 정현파의 입력전류를 얻을 수 있다. 또한, 그림 2(b)는 전류 I_x 를 삼각파로 근사 시킨후 주입한 경우의 입력전류도 THD가 1%미만의 정현파에 가까운 파형이 됨을 알 수 있다.

2-2. 전류원 I_x 의 용량

선간 입력전압 V_{LL} 과 부하전류 I_o 는 1(PU)로 가정한다.

변압기 T_m 의 1차측 양단간 전압 V_m 은

$$V_m = \frac{1}{2} (V_{o1} - V_{o2}) \quad (14)$$

$$= 2.70 V_{LL} \sum_{n=6,12,18}^{\infty} \frac{1}{n^2-1} \sin n(\omega t + \frac{\pi}{12})$$

이므로, V_m 의 실효값은 다음과 같이 된다.

$$|V_m| = 0.0549 V_{LL} \quad (15)$$

한편, 변압기 T_m 의 양단간 전압은

$$V_m = (V_{o1} + V_{o2})_{ac} \quad (16)$$

$$= -5.40 V_{LL} \sum_{n=12,24,36}^{\infty} \frac{1}{n^2-1} \cos n(\omega t + \frac{\pi}{12})$$

이므로, V_m 의 실효값은 다음과 같이 된다.

$$|V_m| = 0.0276 V_{LL} \quad (17)$$

그림 2(b)로부터 I_x 의 실효값은

$$|I_x| = \frac{2 I_o}{\sqrt{3}k} = 1.1547 \frac{I_o}{k} \quad (18)$$

로 되며, I_x 의 크기는 변압기 T_m 의 권수비로 조절할 수 있다.

$$|V_x| = k |V_m| \quad (19)$$

식 (12), (15), (18) 그리고 (19)로부터 전류원 I_x 의 용량 kVA_{source} 을 구하면 다음과 같다.

$$kVA_{source} = |V_x| |I_x| \quad (20)$$

$$= 0.023 V_o I_o$$

식 (20)에서와 같이 주입전류원 I_x 의 용량은 부하용량의 약 2% 정도로 매우 작다.

한편, 변압기 T_m 의 용량은 다음과 같다.

$$kVA_m = 2 |V_m| |I_m|$$

$$= 2 |V_x| |I_x| \quad (21)$$

$$= 0.046 V_o I_o$$

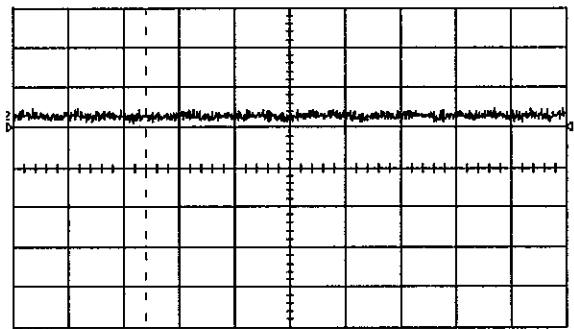
또한, $I_p = \frac{1}{2} I_m$ 이므로, 변압기 T_m 의 용량은 다음과 같다.

$$kVA_p = |V_p| |I_p| \quad (22)$$

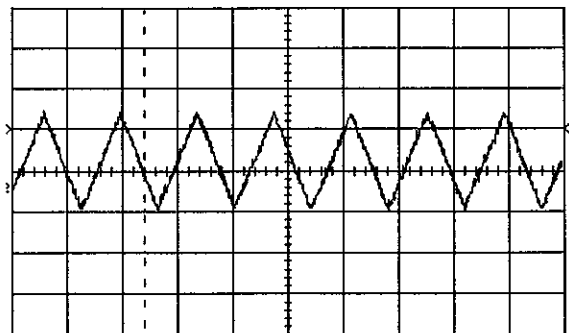
$$= 0.006 V_o I_o$$

3. 실험결과

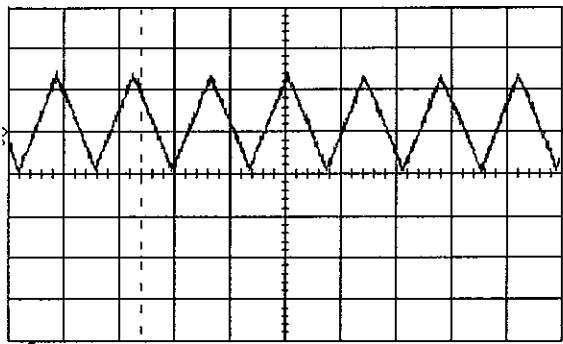
제안한 방식의 구현을 위해 220V, 3KVA의 정류기 시스템이 제작 되었으며, 실험결과를 그림 3에, 나타내었다. 그림 3(a)는 출력전류 I_o 이다. 그림 3(b)는 권수비 k 가 1968일때의 주입전류 I_x 이다. 그림 3(c)는 정류기 I의 출력전류 I_{o1} 이고 그림 3(d)는 정류기 I의 입력전류 I_{o1} 이다. 결국, 입력전류 I_a 는 그림 3(e)와 같이 THD가 1%미만인 정현파에 가까운 전류가 됨을 알 수 있다.



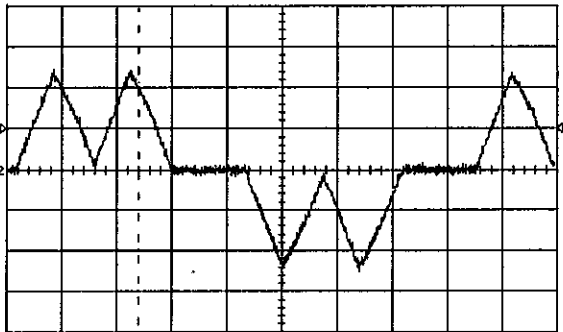
(a) 전류 I_o



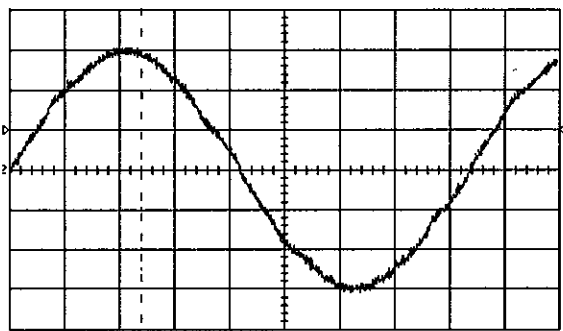
(b) 전류 I_x



(c) 전류 I_{o1}



(d) 전류 I_{a1}



(e) 전류 I_a

그림 3. 제안된 시스템의 실험결과 (5A/Div.) (a) 부하전류 I_o (b) 주입전류 I_x (c) 정류기 출력전류 I_{o1} (d) 정류기 입력전류 I_{a1} (e) 입력전류 I_a

4. 결 론

본 논문에서는 새로운 직렬접속형 다이오드 정류기를 제안하였다. 삼각파로 근사시킨 전류 I_x 를 다이오드 정류기 시스템에 주입함으로써 THD가 1%보다 낮은 정현파에 가까운 입력전류를 얻게되었다. 더욱이, 주입 전류원의 용량은 부하용량의 2% 정도로 매우 작으며, 보조회로에 사용된 변압기의 총용량도 부하용량의 5% 정도이다. 따라서, 본 방식은 양질의 입력전력이 요구되는 다이오드형 정류기의 전원 접속에

적합하다 또한, 220V, 3KVA 정류기 시스템을 통하여 제안한 시스템의 타당성을 검증하였다.

본 연구(관리번호 98-중-09)는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행 되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Schaefer, "Rectifier Circuits: Theory and Design", John Wiley & Sons, Inc., 1965
- [2] Hirofumi Akagi, Akira Nabae and Satoshi Atoh, "Control Strategy of Active Power Filters Using Multiple Voltage-Source PWM Converters", pp. 460-465, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol IA-22, NO 3, MAY/JUNE. 1986.
- [3] A. R. Prasad, P. D. Ziogas, S. Manias, "An Active Power Factor Correction Technique for Three-Phase Diode Rectifiers", pp. 83-92, IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 6, No. 1, Jan. 1991.
- [4] J. Arrillaga, A.P.B. Joosten and JF Baird, "Increasing the Pulse Number of AC-DC Converters by Current Reinjection Techniques", pp. 2649-2655, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 8, Aug. 1983.
- [5] S. Miyairi, etc. al, "New Method for Reducing Harmonics Involved in Input and Output of Rectifier with Interphase Transformer", IEEE Trans. on Industry Applications, pp. 790-797, Vol. IA-22, No 5, Sep./Oct. 1986.
- [6] S. Choi, P. Enjeti, H. Lee and I. Pitel, "A New Active Interphase Reactor for 12-Pulse Rectifiers Provides Clean Power Utility Interface", pp. 1304-1311, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 32, No 6, Nov./Dec. 1996.
- [7] T. Tanaka, N. Koshio, H. Akagi and A. Nabae, "A Novel Method of Reducing the Supply Current Harmonics of a 12-pulse thyristor rectifier with an interphase reactor", pp. 1256-1262, Vol. 2, Thirty-First IAS Annual Meeting, Oct, 1996.
- [8] K. Oguchi, H. Hama, T. Kubota, "Multilevel Current-Source and Voltage-Source Converter Systems coupled with Harmonic Canceling Reactors", pp. 1300-1308, Vol. 2, Thirteenth IAS Annual Meeting, 1997