

저전압 3상 다이오드 정류회로의 특성 실험

서기영, 김영문*, 문상필, 김주용, 이현우
경남대학교, *마산대학

Characteristic Experimental of Low Voltage Three phase Diode Rectifier Circuit

K.Y.Suh, Y.M.Kim*, S.P.Mun, J.Y.Kim, and H.W.Lee
Kyungnam University, *Masan College

ABSTRACT

In conventional three-phase rectifiers, it was necessary to use a transformer to obtain low output voltage. In this paper, we propose a characteristic experimental of three-phase diode rectifiers circuit that achieves low voltage by using a very simple circuit configuration that does not have a transformer and does not need any complex control. We also describe the operation principle of the proposed circuit, and derive a theoretical formula for its current waveform. On the basis these theoretical values with experimentally obtained input, output current characteristics, current amplification factor, and output voltage characteristics, allowed us to confirm the soundness of our theoretical analyses.

1. 서론

일반적으로 3상 다이오드 정류회로에 있어서 저전압화를 실현하기 위해서는 강압 트랜스가 이용되어지고 있지만 실제적으로 강압 트랜스를 이용하여 저전압을 실현하기는 거의 불가능하다. 본 논문에서는 복잡한 제어를 필요로 한 3상 다이오드 정류회로를 간단한 회로구성으로 저전압화가 가능한 새로운 3상 다이오드 정류회로를 제안하고자 한다. 그리고 제안한 3상 저전압 다이오드 정류회로의 동작원리 및 입력전류의 파형, 입출력전류특성, 출력전압특성등에 대해서 고찰하고자 한다. 이러한 모든 사항은 실험과 시뮬레이션을 통하여 그 유용성을 증명하고자 한다.

2. 제안한 회로의 구성 및 동작원리

그림 1은 일반적인 3상 다이오드 정류회로를 나

타낸 것이다. 그림 2는 제안한 3상 저전압 다이오드 정류회로를 나타낸 것이다. 그림 2에서 제안한 회로는 제안회로는 리액터와 다이오드를 이용한 회로로 구성된다. 그리고 R, S, T의 각상전압을 e_1, e_2, e_3 로 하였으며, RS사이의 선간 전압을 e_{12} , R상의 상전류를 i_1 , 출력직류전압을 V_{out} , 출력전류를 I_{out} , 리액터를 각각 L_1, L_2, L_3 , 리액터의 내부저항을 r , 다이오드를 각각 D_1, D_2, D_3 부하저항을 R_0 로 하였다. 제안한 정류회로는 입력전압의 한 주기 동안에 3가지 모드로 동작되어진다.

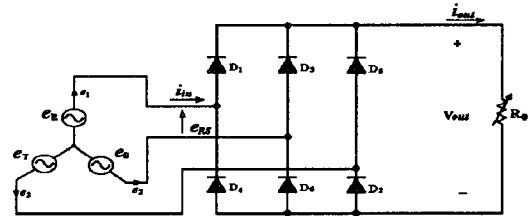


그림 1 3상 정류 회로

Fig. 1 Three-phase circuit rectifier

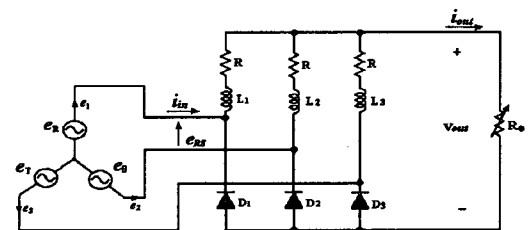


그림 2 제안한 3상 정류 회로

Fig. 2 Three-phase circuit rectifier for proposed

그림 3은 각 모드의 동작루프를 나타낸 것이다. 모드1은 입력전압을 $0 < t < T_1$ 의 기간에 T상 전압 e_3 을 최고로 낮은 전압으로 됨으로서 이 기간에

있어서는 다이오드 D_3 는 on하고 D_1, D_2 는 off한다. 이 때문에 리액터 L_1, L_2 에 흐르는 각 전류는 3상 전원에 의해서 흐리며, 이때 리액터 L_3 에 흐르는 전류는 3상 전원을 통하는 부하와 다이오드 D_3 로 순환하게 된다. 모드 2는 T상 전압 e_3 에서 R상 전압 e_1 으로 최소전압이 이동되는 모드이다. 이때 다이오드 D_3 에 흐르는 전류는 순환(循環)하게 된다. 그리고 모드 3은 R상 전압 e_1 에서 S상 전압 e_2 으로 최소전압이 이동되며 다이오드 D_1 는 OFF되고 다이오드 D_2 가 도통되는 모드이다.

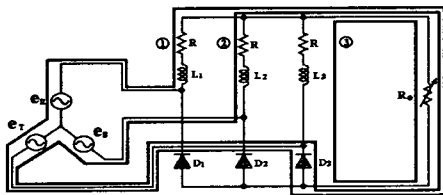


그림 3 회로의 전류루프
Fig. 3 Current loops of circuit

그림 3은 모드 1의 루프도 나타내고 있다. 그림 3에서 루프의 전류를 $y_1(t), y_2(t), y_3(t)$ 로 하면 각 리액터와 루프의 전류에는 $i_{L1} = y_1(t), i_{L2} = y_2(t), i_{L3} = y_3(t)$ 의 관계가 성립한다. $y_1(t), y_2(t), y_3(t)$ 의 초기값을 각각 I_1, I_2, I_3 로 하여 3상 전원을 나타내면 다음과 같다.

$$e_1 = a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (1)$$

$$e_2 = a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{2}{3}\pi\right) = a \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) \quad (2)$$

$$e_3 = a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{4}{3}\pi\right) = a \sin\left(\omega t - \frac{5}{6}\pi\right) \quad (3)$$

위 식을 이용해서 그림 1의 루프 ①의 연립미분방정식을 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) - a \sin\left(\omega t - \frac{5\pi}{6}\right) \\ & = L \frac{dy_1(t)}{dt} + r y_1(t) + R_0 \{y_1(t) + y_2(t) + y_3(t)\} \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & a \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) - a \sin\left(\omega t - \frac{5\pi}{6}\right) \\ & = L \frac{dy_2(t)}{dt} + r y_2(t) + R_0 \{y_1(t) + y_2(t) + y_3(t)\} \quad (5) \end{aligned}$$

$$0 = L \frac{dy_3(t)}{dt} + r y_3(t) + R_0 \{y_1(t) + y_2(t) + y_3(t)\} \quad (6)$$

식 4, 식 5, 식 6에 의해서 일반해가 얻어진다. 일반적으로 초기치를 결정하는 방법으로 전원 한 주기를 기준으로 하여 초기값과 최종값을 같게 함으로서 해를 도출하고 있지만 본 논문에서는 수식을 간소화하기 위해서 전원 1/3 주기를 기준으로 하여 초기값과 최종값을 구하였다. 표 1은 본 논문에서 제안한 회로의 정수를 나타낸 것이다. 그림 4는 입력전류와 출력전류의 관계를 나타내는 특성 그래프이다. 그림 5는 전류 증폭율을 나타내는 그래프이다. 그림 5에서 전류 증폭율은 교류측의 실효값과 직류 출력측의 직류성분(평균값)의 비를 의미한다

표 1 회로정수
Table 1 Circuit parameters

입력전압 (e_R, e_S, e_T)	3상 220[V]/60[Hz]
리액터(내부저항)	300[mH](8.2 [Ω])
다이오드 (D_1, D_2, D_3)	Fast Recovery Diode ERD60-100 1000[V]/60[A]
부하저항 (R_0)	가변(16.3 [Ω] 40.3 [Ω] 119 [Ω])

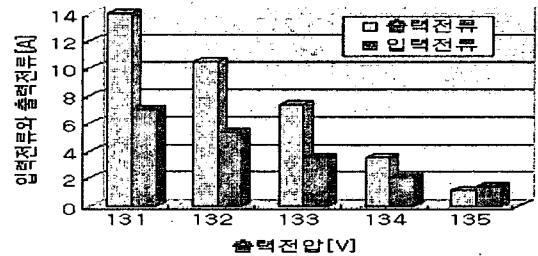


그림 4 입·출력 전류의 특성
Fig. 4 Characteristics of input and output current

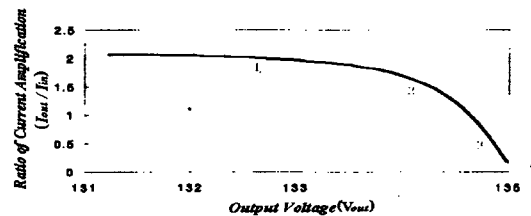


그림 5 출력전압에 대한 입력전류의 비
Fig. 5 Current of amplification ratio

그림 4와 그림 5의 그래프에서 알 수 있듯이 증부하시에는 입력전류에 비해 출력전류가 크므로 전류 증폭율이 일정하다는 알 수 있다. 그러나 점차

적으로 경부하로 변화가면서 전류 증폭율도 변화하는 것을 알 수 있다. 결국 제안한 정류회로에는 전류증폭특성을 가진 영역으로 되지 않은 영역이 존재하는 것을 알 수 있다. 이 특이한 현상은 출력측이 무부하시에 출력측의 전류는 0으로 되고, 입력측에는 3개의 L에 의해서 순환전류(무효전류)가 흘러서 전류 증폭율은 0이 되기 때문이다. 표 2는 그림 3에 나타난 각 전류의 루프에 대한 시뮬레이션 해석포인트를 나타낸 것이다.

표 2 해석 포인트
Table 2 Analysing points

	$R_0(\Omega)$	$I_{in}(A)$	$I_{out}(A)$	$V_{out}(V)$
①	16.3	4.05	8.12	132.73
②	40.3	2.03	3.33	134.12
③	119	1.36	1.13	134.78

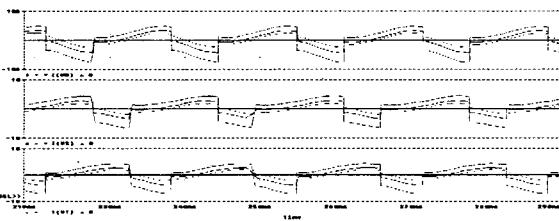


그림 6 상 전류 i_1 의 시뮬레이션 파형
Fig. 6 simulation waveform of phase current i_1

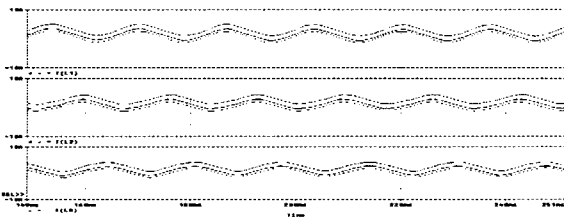


그림 7 리액터 전류 i_{L1} 의 시뮬레이션 파형
Fig. 7 simulation waveform of reactor current i_{L1}

그림 6과 그림 7에서 포인트에 따라 전류증폭이 큰 영역에서는 상전류 i_1 의 파형은 방형파에 가깝게 되고 있는 것을 알 수 있으며 리액터 전류 i_{L1} 의 파형에서는 전류증폭이 크게됨에 따라서 리액터 전류 i_{L1} 의 직류성분은 서서히 크게되는 것을 알 수 있다. 그림 8은 표 2의 해석 포인트 ①에 있어서의 입력전류의 주파수 스펙트럼 분석을 나타낸 것이다. 그림 8에서 입력전류에는 주파수가 기본적으로 많이 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 특히, 제 2차 고조파 성분은 기본파에 대해서 46.7[%]로 높은 값을 나타내기 때문에 대용량의 분야에서의 실용화가 불가능하다는 문제점이 발생하는데 본 연구에서는

이러한 부분을 이론적으로 부가하여 설명하고자 한다. 먼저 리액터 L의 크기를 무한대로 하였으며 내부저항 r을 영으로 한 이상적인 조건에서 이론적인 해석을 하였다.

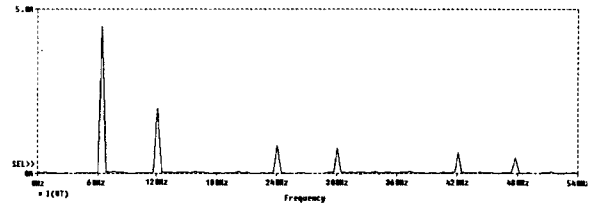


그림 8 주파수 분석
Fig. 8 frequency spectrum

시뮬레이션 결과와 실험결과를 비교하기 위해 실험조건은 표 1의 회로정수와 동일하게 하였다. 그림 9는 상 전압 e_1, e_2, e_3 와 상 전류 i_1, i_2, i_3 그리고 리액터 전류 i_{L1}, i_{L2}, i_{L3} 및 다이오드 전류 i_{D1}, i_{D2}, i_{D3} , 출력전류 i_{out} 의 실험 파형을 나타낸 것이다. 부하가 변한 경우의 상 전류 i_1 와 리액터 전류 i_{L1} 의 실험 파형을 그림 10과 그림 11로 나타내었다.

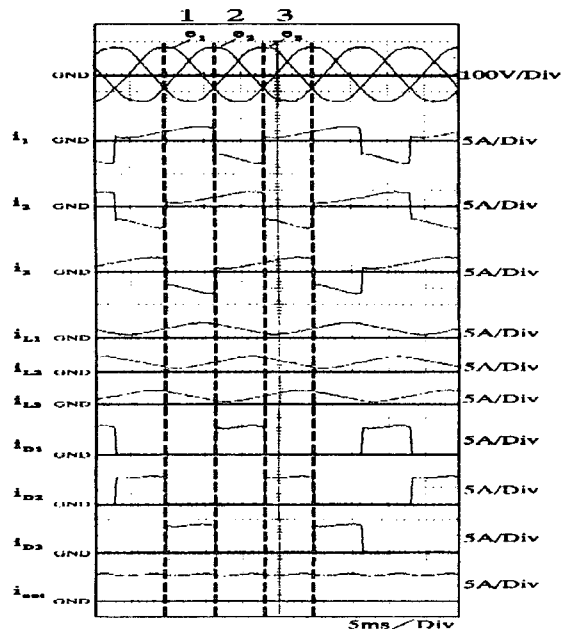


그림 9 각 부의 실험 파형
Fig. 9 Experimental waveforms of each part

그림 9의 전류의 실험 파형에서 시뮬레이션과 동일하게 각상의 리액터 전류 i_{L1}, i_{L2}, i_{L3} 가 기본형 리플이 위상을 120° 로 하고 있다는 것을 알 수 있다. 그것에 의해 제안된 회로 있어서 기본파의 리플을 서로 효과적 평활화시킨 출력전류 i_{out} 로 되

는 특성을 가지고 있는 것을 실험을 통하여 검증하였다.

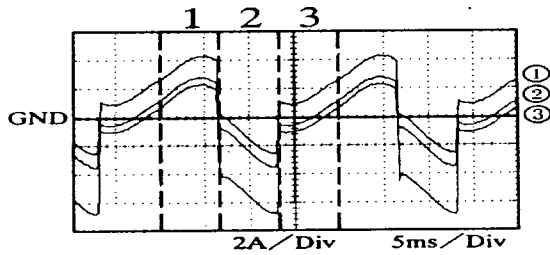


그림 10 상 전류 i_1 의 실험 파형
Fig. 10 Experimental waveforms of phase current i_1

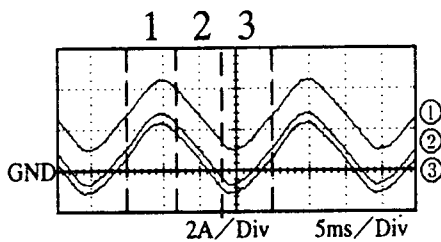


그림 11 리액터 전류 i_{L1} 의 실험 파형
Fig. 11 Experimental waveform of reactor current i_{L1}

그림 10과 그림 11에서 상전류 i_1 는 전류 증폭이 큰 영역에서 구형파에 가깝게 되고 있다는 것을 알 수 있다. 여기서 리액터 전류 i_{L1} 에서는 전류 증폭이 크게 되면 리액터 전류 i_{L1} 직류성분을 서서히 크게 되는 것을 알 수 있다. 이상과 같이 실험결과와 시뮬레이션 결과가 양호하게 일치하였으며 그 타당성을 확인하였다.

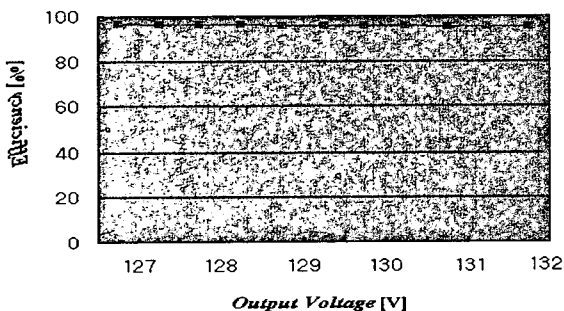


그림 12 효율의 실험결과
Fig. 12 Experimental result of efficiency

제안한 정류회로를 효율을 알기 위해서 부하저항을 경부하에서의 중부하로 변환시켜 입력 전력과 출력 전력의

비를 비교하였다. 그 결과는 그림 12와 같다. 그림 12의 그래프에 의해 제안된 정류회로가 전류증폭특성을 나타낸 영역(중부하시)에서는 효율을 95[%]이상으로 높은 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 경부하시에 있어서는 효율은 급속히 저하하고 있는 것을 알 수 있다. 위의 결과에서 알 수 있듯이 실험결과와 시뮬레이션 결과가 일치하고 있는 것을 알 수 있으며 그 정당성을 확인했다.

3. 결 론

일반적으로 3상 다이오드 정류회로에 있어서 저전압화를 실현하기 위해서는 강압 트랜스가 이용되어지고 있지만 실제로 강압 트랜스를 이용하여 저전압을 실현하기는 거의 불가능하다. 이러한 문제점을 개선하고자 본 논문에서는 복잡한 제어를 필요로한 간단한 회로구성에서 저전압화가 가능한 새로운 3상 다이오드 정류회로를 제안하였다. 제안한 회로는 3개의 다이오드와 3개의 리액터로 구성되며, 리액터에 흐르는 직류전류의 기본파 리플 성분은 거의 출력측에는 나타나지 않는다. 때문에 본 제안회로는 효과적으로 평활화시킨 출력전류로 되는 특성을 가지고 있는 것을 시뮬레이션과 실험결과에서 의해서 검증하였다.

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(1999-2-302-014-3)지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] A. R. Prasad, P. D. Ziogas, "An Active Power Factor Correction Technique for Three-Phase Rectifiers", IEEE PESC, pp. 58~66, 1989.
- [2] A. R. Prasad, P. D. Ziogas, "An Active Power Factor Correction Technique for Three-Phase Diode Rectifiers", IEEE Trans, Vol.6, No. 1, pp. 83~92, 1991.
- [3] G. Rim and R. Krishnan, "AC to DC power converter with unity power factor and sinusoidal input current", IEEE APEC, Conf. Rec., pp. 400~406, 1991.
- [4] 中野, 平地: "配電流整流回路", 電氣論D, Vol. 116, No. 10, pp. 1081-1082, 1996
- [5] 古賀外 1人: "コンデンサ入力形三相整流回路の力率改善における非線型リアクトルの影響", 平成12年 電氣學會全國大會, 2000 IEE Japan, No. 4, pp. 1374~1375, 2000.