

입력 전류 파형 개선을 위한 다펄스 3상 다이오드 전압원 정류 시스템

임성근[○], 박현철[′], 이성룡[″], 유철로[‴]
[′]전북대학교 전기공학과, [″]군산대학교 제어계측공학과

A Multipulse-Voltage Source Rectifier System with a Three-Phase Diode Circuit in order to improve the Input Current Waveforms

Im Seong-Goun[○], Park Hyun-Chul[′], Lee Seong-Ryong[″], Yu Chul-Ro[‴]

[○]Dept. of Electrical Eng. Chonbuk Univ., [″]Dept. of Control & Instrumentation Eng. Kun San Univ.

ABSTRACT

In this paper, a further improved system obtaining very low distorted waveforms of input ac currents of three phase rectifier circuit is proposed.

The proposed system consists of an uncomplicated 24 pulse diode bridge rectifier that is transformerless, by adding only switching circuit which consists of two switches to conventional system. Also to optimize the effectiveness of the harmonic reduction, the optimum turn ratio of an autotransformer and the optimum switching control angle are decided by computer simulation. And then, the voltage waveform obtained has a total harmonic distortion of 8.1%, and the predominant harmonics 23th and 25th.

This paper describes operation principle, analysis of the waveforms of input voltage and current. The theoretical results are verified through simulation.

1. 서 론

최근, PWM인버터의 사용 증가와 함께 직류측에 대용량의 필터용 콘덴서를 가진 다이오드 정류회로들은 전기철도, 전기화학, 전동기의 전원 그리고 전자기기의 전원으로 폭넓게 사용되고 있다. 이러한 다이오드 정류회로는 구조가 간단하고 경제적으로 회로를 구성할 수 있는 장점이 있는 반면에 입력 전류에는 매우 큰 피크값을 갖는 많은 고조파 성분이 포함된다. 따라서 전력용 콘버터들의 용량증가와 사용범위의 증가등으로 인하여 전력선측에 심각한 고조파장해를 발생시켰다.^[1]

이러한 문제점을 개선하기 위한 방법으로

- 1). 대용량 ac 리액터^[2]
- 2). 정류기의 다중화^[3]

등의 방법이 있지만 문헌[2]방식은 부하의 변동에 따라 고조파가 증가하므로 리액터 자체가 과부하될 가능성이 있고, [3]은 상수 변환용 변압기 및 많은 정류소자를 필요로 하기 때문에 장치의 대형화와 설치비용이 증가하는 단점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 [3]의 방식으로 입력전류를 24펄스로 다중화 하는 2중접속 24펄스 정류기와 동등한 고조파 저감효과를 가지면서

경제적인 회로구성 방법을 제안한다. 본 논문에서는 입력 전류를 사인파에 근접시키기 위한 24펄스 다중화방식에 입력 변압기를 사용하지 않고, 그림 1에서 표시한 바와같이 간단한 스위칭 소자를 2개 부가하여 24펄스의 다이오드 브리지 정류회로를 구성하여 왜형율이 매우 적은 입력 전압 파형을 발생시켜 12펄스일때 전압 왜형율이 15.05%에서 8.1%까지 저감시킬 수가 있었고, 입력 전류파형도 상당히 사인파에 가깝게 근접시킬 수가 있었다. 시스템은 고조파 저감효과를 높이기 위하여 단권 변압기의 최적 권수비 및 스위칭각을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 결정하였다.

이를 입증하기 위하여 먼저 본 논문은 각각의 회로를 통하여 합성된 입력 전압 파형과 전류 파형들에 대한 이론 해석과 시뮬레이션을 통하여 분석, 고찰하였다.

2. 시스템 구조와 동작원리

시스템은 3상 다이오드 정류기($D_1 \sim D_6$)를 주회로로 사용했고, 단권 변압기, AC리액터들과 보조회로로 스위치(T_1, T_2)와 역전류가 흐를 수 있도록 해주는 3개의 스위치($S_A \sim S_C$), 탭 스위치 2개(S_0, S_C)로 구성되어 있다. 전압 $V_{m'}$ 를 표시한다면 $+k_1E$, $+k_2E$, $-k_1E$, $-k_2E$ 이다. 보조회로는 강제 전류(Commutation)회로로 동작을 한다.

그림1에있는 각 스위치는 그림2의 타임 차트에 따라 온, 오프된다. 선전류 i_a 가 양일때 다이오드 D_1 이 $\omega t=180^\circ - 2\beta$ 에서 도통되면 전압 $V_{m'}$ 는 E 이고 스위치 S_A 가 온되어 S_0 가 도통되면 전압은 $+k_1E$ 이고 S_C 가 도통되면 S_0 는 오프되고 전압은 $+k_2E$ 이다. 만약 i_a 의 방향이 S_A 가 도통하고 있는 동안 음으로 변환될 때 S_0 가 온되면 $-k_1E$ 가 되고, S_C 가 온되면 $-k_2E$ 가 되고 S_A 가 오프되고 D_2 가 $\omega t=180^\circ + 2\beta$ 에서 온 되면 $-k_2E$ 에서 $-E$ 로 변환다. 결과로써 ac입력 전압 V_{a0} , $V_{m'}$, V_{c0} 는 다펄스 파형들이 되고 그림4에 표시한 바와같이 보여 주는 것처럼 사인파에 가까워진다. 입력 전류는 ac리액터들의 고조파 억제 효과 때문에 더욱 사인파에 가까워지고 추가회로는 강제 전류회로로서 동작을 한다. 위상b, c회로는 120° ($V_{m'}$ 의 주기)의 위상변환을 가지고 같은방법으로 동작한다.

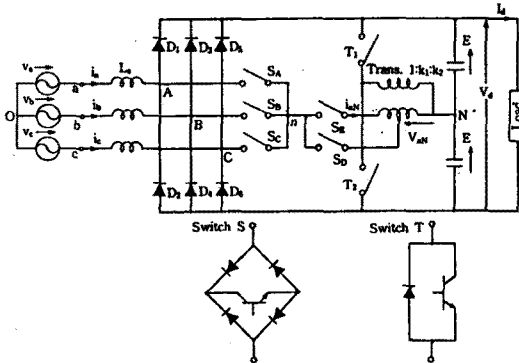


그림1. 시스템의 구조

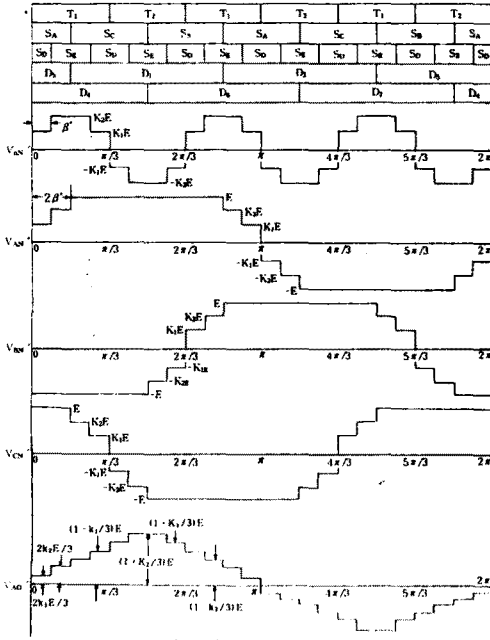


그림2. 각부 전압파형

3. 입력 전압 파형 합성과 왜형률 최소화 조건

3-1. 입력 전압 파형 합성

Y결선 방법에 의하여 각상의 입력 전압크기는 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} V_{AO}' &= V_{AN}' - V_{ON}' \\ V_{BO}' &= V_{BN}' - V_{ON}' \\ V_{CO}' &= V_{CN}' - V_{ON}' \end{aligned} \quad (1)$$

3상 전압 대칭 조건에 의해서 식 (2), (3)과 같다.

$$V_{AO}' + V_{BO}' + V_{CO}' = 0 \quad (2)$$

$$V_{ON}' = (V_{AN}' + V_{BN}' + V_{CN}')/3 \quad (3)$$

방정식 (1), (3)에 의해서 상전압을 구할 수 있고 이에 따른 파형은 그림 2와 같다.

3-2. 왜형률 최소화 조건

V_{AO}' 을 푸리에 급수로 전개하면 식 (4)와 같다.

$$V_{AO}' = \sum_{n=1,3,5,\dots} \frac{4E}{n\pi} \left[\frac{2k_1}{3} + \frac{2}{3}(k_2 - k_1)\cos n\beta + (1 - k_2)\cos 2n\beta + \frac{1}{3}(k_2 - k_1)\cos 3n\beta + \frac{2k_1}{3}\cos \frac{n\pi}{3} \right] \sin n\omega t \quad (4)$$

여기서 입력 전압의 왜형률 μ 는 식 (5)과 같다.

$$\mu = \sqrt{\left(\frac{V_S}{V_{SI}}\right)^2 - 1} \quad (5)$$

(단, V_S 는 입력 전압의 모든 실효치이고, V_{SI} 는 입력 전압의 기본파 성분의 실효치이다.)

식(4), (5), 에서도 알 수 있듯이 입력 전압은 단권 변압기의 권수비와 제어각의 함수임을 알 수 있다.

따라서 이들을 어떠한 값으로 주어지는가 문제로 본 논문에서는 입력 전압의 왜형률이 최소가 되도록 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 결정 하였다.

4. 입력 전류 해석

타임 차트로 볼 때 전류 전압은 다음 식으로 주어 진다.

$$\begin{aligned} v_a &= \sqrt{2}V_s \sin(\omega t + \delta) \\ v_b &= \sqrt{2}V_s \sin(\omega t + \delta - 2\pi/3) \\ v_c &= \sqrt{2}V_s \sin(\omega t + \delta + 2\pi/3) \end{aligned} \quad (6)$$

3상 대칭을 사용해서 우리는 0에서 $\pi/3$ 까지의 시간안에있는 전류의 크기를 해석 함으로써 한주기 안에있는 전류 크기를 얻을 수 있다.

기간 1 ($0 \leq \omega t \leq \pi/12$): 이 기간동안 스위치 S_A, S_D 이 이오드 D_4, D_5 는 도통되고, 다음의 회로 방정식이 나온다.

$$v_{ab} = L_s \left(\frac{di_{a1}}{dt} - \frac{di_{b1}}{dt} \right) + k_1 E + E \quad (7)$$

$$v_{bc} = -L_s \left(\frac{di_{c1}}{dt} - \frac{di_{b1}}{dt} \right) - 2E \quad (8)$$

$$i_{a1} + i_{b1} + i_{c1} = 0 \quad (9)$$

$$i_d = 2E/R_L \quad (10)$$

기간 2 ($\pi/12 \leq \omega t \leq \pi/6$): S_A, S_E, D_4, D_5 는 도통되고, S_D 는 오프 된다. 회로 방정식은 다음과 같다.

$$v_{ab} = L_s \left(\frac{di_{a2}}{dt} - \frac{di_{b2}}{dt} \right) + k_2 E + E \quad (11)$$

$$v_{bc} = -L_s \left(\frac{di_{c2}}{dt} - \frac{di_{b2}}{dt} \right) - 2E \quad (12)$$

$$i_{a2} + i_{b2} + i_{c2} = 0 \quad (13)$$

$$i_d = 2E/R_L \quad (14)$$

기간 3 ($\pi/6 \leq \omega t \leq \pi/4$): S_C, S_E, D_1, D_4 는 도통되고, 다음의 회로 방정식이 나온다.

$$v_{ab} = L_s \left(\frac{di_{a3}}{dt} - \frac{di_{b3}}{dt} \right) + 2E \quad (15)$$

$$v_{bc} = -L_s \left(\frac{di_{c3}}{dt} - \frac{di_{b3}}{dt} \right) - k_2 E - E \quad (16)$$

$$i_{a3} + i_{b3} + i_{c3} = 0 \quad (17)$$

$$i_d = 2E/R_L \quad (18)$$

기간 4 ($\pi/4 \leq \omega t \leq \pi/3$): S_C, S_D, D_1, D_4 는 도통되고, S_E 는 오프 된다.

$$v_{ab} = L_s \left(\frac{di_{a4}}{dt} - \frac{di_{b4}}{dt} \right) + 2E \quad (19)$$

$$v_{bc} = -L_s \left(\frac{di_{c4}}{dt} - \frac{di_{b4}}{dt} \right) - k_1 E - E \quad (20)$$

$$i_{a4} + i_{b4} + i_{c4} = 0 \quad (21)$$

$$i_d = 2E/R_L \quad (22)$$

윗식을 이용해서 입력전류를 해석했다.

5. 시뮬레이션 및 고찰

입력 전압 V_i 의 고조파 저감 효과는 단권 변압기의 권수비와 스위칭 탭 변환 제어각에 의해서 결정된다. 12펄스 시스템의 권수비 k 와 변환각 β 은 $k=0.458, \beta=28^\circ$ 이며 입력 전압 파형과 주파수 스펙트럼은 그림 3에서 나타났다. 이론적으로 제시한 12펄스 시스템의 전압 왜형율을 15.05%까지 고조파를 저감시킬 수 있다. 이때의 입력 전류의 파형을 그림 4에서 보여주고 있다. 본 논문은 식(4), (5)을 시뮬레이션으로 최적의 권수비 및 탭 스위치 변환각을 결정하고 그에 따른 결과는 그림 5에 있고 제안한 24펄스 시스템의 주파수 스펙트럼과 입력 전압 파형을 그림 6에 각각 나타내었다. $k_1=0.24, k_2=0.69, \beta'=15^\circ$ 일 때 가장 고조파 저감효과가 우수한 것을 알 수 있었다. 이때의 입력전류의 파형도 그림 7에 나타냈다.

6. 결 론

종래는 다펄스화를 위해서 변압기와 정류소자가 많이 사용했지만, 본 논문에서 제안한 시스템은 간단한 스위칭 소자를 추가하여 24펄스 다이오드 정류기로한 결과 이론적으로 전압 왜형율 8.1%까지 저감시킬 수 있었고 입력전류 왜형도 12펄스 방식에 비해 거의 사인파에 가까워서 왜형율이 상당히 감소할 것으로 생각되며 이것을 입증하기 위한 실험이 진행중이다.

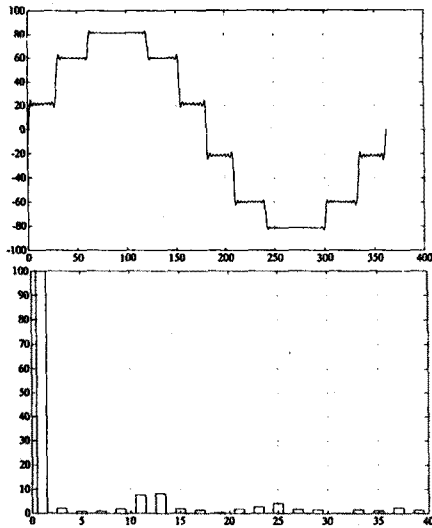


그림3. 기존방식의 입력 전압 파형 및 고조파 스펙트럼

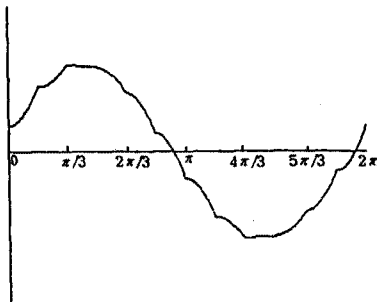


그림4. 기존방식의 입력 전류 파형

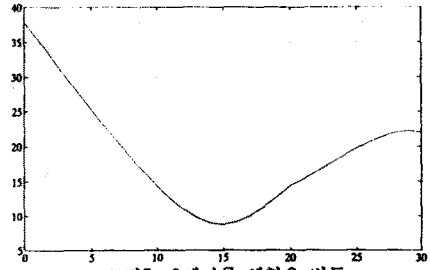


그림5. β 에 따른 왜형율 변동

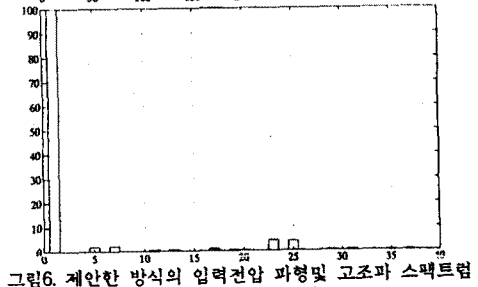
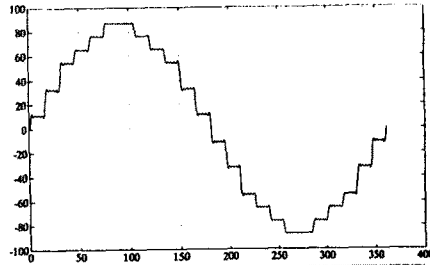


그림6. 제안한 방식의 입력전압 파형 및 고조파 스펙트럼

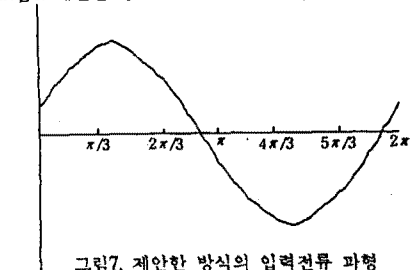


그림7. 제안한 방식의 입력전류 파형

參考文獻

1. Kuniomi Oguchi et al, "A Multilevel-Voltage Source Rectifier with a Three-Phase Diode Bridge Circuit as a Main Power Circuit", IEEE-IAS, Ann. Conf., pp.695-702, 1992.
2. R.G.Schieman and T.Khuwatsamrit, "A-C line current variation on a three-phase PWM drive with a-c line impedance", IEEE-IAS Ann. Conf., pp.1067-1072, 1990
3. S.Miyairi et al, "A New Method for Reducing Harmonics of Rectifier circuit by Switching Taps of Interphase Reactor", JEEE 60-B26, pp.39-46, Mar., 1985.