

## LISN을 이용한 3상 PWM 컨버터의 전도성 노이즈 특성에 관한 연구

°체영민°, °최해룡°, °최규하°, °목형수°, °신우석°  
( °건국대학교 °서울 산업대학교 °°°두원전문대학교 )

### A Study on Conducted Noise Characteristics in Three-Phase PWM Converter using LISN

Y.M. Chae° H.R. Choi° G.H. Choe° H.S. Mok° W.S. Shin°  
°Kon-Kuk Univ. °Seoul National Polytechnic Univ. °°°Doo-Won College.

#### ABSTRACT

In this paper, characteristics of harmonic spectrum are studied for three phase PWM converter as the switching frequency variation and current control method changing.

Especially, Differential Mode Noise which causes harmful effect on the other equipments is measured and compared with three phase diode rectifier.

#### 1. 서 론

일반적으로 유도전동기의 전원으로 사용되는 AC/DC 변환장치인 Diode 정류기는 저가형 전력변환장치라는 장점은 있으나 커패시터를 정류기 출력측에 연결함으로 인하여 발생하는 충전전류는 다수의 저차 고조파를 다양으로 함유하고 있으므로 계통 전체에 악영향을 끼치며 입력측 전압의 왜성을 초래한다.

이러한 입력전류의 고조파를 억제하기 위한 대책으로는 수동필터에 의하여 해당차수의 고조파를 저감시키는 방식과 전력용 능동필터에 의해 시스템에서 발생되는 고조파의 부호를 반전시켜 시스템에 주입하여 고조파를 저감시키는 방식 및 자기소호 소자(GTO, MOS-FET, IGBT)를 이용하여 전원전압과 동상으로 전원전류를 제어하는 PWM 컨버터 사용등을 들 수 있다.

특히 최근에는 능동적인 방식으로 고조파 저감을 위해 각상의 스위치를 ON/OFF 시키면서 입력전류를 정현파로 만들며 단위역율을 유지시키고 고조파 발생량을 현저하게 저감시키는 PWM컨버터에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. [1],[2]

본 논문에서는 각상의 입력전류의 역율을 1로 유지하며 고조파 발생량을 현저하게 저감시키는 PWM컨버터에서 전류 제어기로 사용한 PI 제어방식과 히스테리시스 제어방식을 대상으로하여 PWM컨버터의 고조파 발생량을 측정하였고, 전도성 노이즈 측정장치인 LISN(Line Impedance Stabilization Network)을 사용하여 이상의 전류제어기에 대한 주파수 변동시 고주파 노이즈 발생량을 실험을 통하여 측정 비교하였다. [3],[4]

#### 2. 3상 PWM 컨버터 구성

일반적인 3상 PWM 컨버터의 회로구조는 그림1과 같다. 이상의 3상 PWM 컨버터의 회로방정식을 상태 방정식으로 표현하면 식(1)과 같다. [2]

$$\dot{L} \vec{X} = A\vec{V} + BV \quad (1)$$

$$X = [i_a \ i_b \ i_c \ V_d]^T \quad V = [V_a \ V_b \ V_c \ 0]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} L & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -R & 0 & 0 & -(S_1 - \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 S_k) \\ 0 & -R & 0 & -(S_2 - \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 S_k) \\ 0 & 0 & -R & -(S_3 - \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 S_k) \\ S_1 & S_2 & S_3 & -R_L \end{bmatrix}$$

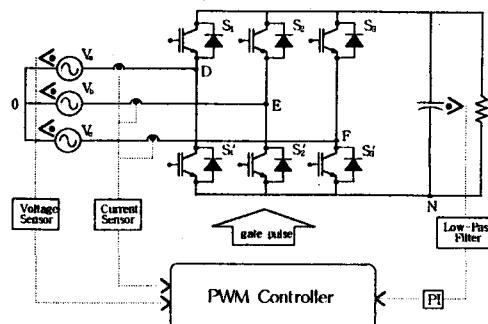


그림 1. PWM 컨버터 회로도

본 논문에서는 컨버터의 입력과 출력간의 전력의 균형을 유지시키며 부하의 변동에 대하여 항상 일정한 전압을 유지시키는 전압제어기로써 설계가 간편하고 구성이 간단하며 속응성이 우수한 PI제어기를 사용하였다.

또한 전원전압과 동상으로 전원전류를 제어하기 위한 전류 제어기로써 속응성이 우수하고 구성이 간단한 PI 제어기와 히스테리시스 제어기를 사용하였고 PI 제어기의

변조기법으로는 삼각파 비교방식을 사용하였다.

그림2는 PI 제어기의 불록 다이어그램으로써 기준전류와 실제전류를 비교하여 발생하는 오차신호를 PI제어기를 통한 후 삼각파 캐리어와 비교하여 각 상의 컨버터 스위치에 가할 게이트 신호를 발생시킨다.

그림3은 히스테리시스 제어기의 제어블럭도로써 전압오차 신호에 정현파를 곱하여 전류 기준신호를 만들고 실제전류와 비교하여 전류오차신호를 만들어 OP-AMP의 포화 특성을 이용하여 컨버터의 게이트 만든다.

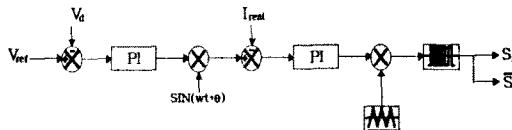


그림 2. PI 제어기 블록다이어그램

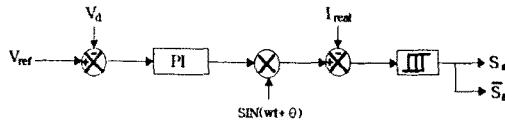


그림 3. 히스테리시스 제어기 블록다이어그램

### 3. LISN 주파수특성 해석

노이즈란 의도적으로 발생시키는 신호 이외에 발생하는 불필요한 신호가 발생하여 다른 전기전자 기기에 악영향을 주는 것으로써, 그 발생원인 및 전파경로에 따라 전도성 노이즈(Conducted Noise)와 방사성 노이즈(Radiated Noise)로 구분되며, 특히 회로 내에서 발생하여 순환하는 전도성 노이즈인 DM(Differential Mode) 및 CM (Common Mode)노이즈는 부하 및 다른 기기와 전원에 악영향을 미친다.

일반적으로 이상의 전도성 노이즈는 R, L, C의 수동소자로 구성되는 전도성 노이즈 측정장치인 LISN을 사용하여 측정이 가능하다.

그림 4는 간략화 되어 사용되는 LISN의 회로이며 장치에서 발생되는 고주파수 노이즈는 전원측 임피던스에는 영향을 미치지 않으며 병렬 커패시턴스로 흐르므로 LISN의 50Ω 저항을 통하여 흐르는 노이즈를 스펙트럼 어빌라이저로 측정한다.

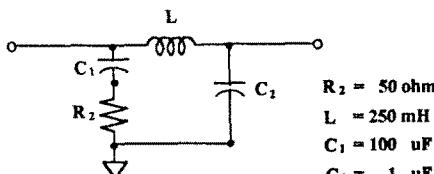


그림 4. 간략화된 LISN 회로도

이러한 LISN의 전체 임피던스는 식 (2)와 같이 표현 할 수가 있다

$$Z_{total} = \frac{A * S^2 + B * S + R_1}{D * S^3 + E * S^2 + F * S + 1} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} A &= LC_1(R_1 + R_2), B = (R_1 R_2 C_1 + L), D = LC_1 C_2 (R_1 + R_2), \\ E &= (R_1 R_2 C_1 C_2 + LC_2), F = (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_1) \end{aligned}$$

또한 LISN 출력측에서 바라본 입력측의 전달함수는 식 (3)과 같이 표현할 수 있으며 이때의 주파수 특성해석을 위해 MATLAB을 이용하여 BODE선도를 그리면 그림 5. 와 같이 저주파 성분만을 통과시키는 저역통과 특성을 나타내고 있다.

$$G(S) = \frac{A * S + 1}{D * S^3 + E * S^2 + F * S + 1} \quad (3)$$

$$A = R_2 * C_1, \quad D = LC_1 C_2 (R_1 + R_2)$$

$$E = (R_1 R_2 C_1 C_2 + LC_2), \quad F = (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_1)$$

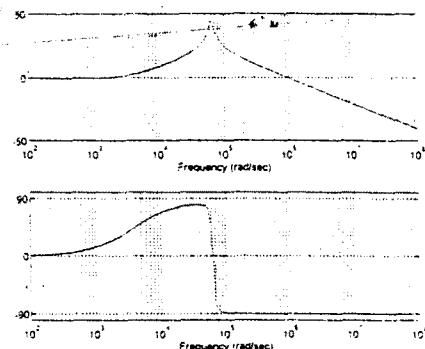


그림 5. LISN 전달함수 주파수특성

### 4. 실험 및 결론

본절에서는 실험을 통하여 PI 제어기와 히스테리시스 제어기의 고조파 스펙트럼의 변화량 및 LISN에서 측정되는 노이즈의 스펙트럼파형을 측정, 비교하였다.

실험에 사용된 파라미터는 아래 표1과 같다.

구 분	PI	히스테리시스
전원전압(line-line)	220V	220 V
직렬 인덕턴스	1.5 mH	1.5 mH
병렬 커패시턴스	4400 uF	4400 uF
부하저항	50 Ω	50 Ω
CARRIER FREQ.	10 KHz	-
Band Width	-	0.25

표 1 시뮬레이션 파라미터

그림 6은 캐리어 주파수를 10KHz로 설정한 경우 PI 전류제어기의 실험 결과이다. 그림 6.(a)는 a상 전원전압 및 전원전류의 파형으로 동상으로 전류제어가 원활히 이루어지고 있음을 보여 주고 있으며 6.(b)는 전원전류의 고조파 스펙트럼으로써 저차 고조파가 기본파성분에 비해 현저히 감소하였고 스위칭 주파수의 배수(10KHz\*N)에서 고조파 스펙트럼이 관찰된다.

그림7.은 밴드를 0.25로 설정한 경우 히스테리시스 전류제어기의 실험 결과로써, 그림7.(a)에서는 a상의 전원전류가 PI 전류제어기과 마찬가지로 동상으로 전류제어가 원활히 이루어지고 있음을 보여준다. 그림7.(b)는 이때 a상의 고조파 스펙트럼으로써 일정하지 않은 스위칭 주파수 때문에 6~13KHz사이에 고조파 스펙트럼이 관찰된다.

그림 8. 9. 10.은 다이오드 정류기와 PI 제어방식 및 히스테리시스 전류제어기에서 발생하는 전도성 노이즈를 LISN을 사용하여 측정한 스펙트럼의 파형이다.

그림에서 보이듯이 스위칭을 하지 않는 다이오드 정류기에서는 고주파 전도성 노이즈의 발생량이 미비하고 전류제어를 위하여 스위칭을 함에 따라 고주파 노이즈의 발생량이 증가함을 보여준다.

특히 그림 9.와 10.에서 보는바와 같이 동일한 제어기법을 사용하여도 스위칭 주파수가 증가함에 따라서 노이즈 발생량이 증가함을 알 수 있다. 따라서 이러한 노이즈를 제거하기 위해서는 별도의 EMI필터가 필요할 것으로 사려된다.

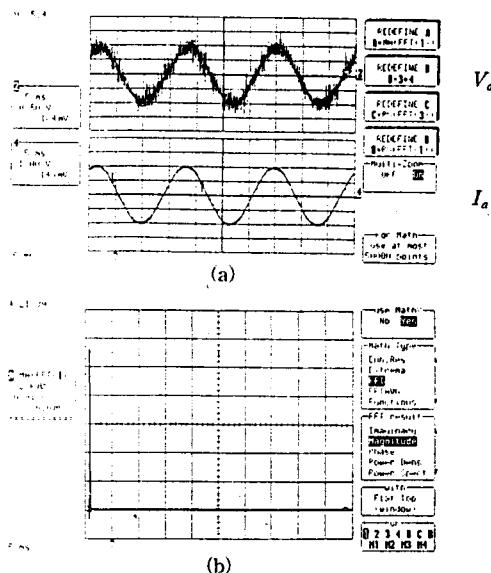


그림 6. PI 제어기 실험파형  
(a)전원전압 및 전원전류 (b)전원전류의 스펙트럼

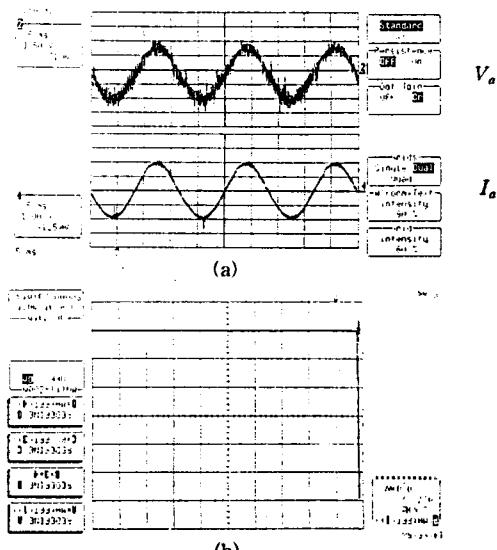


그림 7. 히스테리시스 제어기 실험파형  
(a)전원전압 및 전원전류 (b)전원전류의 스펙트럼

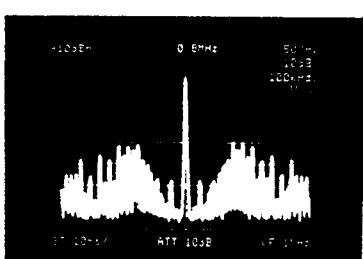


그림 8. 다이오드 정류기의 노이즈 스펙트럼

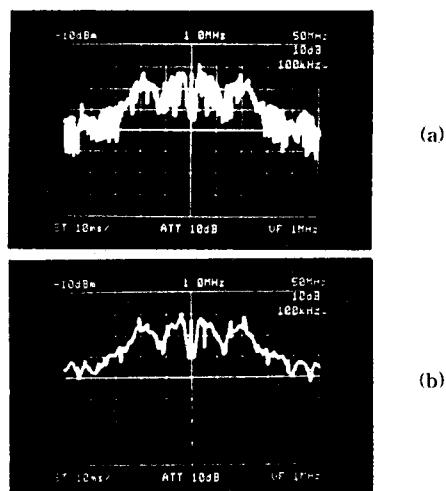


그림 9. PI 제어기시 노이즈 스펙트럼  
(a) 3KHz 스위칭 (b) 10KHz 스위칭

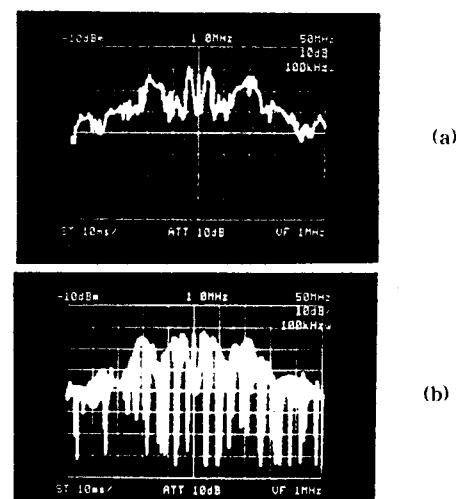


그림 10. 히스테리시스 제어기시 노이즈 스펙트럼  
(a) 벤드 = 0.25 (b) 벤드 = 1

## 참고문헌

- [1] J. T. Boys, A. W. Green "Current-forced Single-Phase reversible rectifier" IEEE. Proce, September, vol. 136, No. 5, pp. 205-211, 1989.
- [2] R. Wu, S. B. Dewan and G. R. Slemon "A PWM AC-to-DC Converter with Fixed Switching Frequency" IEEE. IAS, September, vol. 26, No.5, pp. 880-885, 1990.
- [3] F. Lin, D. Y. Chen "Reduction of Power Supply EMI Emission by Switching Frequency Modulation" IEEE. Tran, Power Electronics, January, vol. 9, No. 1, pp. 132-137, 1994.
- [4] R. Scheich, J. Roudet "EMI Conducted Emission in Differential Mode Emittanating from a SCR : Phenomena and Noise Level Prediction" IEEE. APEC, pp.815-821, 1993.