

Random PWM 기법에 의한 전도노이즈

°鄭東孝, 金相南
인천전문대학

Conducted Noise Reduction in Random Pulse Width Modulation

Dong-Hyo Jung, Sang-Nam Kim
Incheon Junior College

Abstract - The switching-mode power converter has been widely used because of its features of high efficiency and small weight and size. These features are brought by the ON-OFF operation of semiconductor switching devices. However, this switching operation causes the surge and EMI(Electromagnetic Interference) which deteriorate the reliability of the converter themselves and entire electronic systems. This problem on the surge and noise is one of the most serious difficulties in AC-to-DC converter.

In the case of carrier frequency selection, output-voltage of steady state and transient state is fully regulated.

A RPWM control method was proposed in order to smooth the switching noise spectrum and reduce it's level. Experimental results are verified by converter operating at 300V/1kW with 5%~30% white noise input.

Spectrum analysis is performed on the Phase current and the CM noise voltage. The former is measured with Current Probe and the latter is achieved with LISN, which are connected to the spectrum analyzer respectively.

1. 서 론

기존 PWM 전원장치에서는 스위칭 주파수를 증가시키므로써 인덕터 및 커패시터의 크기가 감소되고 전원장치의 무게와 부피 그리고 그에 따른 비용을 절감시킬 수 있기 때문에 전력변환장치의 소형, 경량화 및 고효율화가 가능하다.

그러나 PWM 전원장치에서 하드 스위칭 방식을 사용하는 경우 스위칭 손실 및 스트레스가 커지고 또한 전자파 장애 문제가 발생하기 때문에 스위칭 주파수를 높이는 데 제한이 따른다. 스위칭 손실 및 스트레스에 대해서는 이를 감소하기 위한 여러 가지 소프트 스위칭 기법 등이 연구되어 상당부분 그 문제를 해결 할 수 있다. 최근에는 PWM 전원장치의 전자파 장애 문제에 있어서는 체계적인 접근보다 오히려 시행착오를 거친 실험적 대책이 주로 이용되고 있는 실정이다[1][2].

기존 PWM 전원장치의 결정적인 단점은 스위칭 주파수가 증가됨에 따라 스위칭 손실 및 갑작스런 전류/전압의 변화($di/dt, dv/dt$)에 의하여 가장 크게 좌우된다. 전자파 장애가 발생했을 때 신호선 혹은 전력선을 통하여 전자회로로 이동하는 잡음원을 전도성 노이즈(Conducted Noise)라 하고, 선을 따라 전달되던 잡음원이 전자유도 및 정전유도에 의해 외부회로나 혹은 타장비로 방사될 수 있는데 이를 방사성 노이즈(Radiated Noise)라 한다. 전도성 노이즈는 CM(Common Mode) 노이즈와 DM(Differential Mode) 노이즈로 구분되어지고 CM 노이즈는 전원라인과 접지선간의 전위차로 발생하는 노이즈이며, DM 노이즈는 전원라인간의 전위차로 발생하는 노이즈이다[3].

2. 전자파 장애

노이즈란 전기적인 잡음이며 유용한 전압·전류에 혼입되어 방해로 주는 무용한 전압·전류로 정의된다. 노이즈는 본래 전혀 규칙성이 없으나 현재 노이즈라고 하는 것은 전자파가 누설되어 침입되는 것이 대부분이기 때문에 규칙적인 것이 많다.

또한 신호나 전력의 기본파의 동요나 파형의 일그러짐, 직류의 혼입까지 노이즈라고 하는 경향도 있으므로 전원선에서의 장애에 대한 대책을 검토할 때에는 주의하여야 한다. 이와 같은 방해로 전자파장애(EMI:Electro Magnetic Interference)라 부른다. 세계의 각국에서는 이 EMI에 대한 각종 규제가 실시되고 있다. 즉 EMI 규제에서는 전자기기가 “얼마만큼 외부에 대하여 노이즈원으로 작용하는가”의 한도값을 나타내고 있다. 다른면으로 그 전자기기가 “얼마만큼 외부로부터의 노이즈에 견딜 수 있는가”의 규제도 중요하다. 이것을 노이즈 내성(Noise Immunity)이라 한다. 따라서 전자기기가 방해 전자파에 영향을 받지않고 정상으로 동작하는 능력을 높이는 것이 필요하게 되었다. 노이즈 내성 평가 시험은 전자기기가 공간을 전파하거나, 또는 선로를 전도하는 전자파 잡음에 대해 어느 정도의 면역성을 갖고 있는지, 즉 오동작이 발생하지 않는 정도를 평가한다.

2장에서는 먼저 EMI의 발생원인에 대하여 논하고, 전도노이즈의 CM과 DM 모드를 설명하고, 그 다음 EMI에 대한 세계 각국의 규제규격 및 현황에 대하여 기술한다. 마지막으로 전도 노이즈의 평가방법에 대해 언급한다.

2.1 전자파 장애와 전파경로

전자파 장애 대책을 분석하면 그 구성요소는 그림 2-1와 같이 크게 3가지로 구분되며, 한 요소만 제거하여도 전자파 장애는 발생하지 않는 특징을 지니고 있다. 따라서 장애대책으로는 불필요한 전자에너지가 기기에서 발생하지 않도록 하고, 다른 기기에 전파되지 않도록 기기를 강화하며, 피해를 받지 않도록 기기를 강화한다. 노이즈원의 대책, 전파경로의 대책, 피해측의 대책에는 공통성이 있으며 불필요한 에너지를 나오기 어렵게 한다면 다른 기기에서의 전·자기에너지의 영향도 받기 어렵게 된다[3].

전자파 장애대책은 대책을 취하는 단계에 따라 몇 가지의 범주로 나눌 수 있다.

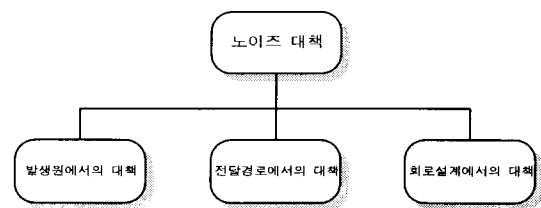


그림 2-1. 전자파 장애대책

현재의 노이즈 대책은 그 목적에 따라 두 가지의 방향으로 나가고 있다.

하나는 미국이나 독일 등의 외국에 기기류를 수출하는 경우의 노이즈에 대한 규제, 이른바 'EMI 규제'를 패스시키는 것을 목적으로 실시되고 있는 대책이다.

또 하나는 구체적인 노이즈 장애, 예를 들면 컴퓨터의 오동작이나 로봇의 비정상적인 동작, 인버터에서 발생하는 노이즈에 의한 전파장애 등 트러블을 사용장소의 어떤 환경에서도 회피하는 것을 목적으로 하는 대책이다.

전자는 수출하는 기기에서 발생하는 스위칭 노이즈나 클럭 노이즈 등이 각 나라의 TV나 라디오 등에 무선주파수 방해로 주지 않도록 정해진 것으로 규격에 만족하지 않으면 수출을 할 수 없기 때문에 일정한 측정조건에서 검출되는 노이즈를 미리 규제값 이하가 되도록 대책을 강구한다.

후자는 주로 기기가 판매된 후에 납입선에서 노이즈가 발생하여 주위에 영향을 미치거나 노이즈에 의하여 영향을 받은 장소 등 예측이 곤란한 트러블에도 대응하는 대책이다. 이 경우 현장에 장착된 상태이면 노이즈의 진입 경로가 극히 복잡하게 된다는 것과 대책의 효과 확인에도 시간이 소요되는 등의 곤란이 수반되는 경우가 많다.

노이즈 대책을 위한 조사시 노이즈 발생원으로는 대상 시스템 등의 내부와 외부에 따라 나눌 수 있다. 케이스에 수납된 장치의 경우, 케이스내의 스위칭 전원은 내부 노이즈원이며, 공간에서 전파되어 유래하는 노이즈는 외부 노이즈이다. 내부 노이즈와 외부 노이즈에서는 개념이나 대책이 다른 경우가 많다.

가. 전도

기기에 직접 접속된 전원선을 통하여 전도되는 경로, 기기간에 접속된 신호선이나 제어선을 통하여 전도되는 경로, 어스선을 통하여 전도되는 경로 등이 있다.

나. 복사

발생원에서 그 주위의 공간에 직접 방해전자파가 방사되어 발생원 가까이에 놓여진 다른 기기에 직접 전달되는 경로

다. 전도와 복사의 복합

발생원에 접속된 전원선이나 신호선에서 주위의 공간에 방해전자파가 방사되어 가까이에 놓여 있는 다른 기기에 직접 전도되는 경로와 발생원에서 방사된 방해전자파가 다른 기기에 접속된 전원선이나 신호선으로 들어가 그곳을 통하여 기기에 전도되는 경로가 있다.

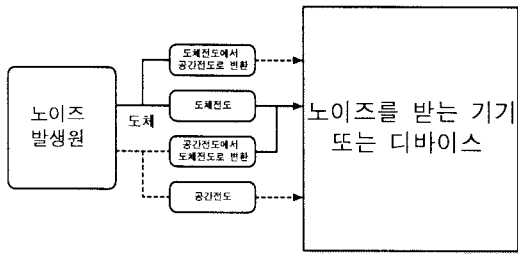


그림 2-2. 전자파 장애 전파경로

2.3 전도노이즈와 시험장치

전기신호의 전달에는 적어도 하나의 전기적 루프, 즉 회로가 필요하고, 최저 두개의 전송로가 필요하다. 그림 2-5과 같이 두선 사이의 신호에 노이즈가 중첩되었다고 생각하는 것이 노멀모드 노이즈(nominal mode noise)의 모델로 주행선과 복귀선이 있다. 그러나 실제로는 무수한 전송로와 노이즈원이 존재하며, 게다가 그들이 복잡하게 얽혀 있다. 두 번째로 커먼모드 노이즈(common mode noise)는 접지를 생각하여 전원선과 접지간의 경로를 생각한 것이다[4][5].

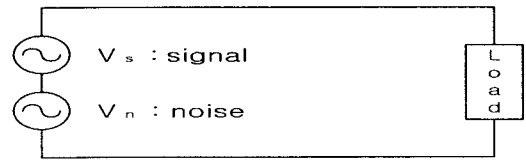


그림 2-3. 노멀모드 노이즈 모델

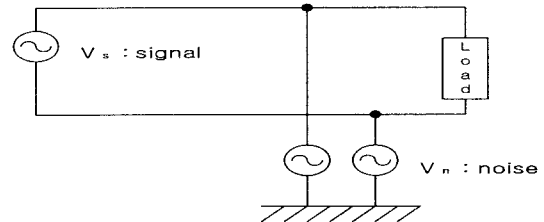


그림 2-4. 커먼모드 노이즈 모델

노이즈원의 임피던스 Z_s 는 주파수에 따라 크게 변하고 불분명하기 때문에 그 측정이 곤란하므로 노이즈원의 임피던스를 일정하게 유지시켜야 한다. 전도노이즈를 측정할 경우 AC입력 전원측에 LISN(Line Impedance stabilization network)을 접속하여 전원측의 임피던스를 노이즈 측정장비인 스펙트럼 분석기등의 입력임피던스인 50 [Ω]으로 일정하게 유지한 후 측정하게 된다.

또한 LISN은 전원측과 노이즈원과의 노이즈를 차단하여 순수한 노이즈원에서 발생하는 노이즈만 추출하는 효과가 있다.

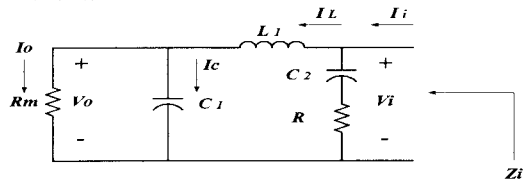


그림 2-5 LISN의 구조

제 3 장. 시스템 구성 및 설계

3.1 RPWM 스위칭 기법

AC-DC컨버터에 있어서 일반적으로 출력전압은 주 스위치의 온-오프 주기를 변화시킴으로써 제어된다. 그림 3-1에서 보는 것과 같이 PWM제어는 정상상태에서는 컨버터의 온-오프 주기가 일정하므로 턴-온과 턴-오프의 노이즈는 규칙적인 간격으로 발생하며 간격은 컨버터의 스위칭 주기와 같게 된다. 일반적인 PWM의 스위칭 노이즈 스펙트럼의 경우 연속적인 형태로 발생하며 특정 주파수 혹은 스위칭 주파수의 배수로서 집중하게 된다. 그러므로 그림 3-2에서와 같이 스위칭 노이즈를 저감시킨다면 주파수 스펙트럼상에서 노이즈의 피크치가 감소하게 된다

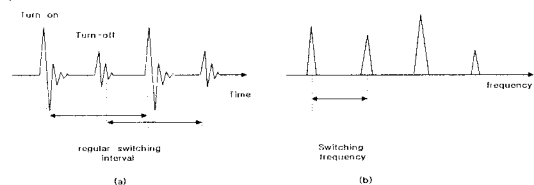


그림 3-1. PWM 스위칭노이즈 파형과 스펙트럼

(a) 파형 (b) 스펙트럼

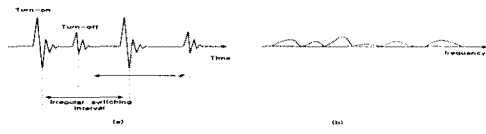


그림 3-2. RPWM 스위칭노이즈 파형과 스펙트럼

(a) 파형 (b) 스펙트럼

이러한 방법은 컨버터의 출력전압을 제어하면서 스위칭을 랜덤(Random)화함으로써 얻어질 수 있다. 스위칭 노이즈는 랜덤한 스위칭에 의하여 특정주파수나 스위칭 주파수의 배수에 집중하지 않게 되어 일반적인 PWM방법보다 전도노이즈 레벨이 감소하게 된다[5].

3.4 반송파 선택회로

RPWM제어인 경우 과도상태에서 실제의 출력전압을 추종하지 못하는 경우가 종종 발생한다. 그래서 순수 RPWM기법만으로 출력전압을 제어하는데 한계가 있다. 또한 PWM과 RPWM의 평균 주파수와 이득(Gain)이 같아도 전압을 추종하는 속도가 다르게 나타난다.

따라서 과도상태의 출력전압의 응답을 개선하기 위하여 PWM과 RPWM제어기법을 적절한 시기에 변환하는 제어기법을 제안하였다. 과도상태에서는 이득에 따른 전압 추종이 확실한 PWM으로 컨버터를 제어하다가 정상상태에 도달하면 전도노이즈를 저감하기 위한 RPWM으로 변환하여 시스템의 안정도를 향상시키게 된다

그림 3-3은 반송파 선택회로의 전체적인 블록도이다. 컨버터에서 출력전압을 검출하여 정상상태인가 아닌가를 판단하여 정상상태인 경우에 PWM에서 RPWM으로 전환하여 출력전압의 추종을 향상시킨다.

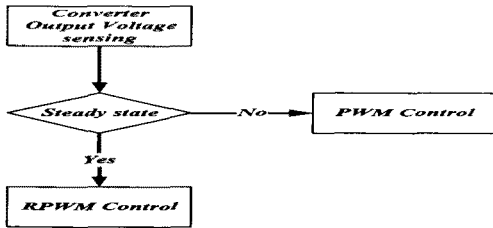


그림 3-3. 반송파 선택 간이 구성도

그림 3-4은 과도상태와 정상상태 판별회로로서 밴드의 상한선과 하한선에 입력이 들어올 때 출력이 나오는 회로이다.

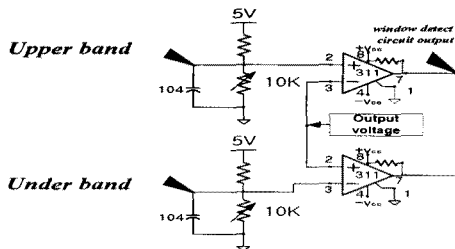


그림 3-4. 과도상태와 정상상태 판별회로

그림 3-5는 출력전압을 추종할 때 과도상태와 정상상태 판별회로에서 출력전압을 판별하여 각각의 신호에 맞게 PWM과 RPWM으로 컨버터를 제어할 때의 신호파형이다. 출력전압의 과도상태와 정상범위를 벗어나는 오버슈트에서는 PWM이 컨버터의 출력전압을 제어하고 정상상태에서는 RPWM이 컨버터의 출력전압을 제어하게 된

다. 따라서 과도상태에서 출력전압의 추종이 순수 RPWM제어시보다 향상되게 된다. 정상상태범위를 정하는 상한과 하한은 요구되는 전압의 품질과 제어기의 성능에 따라 결정되게 된다.

그림 3-6는 전도노이즈 저감과 출력전압 추종을 향상시키기 위한 반송파 주파수변환기능을 갖는 RPWM방식의 단일 스위치 3상 승압형 컨버터의 전체 구성도이다. 출력전압을 검출하여 정상상태임을 판별하여 각각의 반송파를 발생시키는 회로를 RPWM회로에 첨가하였다.

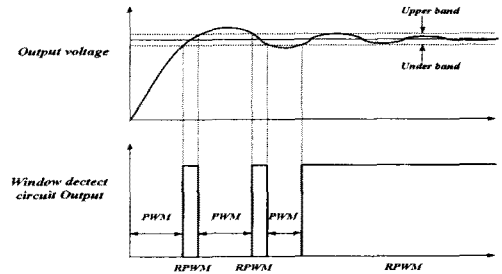


그림 3-5. 출력전압과 과도상태와 정상상태 판별회로 출력

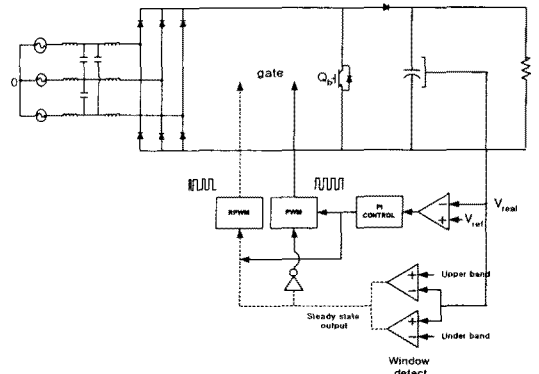


그림 3-6. 반송파 주파수변환기능을 갖는 RPWM방식의 단일 스위치 3상 승압형 컨버터

4. 결 과

본 논문에서 제안된 RPWM기법에 의한 단일 스위치 3상 컨버터를 실험하기 위해서 출력전압은 300[V], 1[kW] 저항부하, 입력전압 AC 100[V], 랜덤신호를 5%에서 30%까지 변화시키면서 스위칭 노이즈와 CM 노이즈 전압의 저감을 확인하였다. 표 4-1은 실험에서 사용된 파라미터이다.

표 4-1. 시스템 파라미터

파라미터	소자 값
입력 전압	3상 AC 100[V]
저항부하	1 [kW]
DC link 제어전압	300 [V]
승압용 인덕터	50 [μ H]
컨버터 평균스위칭 주파수	10 [kHz]
컨버터 출력 커패시터	4700 [μ F]

실제 실험에서 스위칭 노이즈전류를 측정하기 위하여 Tektronix A6303 Current Probe를 사용하였다. CM 노이즈 전압을 측정하기 위해서는 3상 입력라인에 LISN을 연결하고 DMRN을 통하여 스펙트럼 분석기로 측정하였다.

그림 4-1은 PWM방식의 출력 전압파형이고, 그림 4-2에서 그림 4-3은 RPWM방식의 출력 전압파형으로 랜덤 신호 주입량이 많아질수록 정상상태에서 출력전압 오차

가 나타남을 알 수 있다. 특히 그림 4-4에서 보는 바와 같이 같은 이득과 랜덤신호 주입량에서도 출력전압의 추종이 다르게 나타났다.

그림 4-5는 순수 RPWM제어의 단점을 보완하기 위한 반송파 선택회로 출력전압 파형으로서 같은 조건일 때 기준전압을 잘 추종하는 결과를 얻었다.

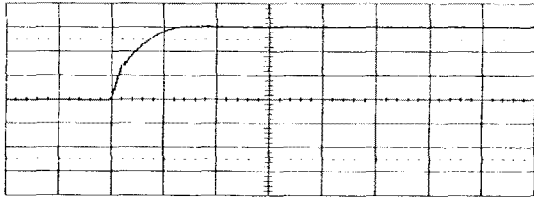


그림 4-1. PWM시 출력전압
(Voltage : 100V/div, Time : 50ms/div)

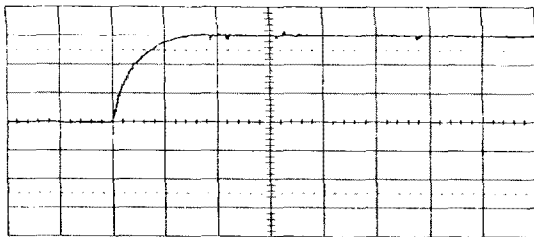


그림 4-2. RPWM시 출력전압
(Voltage : 100V/div, Time : 50ms/div, 랜덤신호 5%주입)

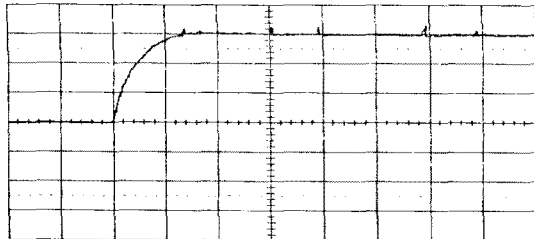


그림 4-3. RPWM시 출력전압
(Voltage : 100V/div, Time : 50ms/div, 랜덤신호 30%주입)

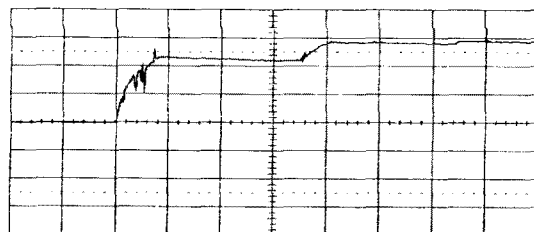


그림 4-4. RPWM시 과도상태에서 출력전압이 제어되지 않는 경우 (Voltage : 100V/div, Time : 50ms/div, 랜덤신호 30%주입)

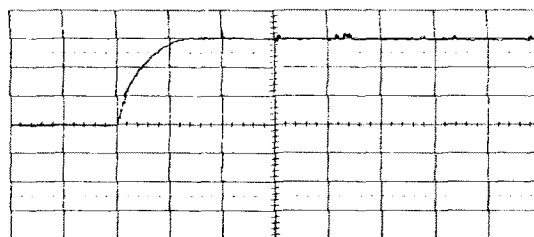


그림 4-5. 반송파 선택회로 출력전압
(Voltage : 100V/div, Time : 50ms/div, 랜덤신호30%주입)

5. 결 론

본 논문에서는 기존방식의 단일 스위치 3상 승압형 컨버터에 RPWM제어회로를 추가함으로써 스위칭 노이즈 전류 및 커먼모드 노이즈전압을 저감할 수 있는 방법을 제안하였다. 실험을 통하여 단일 스위치 3상 승압형 컨버터에서 PWM스위칭기법과 RPWM스위칭기법을 적용하였을 때의 전도노이즈 발생량을 비교하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 전도노이즈 저감을 위한 RPWM제어회로를 구현하여 단일 스위치 3상 승압형 컨버터에 적용하였다. RPWM제어회로부는 ROM에 저장된 랜덤한 신호를 샘플&홀드하여 리셋기능이 추가된 적분회로를 통해 반송파의 기울기(스위칭 주파수)가 실시간으로 변화하도록 설계하였다.

(2) 스위칭 주파수의 랜덤화가 커질수록(랜덤신호 주입량이 큰 경우) 전도노이즈 스펙트럼이 완만해지고 크기가 저감되었으나 출력전압은 정상상태에서 출력전압 오차가 나타난다. 그러므로 출력전압 추종과 전도노이즈 저감을 고려한 설계가 요구된다.

(3) AC-DC컨버터에서 주 제어대상이 되는 출력전압은 RPWM제어 기법을 적용하였을 때 과도상태에서 기준 출력전압을 추종하지 못하는 경우가 발생하였다. 이를 개선하기 위하여 반송파 선택회로를 제안하여 출력전압의 추종특성을 보완하였고, 그 특성을 실험으로 확인하였다.

향후 효과적인 전도노이즈 대책을 위하여 랜덤신호 발생기와 변조지수 설정의 최적화가 수행되어야 할 것이다. 그리고 스위칭 주파수의 랜덤화와 출력전압 추종과의 관계에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 인천전문대학 교내 연구비 지원에 의한 논문임

참 고 문 헌

- [1] Philip F.Okyere, "Computer aided analysis and reduction of conducted EMI in Switched-Mode Power Supply," IEEE PESC'98, Vol.1, May 17-22, pp. 924-928, 1998.
- [2] Richard Redl, "Power electronics and electro magnetic compatibility," IEEE PESC'98, Vol. 1, pp. 15~21, 1998.
- [3] 이진환 외4명, "PWM 인버터-유도전동기 구동시스템의 전도노이즈 예측에 관한 연구," 99년도 하계 전력전자 학술대회 논문집, 전력전자학회, pp.367~372, 1999.
- [4] A.R.Prasad and P.D.Ziogas, "An active power factor correction technique for three-phase diode rectifiers," IEEE Trans. on PE, Vol.6, No.1, pp.83~92, Jan., 1991.
- [5] Mohammad Sedighy and Francis P. Dawson, "Single-Switch Three-Phase Power Factor Correction," in IPEC'95, pp.293~297, 1995.
- [6] F.Lin and D.Y.Chen "Reduction of power supply EMI emission by switching frequency modulation," IEEE Trans., on PE, Vol.9, No.1, pp.83~92, Jan., 1991.