

가변속 AC 드라이브 시스템에 발생하는 누설전류와 서지전압의 억제

박진민 · 이현우 · 김영문* · 문상필 · 서기영
 경남대학교 · 마산대학*

The Suppression of both Leakage-current and Surge voltage
 occurring Variable-speed AC Drives

Jin-Min Park · Hyun-Woo Lee · Young-Mun Kim · Sang-Phil Mun · Ki-Young Suh
 (Kyung-nam Univ. · Masan College)

Abstract - In this paper, we represent both occurrence reason of Surge-voltage and Leakage current of AC drive system which is operated by Voltage-type PWM Inverter. It generates a compensating voltage which has the same amplitude as, but the opposite phase to, the common-mode voltage produced by the PWM inverter. The compensating voltage is superimposed on the inverter output by a common-mode transformer. As a result, the common-mode voltage applied to the load is canceled completely. The design method of the active common-mode noise canceler is also presented in detail. Therefore, we try to describe the method controlling both of them and all of the proprieties are proved by our experiment.

사이의 콘덴서로서 결정된다. 또한, 권선간의 부유용량은 권선과 프레임 사이의 부유용량에 비해서 적으므로 무시한다. 그림 3은 동상모드 전압에 의해 실선의 동상모드 전류가 흐르고, 정류 전압에 의해 파선의 전류가 흐른다. 이러한 회로는 LC 직렬 공진회로를 형성하고 고주파의 진동전류를 생성시켜, 다양한 장애를 일으킨다.

1. 서론

최근, 고속전력용 반도체 소자의 발달로 전압형 PWM 인버터의 캐리어 주파수의 고주파화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 인버터의 스위칭 시에 생기는 전압 혹은 전류의 급속한 변화에 의해서 고주파의 누설전류, 전도성과 방사성의 전자장해 (EMI), 모터 권선절연의 복합열화, 모터의 축전압과 베어링 전류 등의 문제점이 발생되어 산업체 기기에 악영향을 미치고 있다.

본 논문에서는, 가변속 AC 드라이브에 의해서 전압형 PWM 인버터의 스위칭 시에 발생하는 누설 전류와 동상모드 전압 억제 방법에 대해서 서술하고자 하며, 그 타당성은 실험을 통하여 증명하고자 한다.

2. 가변속 AC 드라이브의 등가회로

그림 1은 가변속 AC 드라이브 시스템의 구성을 나타내었다. 정류회로는 3상 교류를 직류 전압원에 변환하고, 전압형 PWM 인버터는 모터에 가변 주파수의 교류 전압을 공급해서 교류기의 가변속 구동을 한다. 전압형 PWM 인버터의 파워 디바이스를 스위칭한 경우에는, 모터 권선의 부유용량을 통해서 모터 프레임의 접지단자에 누설전류가 흐른다. 이 누설전류는 방사성과 전도성의 EMI를 발생하는 것을 알 수 있으며, 동상모드 전압은 축전압과 베어링 전류의 원인이 된다. 부유용량은 고정자 권선간 보다도 고정자 권선과 모터 프레임 사이에 비교적 크게 존재한다.

권선과 프레임 사이의 부유용량은 권선에 분포해서 존재하므로, 이것을 고려한 모터 권선의 등가회로는 그림 2에 나타난 것처럼 분포 고정회로서 나타내어진다.

전압을 권선 입력단자에 인가시킨 경우에는 부유용량 때문에 권선의 전압분포가 불균일 하게 되며, 입력단의 권선에 전압이 집중해서 절연파괴, 열화의 방지대책에 대해서 연구되어지고 있다.

그림 3은 배선 및 모터의 고주파 성분에 대한 등가회로를 나타내었다. 각 권선의 부유용량은 모터 입력단과 모터 프레임

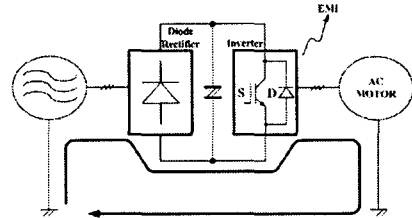


그림 1 가변속 AC 드라이브 시스템
 Fig. 1 Variable-speed AC drive system

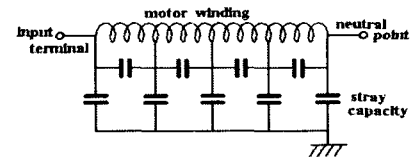


그림 2 부유용량을 고려한 고정자 권선의 등가회로
 Fig. 2 Equivalent circuit for a motor winding taking stray capacitors into consideration

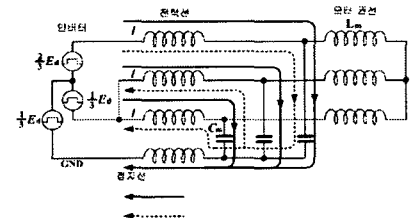


그림 3 모터의 고주파 등가회로
 Fig. 3 High-frequency equivalent circuit of a motor

그림 4는 트랜지스터 PWM 인버터를 이용한 유도전동기 구동 시스템(3.7kW)의 모터 접지선에 흐르는 동상모드 전류의 파형을 나타낸다. 모터의 정격전류 18.5[A]에 대해서 피크값 1.5[A]의 비교적 큰 고주파 진동전류가 흐르고 있다. 이 동상모드 전류는 그림 4(b)의 LCR 직렬 공진 회로에 스텝 전압을 인가한 경우의 감쇠 진동 파형과 같은 파형이 된다. 여기서, 그림 4(b)의 C_c는 동상모드에 대한 모터권선과 프레임사이의

표유용량, L_c 및 R_c 는 동상모드 전류가 흐르는 경로전체의 배선 인덕턴스와 저항이다. 그림 3과 그림 4(b)를 비교하면, $L_c = \frac{4}{3} l$, $C_c = 3c$ 로 나타내는 것이 가능하다. 인버터의 스위칭에서 발생하는 전도성과 방사성의 EMI 장해의 주된 원인은, 이 동상모드 전류, 즉 누설전류와 그 전원으로 되어있는 동상 전압이 된다.

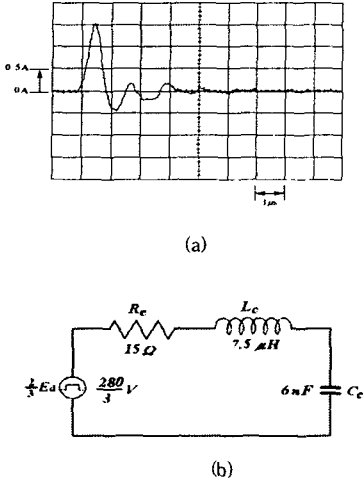


그림 4 동상모드 전류
Fig. 4 Common-mode current

3. 동상모드의 억제법

3.1 수동소자를 이용한 방법

그림 5는 동상모드 트랜스(CMT)를 나타내었다. CMT는 동상모드 초크의 양단을 저항 R_i 로서 단락한 2차 권선을 추가한 것이 되므로, 저항 R_i 는 동상모드 성분에만 손실을 발생하고, 정규 성분에는 손실이 전혀 발생하지 않는다. $R_i=0$ 인 경우에는 CMT의 임피던스는 0로 되며, 누설 전류에는 영향을 주지 않는다. $R_i=\infty$ 일 경우에는 CMT는 기존의 동상모드 초크로서 동작하고, 누설 전류의 피크 값은 억제 하지만, 실효치는 증가하는 경우가 된다.

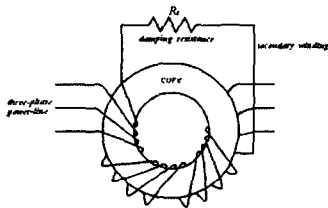


그림 5 동상모드 트랜스(CMT)
Fig. 5 Common-mode transformer

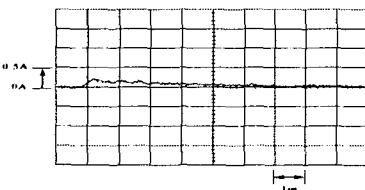


그림 6 동상모드 전류(CMT)
Fig. 6 Common-mode current with CMT

R_i 를 적절한 값에 설정하면, CMT는 저항으로서 동작하고, 그림 4(a)의 동상모드 전류는 그림 6에 나타난 것처럼 진동이 없는 파형이 된다. 이 CMT를 이용한 것에 의해, 동상모드 전류의 피크를 억제하고, 실효치의 저감도 가능하게 된다.

3.2 능동소자를 이용한 방법

그림 7은 인버터의 출력단에 접속한 액티브 동상모드 노이즈 캔슬러(ACC)를 나타낸다. ACC는 트랜지스터를 이용한 푸시풀형 이미터 접지회로 동상모드 트랜스, 직류 콘덴서 C_0 및 동상모드 전압을 검출하는 콘덴서 C_F 로 구성시키고 있다. 인버터의 동상모드 전압은 출력단에 접속한 Y결선의 콘덴서 C_F 의 중성점 전위에서 검출하고 있다. 이 콘덴서의 정전용량(182pF)은 인버터의 전력용 반도체소자의 출력 정전용량과 같은 정도로 되므로, 인버터에는 영향을 주지 않는다. 이미터 접지 회로는 입력 임피던스를 충분히 높고, 양호한 주파수 특성을 가지기 때문에, 인버터의 동상모드 전압을 충분한 정도로 검출하는 것이 가능하다. ACC는 인버터에 발생한 동상모드 전압을 검출하고, 이것과 동일한 크기로서 역방향의 동상모드 전압을 동상모드 트랜스를 넣어서 인버터 출력에 부과한다. 이 결과, 모터에 인가시킨 동상모드 전압을 상쇄해서 영으로 하는 것이 가능하고, 동상모드 전류 즉 누설전류도 완전히 억제 가능하다.

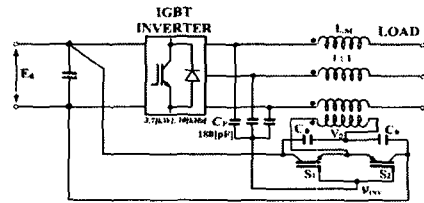
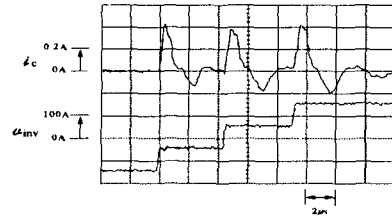
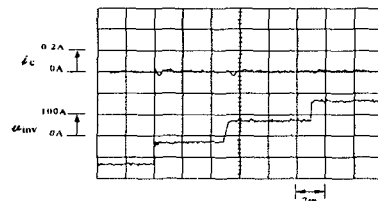


그림 7 액티브 동상 노이즈 캔슬러(ACC)
Fig. 7 Active common noise canceler



(a)



(b) ACC

그림 8 동상모드 전압 전류 파형
Fig. 8 Waveforms of common-mode voltage and current

그림 8은 동상모드의 전압전류 파형을 나타내었다. 여기서, 동상모드 전압 v_{inv} 은 직류측 중성점 전위 V_0 에 대한 인버터 출력단에 접속한 Y결선의 콘덴서의 중성점 전위를 나타낸다. 그림 8(a)의 ACC를 사용하지 않은 경우에는 인버터의 스위칭시에 피크값 0.4[A], 진동주파수

290[kHz]의 동상모드 전류가 발생하고 있다. 그러나, 그림 8(b)의 ACC를 사용한 경우에는 동상모드 전류 i_c 는 거의 완전히 억제하고 있다.

그림 9는 모터 프레임에 대한 모터 단자 전압의 파형을 나타낸다. 750[kHz]의 진동에 중첩해서 1.5[MHz]의 속도 진동이 나타나며, 높은 dv/dt 에 의해 모터 권선의 절연열화와 절연파괴가 생긴다는 것을 알 수 있다. 그림 3에 나타낸 동상모드의 공진 주파수는 750[kHz]에 해당하고, 1.5[MHz]는 정규의 공진 주파수로 된다.

그림 10은 CMT와 NMF를 접속한 경우의 단자전압 파형을 나타내었다. 동상모드와 정규모드의 진동은 완전히 억제되며, 모터 단자 전압의 dv/dt 는 저감되고 있다.

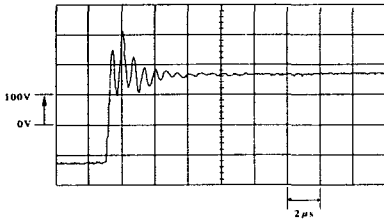


그림 9 모터 단자 전압 파형(측정 파형)
Fig. 9 Experimental waveform of motor terminal Voltage

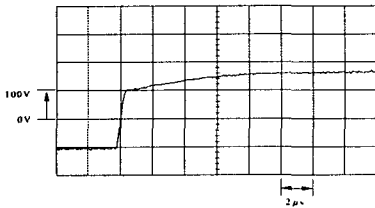
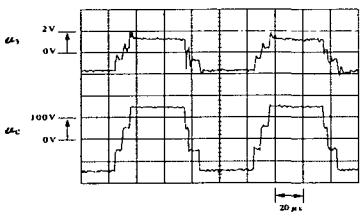
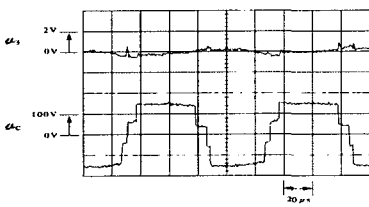


그림 10 CMT, NMF를 접속한 경우의 단자 전압 파형(측정 파형)
Fig. 10 Terminal voltage in the case of connecting CMT and NMF



(a)



(b)

그림 11 축전압과 동상모드 전압파형
Fig. 11 Waveforms of shaft voltage and common-mode voltage

그림 11(a)은 축전압 v_s 와 동상모드 전압 v_c 의 측정 파형을 나타낸다. 축전압은 카본 브러시를 이용해서 모터 회전축과 프레임과의 사이의 전압에서 측정하였다.

인버터의 캐리어 주기(100 μ s)시에 피크값 2[V]의 축전압이 발생하고 있다. 축전압 v_s 는 동상모드 전압 v_c 와 같은 파형으로 되는 것으로서, 동상모드 전압은 축전압의 원인인 것이 분명하다. 이 축전압 v_s 가 큰 경우에는 윤활유의 박막으로 절연파괴가 생기고, 베어링 전류가 흐른다. 이 방전 현상에 의해, 베어링의 불과 호스에 손상이 생기면, 베어링의 수명저하의 원인이 된다. 그림 11(b)는 ACC를 사용하는 경우의 축전압 v_s 의 측정파형을 나타낸다. ACC를 사용한 경우에는 ACC가 동상모드 전압을 캔슬러 하기 때문에 축전압 v_s 는 거의 억제시키고 있다. 동상모드 전압의 억제는 축전압과 베어링 전류의 방지에 효과적이다.

3. 결 론

본 논문에서는 전압형 PWM 인버터로 구동시킨 가변속 AC 드라이브 시스템의 누설전류와 동상모드 전압의 억제 방법에 대해서 서술하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 동상모드 전류의 피크를 억제하고, 실효치의 저감도 가능하다.
- 2) 모터에 인가시킨 동상모드 전압을 상쇄해서 영으로 하는 것이 가능하고, 동상모드 전류측 누설전류도 억제 가능하다.
- 3) 동상모드와 정규모드의 진동은 완전히 억제되며, 모터 단자전압의 dv/dt 는 저감된다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프로그축지원 사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y. Murai, T. Kubota, and Y. Kawase: "Leakage Current reduction for a High-Frequency Carrier Inverter Feeding an Induction Motor," IEEE Trans. Industry Application, vol.28, no. 4, pp.858-863 (Jul./Aug. 1992)
- [2] E. Zhong, T. A. Lipo: "Improvements in EMC Performance of Inverter-Fed Motor Drives," IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 31, No. 6, pp. 1247-1256(Nov./Dec.1995)
- [3] A. von Jouanne, D. Rendusara, P. Enjeti, W. Gray: "Filtering Technique to Minimize the Effect of Long Motor Leads on PWM Inverter-Fed AC Motor Driver Systems," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 32, No. 4, pp. 919-926 (Jul./Aug. 1996)
- [4] S. Chen, T. A. Lipo, D. Fitzgerald: "Modeling of Motor Bearing Currents in PWM Inverter Drives," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 32, No. 6, pp. 1365-1370 (Nov./Dec. 1996)
- [5] 鳳, 木原: [高電壓工學] 第8章 變壓器 第4.57圖 變壓器卷線衝擊電壓分布, p.206, 共立出版 (昭35)
- [6] B. Heller, A. Veveka: "Surge Phenomena in Electrical Machines," ILIFFE BOOKS LTD (1968)
- [7] G. Oriti, A. L. Julian, T. A. Lipo: "A New Space Vector Modulation Strategy for Common Mode Voltage Reduction," PESC' 97 Conf. Rec. pp. 1541-1546 (1997)