

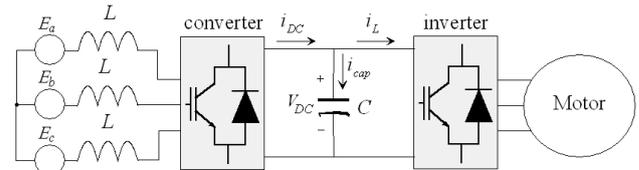
PWM 컨버터 인버터 시스템의 컨버터부 초기 전류 제어 기법에 대한 연구

구본관*, 최준혁*, 정인성*
전자부품연구원

Research on initial current control scheme for PWM converter

Bon-Gwan Gu, Jun-Hyuk Choi, In-Soung Jung
Korea Electronics Technology Institute

Abstract - 시스템 에어컨은 가정이나 사무실에서 하나의 실외기를 사용하면서, 각 방 또는 사무실에 여러 대의 실내기를 사용하는 에어컨 방식이다. 시스템 에어컨은 가정이나 사무실에 사용하는 가장 큰 에너지 부하 중 하나로서 점차 그 사용이 증대되고 있다. 본 논문에서는 이 시스템 에어컨에 사용되는 컨버터 인버터 시스템의 컨버터 초기 운전 방법을 제안한다. 본 방법은 컨버터 운전 초기에 발생할 수 있는 제어 전압 부족으로 인해 발생할 수 있는 과전류를 미리 방지하여 컨버터 보호 및 비정상적 운전을 방지할 수 있는 방법이다.



〈그림 1〉 PWM 컨버터 인버터 시스템

1. 서 론

최근 생활수준이 점차 향상됨에 따라 쾌적한 생활의 영위를 추구하는 욕구의 증가와 건축물의 고급화 및 복합화 추세에 따라 공조기의 사용이 날로 증가하는 추세이다. 공조분야의 시장환경은 에너지 절감 및 환경문제로 인하여 공조 시스템의 에너지 소비효율(EER : Energy Efficiency Ratio) 향상이 업계의 최대 관심사로 떠오르고 있으며, 에너지 절감을 위한 방안의 하나로 부하에 따라 용량을 조절할 수 있는 가변능력형 공조시스템의 사용이 점차 늘어나고 있다. 멀티 및 시스템 에어컨은 단일 에어컨과 중앙공조 에어컨의 장점을 접목한 에어컨으로, 가정 및 사무건물에서 한대의 실외기에 여러 대의 다양한 실내기를 연결하여 건물의 형태 및 각 실내의 특성에 맞게 최적 냉방을 실현하며, 실내의 공간을 효과적으로 활용할 수 있어, 가정 주택에서부터 인테리어가 강조되는 고층 주상복합아파트까지 적용하는 사례가 증가하는 등 차세대 공조 시스템으로 부각되고 있다.

국내시장은 일반 에어컨의 보급률이 약 40%에 달하고 기존 단품 제품시장의 성장성 둔화 및 수익성이 감소되고 있어, 고성장이 기대되는 시스템 에어컨 시장참여를 위한 노력이 활발히 진행되고 있다.

시스템에어컨은 세계적으로 수량면으로 가정용 에어컨에 크게 뒤지지만 부가가치가 높아 수익성이 좋은 분야이다. 세계 시스템 에어컨 사업은 물량 기준으로는 전체 에어컨시장의 약 23%에 불과하지만 금액기준으로는 45%를 차지 할 정도여서, 이 때문에 세계적인 에어컨 업체들의 시장경쟁이 더욱 치열해질 전망이다. 시스템 에어컨의 수요가 날로 증가하고 있는 현 상황에서 5마력 이상의 시스템 에어컨 시장에서 전 세계 시장의 대부분을 Daikin, Toshiba, Mitsubishi전기, Hitachi 등의 일본업체가 차지하고 있으며, 국내업체는 90년대 후반부터 국내 출시를 시작하면서 기술개발에 집중하고 있으나 기술개발의 역사가 짧아 선진 기술과의 격차가 크게 나고 있는 실정이다.

시스템 에어컨의 핵심기술은 압축기의 용량제어기술이며, 선진 업체는 압축기의 용량제어방법으로 주로 인버터 구동방식을 채용하고 있으며, 최근에는 인버터 토폴로지의 변환, 새로운 PWM 구동방식의 연구, 센서리스 최적제어알고리즘에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음. 또한, 인버터의 효율극대화를 위한 일환으로 저손실 IPM(Intelligent Power Module)의 개발과 이에 최적화된 인버터 시스템이 꾸준히 진행되고 있다. 이와 같은 효율성향상을 위한 개발요구에 따라, 가변용량 제어시 효율이 좋은 PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)이 채용된 고효율 인버터 시스템의 Compressor모듈 적용이 필수적이 되고 있다. 또한, 에어컨용 Compressor모듈은 고압이며 화학물질인 냉매로 인해 PMSM의 제어를 위한 회전자 위치센서를 적용할 수 없으므로 센서리스 제어가 요구되나, 기존의 120도 통전방식으로는

정확한 제어와 고효율을 달성할 수 없기 때문에 180도 정현과 전류제어형 센서리스 알고리즘의 적용이 요구된다.

인버터 방식의 적용이 여러 가지 장점을 제공하지만, 입력단 다이오드 정류후 평활한 전원을 사용하기 때문에 고조파 문제라는 단점을 가지고 있다. 이 고조파 전류는 세계 각국에서 많은 문제들을 야기시켜 국제적으로 이를 규제하기 위한 제도적 장치를 제정하였다. 유럽에서는 국제 고조파 전류 규격인 IEC 61000-3-12를 받아들여 EN-61000-3-12라는 강제규제로 만들었고 이를 CE 규격에 포함시켜서 유럽에 수출되는 모든 전기기기는 이 규제를 만족해야만 판매를 할 수 있다. 특히, 빌딩용 멀티 시스템과 같이 인버터기기를 다수 설치할 경우, 수전용량에 대한 인버터 비율이 올라가, 발생하는 고조파 전류에 의한 다른 전기기기로의 악 영향을 방지하기 위해서는 전원 고조파를 줄여야 한다. 3상 전원입력 기종의 경우 활성필터(active filter)방식 및 12펄스 트랜스방식, 18펄스 트랜스방식 등이 이용되어 왔지만, 최근에는 전원전류를 정현파로 제어하고 출력 직류 전압도 완전히 승압 제어하여 고조파 함유량이 극히 적은 역율 1 제어가 가능한 PWM 컨버터방식이 몇몇 분야에 적용되기 시작하였다.

본 논문에서는 시스템 에어컨용 컨버터 인버터 시스템에서 컨버터 운전시의 초기 운전 방법을 제안한다. 제안된 방법은 초기 DC-link 전압 부족분에 의해서 발생하는 제어되지 않은 전류가 발생하지 않도록 하며, 안정적인 초기 운전이 되도록 한다.

2. 본 론

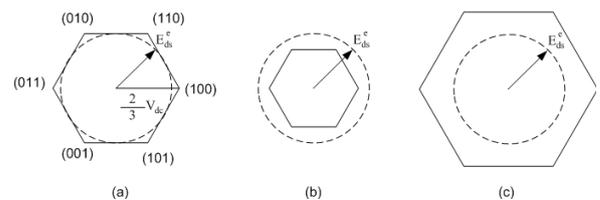
2.1 컨버터 모델

PWM 컨버터의 수학적 모델은 다음과 같다.

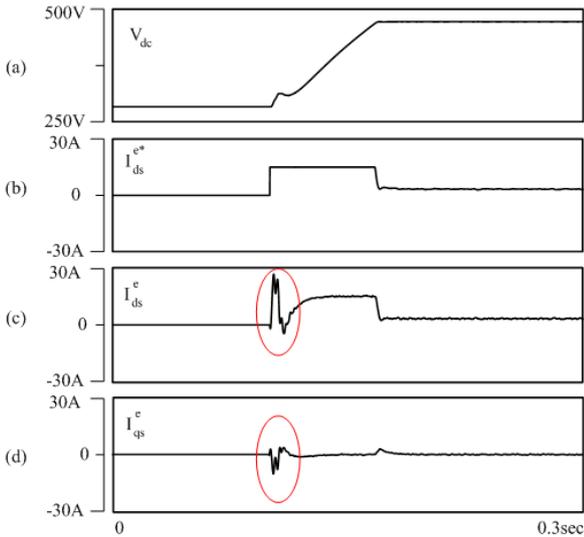
$$L \dot{i}_{ds}^e = \omega L i_{qs}^e + E_{ds}^e - V_{ds}^e \quad (1)$$

$$L \dot{i}_{qs}^e = -\omega L i_{ds}^e - V_{ds}^e \quad (2)$$

L 은 컨버터 입력 필터이고, ω 는 입력 전원의 각 주파수, i_{ds}^e , i_{qs}^e , V_{ds}^e ,



〈그림 2〉 컨버터의 정지 좌표계에서의 전압 벡터도 (a) $i_L = 0$ 일 경우, 다이오드 정류 (b) $i_L > 0$ 일 경우, 컨버터의 출력 가능 전압 벡터가 상전압 벡터 E_{qs}^e 보다 작음 (c) 컨버터의 출력 가능 전압 벡터가 상전압벡터보다 높음



〈그림 3〉 컨버터 0.1sec.에서 기동시 결과 (a)DC-link voltage (b) 동기좌표계 D-축 전류 명령치 (c) 동기좌표계 D-축 전류 (d) 동기좌표계 Q-축 전류 시뮬레이션 결과 : 입력전압 220V, L=0.875mH, DC-link 전압 명령치 450V, C=3000uF, Vdc(t=0)280V

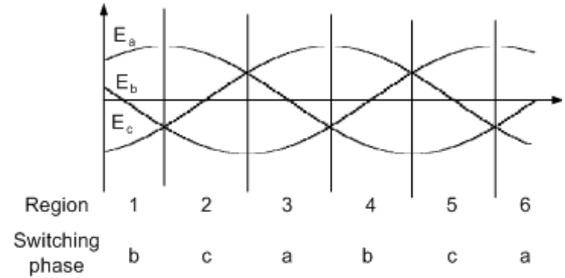
V_{qs}^e 는 동기좌표계에서의 컨버터 D-Q 축 전류와 전압, E_{ds}^e 는 동기좌표계의 D-축 입력 전원 상전압을 나타낸다. 컨버터 운전시에는 동기좌표계 D축을 입력전원에 일치시켜 Q-축 입력 전압운전 E_{qs}^e 가 0이 되도록 운전한다.

2.2 컨버터의 제어되지 않는 초기 전류 발생 원인

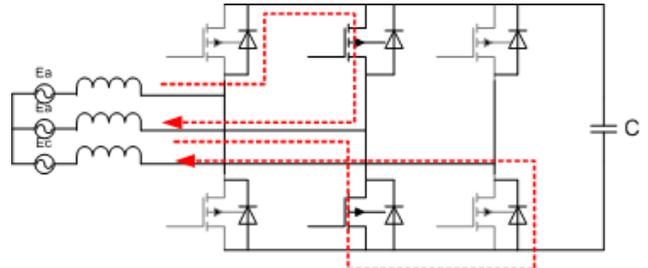
컨버터는 운전 전에는 파워 스위치의 Free-Wheeling 다이오드를 통해서 일반 다이오드 정류기와 같이 DC-link 콘덴서에 입력 전원을 정류한 상태와 같다. 따라서, DC-link쪽에서 전력 손실이 없을때, 입력 전원의 최대 Peak치인 $\sqrt{2}$ (그림 2 (a))를 곱한 값을 최대로 가질 수 있다. 그러나 시스템 에어컨과 같이 부하 변동이 있는 곳에서는 컨버터의 운전 여부를 부하의 양에 따라 결정하게 함으로써 컨버터 운전 손실에 의한 시스템 효율 저감을 방지 한다. 다시 말하면 작은 부하에서는 컨버터의 운전을 하지 않고, 다이오드 정류기와 같은 역할로 컨버터를 이용하다가 부하가 커지면 컨버터의 운전을 시작하게 된다. 이와 같은 운전방법은 컨버터 운전 시 발생하는 손실을 최소화하여 전체 컨버터 인버터 시스템의 효율을 향상시키기 위한 것이다. 그러나 다이오드 정류기로 컨버터를 사용할 때는 부하에 따라 이 DC-link 전압이 변동한다. 부하에서 전력 사용량이 많으면 DC-link 전압이 작아지게 된다. 따라서 그림 2의 (b)와 같이 DC-link를 이용하여 컨버터가 발생시킬 수 있는 전압이 입력 전압에 비해 낮은 경우가 발생 할 수 있게 된다. 이와 같은 경우 초기 컨버터를 운전하게 되면, 컨버터가 발생시킬 수 있는 전압의 입력 전원의 전압보다 작아 전류제어가 되지 않는다. 시간이 지나면서 제어되지 않는 컨버터의 전류가 DC-link의 전압을 상승시켜야 전압 부족분이 해소되면서 컨버터는 그림 2의 (c)와 같이 정상적으로 전류제어가 가능하게 된다. 이러한 이유로 인해서 초기 컨버터는 제어되지 않는 과전류가 도통되게 된다. DC-link 콘덴서의 용량이 커서 DC-link 전압 상승 속도가 낮고, 부하가 커 기동 시점에서 DC-link 전압이 낮으면 제어되지 않는 전류는 크게 증가하여 과전류에 의한 기동 불가 또는 스위치 파손등의 악영향을 끼치게 된다. 그림 3은 이와 같은 상황을 시뮬레이션한 파형이다. t=0.1초에서 컨버터를 기동시켰다. 이때 DC-link 전압은 정전류 2A부하에 의해서 280V까지 낮아진 상태에서 동작을 시작하였다. 입력이 220V이므로, 그림 2 (c)와 같은 상태에 놓이게 되어 입력 전압이 DC-link를 통해서 컨버터가 발생시킬 수 있는 전압범위보다 높게 된다. 따라서 컨버터의 전류는 제어가 되지 않다가, DC-link전압이 높아 짐에 따라 정상적으로 제어가 되기 시작하는 것을 볼 수 있다.

2.3 컨버터 초기 과전류를 방지 할 수 있는 제어 기법

DC-link 전압이 부족한 상태에서 컨버터를 동작시키면 컨버터의 출력 전압의 부족으로 전류제어가 어렵다. 따라서 이와 같은 상황에서는 컨버터를 정상적인 운전부터 시작을 하지 않고, 컨버터가 운전하기에 충분한 DC-link 전압까지 상승시킨 다음 컨버터 운전을 하여야 한다. DC-link 전압을 상승시키기 위해서 본 논문에서는 입력 전압의 크기에 따라 한



〈그림 4〉 입력 전원의 크기에 따른 스위칭 입력 전원 상 선택 방법



〈그림 5〉 Region 1에서의 스위칭에 따른 전류 Boosting Path

상만을 전류 Boosting 하는 방법을 제안한다. Boosting을 위한 스위칭 방법은 입력 각 상의 입력 전압의 크기에 따라 선택된다. 다이오드 정류기 역할을 하는 가장 큰 전압과 가장 낮은 전압을 갖는 상을 제외하고, 나머지 중간 크기의 전압을 갖는 상의 스위치만을 ON/OFF함으로써, 전류의 Boosting을 하는 것이다.

그림 4는 입력 전압의 크기에 따른 스위칭을 할 상을 선택하는 방법을 나타낸다. 예를 들어, Region 1에서는 a-상의 전압이 가장 크고, c-상의 전압이 가장 작다. 이 때에는 이 두상의 스위치는 전부 OFF 상태에서 b-상의 스위치를 동작 시키면 입력 전압이 L에 인가 되어 전류 Boosting 현상이 발생하게 된다. 이 Boosting된 전류는 스위치가 OFF되면 DC-link에 에너지를 전달 하게 되므로, DC-link 전압을 상승시킨다. 위 스위치를 동작 시키면 a-상과 b-상 사이에서 Boosting 현상이 일어나고, 아래 스위치를 동작시키면 c-상과 b-상 사이에서 Boosting 현상을 일어난다. 그림 5는 Region1에서 b-상의 스위칭을 통해서 전류 Boosting path를 보여주고 있다. Boosting된 전류와 DC-link 전압은 입력 상전압과 스위치 ON/OFF 시간 조절을 통해서 그 크기를 제한 할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 컨버터 초기 운전시 DC-link 전압의 부족분으로 인해 발생 할 수 있는 과전류 또는 제어되지 않는 전류 성분을 방지하는 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 3상 PWM 컨버터에서 중간 크기의 전압을 갖는 1상의 스위칭만을 이용하여 기동하며, 충분한 DC-link 전압을 확보한 후 3상 운전으로 전환 하는 방법이다. 제안된 기법을 사용하면, 초기 DC-link전압이 부족할 경우에도 이상 과전류를 발생시키지 않고, 기동 할 수 있으므로 시스템 보호와 함께 과전류 발생에 의한 기동 불능의 상태를 미리 방지 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] B.G. Gu and K. Nam, "A DC-link capacitor minimization method through direct capacitor current control,"IEEE Trans. Ind. Appl.,Vol.42, No.2, pp573-581, March/April 2006
- [2] L. Juber, Y. Jang, and M. Jovanovic, "Performance evaluation of bridgeless PFC boost rectifiers,"IEEE Trans. on Power Elec., Vol.23, No.3, pp1381-1390, May 2008