

고속 인버터 엘리베이터 구동 기술

김 정 하*
(*금성산전연구소 선임 연구원)

1. 서 론

급격한 가감속 및 정밀하고 응답이 빠른 속도 제어를 필요로 하는 일반 산업 응용 분야에는 직류 전동기가 주로 사용되어 왔다. 엘리베이터의 경우도 예외는 아니어서 주로 고급 고층 건물에 설치되어 우수한 승차감을 요구하는 정격속도 180m/min 이상의 고속 엘리베이터 구동은 지금까지 Thyristor-leonhard 제어에 의한 직류 전동기 방식이 대부분이었다. 그러나 Thyristor-leonhard 제어에 의한 직류 전동기 방식은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

1. 저속 영역에서의 입력 역률 저하
2. 고조파 전류 및 Thyristor 스위칭에 의한 입력 전원 장애
3. 전동기의 정기적 보수

따라서 제어 성능이 우수함에도 불구하고 기술적 개선이 요구되어 왔다.

한편 최근 유도 전동기 제어 기술은 전력용 반도체 및 마이크로 컴퓨터 기술의 발달과 더불어 눈부시게 발전되어 농형 유도 전동기를 직류 전동기가 갖는 토크의 직선성 혹은 속응성에 필적하는 특성을 갖도록 하는 Vector 제어 방식을 사용한 인버터가 공장 기계, 철강, 제지 등 여러 산업 분야 뿐만 아니라 수직 수송 설비인 엘리베이터 구동에도 적용되어 유도 전동기를 직류 전동기와 같이 극저속에서 정격 속도까지 정밀히 제어하는 인버터 엘리

베이터가 개발되어 이미 중저속을 시작으로 고속, 초고속급에 이르기까지 설치, 운전되어 큰호평을 받고 있는 가운데 당사에서도 이미 중저속급 인버터 엘리베이터는 독자 개발, 양산중에 있으며 최근에 다음과 같은 기술적 특징을 갖는 고속 엘리베이터 (180-300m/min)를 개발, 출시하여 전술한 Thyristor-leonhard 제어 방식의 문제점을 해결하였다.

1. 고속 스위칭 전력용 반도체 소자인 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용, 전동기 소음을 제거하여 기계실 소음 저감
2. 입력 전원 고조파 장애 및 용량 저감을 위하여 PWM 콘버터를 통한 정현파 전류 제어 및 역률 1제어
3. 광범위하고 안정된 속도 제어를 위한 Full Digital PWM Vector 제어
4. 전기계와 기계계의 공진에 의한 진동을 억제하기 위한 전동기 토크 리플 억제
5. DSP (Digital Signal Processor) 및 Gate Array를 사용하여 제어 회로의 Full Digital화
6. 광섬유 (Optical Fiber)에 의한 IGBT 구동으로 Noise에 의한 오동작을 방지하여 신뢰성 향상
7. 기계적인 회전 맥동, 진동, 소음을 줄이기 위하여 감속기를 사용하지 않는 Gearless 방식 채택

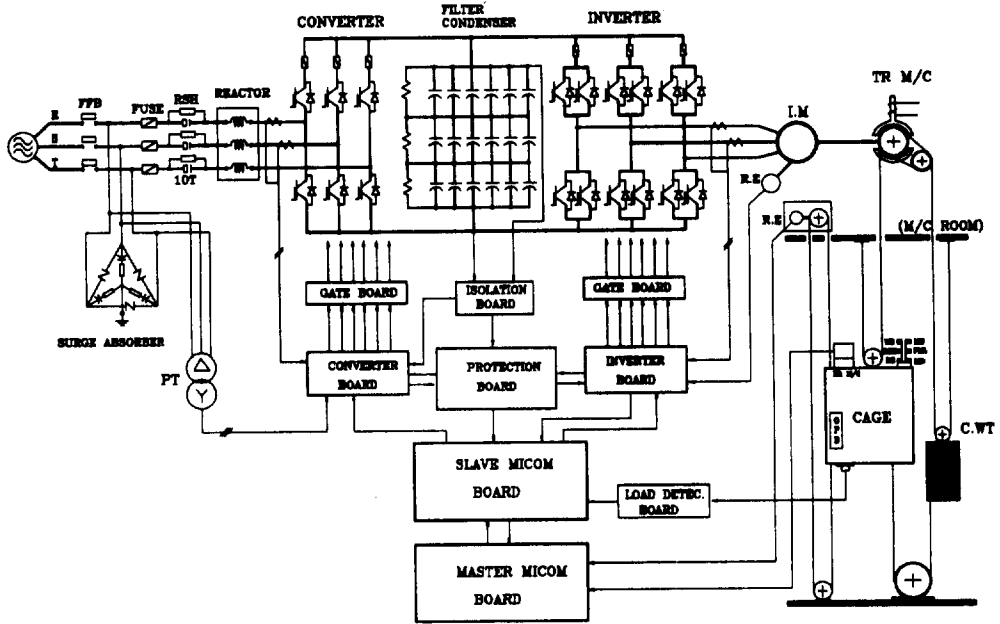


그림 1. 직접 구동형 고속 기어리스 인버터 엘리베이터 시스템

2. 시스템 구성

그림 1은 직접 구동(Gearless Direct Drive)형 고속 인버터 엘리베이터 시스템 구성도를 나타낸다.

제어 시스템은 크게 운전 제어부, 콘버터 제어부, 인버터 제어부, 전력 회로 및 기계부로 구성되어 있다.

운전 제어부는 승객의 부름 등록에 따라 콘버터 기동 지령과 전동기 속도 지령을 발생시키며 엔코더로부터 엘리베이터 케이지(Cage)의 위치 정보를 입력, 감속 처리, 각종 안전 회로 이상 유무 검출, 시퀀스 제어를 행한다.

콘버터 제어부는 입력 전압의 위상을 검출하여 Motoring Mode에서는 역률을 "1", 회생시에는 "-1"이 되도록 전류를 제어함과 동시에 직류 전압을 일정하게 제어한다.

인버터 제어부는 운전 제어부로부터 입력된 속도 지령과 로터리 엔코더로부터 검출한 전동기 실제 속도의 오차에 의해 전동기 토크 지령치를 연산하여 속도제어와 전류 제어를 행하고 기동 쇼크를 방지하기 위하여 케이지내의 하중을 검출, 기동 토크 지령을 인가한다.

전력 회로는 전동기 전자 소음을 줄이고 대전력 변환을 위하여 고속 스위칭 전력용 반도체 소자인 IGBT를 10kHz로 구동함과 동시에 병렬 운전을 하고 있다.

3. 제어 회로

3.1 PWM 콘버터 제어부

지금까지 중저속 엘리베이터(60-105m/min)는 Uncontrolled 다이오드 콘버터를 사용하여 왔고 Thyristor-leonhard 방식의 고속 엘리베이터(150m/min 이상)는 Line-commutated Phase-controlled 콘버터를 사용하여 왔으나 입력 전류에 고조파 성분이 많고 저속 영역에서 역률이 낮아서 입력 전원 용량이 커져야 하는 단점이 지적되어 왔다.

또한 고속 엘리베이터는 기동 정지가 빈번하고 전동기의 정격 출력이 크고 건물내의 설치 대수도 많기 때문에 전동기가 회생 모드로 운전시 그 에너지를 전원측으로 반환하여 전체 시스템 효율을 높여야 하고 입력 전원 용량을 감소시킬 필요성이 제

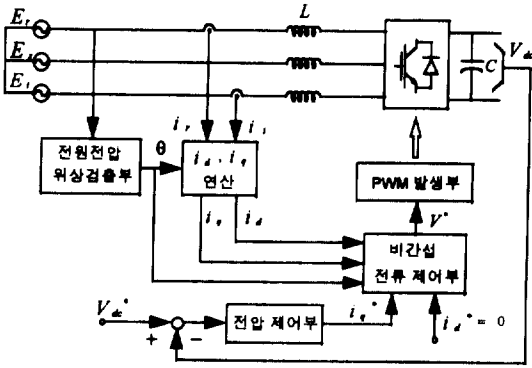


그림 2. PWM 컨버터 구성

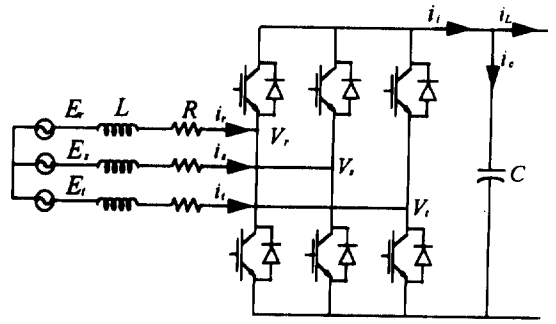


그림 3. PWM 컨버터 모델

기되어 왔다. 따라서 본 시스템에서는 전압형 PWM 컨버터 방식을 채택, 입력 전원 역률을 1로 제어함과 동시에 정현파 입력 전류 제어를 통하여 전술한 문제점을 해결하였다.

3.1.1 기본 구성

그림 2는 본 시스템의 컨버터 제어 구성도를 나타낸다. 즉 리액터, DC Link 콘덴서, 전력 회로부, 전원 전압과의 위상 동기를 위한 위상 검출부, DC Link 전압 일정 제어를 위한 전압 제어부, 전류 제어부, PWM 발생부로 구성되어 있다. 또한 전압 및 전류 제어기는 고속 처리 연산용 DSP를 사용하였고 PWM 발생부는 당사에서 개발한 Gate Array를 사용하여 Full Digital화를 실현하였다.

3.1.2 시스템 모델링

PWM 컨버터 모델을 그림 3에 나타내고 수식적인 모델링은 다음과 같다.

$$E_r = L \frac{di_r}{dt} + i_r R + V_r \quad (1)$$

$$E_s = L \frac{di_s}{dt} + i_s R + V_s \quad (2)$$

$$E_t = L \frac{di_t}{dt} + i_t R + V_t \quad (3)$$

3상 고정자 좌표계로 표현된 (1), (2), (3) 식을 2상 회전 좌표계로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} E_q \\ E_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Ls + R & \omega L \\ -\omega L & Ls + R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_q \\ V_d \end{bmatrix} \quad (4)$$

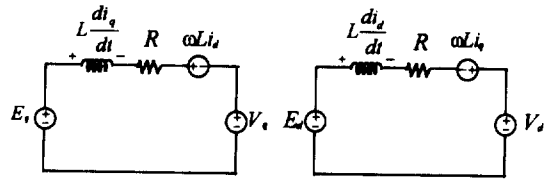


그림 4. 컨버터 시스템의 qe, de축 등가 회로

그림 4는 컨버터 시스템에 대한 등가회로이고 그림 5는 전압과 전류의 페이서도로서 (a)는 역률이 1인 경우이고 (b)는 역률이 1이 아닌 경우를 보여주고 있다.

DC Link 콘덴서의 전압 변동에 관한 수식과 컨버터 입력 전력과 출력 전력과의 관계는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$C \frac{dV_{dc}}{dt} = i_i - i_L \quad (5)$$

$$V_{dc} i_i = V_d i_d + V_q i_q \quad (6)$$

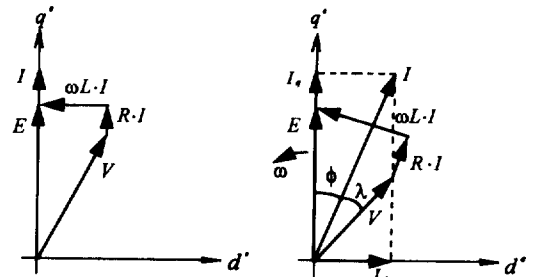


그림 5. 전압과 전류의 페이서도

3.2.1 속도 제어부

운전 제어부에서 연산한 엘리베이터 속도 지령 ω_r^* 와 전동기 축에 취부된 고분해능 로터리 엔코더로부터 연산된 전동기 실제 속도 ω_r 과의 오차를 속도 제어부에 입력, 그 출력을 전동기 토크 지령 i_q^* 로 사용하여 전동기 실제 속도 ω_r 가 빠른 응답성으로 속도 지령 ω_r^* 와 같게 되도록 제어하여 우수한 승차감을 얻는다.

또한 엘리베이터는 기동시 부하량에 따라 급격한 하강 혹은 상승이 발생하여 기동 초기 승차감을 해친다. 이를 방지하기 위하여 브레이크 개방전에 부하량에 따른 불평형 토크 T_{ub}^* 를 미리 전동기에 인가하여야 한다. 또한 진동은 기계계 고유 주파수와 전동기 토크 리플이 일치할때 더욱 증가하여 승차감에 악영향을 끼치므로 이와 같은 공진점을 Notch Filter를 사용하여 제거하였다.

3.2.2 전류 제어부

그림 9.에 전류 제어기 구성을 나타낸다. 일반적으로 d, q축 회전 좌표계로 나타낸 유도 전동기 1차 전압 지령 v_{d1} , v_{q1} 을 각각 상대 축 전압 지령에 영향을 주는 간섭항을 제거하여 전동기에 인가, 우수한 제어 성능을 얻는 비간섭 (Decoupling) 제어를 행한다.

한편 전압형 인버터는 상하 전력용 소자 단락을 방지하기 위하여 Dead time을 설정한다. 이 Dead time은 출력 전압을 왜곡시켜 전류 제어기에 영향을 끼치며 스위칭 주파수가 증가할수록 이영향이 크게 나타나므로 Feed-forward Dead time 보상을 넣어 해결하였다.

또한 전동기 입력 전류에 직류 성분이 존재하면

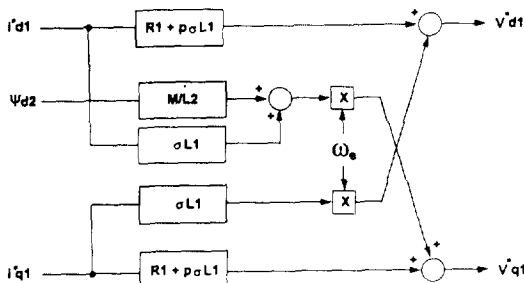


그림 9. 전류 제어기의 구성

입력 주파수를 갖는 토크 리플이 나타나고 전동기의 온도 상승을 일으킨다. 이를 제거하기 위하여 전류 제어기에 전류 Offset 보상을 넣어 토크 리플을 감소시켰다.

3.3 Power 부

그림 10.은 고속 엘리베이터 제어반 외관을 나타낸다. 콘버터와 인버터를 구성하는 Power Module을 종래의 Power Transistor대신에 고속 스위칭용 전력용 반도체 소자인 IGBT를 사용하여 스위칭 주파수를 증가시킴으로써 전동기 입력측 소음 저감용 리액터를 제거하는 한편 기계실 소음을 크게 줄였다. 또한 IGBT는 전압 구동형 소자이므로 구동 회로가 간단하여 소형화 및 신뢰성 향상을 이룩할 수 있었고 스위칭 주파수 증가에 따라 Noise에 의한 IGBT구동 신호의 오동작을 방지하기 위하여 광섬유 (Optical Fiber)를 사용, 신뢰성 향상을 이룩하였다.

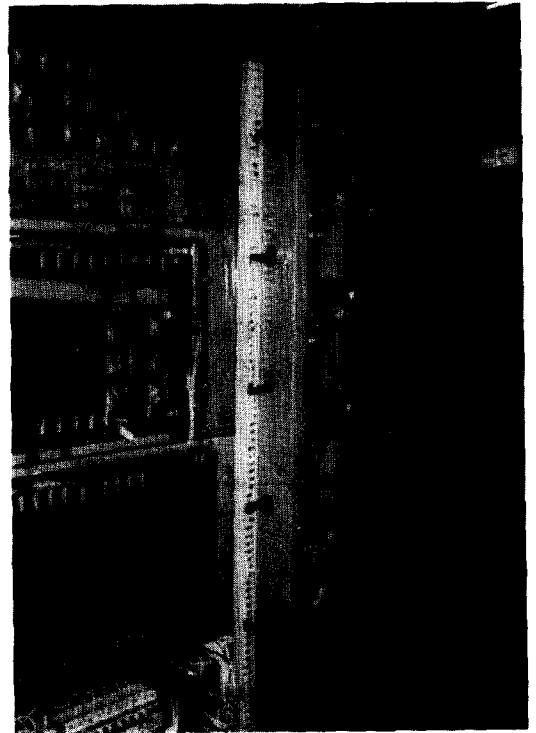


그림 10. 엘리베이터 제어반 외관

4. 운전 특성

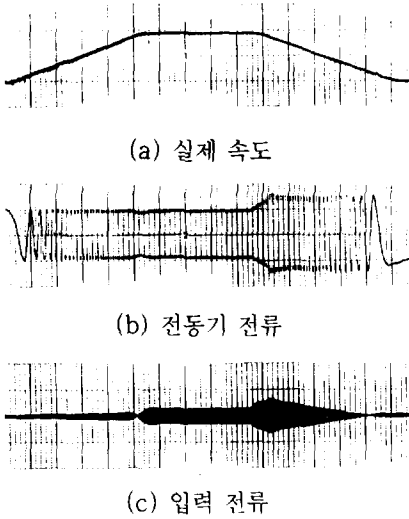


그림 11. 운전 특성 곡선

그림 11. 은 고속 엘리베이터의 운전 특성 곡선을 나타낸다.

엘리베이터의 속도는 기동에서 정지시까지 극저속 Vector제어를 통하여 속도 지령에 추종함을 알 수 있다. 또한 가속시는 전동기의 출력이 증가하면서 콘버터 입력 전류가 직선적으로 증가하고 감속시는 PWM 콘버터가 회생 모드로 운전하여 에너지를 전원측으로 반환함을 알 수 있다.

그림 12.은 엘리베이터의 가속도를 나타낸것으로 평균 가속속도는 0.8m/sec^2 이며 안정된 가속속 특성을 나타내고 있다.

5. 결 론

지금까지 당사가 최근 개발한 고속 엘리베이터 구동 기술 및 시스템 개요를 소개하였으며 향후 건물의 초고층화, Intelligent화에 대비, 축적된 극저속 Vector 제어, 진동 억제 기술, 대전력 반도체 소자 운용 기술을 바탕으로 현재 360m/min 급 이상 초고속 인버터 엘리베이터를 개발중 이다.

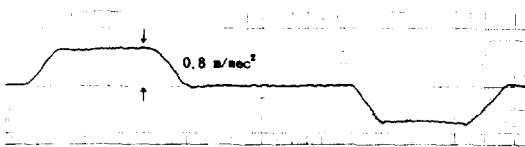


그림 12. 엘리베이터 가속도



김정하(金宗河)

1961년 6월 19일생. 1984년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1984~87년 금성계전(주) 연구소 근무. 현재 금성산전(주) 연구소 선임연구원