

ELEVATOR 구동용 VECTOR 제어 인버터

신현주, 장성영, 이선재, 이상동  
현대중전기 기술연구소

VECTOR CONTROLLED INVERTER FOR ELEVATOR DRIVE

H.J.SHIN, S.Y.JANG, S.J.LEE, S.D.LEE  
HYUNDAI ELECTRICAL ENGINEERING CO., R & D CENTER

ABSTRACT

This study is about vector controlled inverter for high quality elevator drive that is to improve the settling accuracy of elevator car and passenger's comfort in commercial buildings.

In this study, an instantaneous space vector control type inverter was used to reduce the torque ripple and to improve the velocity follow-up. This method calculates instantaneous actual output torque and flux of induction motor by voltage and current, then compares them with a reference values by a speed regulator. The outputs of comparators select a switching mode for an optimal voltage vector.

Also, this study used IGBT (Insulated Gate Bipolar - Transistor), a high speed switching element, to reduce sound noise level, and DSP (Digital Signal Processor) was used to improve the reliability of the control circuit by fully digitalization.

1. 서론

ELEVATOR 구동장치는 주로 DC MOTOR에 의한 속도 제어와 INDUCTION MOTOR의 입력전압 제어방식이 많이 사용되어 왔다. 그러나 DC MOTOR의 경우는 유지 및 보수에 어려움이 있으며, INDUCTION MOTOR의 입력전압 제어로는 TORQUE의 정밀제어가 곤란하여 착상정도나 승차감 개선에는 한계가 있다. 또한 빈번한 가감속에 의해 전력소비가 많으며 전원설비 용량이 커진다. DC MOTOR 제어나 INDUCTION MOTOR의 입력전압 제어의 이러한 문제점을 해결하기 위해 INVERTER 적용 ELEVATOR가 일본을 비롯한 선진국에서 사용이 확대되고 있으며 중,저속 기종으로부터 고속 기종까지 실용화 되고있다. ELEVATOR 구동에 사용되는 INVERTER

는 정밀제어가 가능하고 속도 TORQUE 특성이 좋은 VECTOR 제어형 INVERTER를 사용한다.

본 연구에서는 ELEVATOR 구동 INDUCTION MOTOR의 TORQUE 특성을 개선하고 소음을 경감시키기 위해 새로운 VECTOR 제어법인 순시공간 VECTOR 제어법(INSTANTANEOUS SPACE VECTOR CONTROL)을 적용하였다. 또 전력용 반도체로는 고속 SWITCHING이 가능한 IGBT(INSUALTED GATE BIPOLAR-TRANSISTOR)를 사용하였으며, 제어회로에는 고속연산 CPU인 DSP(DIGITAL SIGNAL PROCESSOR)를 사용하여 FULL DIGITAL화 하였다.

2. ELEVATOR SYSTEM 구성

ELEVATOR는 군관리제어장치, 각대제어장치 및 전동기 구동장치로 구성된다. 군관리제어장치는 복수대의 ELEVATOR를 GROUP으로 운전관리하며 각 승강장에서 호출과 각 CAR의 운전방향 및 위치로부터 최적운전 상태를 연산해서 각대제어장치에 지령한다. 이렇게 함으로써 대기시간을 줄이고 ELEVATOR를 효율적으로 사용한다. 각대제어장치는 각 ELEVATOR의 상태정보를 군관리제어장치에 보내고, 지령에 따라 각 전동기 구동장치에 제어신호를 보낸다. 그림1은 ELEVATOR SYSTEM의 구성도이다. 여기서 점선으로 둘러싸인 부분이 개발코자 하는 VECTOR 제어형 인버터이다.

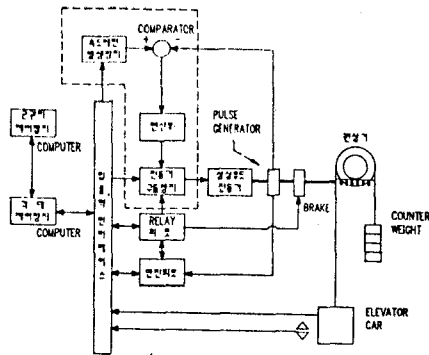


그림 1. ELEVATOR SYSTEM 구성도

3. ELEVATOR 구동장치

ELEVATOR는 승객의 승차감을 좋게하고 착상정도 높이기 위해 적절한 SPEED PATTERN에 따라 TORQUE 맥동없이 동작되어야 하며 또한 소음을 최소화 할 필요가 있다. 이러한 ELEVATOR 구동장치로는 TORQUE 제어 특성이 양호한 직류전동기제어가 많이 사용되나 유지보수의 어려움으로 고정밀 제어가 요구되지 않는 분야에는 유도전동기의 1차전압 제어가 사용되어 왔다. 근래에는 VVVF 인버터에 의해 유도전동기를 VECTOR 제어하므로써 직류전동기에서의 유지, 보수, 크기면의 단점을 보완할 수 있고 그림 2와 같은 소비전력 특성을 가지므로 유도전동기 1차전압 제어에 비해 고효율 운전이 가능하며 전원설비 용량을 줄일 수 있다.

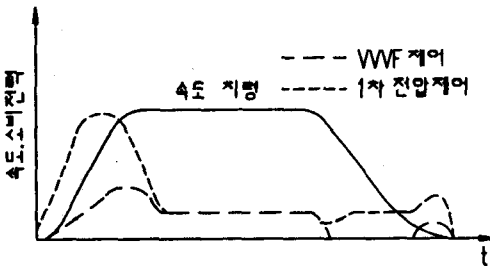


그림 2. 제어방식에 따른 소비전력 PATTERN

4. 순시공간 VECTOR 제어 인버터

일반적인 VECTOR 제어 인버터에서는 자속지령과 SPEED REGULATOR에 의한 TORQUE 지령으로부터 MOTOR의 3상 REFERENCE 전류를 계산하여 부하전류가 여기에 추종토록 제어한다. 그러나 본 연구에서는 MOTOR의 전압, 전류를 부터 실제의 자속, TORQUE를 계산하고 지령자속과 TORQUE와 비교하여 출력할 최적의 전압 VECTOR를 발생하는 순시공간 VECTOR 제어법을 적용하였다.

4.1 제어원리

그림 3은 인버터 구동 유도전동기를 간략히 한 MODEL과 인버터 SWITCH Sa, Sb, Sc를 연결하는 방향에 따라 유도전동기에 인가되는 7가지의 전압 VECTOR이다. 유도전동기의 1차 단자전압 VECTOR를 v1, 전류 VECTOR를 i1, 2차 VECTOR를 i2로 하면 전압방정식은

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + PL_{11} & PM \\ (P-jW_m)M & R_2 + (P-jW_m)L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_1 \\ \dot{i}_2 \end{bmatrix} \dots (1)$$

로 표시된다.

여기서  $\dot{v}_1, \dot{i}_1, \dot{i}_2$ : dq 변화된 VECTOR량

R1, RS : 1,2차 권선저항

L11, L22 : 1,2차 자기 INDUCTANCE

- M : 상호 INDUCTANCE
- Wm : 회전 각 속도
- P : 미분 연산자 이다.

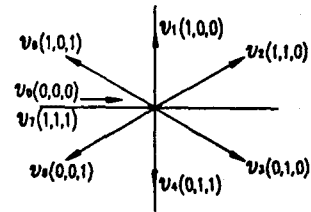
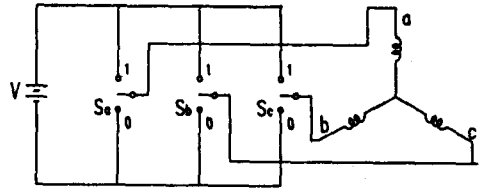


그림 3. 인버터 MODEL과 출력전압 VECTOR

1차 자속  $\overline{\phi}_1$ 는

$$\overline{\phi}_1 = L_{11} \cdot \dot{i}_1 + M \cdot \dot{i}_2 \dots (2)$$

로 되며 이것을 (1)의 v1항에 대입하여 정리하면

$$\dot{v}_1 - R_1 \cdot \dot{i}_1 = P\overline{\phi}_1 \dots (3)$$

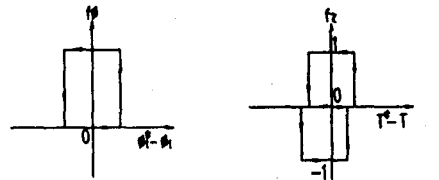
으로 된다. 양변을 적분하면

$$\overline{\phi}_1 = \int (\dot{v}_1 - R_1 \cdot \dot{i}_1) dt \dots (4)$$

로 되어 전동기 1차자속을 1차전류와 전압을 사용하여 구할 수 있다. 또한 순시 TORQUE는 1차 자속과 1차 전류를 이용하여 계산되며

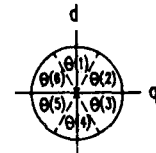
$$T = |\overline{\phi}_1 \times \dot{i}_1| \dots (5)$$

로 된다. 계산된 자속  $\overline{\phi}_1$ 과 TORQUE T가 지령치  $\overline{\phi}_1^*$ , T\*에 일정폭의 HYSTERESIS BAND를 가지고 추종하도록 1차전압 VECTOR를 선택한다.



a. Δφ1에 의한 f0

b. Δτ에 의한 fτ



c. φ1\*에 의한 θ(n)

그림 4. HYSTERESIS 비교기 및 자속위치 판별기

그림 4의 FLAG에 따라 표 1과 같은 SWITCHING TABLE에서 적정전압 VECTOR를 선택하므로써 연산시간을 단축시킨다. 표 1에 의해 선택된 전압 VECTOR에 의한 자속회전은 그림 5와 같다. 이상과 같은 원리에 의한 SPACE VECTOR 제어 SYSTEM의 구성은 그림 6과 같다.

〈표 1〉 FLAG에 의한 VECTOR 선택용 TABLE

$f\varphi, f\tau$		$\theta(n)$					
		$\theta(1)$	$\theta(2)$	$\theta(3)$	$\theta(4)$	$\theta(5)$	$\theta(6)$
$f\varphi = 1$	$f\tau = 1$	2	3	4	5	6	1
	$f\tau = 0$	7	0	7	0	7	0
	$f\tau = -1$	6	1	2	3	4	5
$f\varphi = 0$	$f\tau = 1$	3	4	5	6	1	2
	$f\tau = 0$	0	7	0	7	0	7
	$f\tau = -1$	5	6	1	2	3	4

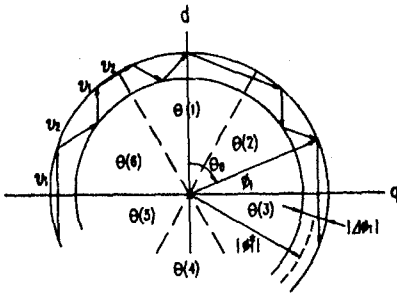


그림 5. 전압선택에 의한 자속상태도

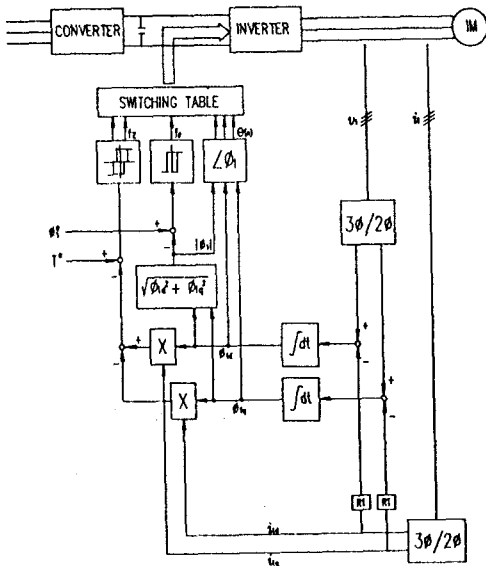


그림 6. SPACE VECTOR 제어 BLOCK DIAGRAM

#### 4.2 제어회로 구성

아래 그림 7은 제어회로의 구성도이다. CPU1은 SYSTEM제어용이고, CPU2는 파형발생용이다. 지령속도가 CPU1의 입력장치를 통하여 입력되면, 실제 속도와 비교, 연산되어 지령 TORQUE 및 지령자속을 계산하고 그 결과를 공유 MEMORY를 통하여 CPU2에 전송한다. CPU2에서는 유도전동기 입력전류 및 전압을 읽어 실제 자속 및 TORQUE를 연산하고 지령자속 및 지령 TORQUE와 비교하여 적당한 전압 VECTOR를 선택, 출력한다.

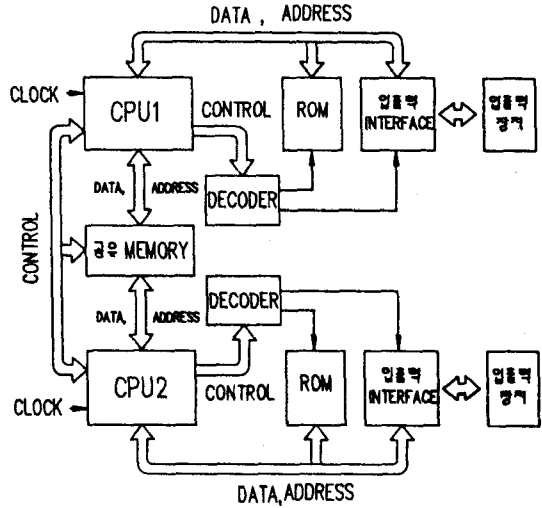


그림 7. 제어회로 구성도

#### 4.3 POWER 회로 구성

POWER 회로 구성은 전압형 PWM 인버터로, DIODE BRIDGE로 3상 전파정류하고 CAPACITOR로 평활시켜 INVERTER부에 DC를 공급한다. 인버터부는 고속 SWITCHING 소자인 IGBT를 사용하여 SWITCHING 주파수를 10KHz로 하여 MOTOR의 발생 TORQUE 맥동을 줄이며 발생소음을 경감시킨다.

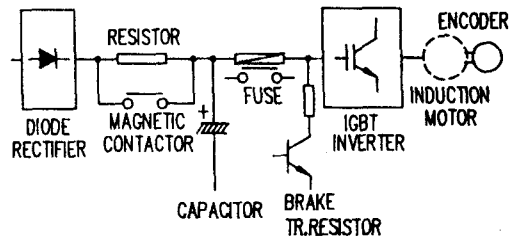


그림 8. INVERTER POWER 회로 구성도

IGBT는 BIPOLAR-TRANSISTOR의 장점과 MOSFET의 장점을 따서 만든 소자로 다음과같은 특징을 가지고있다.  
 가. 전압구동형 SWITCHING 소자로 구동회로의 소형화가 가능하다.

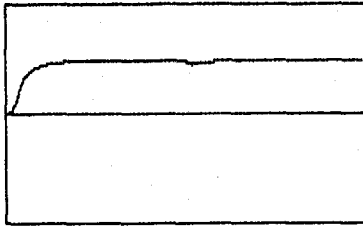
나. SWITCHING 시간이 짧고 손실이 적으므로 10~20 KHz까지 고속 SWITCHING이 가능하다.

다. 허용 전류밀도가 높아 PACKAGE가 작으며 장치의 소형화가 가능하다.

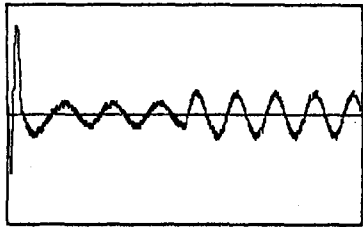
라. 고내압, 대용량화가 가능하다.

5. SIMULATION 결과

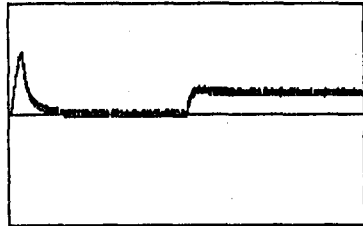
그림 6과 같은 SPACE VECTOR CONTROLLED INVERTER를 SIMULATION하여 0.2초에 부하를 100% 인가했을 경우 그림 9와 같은 결과를 얻었다.



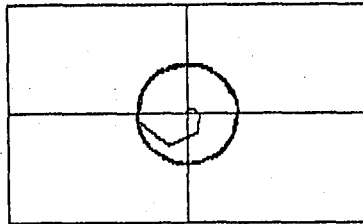
a. MOTOR 속도



b. MOTOR 전류



c. 출력 TORQUE



d. 1차 자속 궤적

\* MOTOR 규격

극 수: 4P	전 류: 3.7A
출 력: 1KW	R1 : 1.43Ω
전 압: 220V	L11 : 0.145H

그림 9. SIMULATION 결과 파형

6. 결 론

종래의 VECTOR 제어방식인 전류제어형 FIELD ORIENTED 제어방식에서는 자속과 TORQUE 지령으로부터 MOTOR의 2차속 PARAMETER를 사용하여 그 지령을 낼 수 있는 자속성분 전류와 TORQUE 성분전류를 계산하여 MOTOR 전류를 제어한다. 따라서, 이 방식에서는 MOTOR PARAMETER가 변동하면 제어성능이 저하하게 되며 SWITCHING 주파수가 커진다.

그러나 본 연구에서 사용한 제어방식인 INSTANTANEOUS SPACE VECTOR 제어에서는 MOTOR의 1차속 PARAMETER와 속도검출에 의해 자속과 TORQUE 지령을 계산하고 이에 대해 최적의 순간전압 VECTOR를 선정하여 출력하므로써 상기 방식에서의 문제를 해결했다.

또 고속 MICROPROCESSOR인 DSP를 사용하므로써 제어회로를 FULL DIGITAL화 했으며, COMPUTER SIMULATION 결과 TORQUE 맥동이 최소화됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. ISAO TAKAHASHI AND TOSHIHIKO NOGUCHI, "A NEW QUICKRESPONSE AND HIGH-EFFICIENCY CONTROL STRATEGY OF AN INDUCTION MOTOR", IEEE TRANS. IND. APPL., VOL. IA-22, NO.5, SEP./OCT. 1986
2. ISAO TAKAHASHI AND YUICHI OHMORI, "HIGH-PERFORMANCE DIRECT TORQUE CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR", IEEE TRANS. IND. APPL., VOL. IA-25, NO.2, MAY/APR. 1989
3. MAKOTO IWASAKI, FUMI YAMADA, HISASHI KINOSHITA AND NOBUYUKI MATSUI, "DSP-BASED SECONDARY FLUX CONTROLLED HIGH PRECISION TORQUE CONTROL OF INDUCTION MOTOR", T.IEE JAPAN, VOL.100-D,NO.2, 1990
4. ISAO TAKAHASHI AND TOSHIHIKO NOGUCHI, "TECHNICAL TRENDS OF AC VARIABLE-SPEED DRIVE", TOSHIBA REVIEW, VOL.42, NO.1, 1987