

3상 전류제어형 PWM 정류기의 특성 개선을 위한 제어기법에 관한 연구

여기서 S_d, S_q 는 다음의 전류제어방식에 의 해 결정된 스위칭 모드에 따라 표 1로부터 구 해진다.

V(k)	k=0	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7
Sabc	000	100	110	010	011	001	101	111
Sq	0	$\frac{2}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	$\frac{2}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	0
Sd	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	0

표 1. V(k), Sabc, & Sq, Sd

III. 전류 제어부

1. 전류제어 이론

그림 1의 회로방정식을 전압, 전류벡터로서 나타내면 식(2)와 같다.

$$L \frac{di}{dt} + Ri + E_0 = \bar{V}(k) \quad - (2)$$

\bar{i} : 전류벡터
 E_0 : 전원전압벡터

식(2)에서 $\bar{V}(k)$ 는 정류기의 스위칭전압벡터로서 표 1에서 보는 것처럼 스위치의 ON-OFF 상태에 따라 8가지 모드가 있다. 전류제어를 위한 기준전류벡터를 i^* 라하면 전류오차벡터 Δi 는

$$\Delta i = i^* - \bar{i} \quad - (3)$$

로서 주어지고, $R\Delta i$ 를 무시하면

$$L \frac{d\Delta i}{dt} = \bar{E} - \bar{V}(k) \quad - (4)$$

단, $\bar{E} = L \frac{di^*}{dt} + Ri^* + E_0 \quad - (5)$

식(4)로부터, $\frac{d\Delta i}{dt}$ 는 $\bar{V}(k)$ 의 선택에 의해 결정된다. Δi 를 줄이기 위해서는 $\frac{d\Delta i}{dt}$ 의 방향이 Δi 와 반대방향이 되어야 하는데, 빠른 전류응답특성을 위해서는 크기가 최대가 되도록 하고, 전류 고조파성분을 줄이기 위해서는 크기가 최소가 되도록 하는 $\bar{V}(k)$ 를 선택한다.

(1) 전류 고조파 성분을 줄이기 위한 스위칭 전압벡터의 선택

그림 2에서 보는 것처럼 \bar{E} 를 포함하는 삼각형의 정점에 해당하는 3개의 스위칭 전압벡터 중에서 하나를 선택한다. \bar{E} 와 Δi 의 영역을 3상 전원전압 E_{abc} 와 전류오차 Δi_{abc} 로부터 크기 및 극성을 비교하여 알고나면 스위칭 전압벡터를 결정할 수 있는데, 그림 3에 이것을 도시하였다.

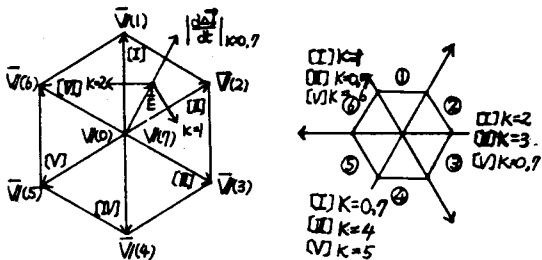


그림 2. \bar{E} 의 영역에 대한 육각형 그림 3. Δi 의 영역에 대한 육각형

(2) 빠른 전류 응답특성을 위한 스위칭 전압벡터의 선택

과도상태에서 Δi 가 크다면, 빠른 전류 응답 특성을 위한 스위칭이 필요하며, 이를 위해서는 $\frac{d\Delta i}{dt}$ 가 Δi 에 반대방향으로 최대 크기를 갖도록 하는 스위칭 전압벡터를 선택한다.

이때 Δi 의 bandwidth에 의하여 전류 고조파 성분을 줄이는 스위칭과 빠른 전류 응답특성을 가지는 스위칭의 시스템 모드를 결정한다.

2. 제어장치의 구성

전류제어장치는 그림 4, 전체 시스템 구성도는 그림 5와 같다. 그림 4의 시스템 스위칭 모드 선택부는 Amplitude Comparator의 출력 신호에 따라 스위칭 모드를 결정하고, \bar{E} 와 Δi 의 영역을 나타내는 입력 신호에 따라 원하는 스위칭 전압벡터를 선택하여 Power Tr.을 구동해 준다.

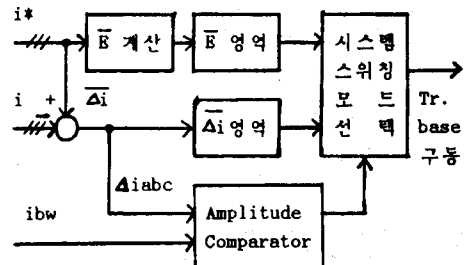


그림 4. 전류제어장치

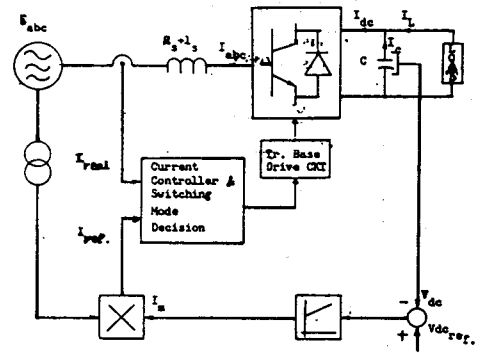


그림 5. 전체 시스템 구성도

IV. 시뮬레이션

소개한 전류제어방식을 사용한 PWM정류기가 목적하는 동작특성을 나타냄을 보이기 위하여 앞절에서 구성한 전류제어장치를 포함한 전체 시스템을 Computer 시뮬레이션 하였으며 전체 Program의 순서도는 그림 6과 같다.

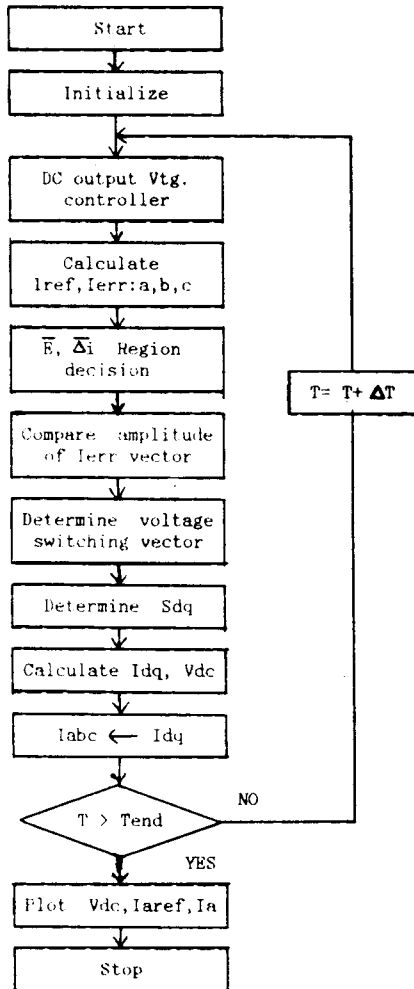


그림 6. Flow Chart

동상인 경우의 Rectifying 모드와 Inverting 모드에서의 직류 출력전압특성과 교류 입력전류특성을 그림 7과 그림 8에서 보여준다.

(1) Rectifying 모드

초기조건으로 $V_{dc}=250[V]$, 기준전압 $300[V]$ 를 주었을 때 전압과 전류파형은 그림 7의 a, b와 같다.

$V_{dcmax} = 299.4489 [V]$

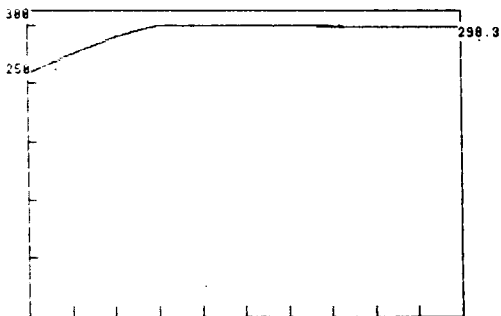


그림 7.a 직류전압특성

$E_{max} = 141.4 [V]$ $E_{min} = -141.4 [V]$
 $I_{aex} = 21.28785 [A]$ $I_{ain} = -20.98888 [A]$

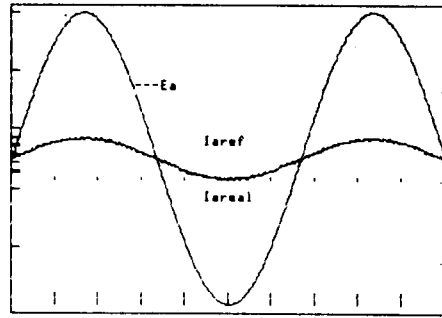


그림 7.b 교류입력특성

(2) Inverting 모드

초기조건으로 $V_{dc}=300[V]$, 기준전압 $250[V]$ 를 주었을 때 전압과 전류파형은 그림 8의 a, b와 같다.

$V_{dcmin} = 249.4245 [V]$

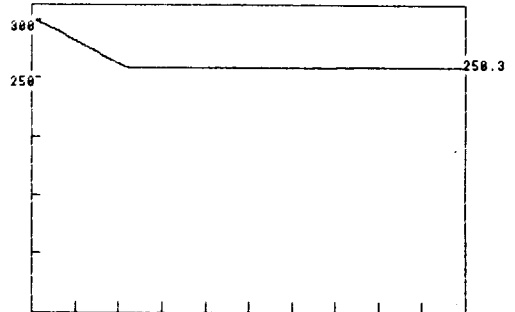


그림 8.a 직류전압특성

$E_{max} = 141.4 [V]$ $E_{min} = -141.4 [V]$
 $I_{aex} = 7.89354 [A]$ $I_{ain} = -7.60613 [A]$

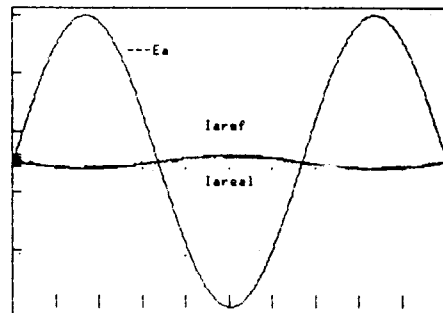


그림 8.b 교류입력특성

그리고 교류 입력전류가 전원전압에 대해서 위상이 30도 진상인 경우와 지상인 경우의 교류 입력전류특성을 그림 9의 a, b에서 보여준다. 그림 9.c는 동상인 경우이다.

3상 전류제어형 PWM 정류기의 특성 개선을 위한 제어기법에 관한 연구

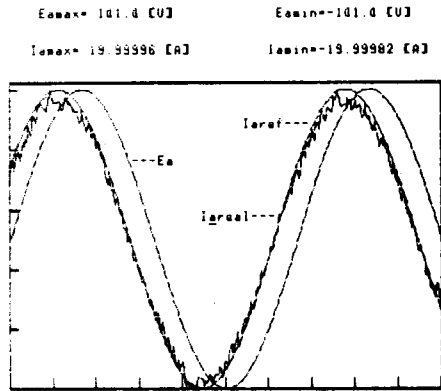


그림 9.a 30도 전상인 경우

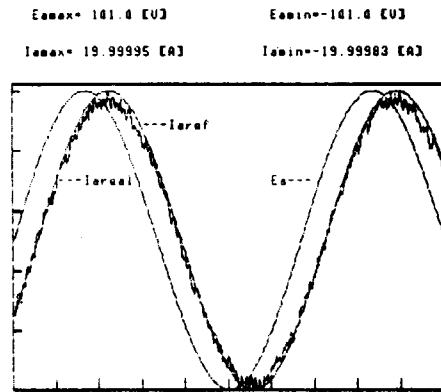


그림 9.b 30도 지상인 경우

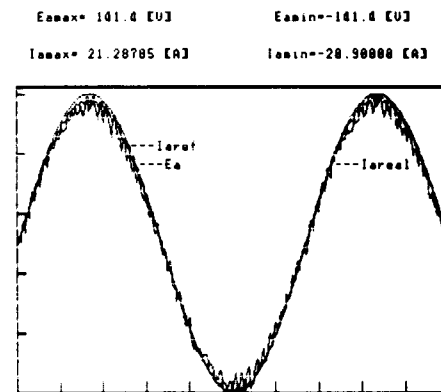


그림 9.c 동상인 경우

V. 결 론

본 연구에서는 직류 출력전압 궤환에 의한 PWM 정류기에 새로운 전류제어방식을 도입할 때 출력전압의 제어기능을 만족할 뿐 아니라, 전류 고조파 성분을 줄이고 빠른 응답 특성을 갖는다는 것과, 동상뿐만 아니라 전상과 지상의 역률을 얻을 수 있는 역률보상의 기능까지 잘 만족하는 것을 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

차후의 연구과제로 전원 전압벡터의 크기에 대한 사전 정보불 이용하여 보다 정확한 스위칭 모드가 결정되도록 하는 것과, 직류측 단락을 방지하기 위한 Lock-Out 회로에서의 Dead-time 및 제어회로에서의 Delay를 고려한 해석 등이 요망된다.

VI. 참고 문헌

1. D.M. Brod and D.W. Novotny, "Current control of VSI-PWM inverters," IBBE-IAS Conf. Rec., 1984, pp. 418-425.
2. 박 민호외, "3상 전류제어형 PWM 정류기의 해석 및 시뮬레이션," 전기전자공학 학술대회 논문집, 1987/7, pp. 809-812.
3. B.T. Ooi, J.W. Dixon, A.B. Kulkarni, and M. Nishimoto, "An Integrated AC Drive System Using a Controlled-Current PWM Rectifier/Inverter Link," IBBE-IPEC Conf. Rec., 1986, pp. 494-501.
4. P. Enjeti, P.D. Ziogas, J.F. Lindsay, and M.H. Rashid, "A Novel Current Controlled PWM Inverter for Variable Speed AC Drives," IBBE-IAS Conf. Rec. 1980, pp. 235-243.
5. A. Nabae, S. Ogasawara, H. Akagi, "A novel control scheme of current controlled PWM inverters," IBBE-IAS Conf. Rec., 1985, pp. 473-478.