

능동 전력 필터에 의한 유도모터 구동 전류형 인버터의 구형과 전류 보상

조재연* 정영국** 임영철*

*전남대학교 **대불대학교

A Square Wave Current Compensation of Current Source Induction Motor Drives Using Active Power Filter

Jae-Yun Cho*, Young-Gook Jung**, Young-Cheol Lim*

* Dept. of Electrical Eng. Chonnam National University

** Dept. of Electrical Eng. Daebul University

ABSTRACT

Current Source Inverter(CSI), operated in square wave mode, is more efficient than the PWM CSI because of increased cost, greater complexity of control algorithm and substantial switching losses, EMI. But, the square wave output current of CSI, rich in low order harmonics produce motor torque ripples. Therefore, in this paper, describes the active power filters for square wave current compensation of current source induction motor. Also, extended current synchronous detection (ECS) as compensation algorithm is proposed. To confirm the validity of proposed system, some simulation results are presented and discussed.

1. 서론

전력전자기술의 눈부신 발달은 모터의 속도 및 위치 제어장치의 혁신적인 변화를 가져왔고 현재 이들 장치들은 산업전반에 걸쳐 다양하게 응용되고 있다. 산업현장에 설치된 이들 모터 구동장치의 대부분은 유도모터를 제어하기 위한 것이며 소형은 서보제어용으로 그리고 대형은 동력발생 및 전달용으로 사용되고 있다.

그런데, 이들 모터구동장치들은 모터를 제어하기 위해서 교류를 직류로 변환하거나 또는 직류를 교류로 변환하게 된다. 이 과정에서 유도모터 구동장치의 입력교류 전류는 왜형과 위상이 지연되며 이는 관련 계통에 여러 가지의 악영향을 미치게 된다. 이 경우에 있어서 모터 구동장치의 입력역률을 개선하기 위한 방법으로 모터 구동장치의 교류/직류 변환기에 입력교류 전류의 파형을 개선하는 역률보상 기능을 추가하는 방법이 연구되고 있다.^[1-2] 또한 모터 구동장치와는 별도로 외부에 능동전력필터를 부착하는 방법도 있다. 이 방법은 모터 구동장치가 전압형이든 전류형이든 관계없이 사용

가능하고 또한 수동필터와의 병행으로 능동전력필터의 설치방식에 따라 고조파 및 무효전력을 다양하게 제어할 수 있는 장점이 있다.

일반적으로 모터 구동장치는 부착되는 모터의 제어특성 그리고 전력변환의 특성에 따라 전압형(VSI)과 전류형(CSI)으로 분류된다. VSI는 제작이 용이하고 범용모터에 적용 가능하기 때문에 산업현장에 많이 보급되어져 있다. 한편 CSI는환류 다이오드가 없고 전원 및 부하단락에 대해 강건하며, 양방향으로 전력을 전달할 수 있으며,고응답이 요구되는 경우에 사용되고 있다. 이와 같은 CSI를 PWM모드로 동작하게 되는 경우, 제어 알고리즘이 우선 복잡해지고 출력 캐패시터와 부하 인덕턴스와의 공진이 발생 가능하며, EMI와 스위칭 손실등으로 인해 구형과 제어형 CSI에 비해 동작 효율이 감소된다. 구형과 제어모드의 CSI는 출력전류에 저차 고조파가 다량으로 함유되어 있고 이와 같이 구형과 전류에 의해 모터가 제어되는 경우, 심각한 토크 맥동이 발생된다.^[3-4]

따라서 본 연구에서는 유도모터 구동 CSI의 토크 맥동을 감소하기 위해 CSI와 유도모터 사이에 능동전력필터를 설치하여 고조파 및 무효전력을 보상하는 시스템을 제안하였다. 고조파 및 무효전력을 보상하기 위해 확장된 동기전류 검출이론을 제안하였으며 시뮬레이션을 통하여 제안된 시스템의 타당성을 입증할 수 있었다.

2. 이론

2.1 제안된 시스템

그림1은 본 연구에서 제안된 시스템을 나타내고 있다. 구형과 동작모드를 갖는 CSI의 출력전류는 구형과가 되며 따라서 모터는 심각한 토크맥동이 발생된다. 모터의 토크맥동을 저감시키기 위하여 구형과 의 출력전류를 정현파로 유지시킬 필요가 있는데, CSI와 모터사이에 능동전력필터를 설치하여 구형과 전류에 포함되어 있는 고조파와 위상지연 성분을 보

상하면 된다.

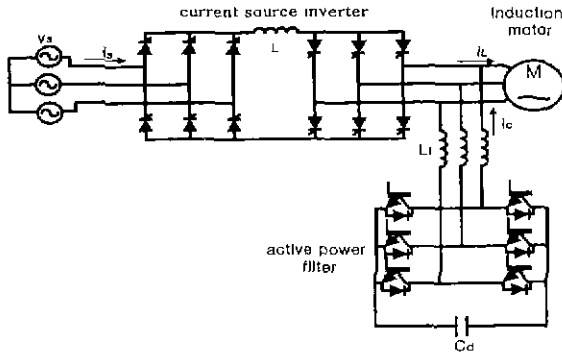


그림1. 제안된 시스템
Fig.1 proposed system

2.2 보상 알고리즘

각각 $\frac{2}{3}\pi$ 위상차 나는 (abc)상의 전압과 전류를 $v_{(abc)}$ 와 $i_{(abc)}$ 로 나타낼 때, a상의 유효전력 P_a 는 다음으로 정의된다.

$$P_a = \frac{1}{T} \int_0^T v_a i_a dt \quad (1)$$

P_a 에 의해 b상과 c상의 유효전력 P_b, P_c 는 다음과 같이 표현된다.

$$P_b = P_a \frac{V_b}{V_a} \quad (2)$$

$$P_c = P_a \frac{V_c}{V_a} \quad (3)$$

여기서 $V_{(abc)}$ 는 (abc)상의 전압 실효치이며, 3상 평균 전력 $P_{dc3}(=P_a+P_b+P_c)$ 은 식(4)와 같다.

$$P_{dc3} = P_a \frac{(V_a + V_b + V_c)}{V_a} \quad (4)$$

$$V_T = V_a + V_b + V_c \quad (5)$$

전압에 대한 유효전류의 이득 $G_{(abc)}$ 는

$$G_{(abc)} = \frac{P_{dc3}}{V_{(abc)} V_T} \quad (6)$$

이며, 따라서 (abc)상의 유효전류 $i_{(abc)a}$ 와 보상기준전류 $i_{(abc)a}^*$ 는 식(7)과 식(8)로 구해진다.

$$\begin{aligned} i_{(abc)a} &= G_{(abc)} v_{(abc)} \\ &= \frac{P_{dc3}}{V_{(abc)m} V_T} v_{(abc)} \end{aligned} \quad (7)$$

$$i_{(abc)c}^* = i_{(abc)} - i_{(abc)a} \quad (8)$$

(abc)상의 기본파 무효전력 $Q_{(abc)}$ 은 $P_{(abc)}$ 를 구하는 과정과 동일하게 구할 수 있다.

$$Q_a = \frac{1}{T} \int_0^T v_a(t - \frac{T}{4}) i_a dt \quad (9)$$

$$Q_b = Q_a \frac{V_b}{V_a} \quad (10)$$

$$Q_c = Q_a \frac{V_c}{V_a} \quad (11)$$

3상 무효전력 $Q_{dc3}(=Q_a+Q_b+Q_c)$ 은 다음과 같다.

$$Q_{dc3} = Q_a \frac{(V_a + V_b + V_c)}{V_a} \quad (12)$$

이때 $B_{(abc)}$ 는 전압 $v_{(abc)}$ 에 대한 기본파 무효전류 $i_{(abc)r}$ 의 이득이며

$$B_{(abc)} = \frac{Q_{dc3}}{V_{(abc)} V_T} \quad (13)$$

와 같이 구해진다. 이득 $B_{(abc)}$ 로부터 (abc)상의 기본파 무효전류 $i_{(abc)r}$ 는 다음으로 구해진다.

$$\begin{aligned} i_{(abc)r} &= B_{(abc)} v_{(abc)}(t - \frac{T}{4}) \\ &= \frac{Q_{dc3}}{V_{(abc)} V_T} v_{(abc)}(t - \frac{T}{4}) \end{aligned} \quad (14)$$

(abc)상의 왜형전력 $D_{(abc)}$ 과 왜형전류 $i_{(abc)d}$ 는 전력의 직교성에 의해서 다음과 같이 구해지게 되며

$$D_{(abc)} = \sqrt{S_{(abc)}^2 - P_{(abc)}^2 - Q_{(abc)}^2} \quad (15)$$

3상 왜형전력 $D_{dc3}(=D_a+D_b+D_c)$ 과 왜형전류는 각각 식(26), 식(27)로 구해진다.

$$D_{dc3} = D_a \frac{(V_a + V_b + V_c)}{V_a} \quad (16)$$

$$i_{(abc)d} = i_{(abc)} - i_{(abc)a} - i_{(abc)r} \quad (17)$$

3. 시뮬레이션 모델링

그림2는 본 연구의 타당성을 검증하기 위한 MATLAB/ SIMULINK 시뮬레이션 모델을 나타내고 있다. 또한 그림3은 유도모터 구동 CSI의 출력 구형파의 전류를 보상하기 위해 본 연구에서 제안한 확장된 전류동기 검출법(ECSD)의 시뮬레이션 모델을 보여주고 있고, 표1에 시뮬레이션에 사용된 파라미터들을 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

그림4는 a상에 대한 유도모터 구동 CSI의 전형적인 정현파 출력전압과 구형파 출력전류를 나타내고 있다. 전류에 대한 FFT 스펙트럼 분석결과를 살펴보면 구형파 출력전류에 고조파 및 기본파 무효성분이 많이 존재하고 있음을 알 수 있다. 고조파 성분은 모터의 토크 맥동을 유발하고 무효성분은 모터의 입력역률을 저하시킨다.

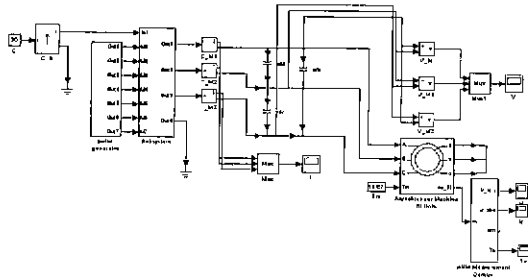


그림.2 제안된 시스템의 모델링
Fig.2 modelling of proposed system

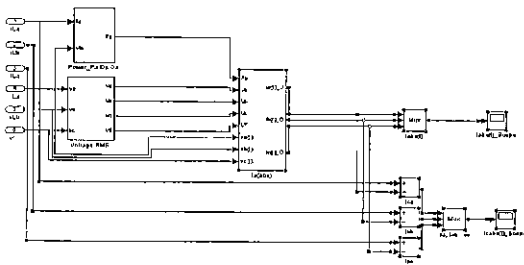
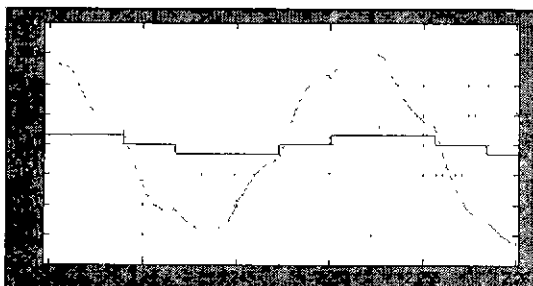


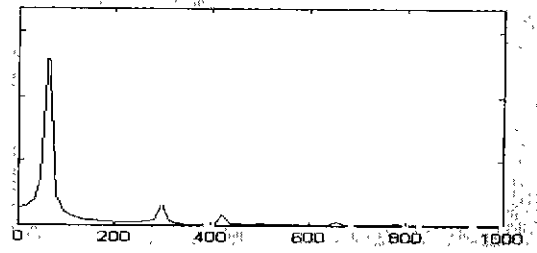
그림.3. 제안된 보상 알고리즘의 모델링
fig.3 proposed compensating algorithm

표 1. 시뮬레이션에 사용된 시스템 파라미터
Table 1. system parameters used in simulation

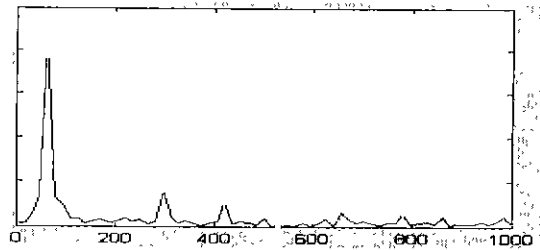
CSI	300V/30A	
	stator	rotor
motor		
R(Ω)	0.435	0.816
L(mH)	2	2
M(mH)	69.31	
inertia(J[$\text{kg}\cdot\text{m}^2$])	0.089	
friction factor(F[N.m.s])	0	
pole	4	



a)시간영역
a)time domain



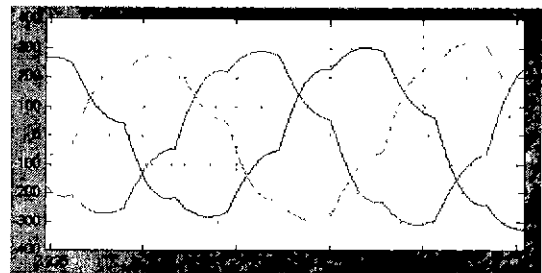
b)전압의 FFT스펙트럼
b)voltage FFT spectrum



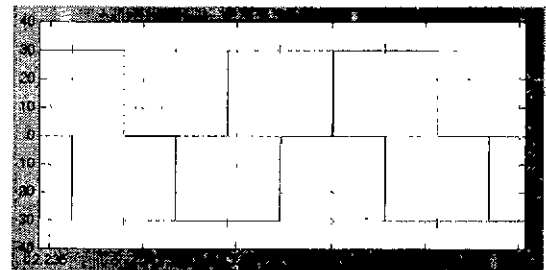
c)전류의 FFT스펙트럼
c)current FFT spectrum

그림4.CSI의 출력전압과 전류(a상)
Fig.4 output voltage and current of CSI (a phase)

그림5는 3상으로 나타낸 CSI의 출력전압과 전류를 나타낸 것으로 유도모터에 인가되는 구형파 전류는 30A이고 전압은 300V이다.



a)전압 a) voltage



b)전류 b) current

그림5. CSI의 출력전압과 전류(abc상)
Fig.5 output voltage and current of CSI (abc phase)

그림6은 CSI와 유도모터 사이에 연결된 병렬형 능동전력필터의 (abc)상에 대한 기준보상전류를 나타내고 있다.

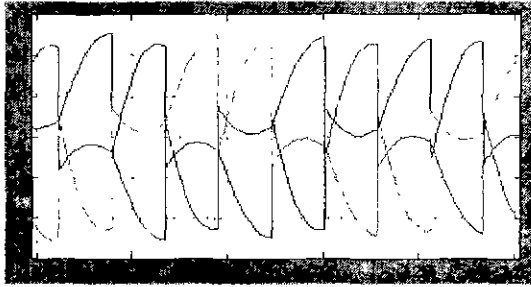
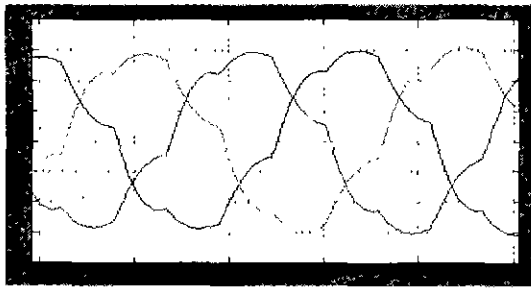
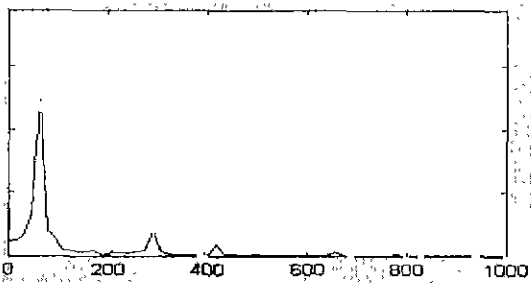


그림6. 보상기준전류(abc상)
Fig.6 compensating reference current (abc phase)

그림7은 능동전력필터가 CSI 출력전류의 고조파 및 무효전류 성분을 보상한 후의 인버터의 출력전류 파형을 나타낸 것이다. 보상 후의 결과를 살펴보면, 전압에 대해 지상의 구형파 출력전류는 전압과 동상의 정현파로 됨을 알 수 있다



a) 시간영역
a) time domain



b) 전류의 FFT스펙트럼
b) current FFT spectrum

그림7.보상 후의 CSI의 출력전류 (abc상)
Fig.7 after compensted, output current of current source inverter(abc phase)

5. 결론

본 연구에서는 CSI 구동 유도모터의 토크 맥동을

감소하기 위해 CSI와 유도모터 사이에 능동전력필터를 설치하여 고조파 및 무효전력을 보상하는 시스템을 제안한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) CSI의 출력전류를 보상하기 위한 알고리즘으로 행렬계산이 필요치 않은 시간영역에서의 확장된 동기전류 검출이론(ECSD)을 제안하였다.
- 2) CSI와 유도모터사이에 설치된 능동전력필터에 의하여, CSI의 출력전류의 고조파 및 무효전력을 보상할 수 있었다.
- 3) 보상 전의 CSI의 구형파 출력전류 파형은, 보상후 정현파로 개선되었으며 모터의 토크가 저감되리라 기대된다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 연구비 지원에 의하여 연구된 결과의 일부임

참 고 문 헌

- [1] S.Bhattacharya,D.M.Divan,"Parallel Active Filter System Implementation and Design Issues for Utility Interface of Adjustable Speed Drive Systems",IEEE IAS,pp.1032-1039,1996
- [2] S.Bhattacharya,D.M.Divan, "Synchronous Fram Based Controller Implementation for Hybrid Series Active Power Filter System",IEEE IAS,pp.2531-2540,1995
- [3] A.M.Trzynadłowski, F.Blaabjerg, "A Tandem Inverter for High-Performance AC Drives", IEEE PESC, pp.500-505,1998.
- [4] A.M.Trzynadłowski, F.Blaabjerg, "The Tandem Inverter: Combining the Advantages of Voltage Source and Current Source Inverter", IEEE APEC, pp.145-320,1998