

3상 유도전동기 구동을 위한 새로운 제어방식의 인버터에 관한 연구

서운철*, 김영민*, 박현철*, 이성룡**, 유철로*
 *전북대학교 전기공학과, **군산대학교 제어계측공학과

A Study on the New Controlled Method of the Inverter for Three Phase Induction Motor Drive

(Yoon-Chul Suh*, Young-Min Kim*, Hyun-Chul Park*, Seong-Ryong Lee**, Chul-Ro Yu*)
 *Dept. of Electrical Eng. Chonbuk Na. Univ.
 **Dept. of Control & Instrumentation Eng. Kunsan Na. Univ

Abstract

Inverter is classified into voltage source and current source by the circuit's configuration. VSI (voltage source inverter) has the excellent generality, economical effects and high power-factors. CSI (current source inverter) is proper to frequent acceleration and deceleration of induction motor, the energy recovering accomplished to ac power line without any other device. But CSI inverter have some troubles such that the numbers of components are increased and the circuits are complicated. To solve these problems, a new inverter is proposed in this paper. This method gives protection of inverters when appears both an instantaneous load-open circuits and an instantaneous load-short circuits, and it has the both merits of both VSI and CSI.

1. 서 론

인버터는 회로구성에 따라 전압형인버터와 전류형인버터로 나뉘어진다. 전압형의 경우 만약 단락전류가 스위칭 소자의 허용전류보다 클 경우 인버터 소자가 파괴되는 사고를 초래할 수 있고 전류형 인버터의 경우에는 직류측의 대용량 리액터로 인하여 부하운전중 순시개방 사고시에 부하측 양단에 큰 서지전압이 발생하는 위험을 초래할 수 있는 문제점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고, 순시개방 및 순시단락 사고로부터 근본적인 보호가 가능하며, 전류형 인버터의 장점인 회생동작도 가능한 새로운 제어방식의 인버터 회로를 제안 하였다. 제안된 인버터 시스템은 직류전원측에는 평활용 콘덴서, 그리고 인버터측은 귀환다이오드를 갖는 전압형인버터와 직류전원측은 평활용 리액터를 갖고 별도의 부가회로 없이 회생동작이 가능한 전류형 인버터의 양특성을 결합하였다.

2. 본 론

1. 인버터 전원방식의 일체화 방안

먼저, 해석을 용이하게 하기 위하여 인버터 입력 전원이 DC전원인 경우에 대하여 기본회로구성과 동작특성에 대하여 살펴보기로 한다. 전압형인버터와

전류형 인버터를 결합한 형태의 인버터 그림 1(a)와 (b)를 가정하자. 그림 1(a)에서는 L_{r2} 에 의한 서지전압 발생위험이 있고 그림 1의 (b)회로 경우 부하측 단락시 C_{r2} 에 의한 단락전류 발생위험이 있다. 따라서 그림 2와 같이 콘덴서를 X자형으로 할 경우 부하측 단락시 단락전류는 리액터 L_{r1} 또는 L_{r2} 에 의해 제한된다. 인버터 전원의 중간전압원은 E_s , IGBTs, C_{r1} , C_{r2} 로 구성된다. 전원측 IGBTs에는 C_{r1} →인버터부→부하→ C_{r2} 로 흐르는 콘덴서 전류 i_c 와 L_{r1} →인버터부→부하→ L_{r2} → E_s 로 흐르는 전류 i_L 의 합성전류 $i_L - i_c$ 이 흐르고, 정상운전상태인 $i_L > i_c$ 의 조건하에서는 등가회로가 성립하지만, 부하순시개방 ($i_L = i_c$), 또는 부하순시단락 ($i_L < i_c$)시에는 이 등가회로가 성립하지 않는다. X자형 필터의 L_{r1} 와 C_{r1} 의 적절한 값에 의해 양특성이 가장 현저하게 나타나는 때의 영역을 살펴보면 그림 2에서 $C_{r1} = C_{r2} = C_f$ 이고, $L_{r1} = L_{r2} = L_f$, 정격전압을 V_o , 정격전류를 I_o 라 하면 C_f 와 L_f 의 축적에너지는 $W_L = \frac{1}{2} L_f I_o^2$, $W_C = \frac{1}{2} C_f V_o^2$ 으로 나타나고 이들 W_L 과 W_C 의 비는 다음과 같다.

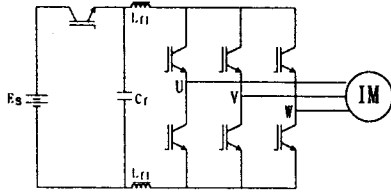
$$\frac{W_L}{W_C} = \frac{L_f}{C_f} \left(\frac{I_o}{V_o} \right)^2$$

이 비를 X²이라 하면 $W_L = X^2 W_C$

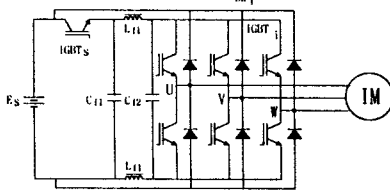
$$X = \sqrt{\frac{L_f}{C_f}} \cdot \frac{I_o}{V_o} \dots \dots \dots (1)$$

로된다.

그림 2는 전압형의 구조인 귀환다이오드의 특성을 대 표하도록 한 전압원과 전류원 동작부분으로 구분될 수 있다. 한편 직류링크에 삽입된 X자형 필터는 본 질적으로 진동회로를 형성하므로 유도전동기가 경부 하일 때 진동현상을 발생한다. 이 진동현상을 제어하기 위해서는 필터요소의 값을 적절히 선택해주면 되 지만, 식 (1)의 조건과 반드시 일치시키기는 어렵다. 그래서 광범위한 부하변동에 대응하여 진동제어 조건 에 만족되는 모델의 부하로서 인버터의 출력을 3상 귀환다이오드 브릿지 DRi를 통하여 정류하고 잉여 전력을 전원측에 귀환하는 방법을 사용하였다. 따라서 각 콘덴서의 통전전압은 전원전압 E_s 를 넘지않는다. 그림 3에 나타난 것처럼 귀환다이오드가 존재 하는 경우에 비하여 귀환다이오드가 없는 경우의 피 크전압은 전원전압의 2배를 초과한다.



(a) 인버터 결합 I



(b) 인버터 결합 II

그림 1 전압형, 전류형 인버터의 결합

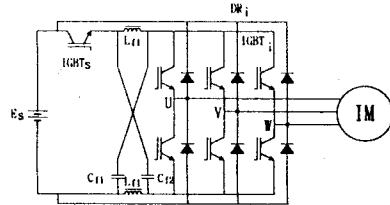
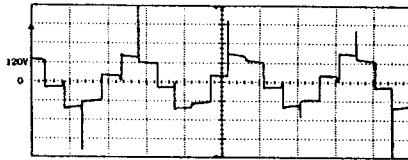
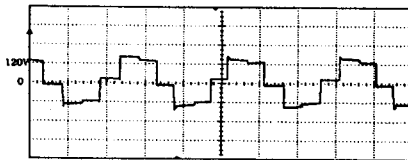


그림 2 DC 전원인버터 방식 일체화 회로



(a)귀환다이오드가 있는 경우



(b)귀환다이오드가 있는 경우

그림 3 전압, 전류 관측파형

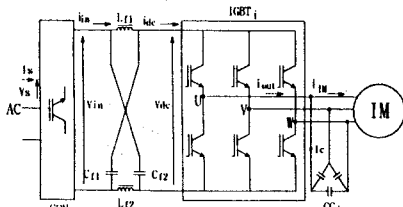


그림 4 3상 교류방식 의한 구동회로

2. 3상 교류를 이용할 경우 인버터 회로구성

제안된 방식의 인버터에서 3상 교류를 이용할 경우 따르는 문제점은 ①콘버터의 구성법과 ②인버터 회로에 있어서의 지상전류 및 전상전류의 처리방법 등이다. 이들의 문제점을 극복하고 게다가 양특성을 모두 나타내는 인버터로서 동작하기 위하여 그림 4의 회로를 구성하였다. 또, ①의 문제점에 관해서는 파워트랜지스터 콘버터 회로를 채용하고 위상제어하여 회생제동을 행하는 사이에는 전압의 극성만을 반전하고 전류형인버터와 마찬가지로 전력을 3상 교류전원에 회생시킨다. 다음으로 ②의 문제점에 대해서는 인버터의 스위칭 소자에 IGBT를 이용하였는데 가장 간단한 처리법으로서 IGBT와 역병렬로 다이오드를 접속하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 전압형인버터와 완전히 동일한 회로구성의 형태로서 일체형의 특징이 사라지고, 전력회생에는 별도의 부가회로가 필요하다. 따라서 여기에 전류형의 특성을 활용하고자 그림 4와 같이 Δ 접속한 콘덴서회로를 채용하였다. 그림 2.4에 나타낸 회로구성에서 콘덴서 Δ 결선은 역률개선용 콘덴서와 같은 모양의 구성이다. 회생제동시에는 유도전동기로부터 회생되는 전력이 X자형 필터의 전압극성을 반전시키고 반전 종료와 동시에 그 이후의 잉여전력은 콘버터 회로를 통하여 3상 교류전원으로 회생된다.

3. 실험결과 및 고찰

1) 직류 전원방식인 경우

1. 토크특성

그림 5는 X자형 필터 L, C요소를 파라메타로 하여 얻어진 회전수-토크 특성을 나타낸 것이다. No.1에 전압형, No.2에 일체화된 전원형, No.3에 전류형의 특성을 얻는다. 제안된 방식의 전원형 인버터는 전압형과 전류형의 중간형이므로, 시동 토크는 완전한 전압형에는 미치지 못하지만 전류형에 비해서는 확실하게 개선되었고, 또한 정상 토크 영역에서도 완전한 전류형에 미치지 못하지만 전압형에 비하여 확실하게 개선되는 결과를 얻었다.

2. 부하 순시개방, 순시단락 특성

제안된 방식의 인버터에 의한 부하의 순시개방, 순시단락 특성을 나타내었다. 인버터의 설정조건은 $C_{F1} = C_{F2} = 30 \mu F$, $L_{F1} = L_{F2} = 130mH$, IGBT의 도통각 120° , 출력주파수 50Hz로 충분히 정상상태에 도달한 후 한 상만을 수십 msec동안 개방하거나 또는 상간을 수십 msec동안 단락시킨다. 그림 6에 부하 순시개방과, 그림 7에 부하 순시단락시의 오실로 그래프를 나타내었다. 그림 6에 나타낸 것처럼 일체형 인버터의 경우, 전류형 인버터의 경우 순시개방시에 직류리액터의 전류가 차단되면 평활 콘덴서에 흡수되어 큰 서지 전압은 발생하지 않는다. 또한 개방으로 부터 회복후에도 수 사이클내에 안정상태로 돌아가 상당히 안정한 동작특성을 나타낸다. 전압형 인버터의 경우 제안된 방식의 인버터는 단락발생의 순간에서 부터 평활콘덴서의 전압 V_{dc} 가 전원전압 E_s 의 1/2에 달할때 까지 전원전류는 흐르고, 부하전류는 직류리액터를 통하여 흐르므로 급격한 변화가 억제된다. 또 단락상태에서 회복후에는 직류리액터에

축적된 자기 에너지가 역으로 평활 콘덴서에 유입되어 전압은 다소 상승하지만 수 사이클 후에는 정상상태로 돌아간다.

3. 회생동작 특성

제안된 방식의 인버터를 이용하여 회생제동을 행할 경우의 오실로그래프는 그림 8에 나타내었다.

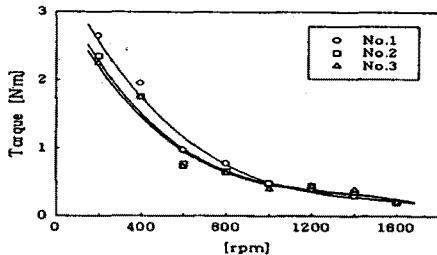
2) 3상 교류를 이용한 전원방식의 경우

1. 회생동작, 감속운전 특성

그림 9에 나타낸 출력파형은 출력 주파수가 55Hz인 정상상태 운전중에 주파수를 50Hz까지 순시에 감소시켜서 회생동작을 하도록 한 것이다. 본 실험에서는 출력주파수가 저하됨과 동시에 직류전압의 극성을 반전시키고 동시에 V/I일정 제어를 행하는 방식의 발전제어를 행하였다.

4. 결론

제안된 인버터는 부하의 순시개방 및 순시단락사고가 영구적 사고로 발전되기 전에 자연히 방지하는 기능을 갖고, 유도전동기 구동시에 기동 토크가 개선되는 것이 실험적으로 확인되었다. 일반적으로 인버터의 데드-타임 때문에 저속에서 토크 리플이 발생하는데 제안된 방식은 데드-타임에 의해 발생하는 고조파는 제거할 수 있는 능력을 갖고 있다. 본 연구결과, 제안된 인버터 시스템은 토크 리플의 감소뿐만 아니라 전류형에 비하여 기동토크가 약간 개선되었고 전압형에 비하여 정상토크 특성이 조금 향상되었다. 부하의 순시개방 및 단락사고로부터의 보호기능 및 DC전원전압의 이용률향상과 별도의 부가회로 없이 회생동작가능 등 여러면에서 본 시스템의 유효성을 입증하였다. 그러나 경부하시 인버터에서 진동현상이 발생할 수 있고, 급가속시 전압저하 현상이 있으므로 제안된 인버터가 모든 운전상태에 대하여 복합적인 특성을 발휘하고, 보다 고역율, 안정동작을 하기 위해서는 전압의 변화를 최소화하기 위한 X자형 필터부의 직류전압, 전류를 피드백 제어할 필요가 있다.



5 유도전동기의 회전속-토크 특성

No. 1: $C_f = 900 \mu F$

No. 2: $C_f = 30 \mu F, L_f = 130mH$

No. 3: $L_f = 130mH$

도통각 120° (conduction angle 120°)

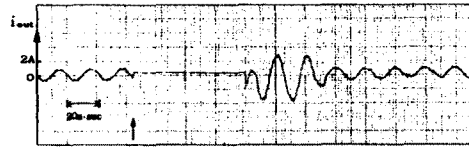


그림 6 부하의 순시개방시 출력전류 파형

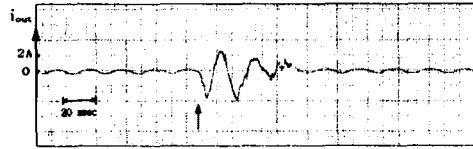
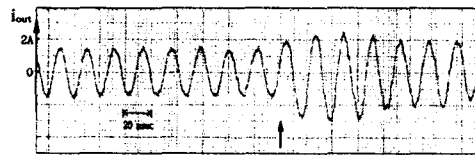
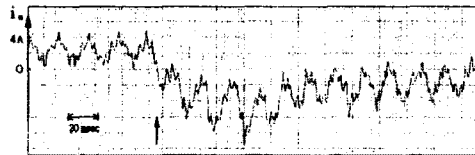


그림 7 순시단락시의 출력전류 파형

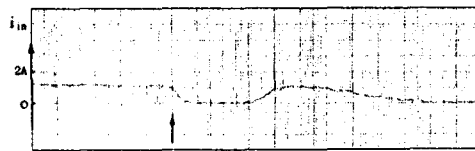


(a) 출력전류

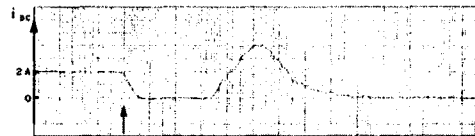


(b) 출력전압

그림 8 회생동작시 파형



(a) 필터 입력전류



(b) 직류 출력전류

그림 9 교류인버터의 회생동작, 감속운전 특성

참고 문헌

- (1) B.K. Bose, ed., Modern Power Electronics: Evolution, Technology, and Applications, IEEE Press, 1992.
- (2) Rahul Chokhwalwa and Giuseppe Castino, "IGBT Fault Current Limiting Circuit" IEEE Industry Applications Magazine, pp. 30-35, Sept/Oct, 1995.
- (3) D. A. Grant, J. A. Houldsworth, and K. N. Lower, "A new high-quality PWM AC drives," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-19, p. 211-216, Mar/Apr, 1983.