

유도전동기를 적용한 인버터 세탁기 개발

이현일* 임무생 한용범
대우전자(주) 가전전략 연구소

The Development of Inverter Washing Machine Using Induction Motor

Hyun-Il Lee* Moo-Saeng Lim Yong-Bum Han
DAEWOO ELECTRONICS CO., LTD. Strategic Home Appliance R&D Center

Abstract - We present voltage-source inverter for variable speed of washing machine. In the case of previous washing machines only on/off control of motor was satisfied but these days the desire of customers moves to more silent and energy saving machine. Therefore many white goods manufacturers consider variable driving methods of motor. Nowadays variable speed Induction motors powered by inverters are becoming more and more popular. In this paper the principles of constant V/F control of Induction motor used in washing machine and space vector PWM technique are reviewed. Implementation issues such as command voltage generation, switching pattern determination, speed and power measurement are also presented. Experimental results are included in the end of the paper.

을 선호하는 소비자의 기호에 맞아 점차 인버터 채용 제품이 늘어나고 있는 실정이다. 이처럼 가정용 에어컨에서 시작한 인버터 채용의 범은 세탁기와 냉장고에까지 파급되면서 기존의 단상 유도전동기를 채용하여 단순 온/오프 제어만을 해오던 백색 가전제품에 인버터 채용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며 일부 제품은 시장 선점을 위해 이미 출시되었다. 그러나 가전제품은 원가 상승에 따른 판매가격 상승압박이 심한 제품으로 인버터 채용으로 발생하는 원가상승을 최대한 억제하고 대량생산에 알맞은 간편한 조립성 및 안전성과 내구성을 갖춘 인버터 설계가 우선되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 위에서 살펴본 조건을 만족시킬 수 있는 백색 가전제품 구동용 인버터 가운데 정회전과 역회전, 저속과 고속 영역을 수시로 반복 운전해야 하는 가정용 세탁기에 채용하기 위한 인버터 시스템을 제안하며 이의 채용에 따른 소비전력 감소 및 소음 진동의 저감을 실현하고자 한다.

1. 서 론

가변속 구동 시스템은 산업의 발전과 더불어 생산성이나 품질의 향상을 목적으로 하여 산업분야에서 필요성이 증대되었고 그 역사도 기계식으로 시작되었다. 초기의 전동기 가변속 구동 시스템은 고속응답을 요구하는 서보전동기 영역에는 직류전동기가 이용되고, 교류전동기는 정속구동용으로 적용되어왔다. 그러나 직류기가 가지고 있는 기계적 결점 즉, 브러시에 대한 정기적인 보수점검의 필요성과 브러시에서 발생하는 불꽃에 의한 구동장소의 제한, 그리고 구동속도의 한계 때문에, 최근 경제성의 관점에서 교류전동기에 의한 고성능 가변속구동이 요구되어지고 있다. 교류전동기를 가변속 구동하기 위하여는 가변전압 가변주파수(VVVF : Variable Voltage Variable Frequency)의 전력변환장치를 사용하여 전동기의 속도 및 발생토크를 제어해야 한다[1][2]. 이러한 목적의 전력변환장치 중 가장 널리 사용되고 있는 것이 인버터이다. 인버터에 의한 교류전동기의 가변속 구동장치는 산업용 전동기의 가변속제어에 한정적으로 사용되었으나 최근 가전제품에 대한 소비자들의 선호도가 고급화 및 대형화 추세로 증가하고 있는 것에 발맞춰 대용량 고급형 백색 가전제품에 인버터를 채용하려는 경향이 두드러지고 있다. 가장 먼저 인버터가 채용된 가전제품은 소비전력이 가장 큰 가정용 에어컨으로 낮은 소비전력을 실현할 수 있다는 것을 장점으로 시장에 출시된 이후, 국내 가정용 에어컨 시장은 30%를 상회하는 비율로 인버터를 채용한 에어컨이 출시되고 있다[3]. 인버터 채용에 의한 출력의 자유로운 조절이나 소음의 획기적인 개선 및 소비전력 저감 등의 장점이 고급형 제품

2. 본 론

2.1 Space Vector PWM

3상 시스템에서 3상의 전압, 전류, 자속 등의 변수를 취급할 때, 3상변수의 순시적인 합이 0이 되면 3상 시스템은 2개의 독립변수로 표시될 수 있으며 3상변수의 변화는 평면상의 1점으로 표시될 수 있다. 원점과 평면상의 점을 연결하는 벡터를 공간벡터 (Space Vector)라고 하고, 이를 이용하여 3상의 전압, 전류, 자속을 동시에 표시하는 것이 가능하다[4][5][6]. 중성점의 연결이 없는 3상부하를 인버터로 구동하는 경우, 3상 전압, 전류의 순시적인 합은 항상 0이 되며 전동기의 권선에 의한 공간기자력이 정현적이며 자속의 영상분도 0이 된다. 인버터의 출력은 인버터를 구성하고 있는 각 스위치의 상태에 따라 결정되게 된다. 이때, 스위치 S_k ($k = 1, 3, 5$)의 스위칭 함수를 다음과 같이 정의한다.

$$S_k = 1 \quad : \text{스위치 } S_k \text{가 켜졌을 때}$$
$$S_k = 0 \quad : \text{스위치 } S_k \text{가 꺼졌을 때}$$

$$V_n = (S_k, S_k, S_k)$$

$$(n = 0, 1, 2, \dots, 6, 7)$$

일반적인 인버터 시스템에서, 스위치 상태에 따라 나타날 수 있는 이들 8가지 공간전압벡터를 그림1에 보여주고 있다. 인버터 각 상의 인가전압상태에 따른 8개의 전압벡터중 유효전압벡터는 6개이며, 나머지 2개의 전압벡터는 그 크기가 0인 영전압벡터이다. 즉, 이 상태공간 벡터를 가운데 V_0 는 영전압벡터이고, $V_0(0 \ 0 \ 0)$ 또는 $V_7(1 \ 1 \ 1)$ 의 두가지 스위칭 형태를 갖는다. 이들 각 벡터는 위상적으로 60° 의 위상차를 갖고 있으며, 그 크기는 V_{dc} 전압의 $2/3$ 로 고정된다. 공간벡터 변조방식은 전압지령벡터를 합성하기 위한 기준벡터들의 도통시

간을 연산해야 하므로 많은 연산량 및 연산시간이 필요하지만, 다른 PWM 방식보다 출력가능한 전압의 크기가 약 15.4% 크고, 스위칭수도 약 30% 감소하는 장점을 갖고 있다.

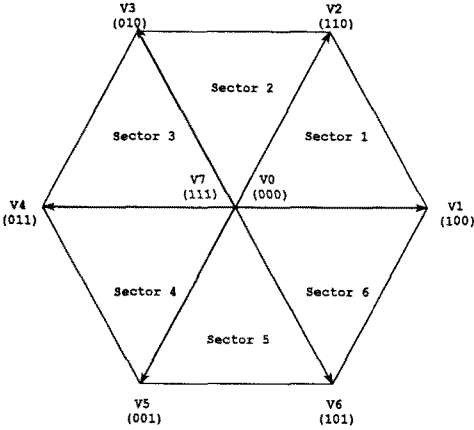


그림1. 출력가능 전압벡터

출력전압 지령치는 임의의 크기와 방향을 갖는 벡터로 표현할 수 있으며, 출력전압 지령벡터는 그림1에서 보인 것과 같이 인버터의 출력가능 전압벡터만을 사용하여 벡터의 합을 이용하여 구현하는 것이 가능하다.

$$V^* = K_1 \cdot V_1 + K_2 \cdot V_2 + \dots \quad (1)$$

K_1, K_2 : 각 벡터의 도통시간

식(1)과 같이 전압지령벡터 V^* 를 합성하기 위한 벡터의 쌍은 무수히 많으며, 이 중 어느 벡터의 쌍을 선택하느냐는 출력전압 지령벡터의 위치, 크기 등에 따라 결정된다. 공간벡터 PWM 방식은 전압지령벡터를 합성하기 위한 기준 벡터들의 도통시간을 연산해야 하므로 많은 연산량 및 연산시간이 필요하지만, 다른 PWM 방식보다 출력가능한 전압의 크기가 크고, 적절한 벡터군의 선택을 통해 스위칭 수를 줄일 수 있으므로 많은 시스템에 적용되고 있다. 그림2는 Sector1 내에 있는 전압지령벡터 V^* 와 이 전압지령벡터를 합성하기 위한 V_1, V_2 벡터의 관계를 나타내었다. 즉, 일정주기 내에서 전압명령에 가장 가까운 두 전압벡터를 이용하여 평균적으로 전압명령과 같은 전압을 발생시키는 것이 가능하다.

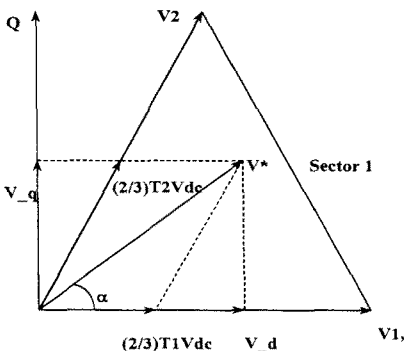


그림2. Sector1 내의 전압지령벡터 V^* 의 합성

$$\int_0^{T_s} V^* dt = \int_0^{T_1} V_n dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} V_{n+1} dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s} V_0 dt \quad (2)$$

$$T_s \cdot V^* = (T_1 \cdot V_n) + (T_2 \cdot V_{n+1}) \quad (3)$$

$$T_s \cdot V^* \cdot \cos(\alpha) = (2/3)T_1 \cdot V_{dc} + (2/3)T_2 \cdot V_{dc} \cdot \cos(\pi/3) \quad (4)$$

$$T_s \cdot V^* \cdot \sin(\alpha) = 0 + (2/3)T_2 \cdot V_{dc} \cdot \sin(\pi/3) \quad (5)$$

단 ($0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$)

위의 식으로부터 전압지령벡터 V^* 를 합성하기 위한 유효벡터 V_1, V_2 의 인가시간 T_1 및 T_2 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$T_1 = T_s \cdot \frac{V^*}{(2/3)V_{dc}} \cdot \frac{\sin(\pi/3 - \alpha)}{\sin(\pi/3)} \quad (6)$$

$$T_2 = T_s \cdot \frac{V^*}{(2/3)V_{dc}} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\pi/3)} \quad (7)$$

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2) \quad (8)$$

(여기서 $T_s =$ 캐리어 주파수)

실제 인버터의 스위칭은 위의 식으로부터 연산된 T_0, T_1, T_2 를 각 Sector별로 조합하여 gating 시간을 결정한다.

2.2 시스템 사양

시스템의 세부사항은 표1과 같으며 특히 Processor는 Toshiba의 모터 드라이브 전용칩인 TMP87CK49를 사용하여 하드웨어를 구현하였다.

항 목		사 양
적용전동기 용량 (W)		380 [W]
출 령	용량 (KVA)	0.54 [kVA]
	전류	1.4 [A]
	전압	200 ~ 220 [V]
입 령	전압	단상 220 [V]
	전압 변동율	± 15 [%]
	주파수	50/60 [Hz]
	주파수 변동율	± 5 [%]
제 어	제어방식	V/F제어, SVPWM
	출력 주파수	1 ~ 80 [Hz]
	캐리어 주파수	16 [KHz]
	주파수 설정정도	0.25 [Hz]
	가감속시간	0.1 ~ 30 [sec]
	가감속시간 설정정도	0.1 [sec]
	회전방향	정전, 역전
시동정지	가속시동/가속정지	
Poewr Device	IGBT (Toshiba) (10A, 600V)	
Processor	Toshiba TMP87CK49	
Gate Driver	IR2130	

표1. 시스템 사양

2.3 실험

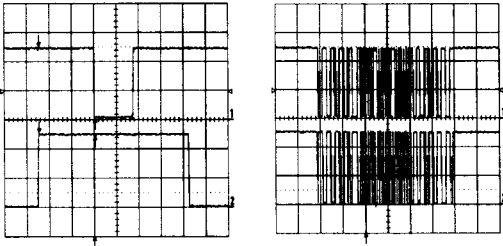


그림3. Microm Gate Signal (2V/div, 1μs/div)
그림4. 인버터 정지시 Gate Signal (2V/div, 1s/div)

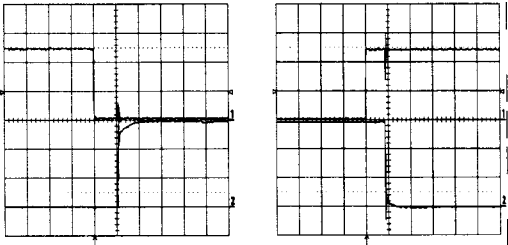
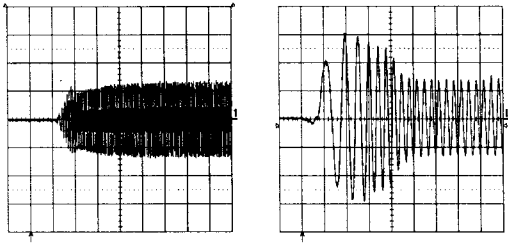
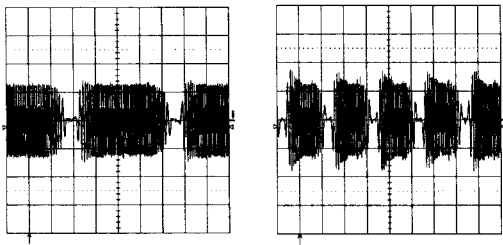


그림5. Gate Driver On-Delay
그림6. Gate Driver Off-Delay
(2V/div, 5V/div, 0.5μs/div)



(a) Acc. Time 5sec (1A/div, 1s/div)
(b) Acc. Time 0.2sec (1A/div, 50ms/div)
그림7. 60Hz 기동시 U상 전류파형



(a) Acc. 1sec, Dec. 1sec, Run. 1sec
(1A/div, 0.5s/div)
(b) Acc. 0.6sec, Dec. 0.6sec, Run. 0.2sec
(1A/div, 0.5s/div)
그림8. 40Hz 정·역 운전시 U상 전류파형

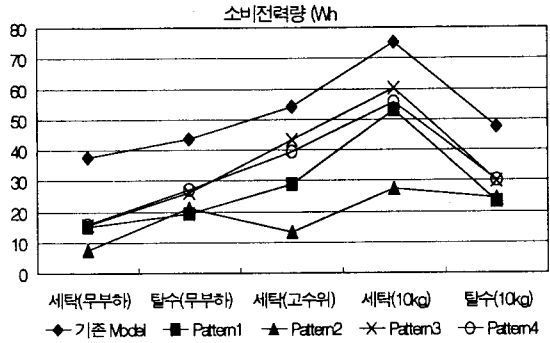


그림9. 인버터 운전패턴에 따른 소비전력량 비교

3. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 세탁기에 적용된 인버터 시스템은 저속에서부터 고속에 이르기까지 넓은 속도 제어 영역에서 지령치에 충분히 응답을 했으며 세탁시와 같은 반복적인 정·역회전시에도 안정적인 응답을 보였다. 또한 기존 모델에 사용된 단상 콘덴서 기동형 모터에서 볼 수 있는 기동시 과도 돌입전류가 현격히 감소했으며 이는 곧 소비전력 저감 및 기동시 발생하는 전자기음의 감소로 전체 시스템이 저소음화되었다. 인버터를 이용한 Soft Start/Stop기술은 단순히 소비전력 저감이나 소음감소 이외에도 기구물에 가해지는 기계적인 스트레스를 대폭 감소시킬 수 있기 때문에 제품의 수명이 증가할뿐만 아니라 안정적인 구동이 가능해진다.

추후 진행될 연구 방향으로서는 역률을 향상시킬 수 있는 방법을 연구해야 하며 인버터 채용으로 발생하는 원가상승을 최대한 억제하고 대량생산에 알맞는 간편한 조립성 및 안전성과 내구성을 갖춘 인버터 설계가 우선되어야 하며 기존 온/오프 제어방식에서 탈피해서 다양한 속도 및 제어성능을 발휘할 수 있게 됨에 따라 최소의 소비전력으로 세탁성능 및 탈수성능을 배가시킬 수 있는 최적의 Sequence를 조합해내는 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Rashid, "Power Electronics", Prentice-Hall, 1988
- [2] McPherson, "Electrical Machines and Transformers", Wiley, 1990
- [3] 한국소비자보호원, "가정내 에너지 소비실태와 합리화 방안", 1998.06
- [4] Zhenyu Yu, "Space-Vector PWM With TMS320 C24x/F24x Using Hardware and Software Determined Switching Patterns", TI Application Report SPRA524, March 1999
- [5] S. Osagawa, H Akagi and A. Nabae, "A Novel PWM Scheme of Voltage Source Inverters Based on Space Vector Theory", EPE Conf. Rec., pp1197-1202, 1989
- [6] A. Nabae, S. Osagawa and H. Akagi, "A Novel Control Scheme for Current-Controlled PWM Inverters", IEEE Trans Industry Applications, Vol IA22, No. 4, pp. 697-701, Jul./Aug. 1986