

3상 유도전동기의 운전을 위한 PWM방식비교

- Optimal PWM 과 Natural PWM 중심으로 -

이 운중
서 기영
정 동화
김 흥명

한양대학교

1. 서론

PWM 인버터는 일반산업계에 크게 각광을 받아 UPS < 1 >, SFC < 2 >, USD < 3 >에 널리 응용되어 왔으며 최근에 와서는 사이리스터 성능의 개선과 스위칭소자(GTO, POWER MOSFET, POWER TR 등)의 개발로 구동회로가 간단해졌으며 LSI 기술향상과 Microprocessor의 도입으로 더욱 세분화된 정밀 제어를 할 수 있게 되었다. < 4 >

이전에 사용되어 왔던 구형파 또는 Natural Sampling 방식 < 5 >은 설치방법이 간단하여 많이 사용되어 왔으나 인버터 출력단에 전압의 고조파성분이 많이 포함된다. 이 고조파의 영향으로 전동기가 과열되고 손실이 증가하게 되며 토오크의 맥동이 일어나게 되는 데 이를 해결하기 위해 여러 PWM 방식이 연구되어 오고 있다. < 6 >

그중 Optimal 스위칭 방식은 인버터에 공급된 부하의 상태변수에 따라 임의로 선정된 평가함수를 최소화하여 스위칭각을 구하는 방식이며 고조파손실을 만족할만큼 제거시킬 수 있다. 그러나 높은 스위칭 주파수가 필요한 저속도 운전에서는 많은 스위칭각이 필요하게 되며 이 때는 스위칭각 계산에 어려운점이 많다. < 6-8 >

본 연구에서는 이러한 점을 감안하여 고조파 손실면에서 Natural PWM 방식과 Optimal PWM 방식을 비교하여 속도에 따른 가장 적절한 변조방법을 선정하였다. 이 결과 최소의 고조파손실로써 효율적인 운전을 할 수 있게 된다.

2. 전동기운전을 위한 스위칭방법

Optimal PWM 방법은 표피효과를 무시한 고조파손실을 최소화하여 스위칭각을 구하는 이론이다. < 6 >

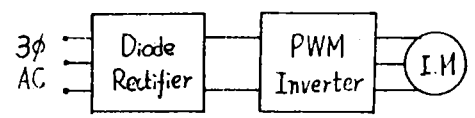


그림 1. 가변속 3상 유도전동기의 시스템

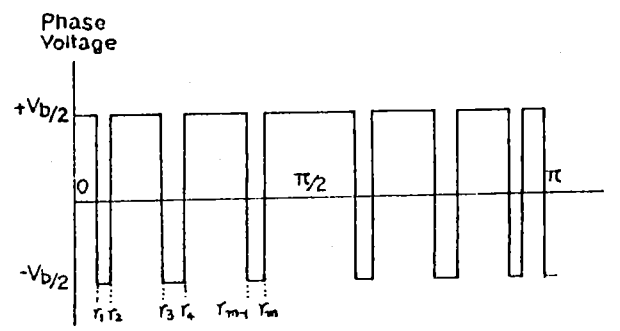


그림 2. 인버터의 출력 상전압

그림 1은 3상 유도전동기 구동 시스템이며 그림 2는 인버터의 출력단에 나타나는 상전압 $V(\gamma)$ 로써 반파대칭이며 크기는 $V_b/2$ 를 갖는 Pulse Train으로 가정하였다. V_k 는 p.u k차 고조파 전압이고 f_1 이 p.u 기본각주파수라고 하면 k차 고조파전류는 다음과 같다.

$$I_k = V_k / (k f_1 X) \quad (1)$$

여기서 X는 p.u 누설리액턴스이며 k차 고조파손실이 $I_k^2 R_k$ 이므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{Loss} = \sum_{k=1} I_k^2 R_k = 1/X^2 \sum_{k=1} (V_k / k f_1)^2 R_k \quad (2)$$

여기서 R_k 는 전동기저항이며 고조파의 영향을 받지않고 일정하다고 가정하면 고조파동손은 다음량에 비례한다.

$$a = \sum_{k=1} (V_k / k f_1)^2 \quad (3)$$

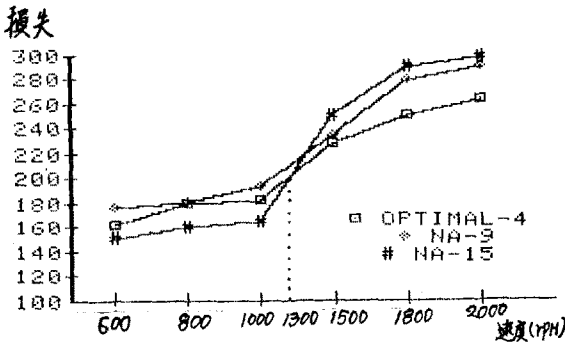


그림 3. 속도에 따른 손실곡선

Natural PWM 방식과 Optimal PWM 방식의 이론에서 구한 스윙징각으로 실제 3상 유도전동기를 운전시켰을 때 전동기 속도에 대한 각 스윙징각의 손실을 그림 3에 나타내었다. 600 rpm 에서 $V_1 = 0.5 (p.u)$, 출력 주파수는 23 (Hz)로 운전하였고 1800 rpm 에서 $V_1 = 1 (p.u)$, 출력 주파수는 65 (Hz)로 운전하였다. 인버터는 출력전압 V_1 과 주파수를 조절하여 전동기를 600 rpm에서 2000rpm 까지 운전하였으며 모든 속도에서 부하토크는 1Kg중으로 하였다.

인버터에 의해 운전되는 유도전동기 손실은 펄스수가 증가함에 따라 감소되지만 그림 3에 나타난 바와같이 단위시간에 출력되는 펄스수가 인버터의 동작제한을 넘어서면 오히려 손실이 증가하게 된다.

본 연구에서 설계제작한 인버터의 경우는 그림 3에 나타난 바와같이 전동기 속도가 1300 rpm 이하일 경우에는 Natural PWM 방식이고 1300 rpm 이상일 경우에는 M=4인 Optimal PWM 방식으로 운전 시켰다. Optimal PWM 이론에 의한 방식은 같은 펄스수에 있어서 Natural PWM 방식에 비하여 매우 적은 손실로 운전시킬 수 있으나 M값에 따른 α_{min} 의 계산시간이 기하급수적으로 증가하므로 M값을 계산하는데 어려운 점이 있게 된다. 본 연구에서 α_{min} 의 계산을 위하여 사용된 계산기는 VAX 780이며 M에 따른 계산시간은 다음표와 같다

M	TIME
2	10 (SEC)
3	5 (MIN)
4	4 (HOUR)
5	2 (DAY)
6	7 (DAY)

표 1. Optimal 이론에 의한 계산시간

3. 결 론

Optimal PWM 방법은 전동기 손실과 토오크를 아끼는 바람직하지 못한 고조파분을 적절한 평가함수로 정하고 이 평가함수를 최소화하는 스윙징각을 구하는 이론이다.

Optimal PWM 방법과 정현파 PWM 방법을 비교분석하였으며 속도범위의 특정부분에서 가장 적절한 PWM 방법을 쉽게 선정하여 전동기를 효율적인 상태로 운전시킬 수 있다.

본 연구에서 나타난 결과는 다음과 같다.

1) Optimal 방식에서 평가함수는 코효과를 무시한 고조파 동손이며 특정 기계에 대한 상세한 손실계산을 고려하지 않고 "U/F=일정"으로 변조기법을 적절히 선정할 수 있다.

2) 높은 스윙징주파수에 의한 저속도 동작에서는 Natural 방식이 우수하며 이 때 Optimal 방법은 스윙징각계산이 어렵고 손실면에서도 개선이 되지 않는다.

3) 전동기 속도가 증가하면 한 주기당 스윙징펄스수를 감소시켜야 하는데 이 때 손실과 Peak 전류의 크기에 대하여 Optimal PWM 방식이 Natural PWM 방식보다 우수하다.

4) PWM 방식은 한 주기당 적은 스윙징수를 가지는 Six-Step 동작 이전에 사용되어야하므로 주의깊게 PWM 방법을 선정하여야 한다. 왜냐하면 변조기법의 잘못된 선정은 많은 고조파 손실과 전동기의 과열을 초래하기 때문이다

참 고 문 헌

<1> PHOIVOS D. ZIOGAS. : 'Optimum voltage and harmonic control PWM techniques for Three-phase static UPS systems' IEEE Trans. 1980. IA-18.(4). pp542-546

<2> BOWES, SR., CLARE, J. C., and CLEMENTS, R. R. : 'Transient performance of inverter system' IEEE Proc. B, Electr. Power Appl., 1982. 129.(6). pp301-314

<3> BOWES, S.R. and CLEMENTS, R.R.: 'Digital computer simulation of variable speed PWM Inverter-machine drives'. IEE Proc. B. Electr. Power Appl., 1983, 130, (3), pp149-160

<4> S.R. BOWES, ph.D., C.Eng., M.I. Mech. E. M.I. E. E. and J. Clare, B.Sc.: 'Steady state performance of PWM inverter drives'. IEE Proc. B. Electr. Power Appl., 1983, 130, (4), pp229-242

<5> 이운종, 정동화, 김경환 'PWM 인버터로 구동되는 유도전동기 동작 해석' 1984 하계 학술연구발표회 논문초록집 전력전자분야

<6> 이운종, 정동화, 김홍명 'Optimal PWM Inverter로 제어되는 유도전동기 운전'에 관한 연구' 1985 춘계 학술연구발표회 논문초록집 전력전자분야

<7> BOWES, S.R.: 'New sinusoidal pulsewidth-modulated inverter'. IEE Proc., 1975, 122, (11), pp1279-1285

<8> PATEL, H.S. and HOFT, R.F.: 'Generalised techniques of harmonic elimination and voltage control in thyristor inverters: part 1 - harmonic elimination'. IEEE Trans., 1973, IA-9, pp310-317