

3상 타코 제너레이터를 이용한 전동기 속도검출 알고리즘

최정수*, 조규민**

LG산전연구소*, 유한전문대**

Motor Speed Detection Algorithm Using Three Phase Taco-Generator

Jung-soo Choi*, Kyu-min Cho**

LG IS*, Yuhan Junior College**

Abstract

In this paper, a instantaneous speed measurement method using a three phase sinusoidal taco-generator is described and it's simulations are developed. The proposed method can easily detect the motor speed by using that the output voltage of taco-generator is proportion to the motor speed. Because the proposed method consists of some calculation, the proposed system can be implemented with analog devices or micro processor conveniently. From the simulation results, the proposed measurement method can accurately detect the real motor speed over wide range.

1. 서론

최근 전동기 구동분야는 고정도 속도추정이론과 고속연 산소자의 보급에 힘입어 실제속도에 가까운 속도를 추정하기 에 이르렀다. 그러나 산업용전동기의 경우는 신뢰성과 경제성의 이유로 검출기를 이용하여 얻어진 속도를 변환기 에 적용, 제어하고 있는 상황이다. 산업용 전동기의 속도 검출기로는 엔코더와 타코제너레이터가 주로 사용되고 있 으며 엔코더는 펄스엔코더와 절대엔코더가, 타코제너레이 터는 직류타코제너레이터 와 단상 교류타코제너레이터가 사용되고 있다.

엔코더를 이용한 방법은 고속에서 단위시간당 펄스의 갯 수를 카운트하는 M기법과 저속에서 펄스 간격을 측정하는 T기법 그리고 고속과 저속영역에서 병행사용 가능한 M/T 기법이 있다. 절대엔코더의 경우는 전동기 자극의 절대 적 위치 또는 전동기 회전각 정보가 필요한 경우 사용되 며, 속도정보로 이용할 때에는 디지털연산기를 이용하여 미분값을 사용하고 있다.

M기법은 단위시간당 발생하는 펄스의 제약으로 저속에 서 사용이 어렵다는 단점이 있다. T기법 역시 넓은 범위 에서 엔코더 펄스 간의 클럭펄스측정에 대한 제약이 있으 며 이들 단점의 보정방법으로 M/T기법이 사용되고 있으나 검출하는 시간 동안의 평균속도라는 제약으로 제어의 정도 를 향상시킬 수 없는 문제점이 있다. 절대엔코더 역시 디 지탈 연산기를 사용하는 시간지연과 정도의 향상을 위하여 미분의 주기가 길어야 한다는 단점이 있다.

타코제너레이터를 이용한 방법은 직류 타코제너레이터 의 아나로그출력을 이용한 방법과 단상 타코제너레이터의 교류신호를 RMS-to-DC 콘버터로 변환하여 이용하는 방법 등이 있다.

DC 타코제너레이터의 경우 정류자에서 발생하는 전압파 형의 왜형으로 정상상태에서 검출된 속도값의 맥동이 나타 나며 제어시 정상상태의 유지가 어렵다는 단점이 있다. 이의 보정을 위해 필터를 사용할 경우 발생하는 시간지연 으로 순시적인 속도검출이 어려운 문제점이 있다. 단상 타코제너레이터의 속도검출은 RMS-to-DC 콘버터의 사용으 로 시간지연이 단점으로 지적된다.

본 연구에서는 기존 검출기와는 달리 3상 타코제너레이 터의 출력으로부터 실제속도를 순시적으로 측정하는 새로 운 속도검출방법을 제안하였다. 제안한 방법과 기존의 M, T, M/T기법과의 속도검출능력을 비교하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였으며 제안한 방법이 전동기 속도검출 능력에 있어서 넓은 범위에서 실제속도를 순시적으로 검출 할 수 있음을 보였다. 또한 모의실험결과를 바탕으로 검 출기 설계시 고려되어야 할 사항을 고찰하였다.

2. 본론

2.1 3상 타코제너레이터를 이용한 속도검출 알고리즘
3상 타코제너레이터의 상전압의 진폭을 E라 했을 때 3 상전압은 식 (1)로 표시된다.

$$\begin{aligned} E_U &= E \sin \omega t \\ E_V &= E \sin(\omega t + \frac{\pi}{3}) \\ E_W &= E \sin(\omega t + \frac{4\pi}{3}) \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)을 제곱하여 식 (2)를 얻을 수 있으며 각각을 더하여 E에 대하여 정리하면 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} E_U^2 &= E^2 \sin^2 \omega t \\ E_V^2 &= E^2 \sin^2(\omega t + \frac{\pi}{3}) \\ E_W^2 &= E^2 \sin^2(\omega t + \frac{4\pi}{3}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{3}{2} E^2 = (E_U^2 + E_V^2 + E_W^2) \quad (3)$$

또한 3상 동기발전기의 정현파 유기기전력의 실효치는 권선계수(winding factor)를 K_w , 회전각속도를 ω , 권수를 n , 1극당의 자속을 ϕ 라 했을 때 식 (4)로 표현된다.

$$E = \frac{4.44}{2\pi} K_w \omega n \phi \quad (4)$$

식 (4)에 제곱을 취하여 식 (3)에 대입하여 회전각속도 ω 에 대하여 정리하면 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$E_U^2 + E_V^2 + E_W^2 = \frac{3}{2} \frac{4.44^2}{4\pi^2} K_w^2 \omega^2 n^2 \phi^2$$

$$\therefore \omega = K \sqrt{E_U^2 + E_V^2 + E_W^2} \quad (5)$$

$$\text{단, } K = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{2\pi}{4.44 K_w n \phi}$$

식 (5)의 연산을 수행하면 3상 타코제너레이터로부터 얻어진 전압으로부터 전동기의 회전각속도에 비례하는 직류전압을 얻을 수 있다.

따라서 본 논문에서 제안한 속도검출 알고리즘은 식 (5)에 해당하는 연산을 통하여 전동기의 속도정보를 얻고자 하는 것이며 식 (5)의 연산은 연산용 선형소자 또는 범용 마이크로프로세서로 그 구현이 용이하다. 특히 선형소자를 이용할 경우 연산시간은 거의 없는 셈이며, 마이크로프로세서에 의한 경우에도 연산시간이 기존의 속도 검출방법의 샘플링시간에 비하면 작기 때문에 속도검출시의 지연 문제를 저감시킬 수 있다.

2.2. 컴퓨터 모의실험

기존의 엔코더를 이용한 속도 검출방법인 M, T, M/T기법의 모의실험을 실제와 동일한 알고리즘으로 행하였으며, 제안한 3상 타코제너레이터로부터 이상적인 3상 정현파 전압을 얻을 수 있다는 가정하에 진술한 연산방법으로 실제 속도를 순시적으로 검출하여 그 결과를 비교하였다.

먼저 그림 1은 4극을 가정한 3상 타코제너레이터의 3상 출력파형과 이로 부터 연산된 전동기의 속도를 나타낸 것으로 0에서 1800rpm으로 변화하는 경우를 가정한 것이다.

순시적으로 속도정보를 구할 수 있음을 알 수 있고 직류 타코제너레이터의 경우와는 달리 깨끗한 속도정보를 얻을 수 있다.

그림 2는 회전당 8000펄스를 발생하는 엔코더를 사용하고 샘플링시간 300 μ sec로 M기법을 사용하였을 때 실제속도 및 검출속도와 속도의 백분율 오차를 보여준다. M기법의 단점인, 저속에서 계수할 수 있는 엔코더펄스의 숫자가 작기 때문에 저속에서 다소의 오차를 보이고 있다.

그림 3은 1MHz의 클럭을 이용하고 회전당 1000펄스를 발생하는 엔코더로 T기법을 사용하였을 때 검출속도와 백분율 오차를 보이고 있다. 고속에서 엔코더펄스 한 주기만에 계수된 클럭펄스의 갯수가 작아서 오차를 보이고 있다. 저속에서도 엔코더펄스의 주파수가 낮아 검출지연이 발생함에 따라 속도오차가 크게 나타남을 알 수 있다.

그림 4는 1MHz의 클럭을 이용하고 회전당 2000펄스를 발생하는 엔코더로 M/T기법을 사용하였을 때 검출속도와

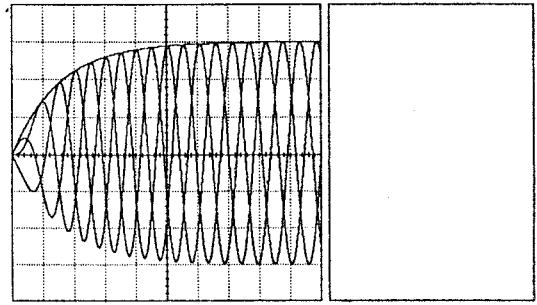


그림 1. 3상 타코제너레이터 출력 및 전동기 속도

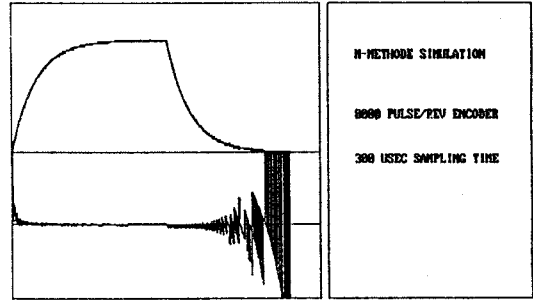


그림 2. M기법 결과 일례

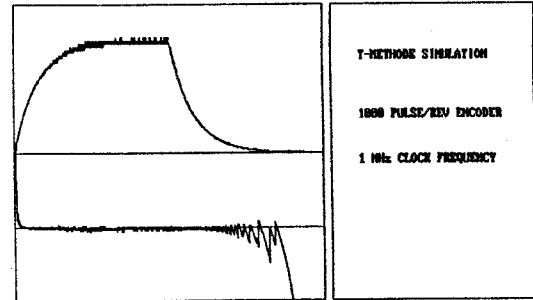


그림 3. T기법 결과 일례

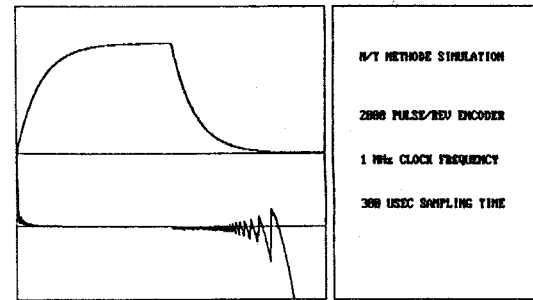
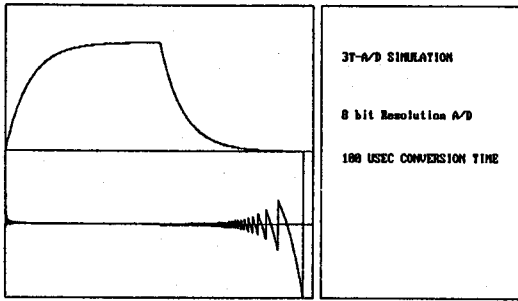


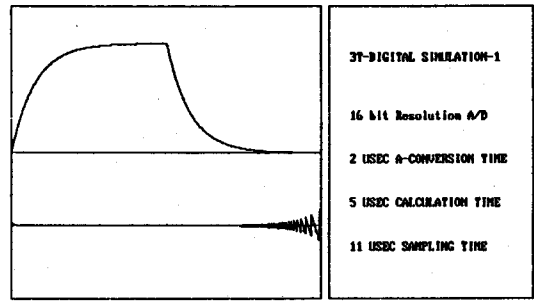
그림 4. M/T기법 결과 일례

백분율 오차를 보이고 있다. 고속에서는 안정되나 저속에서 역시 검출주기가 길어짐에 따라서 오차값이 큼을 알 수 있다.



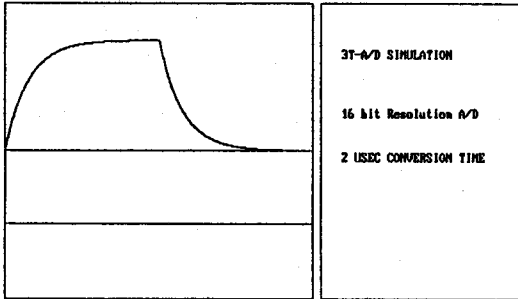
1000 RPTmax / %Error / 200 msec

그림 5. 제안 알고리즘 선형연산후 A/D변환 결과 일례 1



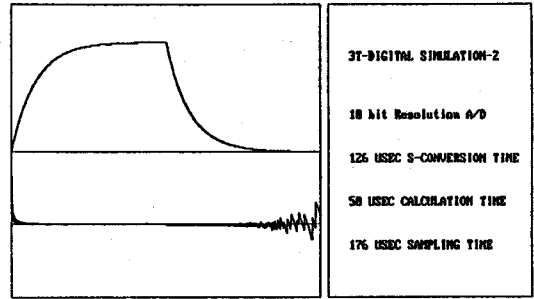
1000 RPTmax / %Error / 200 msec

그림 8. 제안 알고리즘 비동기 A/D변환후 연산결과 일례 2



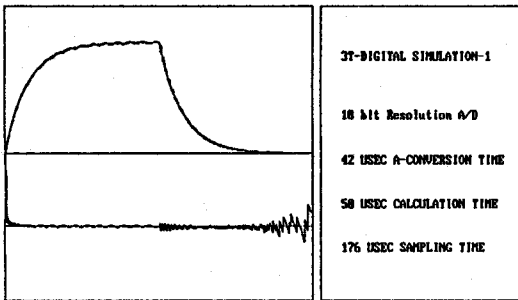
1000 RPTmax / %Error / 200 msec

그림 6. 제안 알고리즘 선형연산후 A/D변환 결과 일례 2



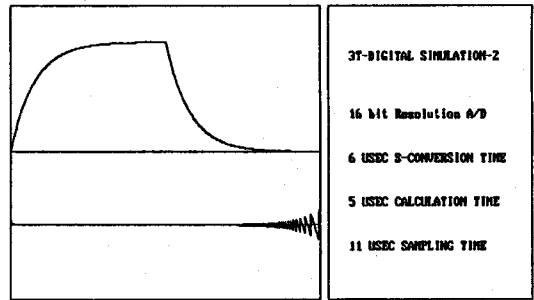
1000 RPTmax / %Error / 200 msec

그림 9. 제안 알고리즘 동기 A/D변환후 연산결과 일례 1



1000 RPTmax / %Error / 200 msec

그림 7. 제안 알고리즘 비동기 A/D변환후 연산결과 일례 1



1000 RPTmax / %Error / 200 msec

그림 10. 제안 알고리즘 동기 A/D변환후 연산결과 일례 2

다음의 그림 5는 제안한 3상 정현파 타코제너레이터의 출력력을 이용, 선형 연산회로로 속도를 계산하고 그 결과를 정도 8bit, 변환시간 100 μ sec로 A/D변환한 결과이다. M/T 기법을 사용한 결과와 비교하였을 때 보다 우수한 성능을 나타내고 있다. 그림 6은 선형 연산회로로 속도를 계산하고 정도 16bit, 변환시간 2 μ sec로 A/D변환한 결과로 실제 속도와 차이가 없음을 알 수 있다.

그림 7은 3상 타코제너레이터의 출력전압을 A/D변환하고 마이크로프로세서에서 속도를 연산한 결과를 나타낸 것이다. 이는 정도 10bit, 채널당 변환시간 42 μ sec인 A/D변환 포트가 제공되는 범용 16bit one-chip 마이크로프로세서인 8096을 이용할 경우를 가정한 것으로 연산시간은 50 μ sec로 충분히 짧은 경우이다. 3상의 전압을 비동기로 변환한 결과 변환시간 만큼씩의 위상 오차가 발생한 상황이 되어 연산된 속도가 맥동을 함을 알 수 있다.

그러나 변환시간 2 μ sec, 16bit A/D변환기를 이용하고 DSP급 정도의 고성능 프로세서로 5 μ sec에 연산하는 경우를 가정할 모의실험결과(그림 8)로는 지연시간과 연산시간이 매우 작으므로 극저속에서만 속도오차가 있음을 알 수 있다.

그림 7의 경우와 같은 조건하에서 3상 전압을 동일 시점에 샘플홀더로 래치한 후 순차적으로 A/D변환한 동기식 A/D 변환을 적용한 결과를 그림 9에 나타내었다. A/D변환시간과 속도 연산시간 지연에 따른 속도 오차만이 존재함을 알 수 있다. 그림 5의 M/T기법에 의한 결과보다 양호함을 알 수 있으며, 변환시간과 연산시간을 그림 8의 경우와 같은 정도로 가정하였을 때의 모의실험 결과를 그림 10에 나타낸 바, M/T기법과 비교하였을 때 매우 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

이상의 모의 실험으로 부터 3상 타코제너레이터의 출력

이 완전한 정현파일 경우에 있어서는 본 논문에서 제안한 속도검출방법은 성능과 실용면에 있어 여타 속도검출 방법에 비하여 우수함을 알 수 있다.

3. 결론

모의실험 결과로 볼 때 제안한 3상 정현파 타코제너레이터를 검출기로하여 전동기의 속도를 연산함에 있어 그 성능은 펄스엔코더를 사용한 M, T, M/T기법보다 매우 우수한 것으로 나타나졌다. 따라서 최근 제어용 컨트롤러로 널리 사용되고 있는 one-chip 프로세서와 변환속도가 빠른 A/D변환기로 구현할 경우 전동기의 실제속도를 매우 넓은 범위에서 정확하게 검출 할 수 있음을 알 수 있다.

그러나 본 방법의 단점으로는 타코제너레이터의 출력전압에 고조파가 포함되지 않아야 한다는 제약이 있다. 출력 전압파형이 3상 정현파가 아닌 고조파성분을 포함하였을 경우의 우수배의 고조파와 3배수조파의 왜형은 나타나지 않는다. 그러나 5조파 뿐만 아니라 7, 11조파의 왜형에는 검출속도에 맥동이 나타나므로 추후 3상 타코제너레이터를 설계할 때 5, 7, 11고조파의 발생을 억제하는 권선의 형태로하여 정현파 전압을 발생하도록 제작하여야 할 것이다.

[참고문헌]

1. T. Ohmac et al., "A Microprocessor-Controlled High-Accuracy Wide-range Speed Regulator for Motor Drives", IEEE Trans. Ind. Appl. vol. IE-29, No. 3, pp207~211, August 1982.