

철도차량용 6체배 주파수 속도신호발생장치

이을재*, 윤용기, 정락교, 최규형
이경산전(주), 한국철도기술연구원

Speed Signal Detector with Frequency 6-Multiplier used for the Railway Vehicles

Lee Eul-Jae*, Yoon Yong-Ki, Jeong Rag-Gyo, Choi Kyu-Hyoung
E-Kyoung Sys.,Inc*, KRRI(Korea Railroad Research Institute)

Abstract - In this paper, a new ground speed signal detector used for railway vehicles is presented. A frequency 6-multiplier is designed to the proposed speed signal detector to achieve more precise ground speed from the slow analog signals made from mechanical tacho signal generator. The computer simulation is carried out to clarify its effectiveness.

1. 서 론

일반적으로 철도차량에 사용되는 속도검출용 센서장치는 상용 기계장치에서 속도를 검출하는 것과는 달리 매우 신뢰도가 높아야 한다. 이는 차량속도 검출오차의 유무에 따라 대형사고로 이어질 가능성을 초기에 배제하기 위함이다. 이러한 이유로 철도차량에서는 공급전원이 필요없이 회전력을 발전전압으로 직접 변환시켜주는 기계적인 타코 제네레이터(속도발전기) 시스템이 주로 사용된다. 차량의 속도는 타코 제네레이터의 출력주파수 또는 발전전압으로부터 연산되는데, 원리적으로 내부 자속의 변화를 전압으로 변환시키는 교류발전기의 특징으로 인하여 광신호를 이용한 속도검출용 엔코더 장치에 비하여 분해능이 현저히 저하되는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 광학식 엔코더장치가 최소 400[펄스/1회전]부터 20000[펄스/1회전] 이상이 출력되며, 고정도의 것은 40000[펄스/1회전] 이상도 시판되고 있으나, 기계식 타코 제네레이터의 경우는 약 400[펄스/1회전]을 초과하는 장치가 거의 없으며, 철도차량에서는 24[펄스/1회전]부터 160[펄스/1회전] 사이의 장치가 주로 사용되고 있다. 이러한 이유로 인하여 차량의 정밀속도를 계산하거나 정밀 거리를 계산하는데는 원천적으로 무리가 있으므로 주파수 체배기를 사용한다. 주파수를 체배하는 방법은 펄스 비교를 통한 2체배 혹은 4체배 방법과 PLL을 이용한 n 체배 방법이 있으나 철도차량용에서는 입력의 원천 신호 주파수가 빠르지 않아서 PLL을 이용하는 방법은 위상 지연 등의 문제로 인하여 사용하지 않고 펄스 비교 방식을 주로 사용한다.

본 논문에서는 기존의 펄스 비교방식의 주파수 체배 방식이 실용적으로 4체배가 한계인 점을 보완하기 위하여 펄스 비교방식이 아닌 아나로그 신호의 위상정보와 크기정보를 이용하여 기존의 체배기에 비하여 체배 정도를 증대시킨 철도차량용 6체배 속도신호 발생장치에 대하여 제안한다.

2. 본 론

2.1 속도검출 원리

타코 제네레이터의 속도 검출원리는 요철을 갖는 회전 기어가 움직일 때 반대편에 위치한 자속검출 센서가 변화된 자속량을 검출함으로써 이루어진다. 즉 센서에서 발생하는 일정량의 자속을 요철기어가 쇠교함으로써 센서의 출력 양단에 역기전력의 변화로 나타나는데 회전 속도에 비례하여 주파수도 높아지고 발생전압의 크기도

증가한다. 그림 1은 기계식 타코 제네레이터의 속도검출 원리를 나타낸 것이다.

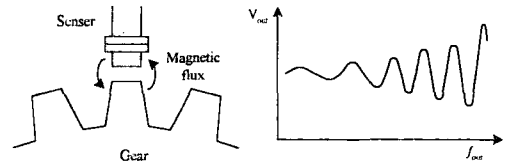


그림 1 속도신호 검출원리

2.2 제안하는 방법

120도 위상차를 갖는 3상의 정현파 신호를 식 (1)과 같이 가정하면 다음의 관계가 성립한다.

$$E_A = \sqrt{2}E \sin \omega t,$$

$$E_B = \sqrt{2}E \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right),$$

$$E_C = \sqrt{2}E \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \quad (1)$$

$$E_A + E_B + E_C = 0 \quad (2)$$

신호의 크기 및 위상차가 동일하다면, 즉 전기적으로 평형상태에 있을 경우 식 (2)로부터 임의의 한 상 신호는 두 상의 신호 차로부터 표현할 수 있음을 알 수 있다. 따라서,

$$E_C = -(E_A + E_B) \quad (3)$$

가 된다. 속도발전기로부터 출력되는 2상의 신호가 120도의 위상차를 갖으며 신호의 크기가 동일하다고 가정하면 식 (3)으로부터 240도 만큼 뒤진 신호 E_c를 출력하는 것이 가능하므로 저속의 타코 제네레이터 출력으로부터 6체배된 속도신호를 발생시킬 수 있다.

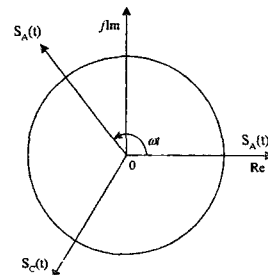


그림 2 복소평면에서 평형 3상의 표현

2.3 주파수 6-체배기

일반적으로 기계식 타코 제네레이터는 두 개의 자속 검출 센서를 한 조로 사용한다. 즉 90도 내외의 위상차를 갖도록 각 센서의 검출각을 조정하여 속도와 회전방향을 검출할 수 있을 뿐 아니라 파형의 논리적인 비교를 수행함으로써 2체배 혹은 4체배의 증가된 속도 펄스 파형을 발생시킬 수 있다. 반면에 본 논문에서는 기존에 사용된 두 개의 센서 검출각을 90도가 아닌 120 내외로 조정함으로써 어떠한 물리적인 장치의 추가 없이 증대된 체배출력을 얻는 것이 가능하다. 그림 3은 제한된 6-체배 속도신호 검출장치의 블록도를 나타낸 것이다. 각 블록의 기능은 아래와 같다.

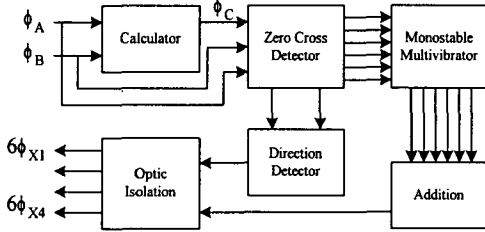


그림 3 주파수 체배기 블록도

- 1) 신호연산기(Calculator) : 속도발전기의 출력신호 ΦA 와 ΦB 는 연산장치에 입력되어 식 (3)에 따라 신호 ΦC 를 발생시킨다.
- 2) 위상검출기(Zero Cross Detector) : 속도발전기의 2상 신호(ΦA 와 ΦB)와 신호연산기의 출력신호(ΦC)의 영점압 지점을 검출하여 TTL 레벨로 변환 시킨다.
- 3) 회전방향검출기(Direction Detector) : 속도발전기에서 출력되는 2상 신호로부터 열차의 운행방향을 검출한다.
- 4) 단안정 멀티 출력 (Monostable Multivibrator) : 위상 검출기로부터 발생된 TTL 신호의 상승 모서리를 검출하여 일정길이의 출력신호를 발생시킨다. 출력신호는 A, /A, B, /B, C, 및 /C로 속도발전기의 출력신호에 대하여 60도씩의 위상지연을 갖는다.
- 5) 신호합성기(Additioner) : 신호합성기는 발생된 TTL 신호 A, /A, B, /B, C, 및 /C를 논리적으로 OR하여 펄스 트레인의 형태로 변환한다. 따라서 이때 발생된 신호의 주파수는 입력에 대하여 6배의 신호주기로 체배된 펄스가 된다.
- 6) Optic Isolator : 6체배된 출력신호는 차량의 각부로 공급하기 위하여 광 커플러에 의하여 절연된 신호형태로 제공된다. 출력신호는 독립된 속도신호 4채널과 차량의 진행방향 검출신호 4채널이다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 조건

2상의 입력신호로부터 6체배된 출력신호를 발생시키는 주파수 체배기에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 회로 시뮬레이션 전용 프로그램인 PSpice를 사용하여 수행하였으며 정상신호의 조건뿐 아니라 왜곡이 발생한 경우에 대해서도 수행하였다. 시뮬레이션 조건은 아래와 같다.

표 1 정상상태 시뮬레이션 조건

순서	A-상 신호	B-상 신호
Case 1	$10 Vp \angle 0$	$10 Vp \angle 120$
Case 2	$10 Vp \angle 0$	$10 Vp \angle 240$

표 2 비정상상태 시뮬레이션 조건

순서	A-상 신호	B-상 신호
Case 3	$10 Vp \angle 0$	$10 Vp \angle 100$
Case 4	$10 Vp \angle 0$	$10 Vp \angle 140$
Case 5	$10 Vp \angle 0$	$9 Vp \angle 120$
Case 6	$10 Vp \angle 0$	$11 Vp \angle 120$

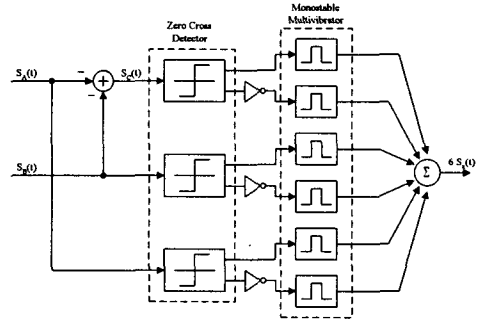
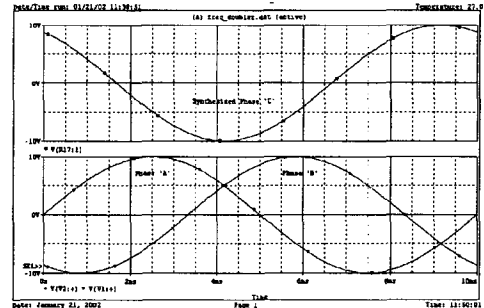


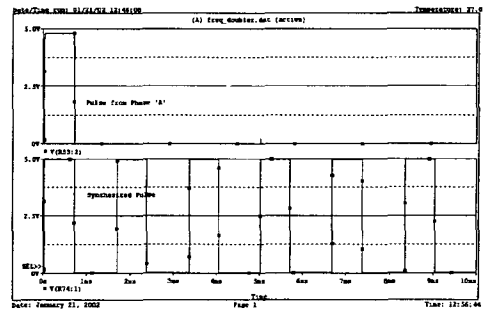
그림 4 주파수 체배기의 시뮬레이션 블록도

3.2 시뮬레이션 결과

그림 5~7에 표 1 및 표 2의 조건에 따른 시뮬레이션 결과를 나타냈다. 그림 5는 입력신호가 정상일 때의 시뮬레이션 결과로 입력 신호에 대해 6체배된 출력펄스가 얻어짐을 보인다(그림-b). 그림 6과 7은 입력신호가 비정상 조건인 경우에 대한 시뮬레이션 파형이다. 정상 조건에서와 마찬가지로 입력전압의 크기가 차이가 있거나 위상이 약간의 오차를 갖는 경우라도 한 주기 내에서 6체배된 출력 펄스 파형을 얻을 수 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 5 case-1 시뮬레이션 결과
(a) 단일 상의 펄스파형과 6체배된 파형
(b) 입력파형과 신호연산기 출력파형

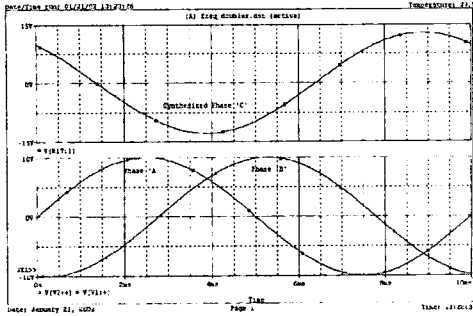
3. 결 론

철도차량에 주로 적용되는 저속의 기계식 타코 제네레이터로부터 고정도의 속도정보를 얻기 위하여 입력신호에 대하여 6체배된 출력을 발생시켜주는 속도신호 검출장치를 설계하였다. 설계된 속도신호 검출장치는 기존의 센서 검출각만을 변경시킴으로써 입력에 대하여 6배 주파수를 갖는 속도신호를 위상지연 없이 간단히 출력할 수 있다. 주파수 체배기의 컴퓨터 시뮬레이션으로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

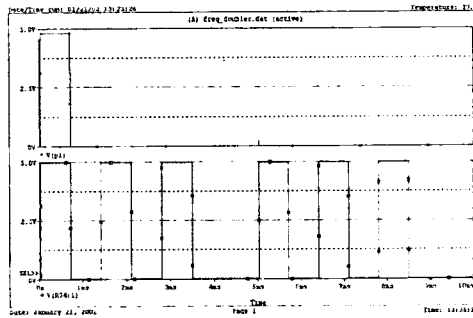
- 1) 입력신호 2상의 위상차가 120도 혹은 240도인 경우 평형조건을 만족하므로 출력 신호에 왜곡이 발생하지 않는다.
- 2) 입력 신호의 위상차가 120 ± 20 도 인 경우 주파수 체배에는 별 영향이 없다.
- 3) 입력신호의 전압차가 10% 이하인 경우 주파수 체배에는 별 영향이 없다.

[참 고 문 헌]

- [1] 조규민 외, "정현파 교류 타코제네레이터를 이용한 전동기 속도 및 회전각 검출", 대한전자공학회 논문집 34권 6호, pp.94-104, 1997.
- [2] 이을재 외, 경량전철 신호기술개발사업 2001년도 연구보고서, 철도기술연구원, 2002.2
- [3] Shuichi Shimano et al, "Estimation of Acceleration with an AC Tachogenerator and its Application for Servo Control", 일본전기학회 논문집-D 110권 7호, pp.791-797, 1990.

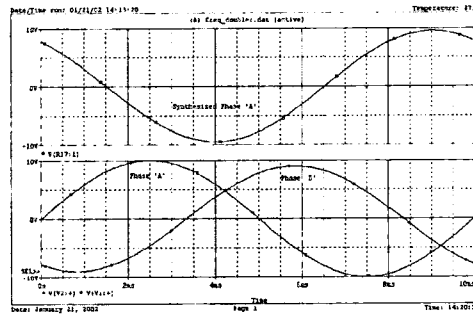


(a)

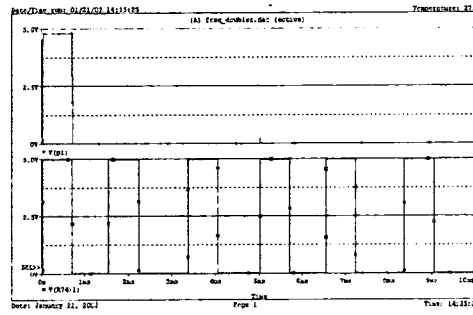


(b)

그림 6 case-3 시뮬레이션 결과
(a) 단일 상의 펄스파형과 6체배된 파형
(b) 입력파형과 신호연산기 출력파형



(a)



(b)

그림 7 case-5 시뮬레이션 결과
(a) 단일 상의 펄스파형과 6체배된 파형
(b) 입력파형과 신호연산기 출력파형