

수소연소 선형 발전기의 이동자 위치 검출

김신아, 정승기
광운대학교

Mover position detection for Hydrogen Fueled linear generator

Shin-Ah Kim, Seung-Gi Jeong
Kwangwoon University

Abstract

In order to convert the mechanical movement of a linear generator to electrical power, the amateur current of the generator is controlled in accordance to the mover position. A linear encoder, usually used for direct detection of the mover position, not only is vulnerable to mechanical vibration, but also imposes significant constraint on the mechanical design of the generator system. Thus, this study proposes a method for indirect estimation of the mover position with emfs induced in amateur coils. The estimation algorithm is validated with simulation study.

1. 서론

수소 에너지는 흔히 얻을 수 있는 물의 구성 원료로 무한한 에너지원을 가지고 있으며, 사용 후 물로 환원되므로 무공해 원료로 인정받고 있어 전 세계적으로 태양광, 풍력과 더불어 신재생 에너지의 한 축을 담당하고 있다. 국내에서는 21세기 프론티어 산업으로 <수소 연소 동력/발전 시스템 기술 개발>의 연구개발이 추진되고 있다.

수소 리니어 동력/발전 시스템은 크게 엔진, 발전기, 전력변환기(PCS)로 구성된다. 엔진제어기는 연소에 필요한 엔진 실린더 내부 압력과 엔코더를 통한 위치 정보를 입력 받아서 위치에 맞는 흡기, 배기 밸브의 제어, 점화 제어, 발전량에 맞는 연료량을 제어한다.

PCS 제어는 MSC(Machine Side Converter)와 LSI(Line Side Inverter)의 제어가 독립적으로 이루어진다. MSC제어는 위치별 예측제어를 하게 되는데 DC-link 전압과 발전기에 흐르는 전류를 측정하여 전류를 조절하고 DC-link와 LSI를 통해 3상 전원으로 전력을 전달한다.

이동자의 위치를 측정하기 위해서는 리니어 엔코더가 사용된다. 리니어 엔코더는 고가인 데다가 선형 발전기의 기구적 설계에 제약요인이 되며 나아가 열, 노이즈 및 기계적 진동에 취약한 문제를 지니고 있다.

본 연구에서는 선형 발전기의 이동자 위치를 추정하여 리니어 엔코더 없이 시동과 발전을 제어하는 방법을 제안한다. 이 알고리즘은 선형 발전기 파라미터의 사용 없이 고정자 코일에 유기되는 기전력을 측정하여 위치를 추정하는 것이다.

2. 수소 연소 선형발전기

2.1 선형 발전기 구조

선형발전기는 두 개의 엔진과 한 개의 발전기로 구성되어 있으며 발전기 양 끝에는 각각 엔진이 연결되어 있고 엔진의 피스톤은 발전기의 이동자와 연결되어 있다. 발전기는 엔진에서 발생된 힘으로 이동자를 움직이고 이동자에 착자된 자계가 외부 고정된 권선에 자속변화를 주어 권선에 기전력을 유기하게 된다.

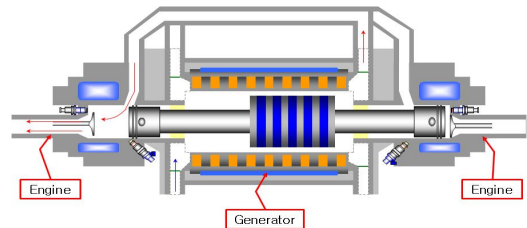


그림 1 선형발전기 구조

2.2 각 상 및 코일의 유기 기전력 파형

발전기의 이동자가 움직이면서 도체가 자속을 끊고 지나가면 도체에 기전력이 유기되는 현상이 나타난다. 유기 기전력은 도체가 자장에 직각 방향으로 이동한다면 유기 기전력의 크기는 다음과 같이 표현된다.

$$e = l \cdot B_m \cdot v(t) = k_m \cdot v(t)$$

e : 유기전압, [v]

l : 도체의 길이, [m]

B_m : 자속밀도, [Wb/m²]

$v(t)$: 영구자석 이동속도, [m/s]

k_m : 위치별 발전기 자속정보, [Wb/m]

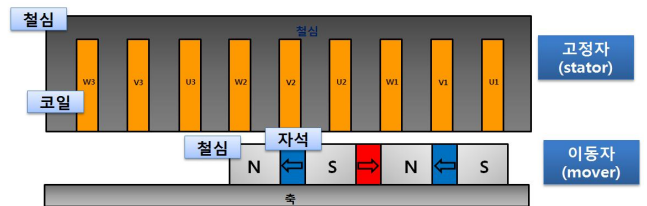


그림 2 선형발전기 단면도

선형 발전기는 위치에 따라 다른 자속밀도(B)를 가지게 되며 그림 3은 22Hz의 비동속운동 시 출력전압을 나타내고 있다. 이를 토대로 발전기 특성(k_m)을 알 수 있다.

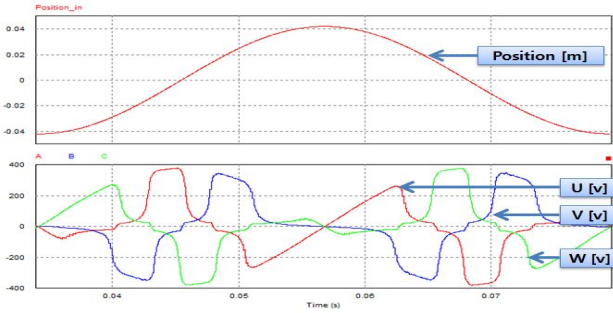


그림 3 비동속운동 시 출력전압 [22Hz]

3. 위치검출 알고리즘

3.1 이동자의 12구간 위치 검출 알고리즘

위치검출 알고리즘은 선형발전기 고정자 코일 양단의 기전력을 측정하여 위치를 추정하는 것이다. 코일의 기전력 측정을 위해 각 코일의 양단에 선이 인출되어 있으며 각 상마다 총 4개의 선이 인출되어 있다. 고정자 코일은 각 상마다 3개의 코일로 나누어져 있으며 Fig 4는 U1, V1, W1, U2, V2, W2, U3, V3, W3 순으로 배치되어 있는 코일의 기전력 파형을 알고리즘의 적용을 통해 12구간을 나눈 것이다.

V2의 기전력은 전체 위치의 가운데를 기준으로 +/-를 가지므로 이것을 기준으로 1~6/7~12 구간을 나누었다. 다음으로 U2과 W1의 기전력이 만나는 점을 기준으로 구간을 1~3/4~6 구간을 나누었다. 또, U2 기전력이 zero-crossing 되는 부분을 기준으로 1~2/3 구간을 구분하였다. 나머지 부분도 동일하게 만나는 점과 zero-crossing되는 부분을 기준으로 총 12구간을 나누었다.

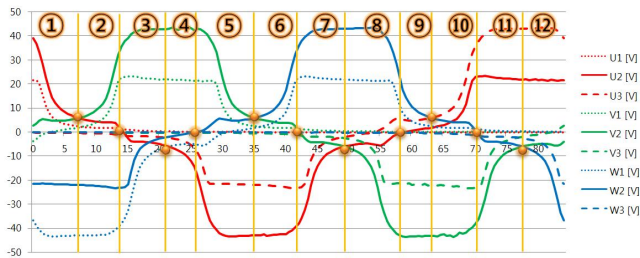


그림 4 이동자 12구간 위치검출 기준

이동자가 왼쪽에서 오른쪽으로 움직이는 것을 정방향이라고 정한다면 오른쪽에서 왼쪽으로 움직일 경우 즉, 역방향으로 움직일 경우에는 기전력의 위상이 반전이 된다. 이 경우도 정방향 알고리즘과 동일하게 알고리즘을 적용한다. 그림 5, 6은 정방향, 역방향 이동시 위치검출 플로우 차트이다.

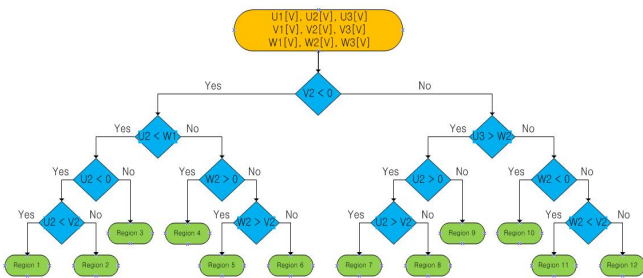


그림 5 이동자 정방향 이동시 위치검출 플로우 차트

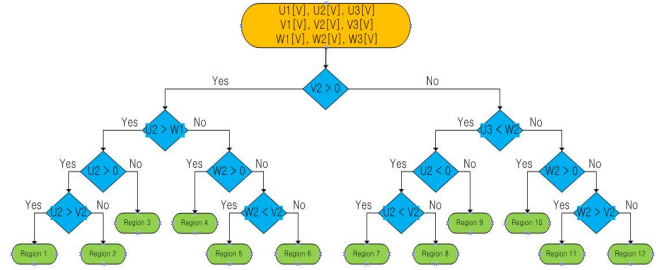


그림 6 이동자 역방향 이동시 위치검출 플로우 차트

3.2 위치 검출 알고리즘 시뮬레이션

그림 7은 위치검출 알고리즘을 적용하여 이동자의 위치를 12 구간으로 추정한 것이다.

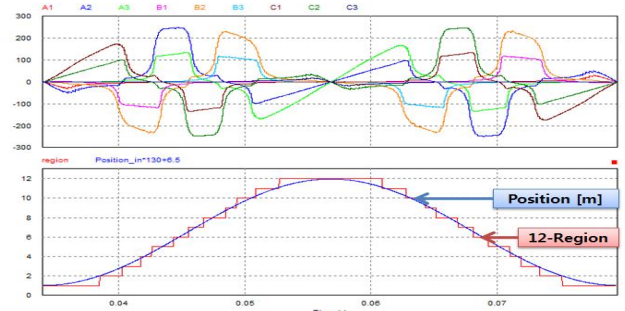


그림 7 이동자 12구간 위치검출 시뮬레이션

3.3 위치 검출 알고리즘 이용한 전류제어 시뮬레이션

알고리즘을 검증하기 위해 PSIM 시뮬레이션으로 시스템 및 발전기를 모델링 하고 MSC 제어기를 구현하여 전동모드, 발전모드 시 알고리즘을 적용한 전류제어를 구현하였다. 그림 8은 위치검출 알고리즘을 적용하여 전류제어를 한 파형이다.

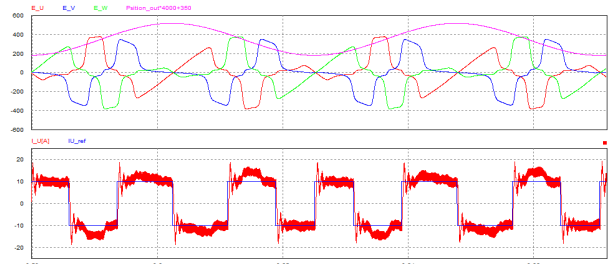


그림 8 발전모드 전류제어 시뮬레이션 파형

4. 결론

본 연구는 리니어 엔코더를 사용하지 않고 영구자석 선형발전기의 이동자 위치를 추정하는 알고리즘을 제시하였다. 제안된 알고리즘은 시스템 구현이 간단하고 고정자 코일 양단의 선만 인출하면 되므로 추가적인 하드웨어 비용 없이 알고리즘을 이용해 위치를 추정할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

[1] 최동민, 노태석, 임재원, 김기영, 오시덕 “수소연소 동력/발전시스템용 리니어 발전기 설계에 대한 연구”, 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템 부분회 추계학술대회 논문집, pp. 182-184, 2008