

듀얼 센서를 이용한 무변압기형 태양광 인버터 전류 센서의 오프셋 보정 방법

홍기남*, 최익**, 최주엽***, 이영권****

*광운대학교 임베디드SW공학과, **광운대학교 제어계측공학과, ***광운대학교 전기공학과, ****금비전자

Current Sensor Offset Calibration Method using Dual Sensor for trans-less PV Inverter

Hong, Ki-Nam*, Choy, Ick**, Choi, Ju-Yeop***, Lee, Young-Kwon****

*Dept. of Embedded Software Eng. Kangwoon Univ,

**Dept. of Information and Control Eng. Kangwoon Univ,

***Dept. of Electrical Eng. Kangwoon Univ,

**** Keumbee Electronics Co.

Abstract

Since PV PCS uses output current sensor for ac output current control, the sensor's sensing value includes unnecessary offset inevitably. If PV inverter is controlled by the included offset value, it's output current will generate DC offset. The DC offset of output current for trans-less PV inverter is fatal to grid, which results in saturating grid side transformer. Usually DSP controller of PV inverter reads several times sensing value during initial operation and, finally, it's average value is used for offset calibration. However, if temperature changes, the offset changes, too. Therefore, output current sensor measures sensing value that includes offset again. In this paper we propose new algorithm where two identical forward and reverse sensors are used to calculate the offset in real time. As a result the offset is not correlated with temperature change. The proposed algorithm is verified through PSIM simulation for validity.

Keywords : PV PCS, 무변압기형 인버터(Trans-less Inverter), 직류 편차(DC offset), 센서 보정(Sensor Calibration), 듀얼 센서(Dual Sensor)

기 호 설 명

V_{Isens}	: 최종 측정 전류 값 (V)	$V_{sense-pout}$: 정방향 전류 센서 값 (V)
$V_{sens-out}$: 전류 센서 출력 (V)	$V_{sens-nout}$: 역방향 전류 센서 값 (V)
$V_{sens-offset}$: 전류 센서 오프셋 (V)	$V_{sens-poffset}$: 정방향 센서 오프셋 (V)
$V_{filter-offset}$: 필터 회로 오프셋 (V)	$V_{sense-noffset}$: 역방향 센서 오프셋 (V)
$V_{Isens-p}$: 정방향 파트 측정치 (V)	$V_{filter-poffset}$: 정방향 필터 오프셋 (V)
$V_{Isens-n}$: 역방향 파트 측정치 (V)	$V_{filter-noffset}$: 역방향 필터 오프셋 (V)

1. 서론

PV PCS 시스템에서 출력 전류 제어를 위해서 인버터의 출력 부에 전류 센서를 사용하는데 보통 센서의 측정값에는 오프셋이 포함된다. 오프셋이 포함된 측정값으로 전류 제어를 하게 되면 출력 전류 또한 DC offset이 발생하게 된다. 출력 전류의 DC offset 발생은 계통에 치명적인 영향을 준다. 보통 DSP로 구현된 인버터 제어기에서 전류 센서의 오프셋 제거를 위해서 인버터의 초기 기동 시 출력 전류가 0A일 때 측정값을 여러 번 읽어서 평균을 내고 그 값을 정상 구동 시에 측정되는 전류 값에서 빼줌으로써 오프셋 보정을 하는데 장시간 구동 시 온도가 변하면 전류 센서의 오프셋 값이 변하기 때문에 또다시 측정값에 오프셋이 실리게 된다. 온도 변화에 따른 전류 센서의 오프셋 변화를 추정하기 위해서 본 논문에서는 기존에 인버터의 출력 전류의 측정을 위해 정방향으로 한 개의 전류 센서만 사용하던 방식을 보완하여 정방향과 역방향으로 각각 전류 센서 2개를 사용하여 즉, 듀얼 센서를 사용하여 두 센서의 측정값을 비교함으로써 실시간으로 오프셋을 계산하는 방법을 제안하였다. 듀얼 센서로 계산된 오프셋을 측정값에 보정해 줌으로써 실시간으로 온도 변화에 상관없이 측정값을 신뢰할 수 있게 하였다. 이를 시뮬레이션을 통해서 검증하였다.

2. 상용 전류 센서의 오프셋 특성

실제 인버터 구현 시에 많이 사용되는 상용 전류 센서인 Allegro사의 ACS712 모델의 특성에 대해서 고찰하였다.[2]

ACS712 모델은 5V로 동작 하고 25°C에서 1.5%의 total output error를 가지고 있다.

그림 1은 ACS712 전류 센서의 일반적인 사용 방법을 나타내고 있다. 표 1은 센서의 민감도에 대해 나타내었다. 모델명에 표기되

어 있듯이 각각 $\pm 5A$, $\pm 20A$, $\pm 30A$ 의 측정 범위를 가지고 있다. 그에 따른 민감도를 나타낸 것이다. 동작 온도 범위는 $-40^{\circ}C \sim 85^{\circ}C$ 이다.

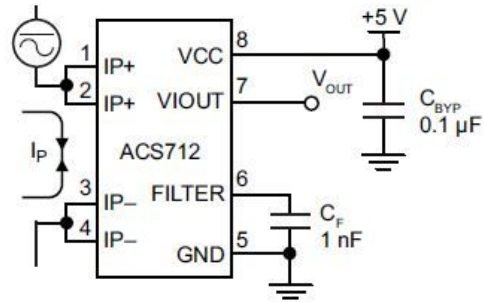


그림 1. Allegro ACS712의 일반적인 사용 방법

표 1. Allegro ACS712 Sensitivity

Part Number	T_A (°C)	Sensitivity(mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	-40 to 85	185
ACS712ELCTR-20B-T	-40 to 85	100
ACS712ELCTR-30B-T	-40 to 85	66

ACS712 모델은 5V로 동작 시 0A의 전류 측정시에 2.5V의 전압을 출력한다. 그림 2의 ACS712ELCTR-05B-T은 0A의 전류 측정시에 $-40^{\circ}C$ 에서 약 2,518mV(오프셋 +18mV)를 출력하고 $85^{\circ}C$ 에서 약 2,498mV(오프셋 -2mV)를 출력한다.

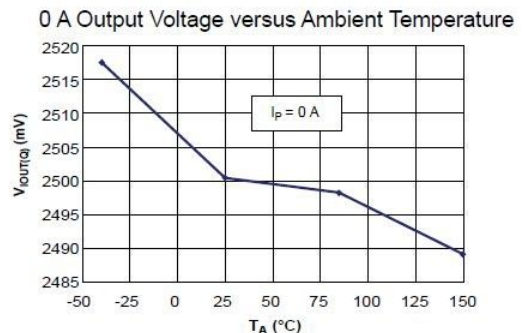


그림 2. ACS712ELCTR-05B-T의 오프셋 특성

그림 3의 ACS712ELCTR-20B-T은 0A의

전류 측정시에 -40°C에서 약 2,523mV(오프셋 +23mV)를 출력하고 85°C에서 약 2,494mV(오프셋 -6mV)를 출력한다.

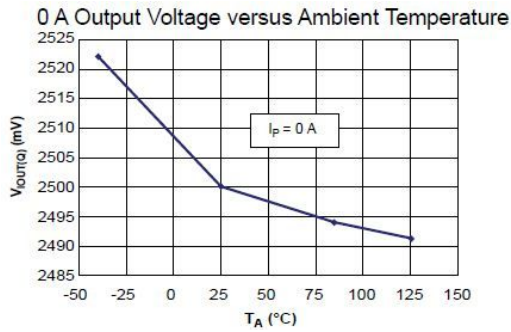


그림 3. ACS712ELCTR-20B-T의 오프셋 특성

그림 4의 ACS712ELCTR-30B-T은 0A의 전류 측정시에 -40°C에서 약 2,529mV(오프셋 +29mV)를 출력하고 85°C에서 약 2,498mV(오프셋 -2mV)를 출력한다. 그래프 자료에서 보듯이 기준 온도인 25°C 영역을 제외하고 나머지 온도 영역에서는 주변 온도에 따라 전류 센서의 출력 전압의 오프셋이 변동하게 된다.

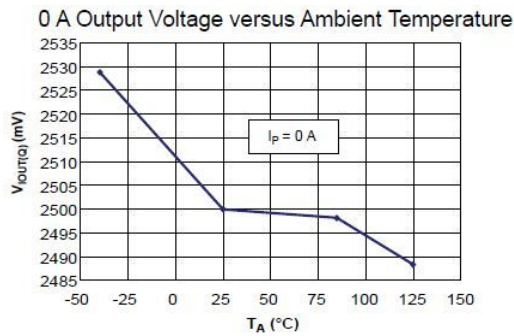


그림 4. ACS712ELCTR-30B-T의 오프셋 특성

3. 전류 센서 및 필터 회로의 오프셋

보통 인버터의 제어기로 DSP를 사용할 때 그림 5처럼 전류 센서에서 출력하는 0~5V의 측정값을 그대로 쓰는 것이 아니라 DSP

의 ADC(Analog to Digital Converter) 레벨에 맞게 0~3V로 맞춰서 입력해야 한다. 그래서 전압 강하와 측정값의 노이즈 제거를 위해 중간에 필터 회로를 구성하게 된다. 그런데 필터 회로를 구성하는 앰프 소자에서도 미미하기는 하지만 또한 오프셋이 존재한다.

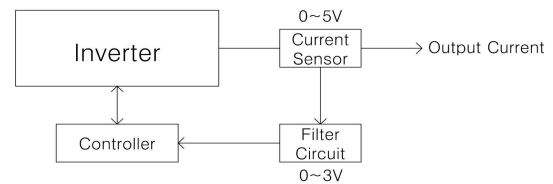


그림 5. 전류 센싱 블록도

결국 DSP에서 바라본 출력 전류의 측정치는 다음과 같다.

$$V_{Isens} = \quad (1)$$

$$\frac{3(V_{sens-out} + V_{sens-offset})}{5} + V_{filter-offset}$$

전류 센서의 출력 값과 전류 센서의 오프셋 값이 합쳐져서 필터 회로에서 전압 강하가 된다. 그 결과 값에는 전압 강하된 센서 값과 필터 회로의 오프셋 값이 포함된다.

서론에서도 설명했지만 일반적으로 인버터 초기 기동 시 출력 전류가 0A일 때 여러 번 측정해서 평균을 내어 계산했던 오프셋 값을 현재 측정되고 있는 측정치에서 빼줌으로써 $V_{sens-offset}$ 과 $V_{filter-offset}$ 값이 상쇄된다고 가정하여 오프셋 보정을 하게 된다. 하지만 주변 온도의 변화에 따라 오프셋이 변하기 때문에 초기 기동 시 계산했던 오프셋 값의 신뢰도가 떨어지게 되는 것이다.

4. 듀얼 센서를 이용한 오프셋 보정

위의 내용에서 보듯이 센서 파트에서 발생하는 오프셋을 보정하는 일반적인 방법으로는 주변 온도에 따라 오프셋이 계속 변하기

때문에 인버터에서 그 측정치를 받고 전류 제어를 하다 보면 출력 전류에 DC offset이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 똑같은 환경의 센서 파트를 역방향으로 하나 더 추가하여 두 센서 파트에서 측정된 수치를 이용하여 실시간으로 센서 파트의 오프셋을 추정하는 방법을 제안했다.

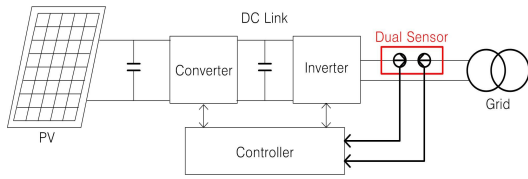


그림 6. PV PCS

그림 6처럼 인버터의 출력 쪽에 기존에 한 개의 전류 센서를 사용하던 것을 역방향의 전류 센서를 한 개 더 추가하여 듀얼 센서로 구현을 한다. 필터 회로까지 고려하여 측정되는 수치 값으로 오프셋을 추정하는 방법을 수식으로 정리하면 아래와 같다.

수식 (1)을 참고하여 정방향의 센서 파트에서 측정된 값($V_{Isens-p}$)과 역방향의 센서 파트에서 측정된 값($V_{Isens-n}$)을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{Isens-p} = \quad (2)$$

$$\frac{3(V_{sens-pout} + V_{sens-poffset})}{5} + V_{filter-poffset}$$

$$V_{Isens-n} = \quad (3)$$

$$\frac{3(V_{sens-nout} + V_{sens-noffset})}{5} + V_{filter-noffset}$$

여기에서 몇 가지 가정을 하고 수식을 간단히 정리하겠다. 두 전류 센서의 오프셋은 같다고 가정한다($V_{sens-poffset} \approx V_{sens-noffset}$). 그리고 두 필터 회로의 오프셋도 같다고 가정한다($V_{filter-poffset} \approx V_{filter-noffset}$).

다시 가정 하에 수식 (2), (3)을 더하면 아래와 같

이 정리 될 수 있다.

$$V_{Isens-p} + V_{Isens-n} = \quad (4)$$

$$\frac{3}{5}(V_{sens-pout} + V_{sens-nout}) + \frac{6}{5}V_{sens-offset} + 2V_{filter-offset}$$

위의 수식에서 전류 센서의 오프셋과 필터 회로의 오프셋을 하나로 합쳐서 두 개의 센서 파트의 오프셋($2V_{offset}$)으로 보고 다시 정리하면 아래와 같다.

$$V_{Isens-p} + V_{Isens-n} = \quad (5)$$

$$\frac{3}{5}(V_{sens-pout} + V_{sens-nout}) + 2V_{offset}$$

또한 정방향의 전류 측정값과 역방향의 전류 측정값은 센서의 최대 출력 값인 5V를 기준으로 2.5V를 각각 빼주면 값은 같고 부호만 반대인 값이다.

$$V_{sens-pout} - 2.5V = -(V_{sens-nout} - 2.5V) \quad (6)$$

$$V_{sens-nout} = 5 - V_{sens-pout}$$

수식 (6)에서 구한 듀얼 센서 출력의 관계를 수식 (5)에 대입하면 다음과 같이 정리된다.

$$V_{Isens-p} + V_{Isens-n} = \quad (7)$$

$$\frac{3}{5}(V_{sens-pout} + 5 - V_{sens-pout}) + 2V_{offset} =$$

$$3 + 2V_{offset}$$

수식 (7)에서 보듯이 듀얼 센서를 사용하면 두 측정값을 단순히 더하기만 하면 센서 파트의 오프셋 값을 추정할 수 있게 된다. 최종적으로 수식 (8)과 같이 듀얼 센서 파트에서

각각 측정된 값을 사용하여 간단한 산술 연산으로 센서 파트의 오프셋을 구할 수 있게 된다.

$$V_{offset} = \frac{V_{Iscns-p} + V_{Iscns-n} - 3}{2} \quad (8)$$

위의 식에서 계산된 오프셋 값을 이제 실시간으로 측정되고 있는 센서 파트의 값에서 빼주면 오프셋이 제거된 실제 전류 값으로 사용할 수 있게 된다.

5. 시뮬레이션

시뮬레이션 프로그램은 PSIM을 사용하였고 그림 6의 DC Link 단부터 인버터까지 테스트 하였다. 인버터는 sinusoidal bipolar PWM 방식으로 동작하고 전류 제어는 PI 제어 방식을 사용하였다.

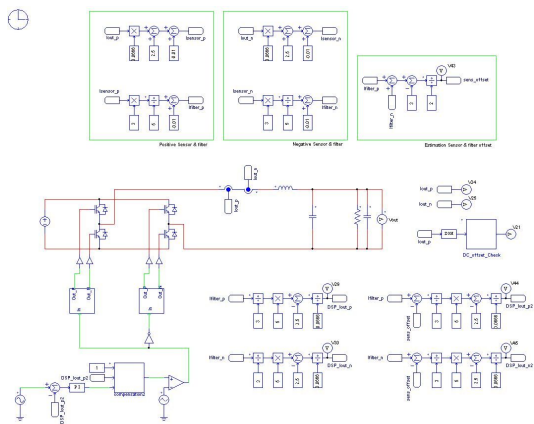


그림 7. 시뮬레이션 회로

그림 7은 전체 시뮬레이션 회로를 나타낸다. 인버터의 출력 단에 정방향, 역방향으로 두 개의 전류 센서를 삽입한 것을 볼 수 있다. 위쪽 블록에는 실제 전류 센서처럼 출력 하도록 구성하였고 인버터 회로의 오른쪽에는 출력 전류의 DC offset을 체크하는 블록을 두었다.[1] 그 아래로 실제 DSP에서처럼

측정값을 받아들이는 부분을 구현하였다.

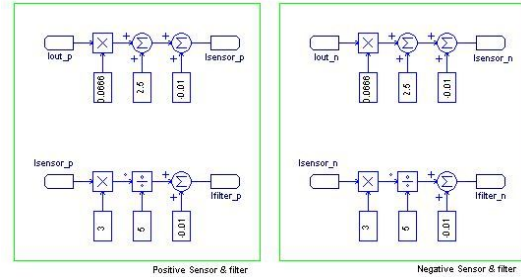


그림 8. 듀얼 센서 파트

그림 8은 듀얼 센서 파트를 확대한 것이다. 실제 상용 전류 센서처럼 표 1의 ACS712ELCTR-30B-T의 민감도(66mV/A)를 가지도록 구현하였다. 전류 센서의 오프셋은 -10mV를 주었고 필터 회로의 오프셋도 -10mV를 각각 주었다.

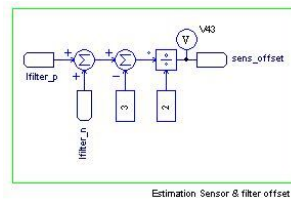


그림 9. 센서 파트의 오프셋 계산 블록

그림 9는 듀얼 센서 파트에서 측정된 값을 수식 (8)을 사용하여 센서 파트의 오프셋을 계산하는 블록이다.

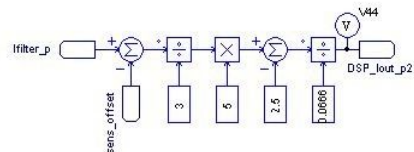


그림 10. DSP 내부에서 실제 전류를 계산하는 블록

그림 10은 센서 파트에서 측정하고 있는 출력 전류 측정치에 그림 9에서 계산한 센서 파트의 오프셋을 빼고 전압 강하했던 값을 역으로 다시 계산하고 0점(2.5V)을 기준으로 민감도를 곱하여 실제 전류 값을 계산하는 블록을 나타낸다.

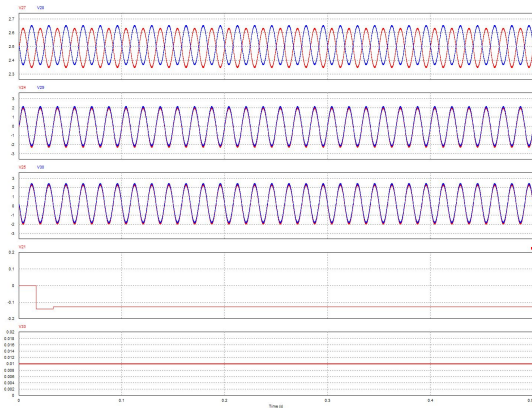


그림 11. 전류 센서 파트의 오프셋 보정 전

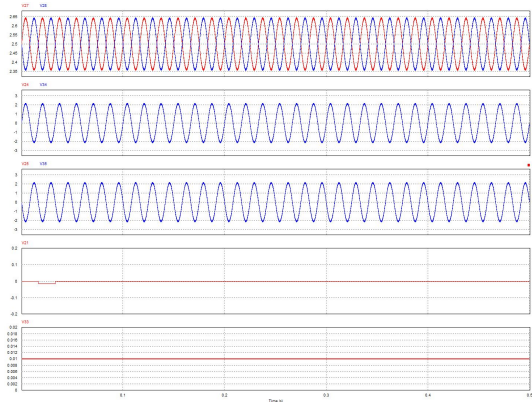


그림 12. 전류 센서 파트의 오프셋 보정 후

그림 11, 12의 첫번째 그래프는 두 개의 전류 센서에서 출력하고 있는 측정 값이고 두 번째와 세번째 그래프는 정방향과 역방향의 센서 파트에서 측정한 값으로 제어기에서 실제 전류 값으로 변환 후 실제 출력 전류와 비교한 것이다. 네번째의 그래프는 출력 전류의 DC offset을 측정한 것인데 그림 11은 오프셋 보정 전이라 DC offset이 발생했고 비교 그래프에서도 실제 전류와 측정 전류 값이 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 그림 12는 오프셋 값을 보정하고 테스트 한 것이다. 네번째 그래프에서 보듯이 출력 전류의 DC offset이 사라졌고 실제 전류와 측정 전류 값이 일치하는 것을 볼 수 있다. 다섯 번째 그래프는 실시간으로 추정된 오프셋 값을 나타낸다.

6. 결론

간단한 개념으로 인버터의 전류 측정 파트의 오프셋을 제거하는 방법을 제시하고 검증하였다. 개념과 연산은 간단하지만 실제로 측정 파트를 한개 더 포함해야하는 부담이 있고 두개의 전류 센서의 오프셋이 같아야 하고 필터 회로의 오프셋도 또한 같아야 한다. 하지만 보통 같은 회사의 전류 센서는 특성이 거의 같고 필터 회로 또한 설계를 잘한다면 똑같은 회로 구현 시 특성은 같을 것이다. 결론적으로 실시간으로 센서 파트의 오프셋을 보정할 수 있게 되었고 기존의 방법보다 주변 온도의 변화에 민감하지 않게 되었다.

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(20113030010130)의 지원을 받아 수행한 신재생에너지기술개발사업 연구 과제입니다.

참 고 문 헌

1. 홍기남, 최익, 최주엽, 안진웅, 이동하, “인버터 출력 전류의 DC offset 제거를 위한 PWM 구동방법”, 전력전자학회 전력전자학회 2011년도 추계학술대회 논문집 2011.11, pp. 221-222.
2. Allegro MicroSystems, Inc. ACS712 Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC Datasheet. (2011). [Online]. Available: <http://www.allegromicro.com/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>