

계통연계형 PV 인버터의 독립운전 방지를 위한 AFDPF기법

엄준현*, 안현진*, 정영국**, 임영철*

전남대학교 전기공학과*, 대불대학교 융합기술학부**

AFDPF(Active Drift Frequency Positive Feedback) Method for Anti - Islanding of Grid - Connected PV Inverter

*J.H. Eum, *H.J. Ahn, **Y.G. Jung, *Y.C. Lim

Chonnam National University*, Daebul University**

ABSTRACT

본 연구에서는 독립운전 검출기법의 능동적 기법 중 AFDPF 기법을 IEEE Std 929-2000에 제시된 독립운전 시험 조건하에서 위상동기기법 영점검출방식(Zero Crossing PLL)을 적용하여 독립운전 시 chopping fraction에 따른 PCC(Point of Common Coupling)의 주파수 변동 특성을 PSIM을 통하여 분석하였다.

1. 서론

최근 여러 가지 신재생에너지를 이용한 분산전원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 태양광 발전, 풍력발전, 연료전지 발전, 소수력 등은 대표적인 신재생 에너지로 각광받고 있으며 세계 에너지 시장의 신재생에너지 점유율이 점진적으로 증가하고 있는 추세이다.

이 중에서 태양광 발전은 독립적으로 부하에 전력을 공급하는 독립형으로 사용되다가 최근에는 계통 연계형(그림 1)으로 적용이 되어 발전효율을 증가시키고 있다.

전력계통이 어떤 외란에 의해 차단된 상태에서 분산전원이 지역 계통망에 계속해서 연결되어 운전하게 되면 계통이 사고 또는 작업등으로 인하여 정전될 경우에도 분산전원시스템이 운전을 계속하여 일정 구간의 계통을 역 충전하는 현상이 일어난다. 이 경우 계통과 시스템의 안전을 확보하기 위해서는 이에 대한 대책이 필요하다[1]. 이러한 문제는 IEEE Standard 929-2000에 언급되고 있다[2].

현재까지 독립운전 검출기법은 여러 가지 방법들이 개발되어 왔고, 이 검출기법들은 전압위상급변 검출기법, 제 3고조파 검출기법의 수동적인 기법과 부하 임피던스 체크 기법, Slip Mode Frequency Shift 기법, 전력변동기법, 주파수 바이어스 기법등의 능동적인 기법으로 분류되며 각각의 장·단점들이 보고 되고 있다[3].

본 논문에서는 단상 계통연계형 태양광 발전용 PCS의 기존에 제안된 독립운전 검출기법 중 능동적 기법인AFDPF에 대하여 고찰하고, 독립운전 시험 규격인 IEEE Std 929-2000의 부하조건 하에서 AFDPF기법을 위상동기기법인 영점검출방식(zero crossing PLL)[4]을 적용하여, 독립운전 발생 시 이를 검출하기 위한 반주기 chopping fraction에 따른 주파수 변동을 PSIM시뮬레이션을 통하여 제시하고 검증하였다.

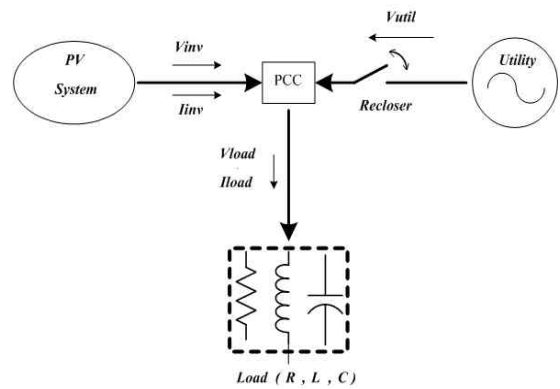


그림1 계통 연계형 태양광 시스템의 계통 및 부하 연결도
Fig. 1 PV PCS / utility feeder configuration

2. Active Frequency Drift 기법

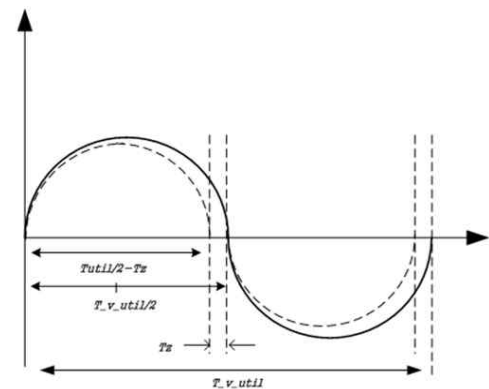


그림 2 AFD방식의 계통 전압과 전류 파형
Fig. 2 The waveforms of the current and utility voltage with AFD method

그림 2는 AFD방식의 계통전압과 전류 파형이다. AFD방식은 정현파 형태인 계통전압의 기준신호에 적절한 조작을 가하여 계통전압의 주파수를 기준으로 전류*f(t)*의 한 주기 주파수는 계통전압과 동일하나, 전류의 반주기 주파수를 빠르게 또는 느리게 제어 시켜 독립운전을 검출하는 방식이다[5].

여기서, T_{v_util} 는 계통전압의 한 주기를 나타내고,

계통전압의 반주기는 $T_{v_util}/2$ 로 나타낼 수 있다. $T_{v_util}/2 - Tz$ 는 PCS의 출력전류의 반주기를 나타낸다. 식(1)에서 CF(Chopping fraction)는 반주기동안 0인 구간 Tz 를 이용하여 한 주기 동안 전류가 0인 구간을 나타낼 수 있다.

$$Chopping\ Fraction(CF) = \frac{2Tz}{T_{v_util}} \quad (1)$$

3. Active Frequency Drift Positive Feedback 기법

AFDPF 기법은 AFD기법에서 상수로 고정된 CF를 PCS의 샘플링 주파수에 의하여 계산되는 계통 전압의 한주기 샘플링 개수와 기준 주파수와의 오차에 이득을 곱하여 CF값을 변동시키는 기법이다. 즉, 독립운전 발생시 CF값을 변동시켜 출력전류의 주파수를 증가시키고, 독립운전 발생시 출력전류의 주파수가 증가하면, 이 전류에 의하여 연계점 전압의 주파수를 증가시킴으로써 독립운전으로 판단하는 기법이다[3].

AFDPF기법에 사용된 CF는 식(2)과 같다.

$$cf = cf_0 + K(f - f_r) \quad (2)$$

여기서, cf_0 는 초기값, K 는 이득, f 는 샘플링 개수에 의한 계통전압의 주파수, 그리고 f_r 는 계통전압의 기준 주파수이다.

3.1 한 주기 영점검출방식의 AFDPF 기법

계통전압의 주파수를 계산하는데 PCS에 사용되는 기법 중의 하나가 영점검출방식이다. 이 기법은 매 샘플링 주기마다 계통전압의 크기를 감시하여 과거의 값 $[n - 1]$ 이 음(-)이고, 현재의 값 $[n]$ 이 0또는 양(+)의 값일 경우부터 다음 주기의 과거의 값 $[n_k - 1]$ 이 음(-)이고, 현재의 값 $[n_k]$ 이 0또는 양(+)의 경우까지 카운트를 증가시킨다. 즉 계통전압이 음(-)에서 양(+)으로 변하는 순간까지의 카운트의 개수에 샘플링 시간을 곱하여 역수를 취하면 감시하는 계통전압의 한 주기의 주파수를 계산할 수 있다. 이 관계는 식(3)과 같다[4].

$$\text{계통 전압주파수} = \frac{1}{\text{sampling 개수} \times \text{sampling 시간}} \quad (3)$$

AFDPF의 제어 기법은 위상정보를 가공하는데 초점이 있다. 즉, 계통전압 한 주기 동안에 위상정보가 0에서 2π 까지 증가하는 것에 CF가 반영되도록 위상정보를 가공한다. 계통전압의 한주기 동안 위상정보(ωt)는 PCS의 제어주기에 맞추어 증가한다. 이 위상정보의 증분($\Delta \omega t$)은 식(4)와 같고, 위상(ωt)은 식(5)과 같다.

$$\Delta \omega t = \frac{2\pi}{\text{계통전압한주기의 샘플링 개수}} \quad (4)$$

$$\omega t = \omega t + \Delta \omega t \quad (5)$$

그러므로 CF가 반영된 증분($\Delta \omega t_{cf}$)은 아래 식(6)과 같이 계산되고, 위상(ωt_{cf})은 식(7)과 같다.

$$\Delta \omega t_{cf} = (1 + \text{chopping fraction}) \times \Delta \omega t \quad (6)$$

$$\omega t_{cf} = \omega t + \Delta \omega t_{cf} \quad (7)$$

ωt_{cf} 은 ωt 에 비하여 큰 값으로 계통 전압 한주기 동안 증가하는 ωt_{cf} 값이 2π 를 넘게 됨으로 위상 ωt_{cf} 가 AFD의 전류위상과 동일하도록 제어하여야 한다.

3.2 반 주기 영점검출방식의 AFDPF 기법

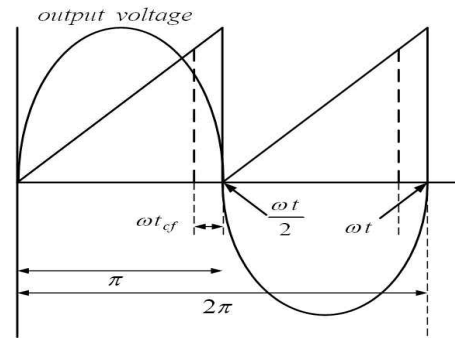


그림3 반주기에 대한 ωt 와 ωt_{cf} 의 비교

Fig.3 Compare of ωt and ωt_{cf} for half period

그림 3은 제안한 반주기 영점 검출방식이다. 한 주기를 $\omega t = 2\pi$ 라 했을 때, 반주기는 $\frac{1}{2}\omega t = \pi$ 가 된다. 그때 전체 샘플링의 개수가 208개라면, 반주기는 104개가 된다. 그 반주기에 CF를 반영하면, 반주기 구간 π 일때, 0점 앞까지의 구간을 제외하면, ωt_{cf} 구간만 남게 된다. 반주기마다 ωt_{cf} 구간 즉, 주기적으로 영점이 나타나게 된다.

4. 시뮬레이션 결과

그림 4는 본 논문 내용의 타당성을 증명하기 위한 PSIM 시뮬레이션 회로도이다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터는 표 1에 나타내었다. 그림 5는 반주기에 대하여 위상이 만큼 2π 와 π 를 넘어서지 않고 ωt_{cf} 앞서게 되게 위상을 조절 할 수 있다.

독립운전 시험 규격인 IEEE Std 929-2000의 계통전압의 정상 범위인 60.2Hz ~ 59.8Hz에 관하여 그림 6과 그림 7은 0.2sec 이후에 외란이 발생하고 반주기 위상에 CF가 반영되어 ωt_{cf} 의 위상이 제어되어 계통 전압의 주파수가 변하게 되는 것을 알 수 있다.

CF의 샘플링 개수가 반주기의 104개면 평균적으로 반주기의 chopping fraction 2.09%이하에는 정상 주파수범위 내에서 동작을 하여 독립운전을 검출할 수 없으나, 3%이상부터는 정상 주파수 범위를 벗어나기 때문에 독립운전을 검출 할 수 있게 된다.

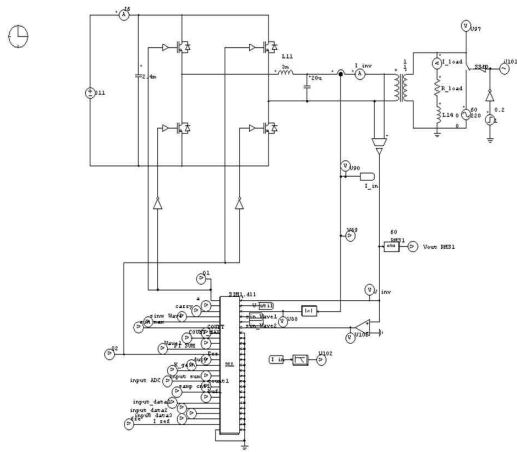


그림4 독립운전 시뮬레이션에 사용된 회로
Fig. 4 A circuit using Anti-Islanding Simulation

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System Parameter

| | | |
|---------------------|----------|----------|
| Input Voltage | | 380 Vdc |
| Switching Frequency | | 10kHz |
| LC-Filter | L-Filter | 3mH |
| | C-Filter | 20uFΩ |
| Load | R_load | 16.391Ω |
| | L_load | 17.931mH |

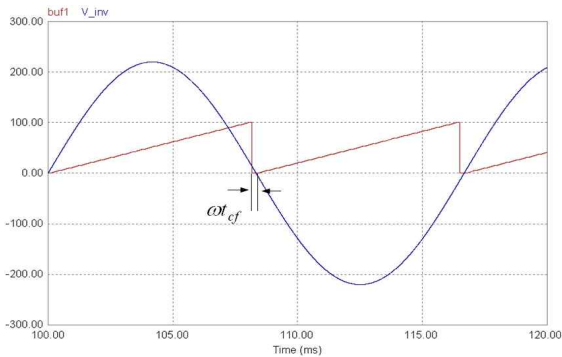


그림5 Chopping Fraction에 의한 AFDPF의 위상
Fig. 5 Phase of AFDPF by the Chopping Fraction

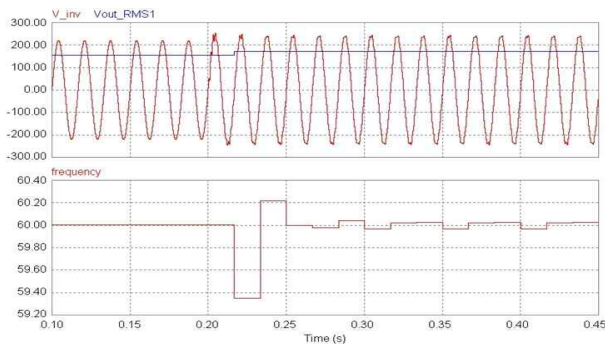


그림6 Chopping Fraction이 2.09%일 때, 주파수 변동(average frequency = 60.1Hz)
Fig.6 Frequency variation characteristics according to 2.09% Chopping Fraction (average frequency = 60.1Hz)

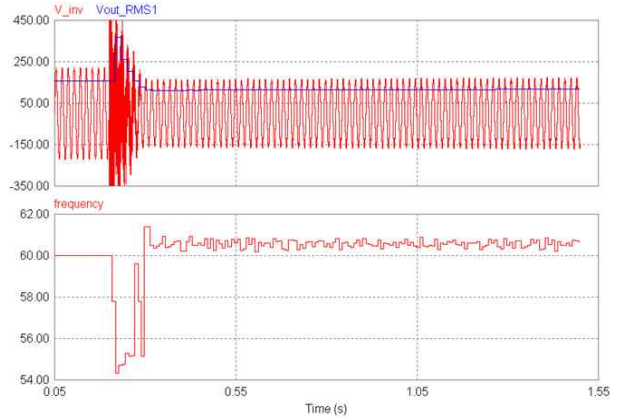


그림7 Chopping Fraction이 3%일 때, 주파수 변동(average frequency = 60.23Hz)
Fig.7 Frequency variation characteristics according to 3% Chopping Fraction (average frequency = 60.23Hz)

5. 결론

본 논문에서는 AFDPF에 대하여 고찰하였다. PV인버터의 독립운전 발생시 반주기의 chopping fraction이 반영된 영점검출 방식으로 위상정보를 제어하여 주파수의 변동 특성을 확인할 수 있었다. 하지만 AFDPF에 인가되는 chopping fraction의 값이 늘어 날 수록 고조파는 증가하게 되므로 chopping fraction의 값을 줄여 주면서 고조파를 감소시켜 전력품질을 향상시키는 연구에 대하여 수행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임.

참고 문헌

- [1] John Stevens, Russel Bonn, Jerry Ginn, Sigifredo Gonzalez, Greg Kern, "Development and Testing of an Approach to Anti-Islanding in Utility - Interconnected Photovoltaic System," SAND 200-1939, Unlimited Release, August 2000.
- [2] IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems, IEEE Std. 929-2000, 3 April 2000.
- [3] Michael E. Ropp, Miroslav Begovic, Ajeet Rohatgi, Gregory A Kern, R.H. Boon, "Determining the Relative Effectiveness of Islanding Detection Methods Using Phase Criteria and Nondetection Zones," IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 15, no. 3, SEP. 2000
- [4] 이기욱, 단독운전 검출을 위한 Active Frequency Drift Positive Feedback 기법의 Chopping Fraction Gain. 광운대학교 전기공학과 석사학위논문, 2004.
- [5] M.E. Ropp, M. Begovic, A. Rohatgi. "Analysis and Performance Assessment of the Active Frequency Drift Method of Islanding Prevention", IEEE Transactions on Energy Conversion. vol. 14, no. 3, Sep. 1999.