

## 계통연결형역변환기에서 개선된 능동주파수표류방법에 기초한 계통정전수감에 대한 연구

조승일, 김성일

계통연결형역변환기는 태양빛전지에서 생산되는 전기를 교류로 전환시켜 전력망에 넣어주면서 동시에 국부부하에도 전력을 공급한다.(그림 1)

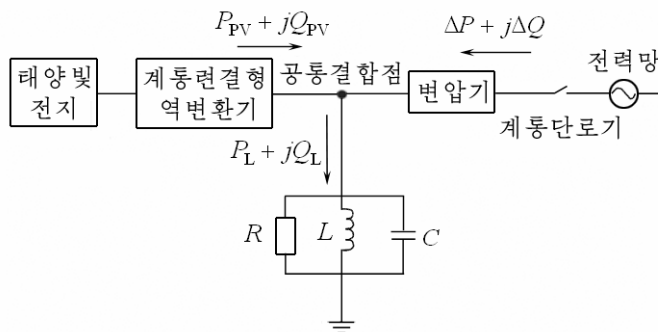


그림 1. 계통연결형역변환기에 의한 분산형발전체계구성

분산형태양빛발전체계가 전력망에 연결되어 정상동작하던 도중에 전력망쪽에서 점검보수를 진행하거나 고장으로 선로가 끊어지는 경우에 전력망에 연결된 역변환기가 전력망의 정전을 제때에 수감하지 못하면 전력망과 국부부하에 전력이 계속 공급되는 현상이 일어나게 된다.

따라서 공통결합점의 전압과 주파수가 불안정하게 되고 배전계통과 전기설비들의 안전한 동작에 영향을 주게 된다.

또한 전력망이 다시 회복되는 경우 태양빛발전체계의 출구전압과 전력망전압의 위상이 다른것으로 하여 아주 큰 전류가 흘러 태양빛발전체계와 부하계통이 파괴될수 있다.

여기로부터 태양빛발전체계는 안정성, 믿음성 등을 고려하여 반드시 계통정전을 즉시 수감하여 역변환기의 동작을 중지시켜야 하며 부하에로의 전원공급을 중단하고 전력망운행에 안전한 점검보수와 보호를 보장해야 한다.

따라서 현재 분산형태양빛발전체계의 안전한 운영을 위한 계통정전수감에 대한 연구 [1]가 활발히 진행되고있다.

널리 리용되고있는 계통정전수감방법에는 크게 피동수감방법과 능동수감방법이 있다.(그림 2)

능동주파수표류방법은 실현하기가 쉽고 검출효과가 높은것으로 하여 광범히 리용되는 방법이다.

이 방법에서는 식 (1)에서 보는것처럼 계통연결형역변환기의 출구전류의 기준신호에 약간의 섭동신호를 추가하여 역변환기출구전류의 주파수와 공통결합점전압의 주파수를 차이나게 한다. 즉 전력망이 정상일 때에는 공통결합점전압의 진폭과 주파수가 변화되지 않지만 전력망이 정전되었을 때에는 공통결합점전압의 진폭과 주파수는 부하에 따라 달라져

역변환기의 출력과 국부부하에서의 소비전력이 일치되는 경우에도 섭동신호때문에 공통결합점전압의 주파수, 진폭이 변화되게 되며 따라서 계통정전을 정확히 판단하게 된다.

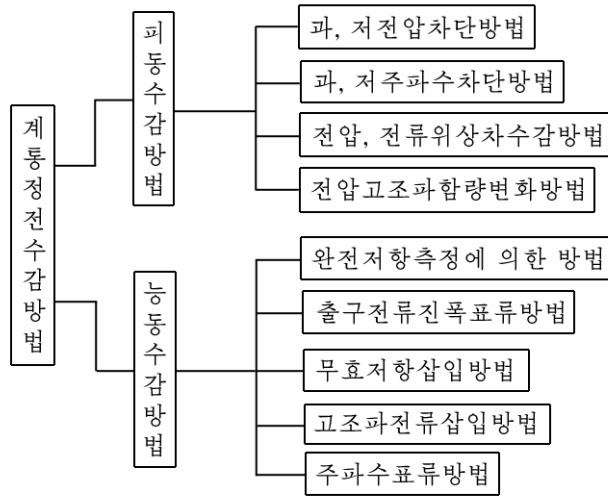


그림 2. 계통정전수감방법의 종류

$$i_{afd}(t) = \begin{cases} I \sin(2\pi f' t), & 0 \leq \omega t < \pi - t_z \\ 0, & \pi - t_z \leq \omega t < \pi \\ I \sin(2\pi f' t), & \pi \leq \omega t < 2\pi - t_z \\ 0, & 2\pi - t_z \leq \omega t < 2\pi \end{cases} \quad (1)$$

여기서

$$f' = f \left( \frac{1}{1 - c_f} \right) \quad (2)$$

이고  $c_f$  는 단절결수로서 계통연결형역변환기의 출구전류가 령점을 지난 후 전력망전압이 령점을 지날 때까지의 시간과 전력망전압의 반주기사이의 비로 정의한다.

$$c_f = \frac{\Delta T}{T_{\text{계통}}/2} \quad (3)$$

식 (1)에서와 같이 능동주파수표류방법을 적용하는 경우에 계통전압과 역변환기출구전류의 파형을 보면 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 계통연결형역변환기의 령률이 1이라고 할 때 출구전류와 계통전압의 위상은 완전히 일치하게 된다.

그러나 능동주파수표류방법을 적용하면 그림 3으로부터 알수 있는것처럼 역변환기출구전류와 전력망전압사이에는 약간의 위상차가 존재하게 된다. 즉 정의 반주기에서는 계통연결형역변환기의 출구전류가 령점을 지날 때 전력망전압은 아직도 령점에 도달하지 못하며 이때 전력망전압이 령이 될 때까지 역변환기의 출구전류가 령이 되도록 하며 후의 반주기에서도 이와 같은 과정이 반복되게 된다.

따라서 전력망이 정전된 경우에 능동주파수표류방법에 의하여 공통결합점의 전압의 주파수변화가 점점 커지게 된다.

그러나 능동주파수표류방법은 부하특성에 따라 전류이저리집정도를 크게 하지 않으면 정전을 제때에 수감할수 없으며 정전수감시간도 느린 결함이 있다.

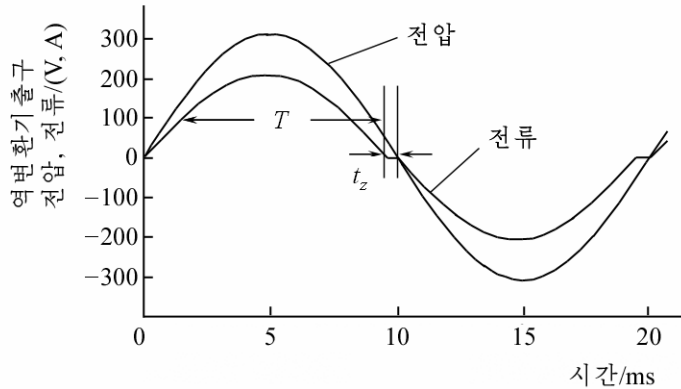


그림 3. 계통전압과 역변환기출구전류의 파형

론문에서는 능동주파수표류방법의 결함을 극복하고 역변환기출구전류에 크게 영향을 주지 않으면서도 계통정전을 빨리 수감할수 있는 개선된 주파수표류방법을 제안하였다.

개선된 주파수표류방법은 정귀환능동주파수표류방법과 2N주기출구전류섭동방법을 결합한 계통정전수감방법이다.

정귀환능동주파수표류방법에서는 단절결수를 일정하게 고정하지 않고 계통주파수의 변화에 따라 다음과 같이 변화시킨다.[2]

$$cf_{n-1} \rightarrow f_{n-1}^{\uparrow} \rightarrow F(\Delta w) \rightarrow cf_{n-1}^{\uparrow} \rightarrow cf_{n-1}^{\uparrow\uparrow} \quad (4)$$

여기서

$$cf_n = cf_{n-1} + F(\Delta w_n) \quad (5)$$

이다.

식 (4)에 따르는 정귀환능동주파수표류방법의 알고리즘은 그림 4와 같다.

알고리즘에서 보는바와 같이 전력망이 정상일 때에는 전력망주파수가 진동하고 수감할 때 오차가 생겨 정귀환방법이 주파수를 변화시킬수 있지만 전력망의 평형작용으로 하여 다음번 수감때에는 주파수변화는 일어나지 않으며 따라서 공통결합점의 전압과 출구전류의 위상차는 일정하게 고정되게 된다.

그러나 전력망이 정전되었을 때에는 출구전류에 의하여 공통결합점전압의 주파수는 변화되므로 정귀환주파수표류방법에 의하여 주파수변화가 점점 커져 출구전류가 더 세게 이저리지게 된다.

그리고 이 과정을 계속 반복하면 공통결합점의 전압주파수가 허용값을 초과하게 되며 파/저주파수차단기능에 의하여 역변환기의 동작을 중지하게 된다.

능동주파수표류방법에서는 주파수를 일정한 크기로 증가시키지만 정귀환주파수표류방법을 적용하면 단절결수를 계통주파수변화에 따라 점점 더 크게 하므로 빠른 시간내에 정전을 수감할수 있다.

또한 능동주파수표류방법은 계통정전시에 주파수를 한방향으로 증가시키지만 정귀환능동주파수표류방법은 주파수표류를 부하특성에 따라 증가 혹은 감소시키므로 부하특성

에 관계없이 계통정전을 정확히 수감할수 있게 한다.

정규환능동주파수표류방법에서는 2개의 파라미터를 초기단절결수  $c_{f_0}$  과 정규환결수  $k$  를 합리적으로 결정하여야 한다.

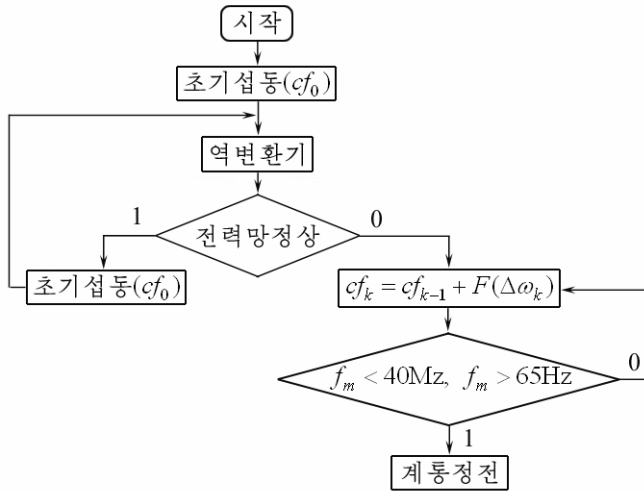


그림 4. 정규환능동주파수표류방법의 알고리즘

초기단절결수의 크기는 불감구역의 위치만을 변화시키고 불감구역의 폭은 변화시키지 못하며 오히려 이 결수의 크기를 지내 크게 한다면 계통연결형역변환기의 출구전류의 총고조파함량을 증가시키므로 될수록 작게 정한다.

불감구역이 존재하지 않자면 일반적으로 정규환결수의 값이 다음과 같은 범위에 있어야 한다.

$$k > \frac{4Q_f}{\omega_0} \quad (6)$$

여기서  $\omega_0 = 100 \text{ rad/s}$  이므로  $k > 0.032$ ,  $c_{f_0} = 0.02$  이다.

한편 정규환능동주파수표류방법을 적용하는 경우에 불감구역은 다음과 같다.

$$\frac{\tan\left[\frac{\pi}{2}(c_{f_0} + K \times \Delta f)\right]}{Q_{f_0}} - \frac{\Delta f}{f_0} + 1 < C_{norm} < \frac{\tan\left[\frac{\pi}{2}(c_{f_0} - K \times \Delta f)\right]}{Q_{f_0}} + \frac{\Delta f}{f_0} + 1 \quad (7)$$

식 (7)에서 보는바와 같이 초기절단결수  $c_{f_0}$  의 증가는 불감구역의 크기를 기본적으로 변화시키지 못하지만 자리표평면에서 불감구역의 위치는 변화시킬수 있다.

정규환결수  $k$  가 클수록 불감구역이 작지만 지내 크면 수감이나 계산정확도에서 약간의 오차가 발생하여도 이지러짐이 아주 커지게 된다.

정규환결수  $k$  의 증가는 불감구역을 줄이며 출구전력의 질에 영향을 적게 주기때문에 일정한 우량도범위내에서  $k$  값을 합리적으로 설정하면 불감구역을 완전히 없앨수 있다.

그러나 정전시에 절단결수를 점점 증가시킬수록 정전수감을 빨리 할수 있지만 역변환기의 출구전압과 전류가 이지러져 장치가 불안정하게 동작하게 되므로 절단결수를 지내 크게 할수 없다.

따라서 논문에서는 정귀환능동주파수표류방법을 계통련결형역변환기에 적용한 기초우에서  $2N$ 주기출구전류섭동방법을 결합하여 출구전류의 THD를 낮추면서도 외란에 대한 적응능력을 높이고 장치가 불안정하게 동작하지 않게 하였다.

$2N$ 주기전류섭동방법의 원리는 그림 5에서 보는바와 같이 그 전압의  $2N$ (짝수)번째 주기에는 정귀환능동주파수표류방법을 리용하여 기준전류를 변화시키고  $2N+1$ (홀수)번째 주기에는 역변환기출구전류와 공통결합점전압위상을 완전히 일치시켜 기준전류를 전혀 변화시키지 않음으로써 역변환기출구전류의 총 THD합량을 낮추자는데 있다.

이 방법에서는 공통결합점전압의 이웃한 주기들사이의 주파수차가 정 또는 부수로 연속적으로 변화되면 계통이 정전된것으로 본다.

$2N$ 주기전류섭동방법은 역변환기출구전류의 THD를 낮추면서도 부하특성에 관계없이 계통정전을 제때에 수감하는 문제를 해결할수 있게 한다.

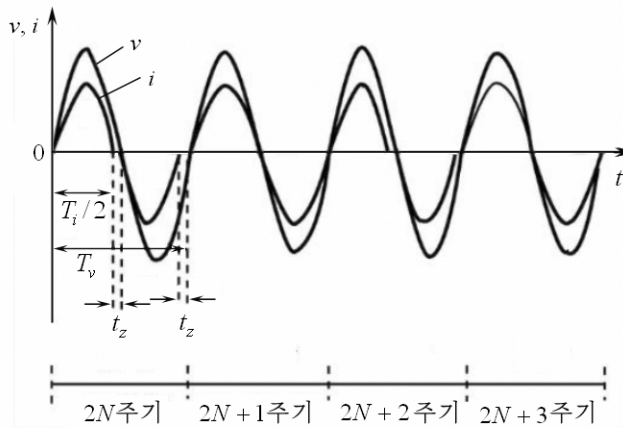


그림 5.  $2N$ 주기전류섭동방법의 원리도

일단 전력망이 정전된 후에 정귀환능동주파수표류방법을 적용한 결과 전압의 주파수가 정전되기 전의 주파수에 비하여 작으면 공통결합점전압의 주파수는 작아지는 방향으로 변화되고 크면 공통결합점전압의 주파수는 커지는 방향으로 변화된다. 일정한 과도과정을 거친 후에는 안정한 상태에 도달하게 되어 전압주파수가 일정하게 변화되게 되지만 이웃한 주기에서 출구전류의 이치러짐이 엇바뀌는 작용에 의하여 전압주파수가 높아졌다 낮아졌다 하는 식으로 점차적으로 변화되게 된다.

최종적으로 이웃한 주기에서 전압주파수는 2개의 값을 가지면서 안정하게 된다. 그중에서  $2N$ 주기에는 전류의 섭동작용으로 하여 공통결합점전압주파수가 비교적 높고  $2N+1$ 주기에는 국부부하에 의하여 주파수가 결정되므로 공통결합점전압주파수가 비교적 낮다. 공통결합점전압주파수가 이웃한 주기에서 주파수차가 연속적으로 정수, 부수로 변화되는 상태가 설정한 값을 초과한다면 계통정전으로 인식하고 역변환기의 동작을 중지한다.

이와 같이 이 방법은 단순히 공통결합점전압주파수가 허용값을 벗어났는가를 판단하고 계통정전을 수감하는것은 물론 이웃한 주기에서 전압주파수차가 정수, 부수로 연속적으로 변화되는 경우에도 계통정전으로 판단하고 정전보호를 진행한다.

우리는 MATLAB모의를 통하여 0.2s에 출구단로기를 개방시키고 각이한 정전수감방

법을 적용하였을 때 역변환기가 정상동작하는 과정에 출구전류에 포함되는 고조파함량과 정전수감시간을 대비분석하여 개선된 능동주파수표류방법의 효과성을 검증하였다.

먼저 지금까지 리용하여오던 능동주파수표류방법을 적용하고 체계모의를 진행하였다.

$c_f = 0.015$ 로 정하고 0.2s에 정전시켰을 때 A상출구전압과 전류파형은 그림 6과 같다.

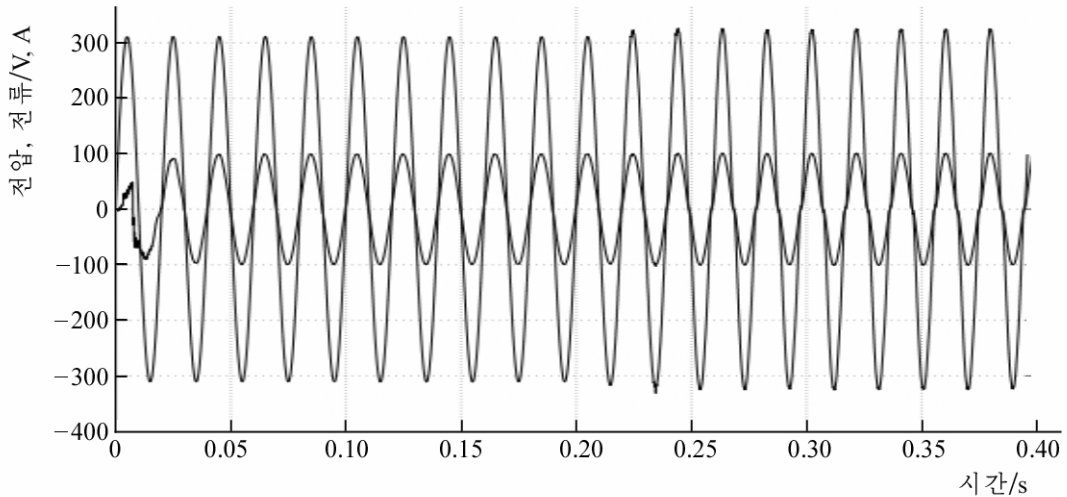


그림 6. 능동주파수표류방법을 적용하였을 때 A상출구전압과 전류파형

그림 6에서 보는바와 같이 능동주파수표류방법을 적용하였을 때 0.2s에 정전된 후 0.4s에도 계통정전이 전혀 검출되지 못하였다.

그것은  $c_f$ 의 크기가 작기때문에 계통이 정전된 후  $c_f$ 에 의한 위상미립과 RLC부하에 의한 위상미립이 서로 상쇄되었기때문이다.

다음 정귀환능동주파수표류방법으로 체계모의를 진행하였을 때 A상전압과 전류파형을 그림 7에 보여주었다.

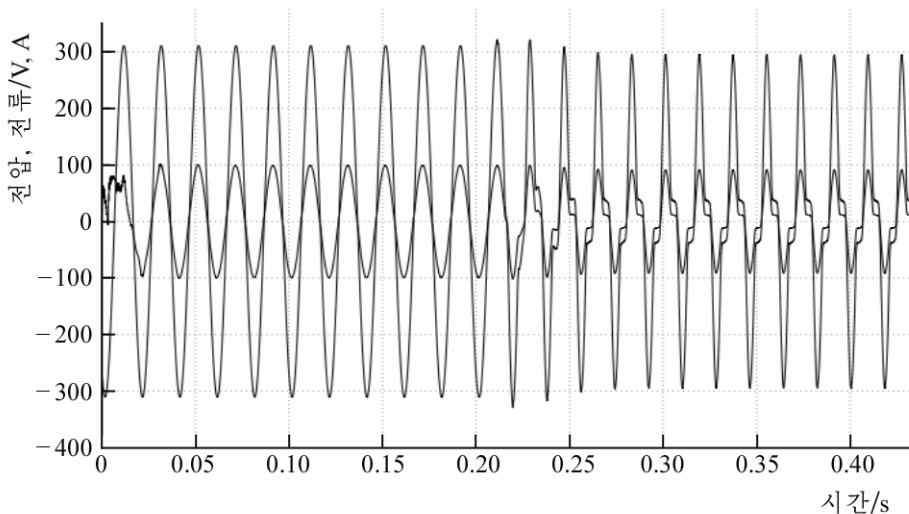


그림 7. 정귀환능동주파수표류방법으로 체계모의를 진행하였을 때 A상전압, 전류파형

그림 7에서 보는바와 같이 0.2s에 계통정전이 일어나서부터 공통결합점전압의 주파수는 연속적으로 증가하여 0.42s인 시각에는 충분히 정전으로 판단할수 있다.

다음 정귀환능동주파수표류방법과  $2N$ 주기출구전류섭동방법을 결합한 개선된 능동주파수표류방법을 적용하는 경우에 공통결합점전압주파수변화를 보면 그림 8과 같다. 이때 계통정전을 정확히 수감하기 위하여 10주기동안 주파수가 연속 변화되면 계통정전으로 판단하도록 하였다.

그림 8에서 보는바와 같이 계통이 정전된 후에 공통결합점의 전압주파수가 역변환기의 정상동작주파수한계구간에 있어도 계통정전을 정확히 제때에 수감한다는것을 알수 있다.

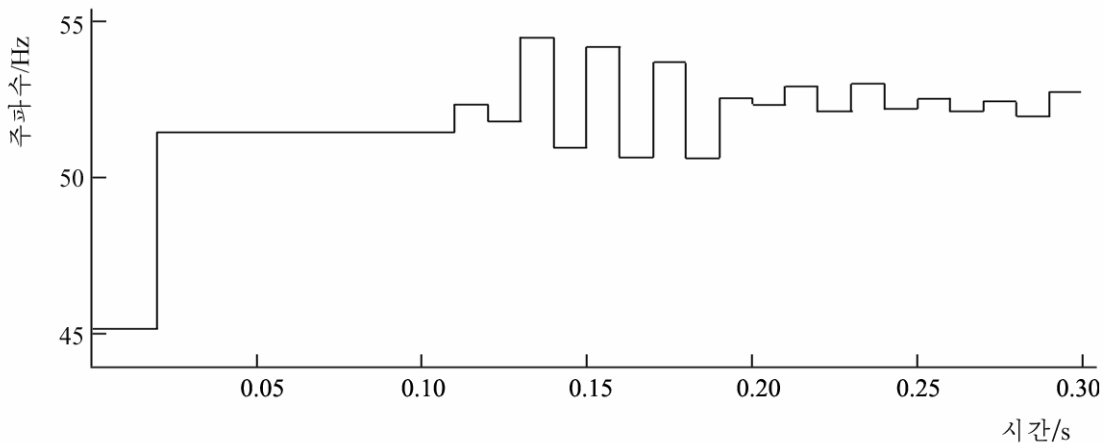


그림 8.  $2N$ 주기 출구전류섭동방법과 정귀환능동주파수표류방법을 적용한 후 주파수변화곡선

위의 분석을 통하여 제안한 개선된 능동주파수표류방법을 리용할 때 역변환기출구전류의 THD는 정전수감방법을 리용하지 않을 때와 거의 같고 정전수감시간은 0.14s로서 이전의 능동주파수표류방법을 리용할 때보다 부하의 영향에 관계없이 계통정전을 수감할수 있으므로 제안한 정전수감방법은 출구전류의 THD에 영향을 작게 주면서도 빠른 시간내에 계통정전을 수감할수 있다는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

능동주파수표류방법에 기초한 정전수감방법의 결함을 극복하고 정귀환주파수표류방법과  $2N$ 주기출구전류섭동방법을 결합하여 개선된 능동주파수표류방법을 제안하고 모의실험을 통하여 그 효과성을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] D. Reigosa et al.; IEEE Trans. Power Electron, 29, 3, 1192, 2014.
- [2] M. Al Hosani et al.; IEEE Trans. Power Deliver, 30, 2, 986, 2015.

## **Research of Detecting Islanding Status Based on Improved Active Frequency Shifting Method in Grid Connect Inverter**

*Jo Sung Il, Kim Song Il*

We proposed the improved active frequency shifting method combined with positive feedback frequency shifting method and  $2N$  period output current perturbation method, and analyzed it.

Keywords: AFD, islanding detect, grid connect inverter