

정밀한 불검출영역 해석을 통한 분산전원 시스템의 새로운 단독운전 방지기법

조영민*, 구분하*, 최익*, 송승호*, 최주엽*, 이영권**, 조상윤***
 광운대학교*, 금비전자**, 다한테크***

A Novel Anti-Islanding Scheme for Distributed Generation System via accurate Analysis of NDZ

Yeong Min Jo*, Bon Ha Gu*, Ick Choy*, Seung Ho Song*,
 Ju Yeop Choi*, Young Kwoun Lee**, Sang Yoon Cho***
 Kwangwoon University*, Keumbee Electronics**, Dahan Tech***

ABSTRACT

본 논문에서는 기존의 불검출영역(Non Detection Zone; NDZ) 해석보다 수식적으로 더욱 정밀하게 NDZ를 분석한다. 또한, 이런 NDZ를 벗어나게 하는 최소 이득의 Positive feedback loop를 가지는 새로운 단독운전 방지기법을 설계하고, 이를 시뮬레이션과 실험을 통해 단독운전 검출 성능을 검증하고 제안하는 기법이 전력품질에 끼치는 영향을 분석한다.

1. 서론

2004년에 Z. Ye는 유·무효전력 차와 기본적인 보호회로에 대한 관계식을 유도하여 NDZ의 이론적 해석을 수행하였다^[1]. 그림 1처럼 기존에는 단독운전 발생 후 병렬 R, L, C 부하의 수치가 미소 변동한다고 가정하고 풀이 과정 중 계산의 편의를 위해 식을 근사화하며 NDZ를 해석하였으나, 정확한 NDZ를 표현하기에 부족하다^[2].

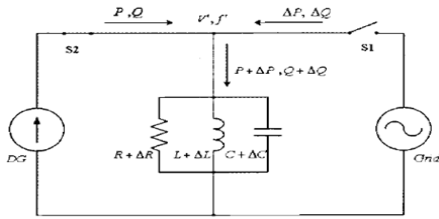


그림 1 단독운전 발생 후 분산전원 시스템의 구성도
 Fig. 1 Configuration of grid-connected DG system after the disconnection of grid

본 논문에서는 이러한 부하 변동의 가정과 근사화하지 않고 더욱 정밀한 NDZ를 해석한다. 그리고 이러한 NDZ를 벗어나게 하는 새로운 단독운전 방지기법을 제안하고, 시뮬레이션과 실험을 통해 그 성능을 검증하고 전력품질에 끼치는 영향에 대하여 분석한다.

2. 새로운 NDZ 해석

계통연계 분산전원 시스템에서 PCC의 전압과 주파수(V_G, f_G)는 단독운전 발생 시 부하의 특성에 따라 새로운 값(V, f)으로 변화하게 된다. 그림 2와 같이 $V-P, \omega-Q$ 그래프에

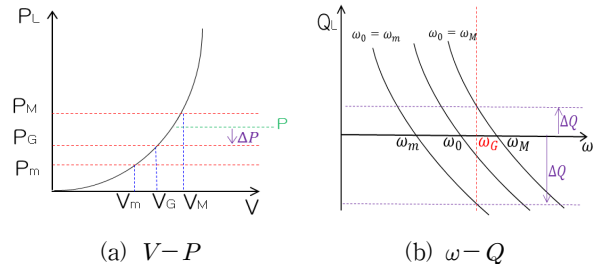


그림 2 $V-P$ 그래프와 $\omega-Q$ 그래프
 Fig. 2 $V-P$ curve and $\omega-Q$ curve

국내외 단독운전 규정의 전압과 주파수 상·하한치를 적용하여 수식적으로 NDZ를 해석한다.

2.1 전압과 유효전력의 관계 수식

그림 2의 (a) 그래프를 참고하여 NDZ에 존재하는 P 와 ΔP 의 범위를 구한 후 정리하면 식 (4)와 같다.

$$P_L(V_m) \leq P \leq P_L(V_M) \quad (1)$$

$$P_L(V_G) - P_L(V_M) \leq \Delta P \leq P_L(V_G) - P_L(V_m) \quad (2)$$

$$\frac{P_L(V_G) - P_L(V_M)}{P_L(V_M)} \leq \frac{\Delta P}{P} \leq \frac{P_L(V_G) - P_L(V_m)}{P_L(V_m)} \quad (3)$$

$$\left(\frac{V_G}{V_M}\right)^2 - 1 \leq \frac{\Delta P}{P} \leq \left(\frac{V_G}{V_m}\right)^2 - 1 \quad (4)$$

2.2 주파수와 무효전력의 관계 수식

그림 2의 (b) 그래프를 참고하여 NDZ에 존재하는 ΔQ 의 범위를 구한 후 정리하면 식 (7)과 같다.

$$Q_L(\omega_G)|_{\omega_0=\omega_m} \leq \Delta Q \leq Q_L(\omega_G)|_{\omega_0=\omega_M} \quad (5)$$

$$P \cdot Q_f \left[\frac{\omega_m}{\omega_G} - \frac{\omega_G}{\omega_m} \right] \leq \Delta Q \leq P \cdot Q_f \left[\frac{\omega_M}{\omega_G} - \frac{\omega_G}{\omega_M} \right] \quad (6)$$

$$Q_f \left[\frac{f_m}{f_G} - \frac{f_G}{f_m} \right] \leq \frac{\Delta Q}{P} \leq Q_f \left[\frac{f_M}{f_G} - \frac{f_G}{f_M} \right] \quad (7)$$

3. 제안하는 단독운전 방지 기법

그림 3은 새롭게 제안하는 기법의 알고리즘을 단상 PV 시스템에 적용한 것이다. 인버터의 출력을 D Q 변환 후 PLL 출력

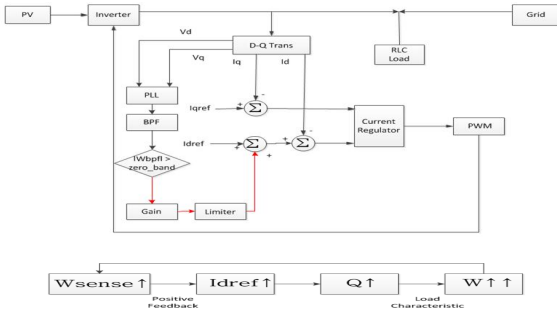


그림 3 제안하는 기법의 알고리즘
Fig. 3 Algorithm of proposed scheme

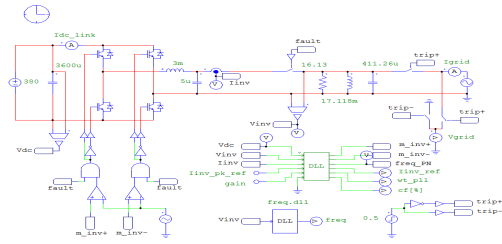


그림 4 PSIM 시뮬레이션 회로
Fig. 4 Simulation circuit in PSIM

ω 를 BPF에 통과시켜, 이 $\Delta\omega$ 가 미소 변동 시 설계된 feedback loop를 통해 증폭된 후 무효전류 지령치에 더해져 결국 주파수를 정상범위 밖으로 증가 또는 감소시켜 단독운전을 검출하게 된다.

본 기법을 설계하기 위해서는 BPF, Zero_band, Gain, Limiter를 적절한 값으로 설정하는 것이 필요하다. BPF는 고주파 노이즈와 저주파 DC offset을 제거하기 위해 사용하고, Zero_band는 정상상태 시 오동작을 하지 않도록 적절한 값으로 설정한다. Gain이 커질수록 단독운전 검출 성능은 좋아지는 반면 전력품질에 악영향을 끼치므로 검출이 보장되는 최소값으로 설정해야 한다. 또한, 인버터의 출력의 크기에 따라 필요한 Gain이 달라지므로 식 (8)과 같이 유효전류 지령치에 비례하도록 설정하면 재설정 없이도 항상 적정 Gain을 유지할 수 있다^[3]. 그리고 위에서 구한 NDZ를 벗어날 수 있는 적정 Gain의 범위는 식 (9)와 같다. Limiter는 허용 가능한 전류의 제한을 위하여 사용한다.

$$K_{pf} = K_a \times i_{q.ref} \quad (8)$$

$$2 \left(\frac{Q_f}{\omega_0} \right) \left(\frac{\omega_{c1}}{\omega_{c2}} + 1 \right) < K_a < \frac{Q_f}{\Delta\omega_{step}} \left[\frac{f_M}{f_G} - \frac{f_G}{f_M} \right] \quad (9)$$

4. 시뮬레이션 및 실험

시뮬레이션 프로그램 PSIM을 사용하여 그림 4와 같은 회로로 시뮬레이션 하였고, 실험에는 다한테크 사의 태양광 모의 전원 장치 pCube와 금비전자 사의 계통연계형 태양광 인버터 S40K를 사용하여 실험하였다.

5. 결론

본 논문에서 기존의 방식보다 더욱 정밀하게 NDZ를 해석하였고, 이를 이용하여 새롭게 제안하는 단독운전 검출 알고리

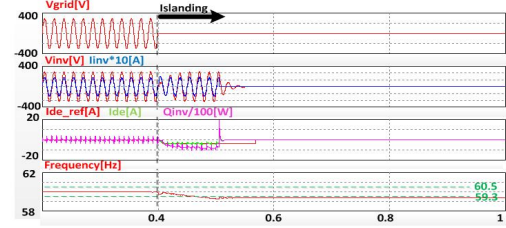


그림 5 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation result

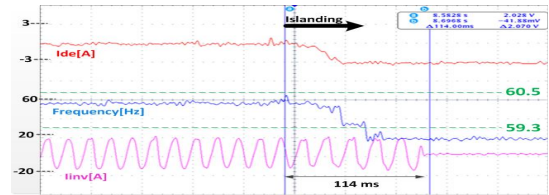


그림 6 실험 결과
Fig. 6 Experiment result

표 1 최소 외란 인가 시 Δ THDi

Table 1 Δ THDi versus the lowest disturbance

AI scheme	Chopping fraction [%]	Δ THDi [%]
AFD	2.5	2.12
	3	2.52
AFDPF	0.5	0.45
FJP	± 2	0.52
FSSPF		0.04

즘을 설계하였다. 또한, 제안하는 검출기법을 단상 PV시스템에 적용하여 그림 5와 6과 같이 시뮬레이션과 실험을 통하여 국내외 단독운전 검출 규정에 충분히 부합하는 것을 확인하였고, 별도의 외란을 인가하지 않고 단독운전을 검출하므로 표 1과 같이 유사한 주파수 변동 기법들과 달리 PCS의 전력품질에 영향을 끼치지 않는 것을 확인하였다.

이 논문은 광운대학교 교내연구비와 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학협력 기술개발사업(No.C0276134)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고 문헌

- [1] Z. Ye, A. Kolwalkar, Y. Zhang, P. Du, R. Walling, "Evaluation of Anti Islanding Schemes Based on Non-detection Zone Concept," *IEEE transactions on power electronics*, Vol. 19, No. 5, pp.1171-1176, 2004.
- [2] Y. S. Jung, "Analysis of Active Islanding Detection Methods for a Single Phase Photovoltaic Power Conditioning Systems", *Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers*, pp.1477-1479, Jul. 2004.
- [3] S. K. Kim, "Frequency Shift Acceleration Control for Anti Islanding of a Distributed Generation Inverter", *IEEE transaction on industrial electronics*, vol. 57, No. 2, pp.494-504, Feb. 2010.