

마이크로소스 인덕터 크기 결정에 관한 기초연구

김영섭, 손광명
 동의대학교 전기공학과

Study on Micro-Sources Modeling and optimal series inductance size

Young-Seob Kim, Kwang-Myoung Son
 Dept. of Electrical Engineering, Donggeui University.

Abstract - Micro-Sources are emerging as a providing environmentally friendly and reliable and effective solution. Micro-Source converter DC voltage of prime mover to AC voltage using voltage source inverter for interjecting with AC grid system. This paper studies optimal series inductance size for interjecting with AC grid system

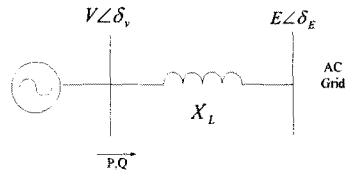


그림 1. 계통에 연계된 Micro-Source 모델

1. 서론

최근, 전력수요의 도시 집중화로 인한 부하를 저하와 대용량 전원의 원격화·편재화가 진행됨에 따라, 수용가 근방에 설치가능한 분산형 전원과 분형 전력저장장치 등, 새롭게 탈력적인 전기 에너지 공급형태의 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 분산형전원은 다양한 연료를 사용할 수 있고 환경보전면에서도 우수한 특성을 가지고 있기 때문에, 부하가 밀집된 도시에서도 손쉽게 설치할 수 있으므로 송전설비의 간략화에 따른 송전손실의 저감을 꾀할 수 있다. [1]에서 부하와 Micro-Source의 cluster 인 Micro-Grid의 개념을 정리하였다. 또한 Micro-Source는 전기적 부하와 열부하에 에너지를 공급하며, Micro-Grid 내의 다른 Micro-Source들과 통신하지 않는 독립적으로 제어 가능한 모델이 제안되었다. Micro-Source 시스템에서는 DC 전원을 생산하고, DC/AC 전압형 인버터(DC/AC Voltage Source Inverter, VSI)를 사용하여 계통에 연계된다. 본 논문에서는 Micro-Source의 전압형 인버터를 통한 계통연계시 유효전력과 무효전력 흐름에 영향을 주는 직렬 인덕턴스의 크기 결정에 관하여 연구하였다.

2. 본론

2.1 Micro-Source 모델

Micro-Source의 전력주파수 영역 동특성은 시스템을 3상평형으로 가정하면, 단상 모델로 해석할 수 있다. 그림 1은 이러한 모델을 보여준다. 이때 Micro-Source는 이상 전압원으로 나타 낼 수 있다. AC Grid에 전송할 전력은 전압원의 전압 크기 V, 전압 위상각 δ_v를 제어하여 유효전력 P 전송량, 무효전력 Q 전송량 결정한다. 또한 무효전력은 AC Grid의 전압크기 E를 유지하면서 투입된다. 제어를 통해 전압크기 V와 위상 δ_v를 제어하여 유효전력 P와 전압크기 E를 유지한다. 인버터 단자의 측정치와 지정 동작 점에서의 유효전력 P와 전압크기 E의 차이로부터 인버터는 전체시스템동작에 응답하는 전압크기 V와 위상 δ_v를 발생시킨다. 이 기기에서 사용된 유효전력, 무효전력에 관한 공식은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} \delta_b &= \delta_v - \delta_E \\ P &= \frac{VE}{X_L} \sin(\delta_b) \\ Q &= \frac{V^2 - VE \cos(\delta_b)}{X_L} \end{aligned} \quad (1)$$

2.2 인덕터의 크기

Micro-Source 모델의 계통연계시 직렬 인덕터는 인버터 과전압 없이 전 범위에서의 유효전력 P와 무효전력 Q를 전송하기 위해 중요하다. 이러한 직렬 인덕터의 크기 X_L은 Micro-Source 출력한계 P_max와 AC Grid 버스전압 E를 고려해서 결정되어야 한다. E=1 p.u. 기준으로 인버터 제어 한계는

- V의 한계 (V_max ≤ 1.2 p.u.)
- δ_b의 한계 (δ_max ≤ 30 degrees)

V_max는 직류 버스 전압과 전력전자소자의 전압 내압을 고려한 것이고, δ_max는 선형 전력제어를 가능하게 하는 한계이다.

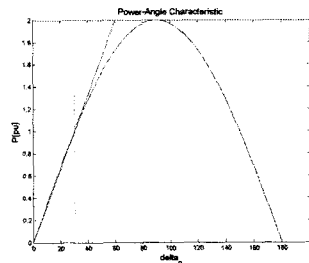


그림 2. Power-angle Characteristic

그림 2는 δ_b = 0~180°동안 유효전력 출력변화이다. 이로써, 유효전력이 선형적으로 변화하는 영역은 δ_b = 0~30°이다.

2.3 인버터 동작 영역

인버터를 디자인할 때 장치의 정격을 결정하는 것이 중요하다. 인버터는 적어도 최대전력을 공급할 수 있는 정격을 가져야 한다. 일반적으로 인버터 출력한계는 전력 전자소자가 안정적으로 공급할 수 있는 최대 전압과 최대 전류의 형태이다. 이러한 것을 고려하여 인버터의 유효전력, 무효전력의 정격을 디자인할 수 있다. 디자인된 유효전력, 무효전력 크기는 인버터 출력한계(정격)를 결정한다. 인덕터의 크기는 정격 유효전력, 무효전력을 AC Grid에 공급 가능하여야 한다. 인버터는 전력전자소자의 정격과 prime mover 정격을 함께 고려한 네 가지의 출

력한계(정격)를 가진다. 이러한 인버터 출력한계에서 각각 인버터 동작 영역(Inverter Operation Area : IOA)을 가진다.

2.3.1 역률을 고려한 인버터 출력한계

인버터가 역률 한계를 가지는 경우의 인버터 출력 한계를 말한다. 일반적으로, 최대 출력 VA는 역률이 가장 작은 때이고, $\mu \geq |\mu_{\min}|$ 이어야 하기 때문이다. $\mu_{\min} = 0.75$ 이라면 최대 출력 VA = $P_{\max} / 0.75 = \sqrt{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}$ 이다

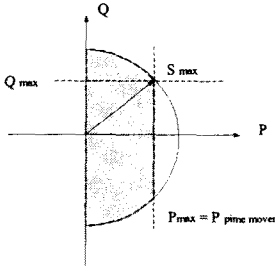


그림 3. 역률에 의한 한계

그림 3 은 역률 한계에 의한 인버터동작영역을 음영 부분으로 표시 하였고, 이는 prime mover 정격 유효전력 한계 내에서 인버터가 AC 시스템에 공급할 수 있는 P 와 Q 의 영역을 보여준다.

2.3.2 고정된 Q 의 값을 가진 경우

인버터가 일정한 Q를 출력하는 한계를 가질 경우를 고려한 한계이며, 이때 Q = 0 일 필요는 없다.

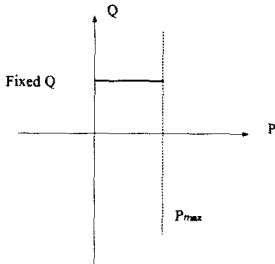


그림 4. 고정된 Q 의 값을 가진 경우

그림 4 는 이 경우 인버터 동작 영역(IOA)을 보여준다.

2.3.3 최대 Volt-Ampere 정격

P 와 Q 정격이 결합된 형태로 인버터가 견딜 수 있는 최대 Volt-Ampere 한계이다. 출력 유효전력이 피크치 동안 무효전력을 공급하는 것을 가정한다.

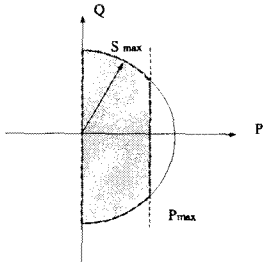


그림 5. 최대 Volt-Ampere 정격

그림 5의 음영 부분이 이러한 경우의 인버터 동작 영역

(IOA)을 보여준다.

2.3.4 최대 전류 크기

앞의 1.3 경우와 동일 상태에서 만약 인버터 단자 전압 V가 고정된 값이면, (만약 전압이 작아지면, IOA영역도 작아진다.) 이때 최대전류는 인버터의 한계를 직접적으로 고려한 값이어야 한다. 여기서 인버터 동작영역(IOA)은 그림 5의 음영부분과 같다. 원의 반지름은 $S_{\max} = VI_{\max}$ 이고, $V \leq \frac{P}{I_{\max}}$ 일때 인버터 동작영역(IOA)은 원 전체에서 최대 공급전력이 $P_{\text{prime mover}}$ 보다 적은 영역이 된다.

$$P_{\max} = VI_{\max} < P_{\text{prime mover}}$$

2.4 최대 인덕터 크기 기준

식 (1)은 주어진 시스템 파라미터로부터 P 와 Q 의 전송량을 알 수 있게 해준다. 이 식으로부터 인덕턴스가 커지면 적은 전력을 공급하고, 인덕턴스가 작아지면 많은 전력을 공급하는 것을 알 수 있다. 이점을 고려하여 최적 인덕터 크기를 찾을 수 있다. 만약 인덕터가 최적 크기보다 작다면, 전력을 더 공급할 수 있다. 즉 최적화된 인덕터 크기는 인덕터가 가질 수 있는 최대 크기임을 알 수 있다.

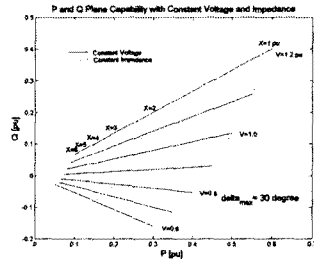


그림 6. $\delta_p = 30^\circ$ 일때 P 와 Q 전송량

그림 6 은 식 (1)으로부터 P 와 Q는 계산되고 $\delta_p = \delta_{p_{\max}} = 30^\circ$, $E = 1$ p.u. 일 때의 그림이다. 이때 $0.6 \leq V \leq 1.2$ p.u., $1 \leq X \leq 6$ p.u. 의 범위를 가진다. 여기서 P 와 Q를 공급할 때 인덕터 크기가 미치는 효과를 명확히 보여준다. 이 그림과 이하에서 단위 법으로 시스템을 표현한다. $S_B = 1$ MVA 와 prime mover의 정격전력은 100 KVA 이고, 그때 인버터에 의해 도달할 수 있는 P 와 Q 의 양은 0.1 p.u. 주변이다. 그림 7 은 $0.6 \leq V \leq 1.2$ p.u., $0^\circ \leq \delta_p \leq 30^\circ$ p.u. 이고, 각각 $X_L = 3$ p.u., 2 p.u., 1 p.u. 일 때의 P 와 Q 전송량이다. 전송량영역을 Ω 영역으로 정의하면, 인덕터 크기가 감소할 때 Ω 영역이 넓어진다. 이상적인 인덕턴스 크기는 다음과 같이 정의할 수 있다.

- Ω 영역은 지정된 E, V, δ , X 범위내의 P-Q 평면상의 영역이다.
- 인버터 동작 영역(IOA)은 P-Q 평면상에서 표현되는 인버터의 운전가능 영역이다.
- X_L 의 이상적인 사이즈는 $IOA \in \Omega$ 를 만족하는 최대 임피던스이다.

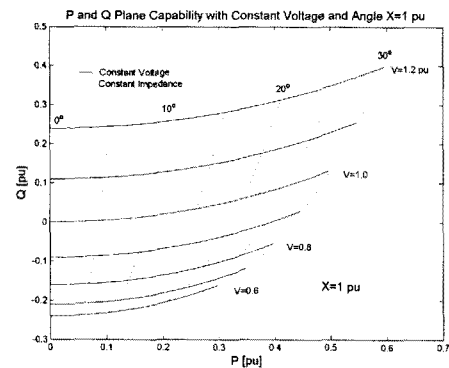
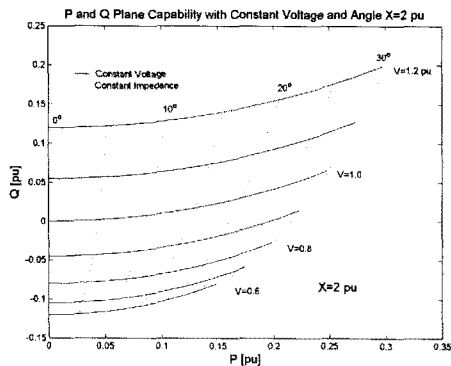
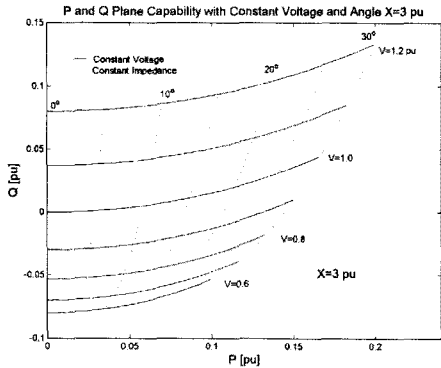


그림 7. $X = 3 \text{ p.u.}$, 2 p.u. , 1 p.u. 일때의 P 와 Q 전송량

2.5 최적의 인덕터 크기

그림 8.에서 Prime Mover 의 출력을 고려한 P-Q 공급 곡선과 인버터 동작영역(IOA)을 함께 그려보았다. 그림 14.에서 인버터 동작영역(IOA)를 적절하게 수용하는 P-Q 공급 곡선은 X_L 크기가 2.1 p.u. 인 영역이다.

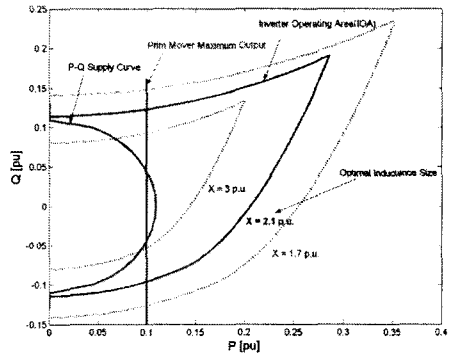


그림 8. 최적 인덕터 크기

3. 결론

본 논문에서는 Micro-Source의 독립적으로 제어 가능한 모델을 제안하였고, 계통연계시 전압형 인버터의 과전압을 방지하면서 유효전력 과 무효전력 전범위 공급에 필요한 적절 인덕턴스의 최적 크기를 구하였다. 인덕턴스 최적크기는 Micro -Source의 최대출력 유효전력과 전력 전자소자의 정격을 고려하여 인버터의 동작 영역 과 지정된 E , V , δ , X 범위내의 P-Q 평면상의 영역을 비교하여 선정하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Lasseter, R.H. "MicroGrids", Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE , Volume: 1 , 27-31 Jan. 2002, Page(s): 305 -308 vol.1
- [2] Lasseter, R.H. "Dynamic models for micro-turbines and fuel cells", Power Engineering Society Summer Meeting, 2001. IEEE , Volume: 2 , 15-19 July 2001, Page(s): 761 -766 vol.2
- [3] Lasseter, R.H. Piagi, P. "Providing premium power through distributed resources", System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on , Jan 4-7, 2000, Page(s): 1437 -1445
- [4] Venkataramanan, G. Ilindala, M. "Microgrids and sensitive loads", Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE , Volume: 1 , 27-31 Jan. 2002, Page(s): 315-322 vol.1