

계통 연계형 PCS의 Seamless Transfer를 위한 3상 간접전류제어기 설계

윤선재, 김영우, 최세완
서울과학기술대학교

Design of 3-phase Indirect Current Controller for Seamless Transfer of Grid-Connected Inverter

Sunjae Yoon, Youngwoo Kim, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

마이크로그리드 또는 발전용 연료전지 시스템과 같이 계통 이상 시 독립운전으로의 모드전환이 필요한 응용에서 과도현상을 최소화하는 Seamless Transfer 기술이 필수적이다. 모드전환 시 전압제어를 유지함으로써 이러한 과도상태를 최소화할 수 있는 간접전류제어 알고리즘이 제안된 바 있다. 그러나 제어기 모델에 의한 해석이 불가능하므로 제어 파라미터 설정이 어려운 단점이 있었다. 본 논문에서는 인버터의 모델을 고려하여 제어기를 해석함으로써 원하는 제어대역폭과 위상마진을 갖는 제어기의 게인 설정을 가능하게 하였다.

1. 서론

마이크로그리드 또는 연료전지 발전시스템에서는 계통 이상 시 중요부하에 지속적인 전원 공급을 위해 독립운전으로 전환해야 한다. 모드전환 시 기존의 제어 방식으로는 전류제어에서 전압제어로 제어기를 전환해야 하므로 인버터전압에 과도상태가 커서 MBOP 등 중요부하에 심각한 영향을 줄 수 있다.^[2] 따라서 이러한 응용의 계통연계 인버터에서는 모드전환 시 출력전압의 과도현상을 최소화하는 Seamless Transfer 기술이 필수적이다.

최근, 독립운전 시 뿐 아니라 계통연계 시에도 전압제어를 유지함으로써 단독운전 검출 후 뿐만 아니라 검출 전에도 과도상태 없이 모드 전환할 수 있는 간접전류 제어기법^[1]이 제안된 바 있다. 그러나 전압의 레퍼런스를 만들기 위해 복잡한 연산을 필요로 하며 제어기 모델에 의한 해석이 불가능하므로 제어 파라미터 설정이 어려운 단점이 있었다.

본 논문에서는 인버터의 모델을 고려한 개선된 간접전류 제어기법의 제어 파라미터 설계 방법을 제안한다. 이러한 방법으로 원하는 제어대역폭과 위상마진을 갖는 제어기의 게인설정이 용이하게 되었다. 제안된 설계 방법은 시뮬레이션 및 실험으로 그 타당성을 검증하였다.

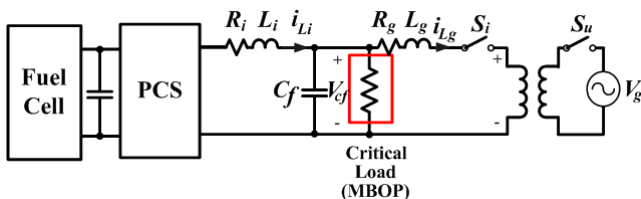


그림 1 연료전지 발전시스템 구성도

2. 제어기 설계

그림 1은 발전용 연료 전지 시스템의 구성도이며, 그림 2는 개선된 3상 간접전류제어^[2] 기법의 블록도이다. 제어기에 의해 디커플링이 완벽하게 되는 경우 그림 3으로 시스템을 간략화할 수 있으며, 내부 전압루프가 외부 전류루프보다 충분히 큰 제어대역폭을 갖는다면 내부루프의 게인을 1로 근사할 수 있다.^[3] 내부루프를 1로 근사한 전체시스템의 페루프 전달함수는

$$\frac{i_{Lg}^{dq}(s)}{i_{Lg}^{dq*}(s)} = \frac{K_{pc}s + K_{ic}}{s^2L_g + (R_g + K_{pc})s + K_{ic}} \quad (1)$$

이다. 이 때 원하는 외부 전류제어루프의 댐핑을 ζ , 대역폭을 ω_c 라 하면 전류제어기 게인은 $K_{pc} = 2\zeta\omega_cL_g - R_g$, $K_{ic} = \omega_c^2L_g$ 으로 선정할 수 있다. 또한 내부 전압제어루프의 페루프 전달함수는

$$\frac{v_{Cf}^{dq}(s)}{v_{Cf}^{dq*}(s)} = \frac{(K_{pv}s + K_{iv} + K_{dv}s^2)(sL_g + R_g)}{As^4 + Bs^3 + Cs^2 + Ds + E} \quad (2)$$

이며 여기서 $A = L_iC_fL_g$, $B = R_iC_fL_g + L_iC_fR_g + K_{dv}L_g$, $C = K_{dv}R_g + L_i + R_iC_fR_g + K_{pv}L_g + L_g$, $D = K_{pv}R_g + R_i + K_{iv}L_g + R_g$, $E = K_{iv}R_g$ 이므로 특성다항식의 각 계수를 PID게인을 통해 변경하여 시스템을 안정하게 만들 수 있다. 전압제어기의 대역폭은 전류제어기의 대역폭보다 크게 설정해야하며 원하는 전압제어루프의 댐핑을 약 0.7, 제어기 대역폭을 약 1130 rad/sec로 선정하고 전압루프게인의 보드선도를 그림 4에 나타내었다.

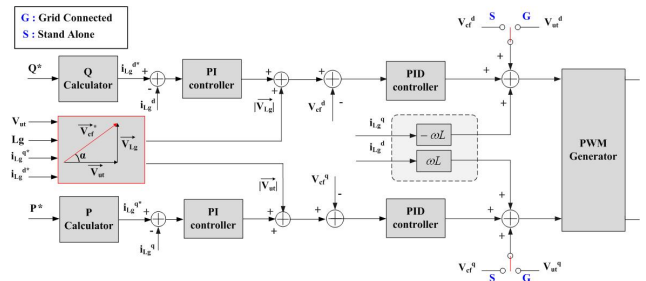


그림 2 개선된 3상 간접전류제어 블록도^[2]

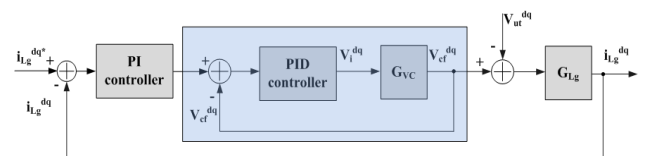


그림 3 간략화된 간접전류제어 블록도

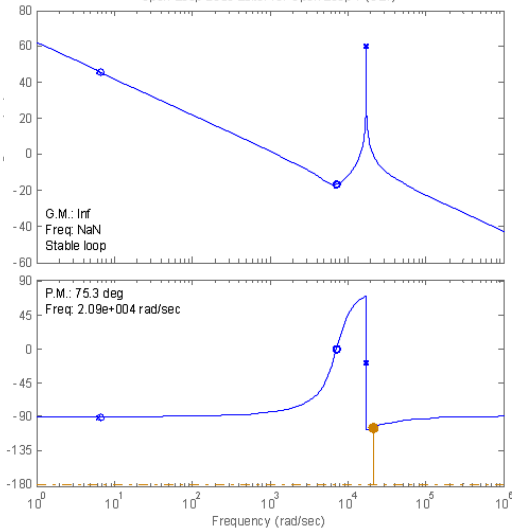


그림 4 내부 전압루프게인 보드선도

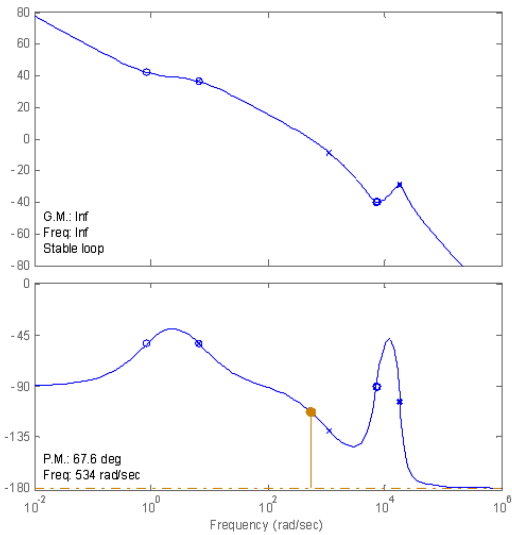


그림 5 전체 시스템의 루프게인 보드선도

전압루프의 위상마진은 약 75°이며, cut-off 주파수는 약 1300rad/sec로 원하는 댐핑과 제어대역폭을 만족한다. 또한 식 (1)을 통해 전류제어기의 댐핑을 0.6, 제어기 대역폭을 약 500rad/sec로 선정하여 PI게인을 설계하고 전체 시스템의 루프게인의 보드선도를 그림 5에 나타내었다. 전체 시스템의 위상마진은 67.6°, cut-off주파수는 약 534rad/sec로 원하는 성능을 만족한 것을 알 수 있다.

3. 실험 결과

제안한 3상 간접전류제어기와 설계의 타당성을 입증하기 위하여 1kW급 시작품을 제작하여 실험하였으며 시스템 파라미터는 표1과 같다. 그림 6은 인버터 출력 전류와 계통 전류가 부하에 전류를 분담하여 공급하는 상황으로 인버터 출력전류의 THD는 약 2%이며 전류제어가 잘 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 인버터가 모드 전환하는 상태를 나타내는데 계통에 이상 검출 후 뿐만 아니라 검출 전에도 과도상태 없이 모드 전환되는 과정을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 연료전지 발전시스템의 모드 전환 시 과도상태가 없고 구현 및 제어기 설계가 용이한 개선된 간접전류 제어기의 설계방법을 제안하였다. 제안한 방법으로 원하는 댐핑과 제어대역폭을 만족하는 제어기를 설계하였으며 계통연계 시 전압 및 전류를 안정하게 제어하여 약 2%의 전류 THD를 달성하였다. 또한 계통 이상 시 부하전압에 과도상태 없이 모드 전환됨을 실험으로 검증하였다.

표 1 시스템 파라미터

- P = 2.7kW
- V_{LL} = 110V
- fs = 6kHz
- L_i = 1.78mH
- C_f = 3uF
- L_g = 3mH

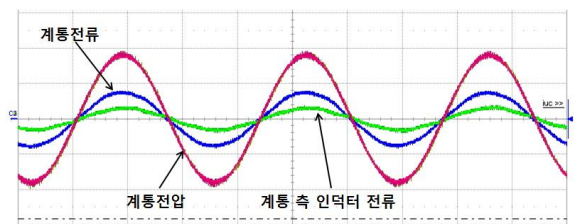


그림 6 계통연계 파형

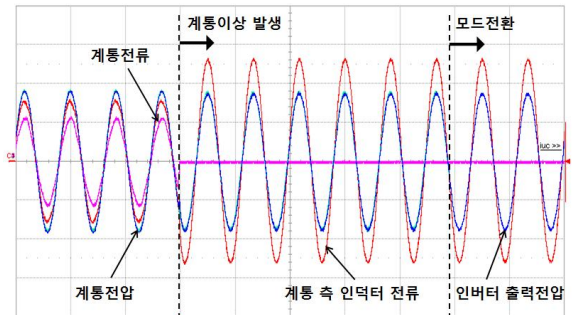


그림 7 계통 Fault 시 모드전환 실험파형

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (20101020300260) 주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- [1] 권준범, 김영우, 최세완 “계통연계형 연료전지 PCS의 Seamless Transfer를 위한 3상 간접전류제어 기법” 전력전자학회 2009년도 하계학술대회 논문집, 2009. 7
- [2] 윤선재, 김형진, 오형민, 최세완 “계통연계형 연료전지 PCS의 Seamless Transfer를 위한 개선된 3상 간접전류제어 기법” 전력전자학회 2010년도 하계학술대회 논문집, 2010. 7
- [3] Tai-Sik Hwang, Kwang-Seob Kim, Byung-Ki Kwon, “Control strategy of 600kW E-BOP for molten carbonate fuel cell generation system” ICEMS 2008. 17-20 Oct. 2008 Page(s):2366 - 2371
- [4] 박철훈, 최규하 “3상 PWM 인버터의 단일루프 전압제어 설계” 전력전자학회 논문지 제8권 제6호, 2003. 12