

REPORT

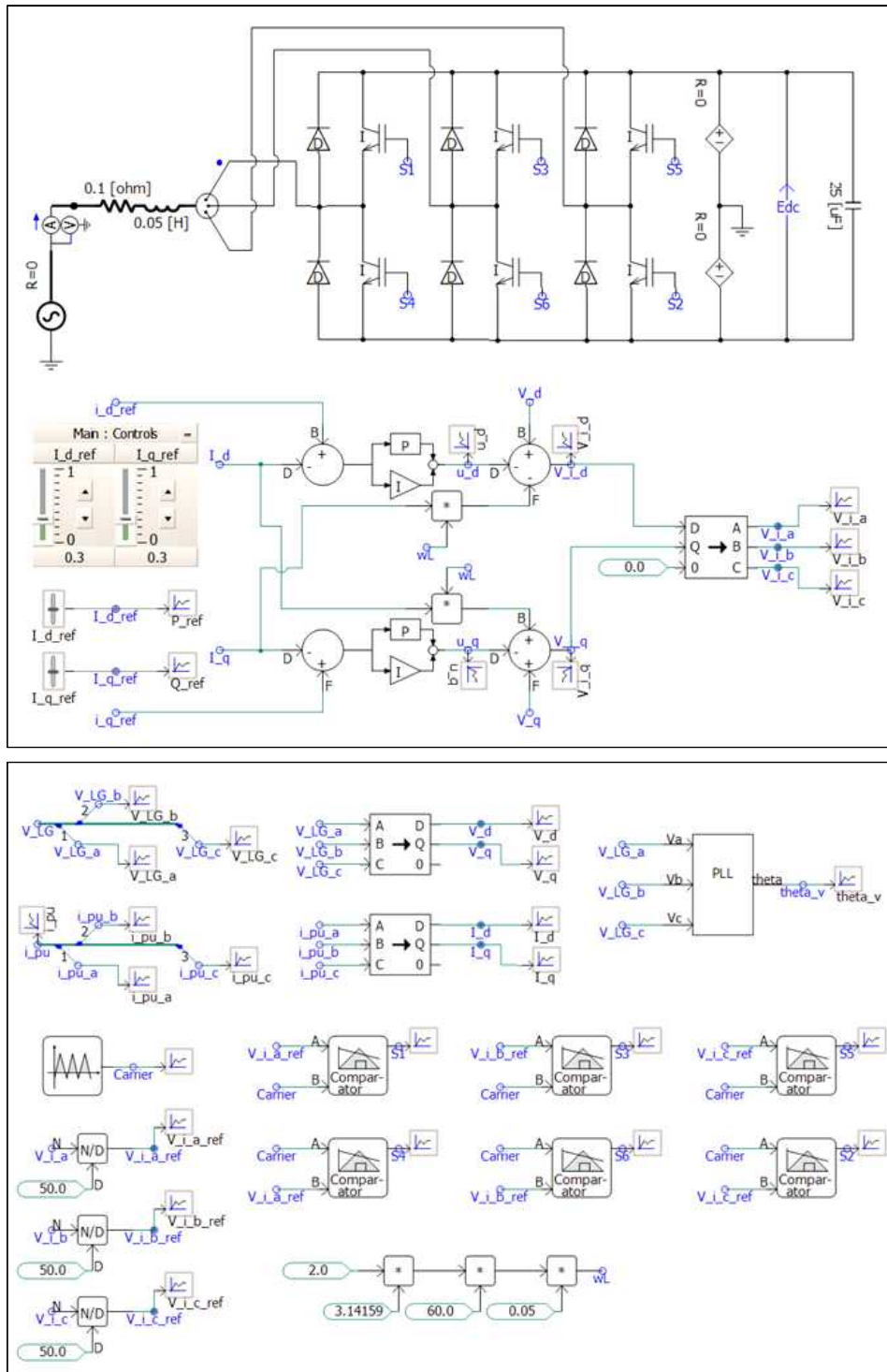
PSCAD 설계 보고서6



과목명	전력변환디바이스
담당교수	심재웅 교수님
학과	융합전자공학과
학년	3학년
학번	201910906
이름	이학민
제출일	2023.12.06.

1. 전류제어 인버터 설계 (Inner Loop)

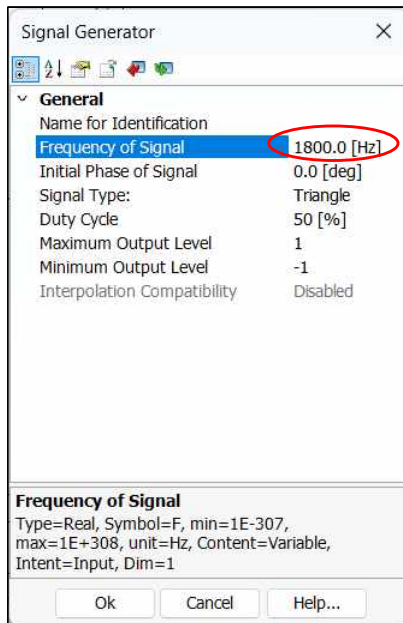
1) PSCAD 설계



3상 PWM 인버터 및 전류제어기 설계

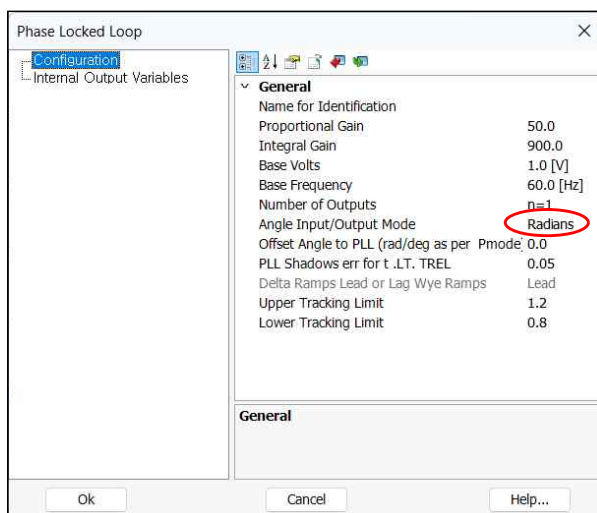
2) 시뮬레이션 환경 설정

(1) 반송파 (Carrier Signal) 주파수 설정



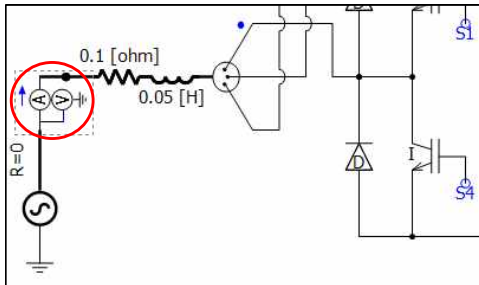
기준파 (Reference Signal)의 주파수는 60[Hz]이고, 고조파의 영향을 적게 받기 위하여 진폭 변조지수 m_a 를 30으로 설정하였다. 따라서 반송파의 주파수는 1800[Hz]이다.

(2) PLL (Phase Locked Loop) Angle 단위 설정

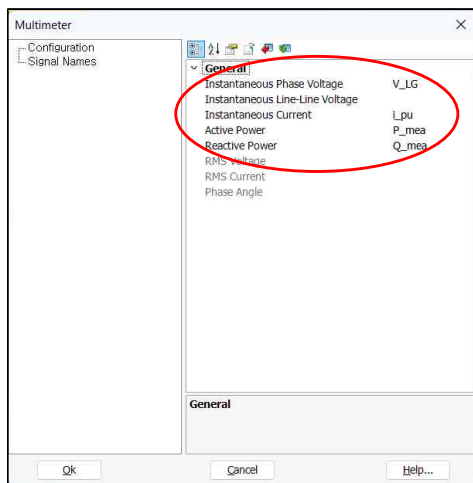


ABC-DQ0 변환기의 변환각 단위가 Radian이므로 PLL의 θ 의 단위를 Radian으로 설정하였다.

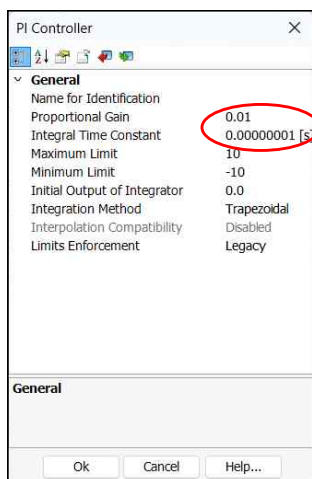
(3) PCC (Point of Common Coupling) 설정



PCC에 설치한 멀티미터를 통하여 전압, 전류, 유효전력, 무효전력을 측정하였다.



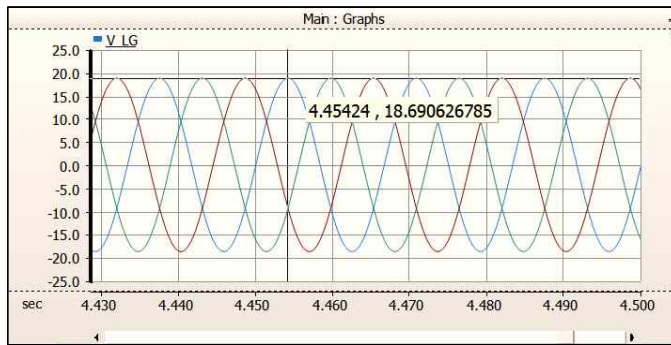
(4) PI제어기 설정



전류 제어기는 제어 속도가 굉장히 빨라야 하므로 PI제어기의 Time Constant를 매우 작은 값으로 설정하였다.

3) PSCAD 시뮬레이션 결과

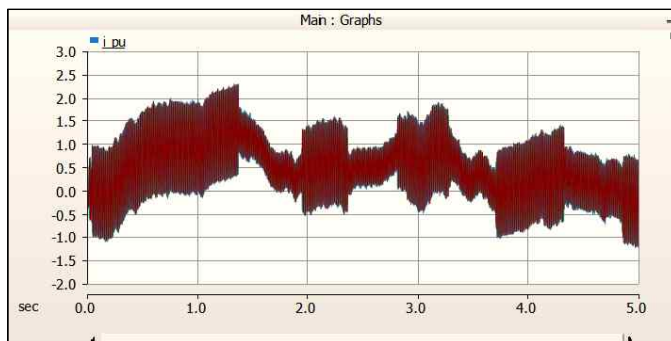
(1) V_LG



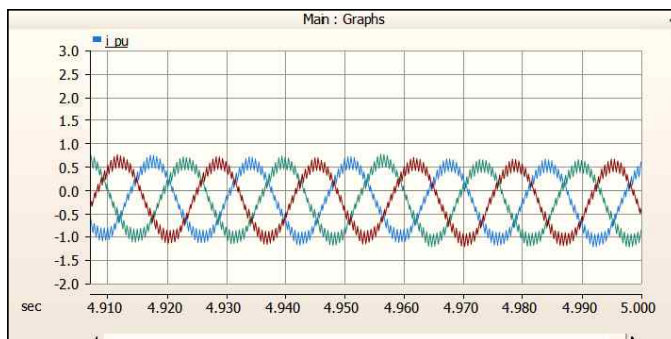
PCC 지점에서 측정한 상전압 그래프이다.

$$V_{LL, rms} = 22.9 \text{ [kV]} \text{ 이므로 } V_{LG, peak} = \frac{22.9}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} = 18.6978 \text{ [kV]} \text{ 이다.}$$

(2) i_pu

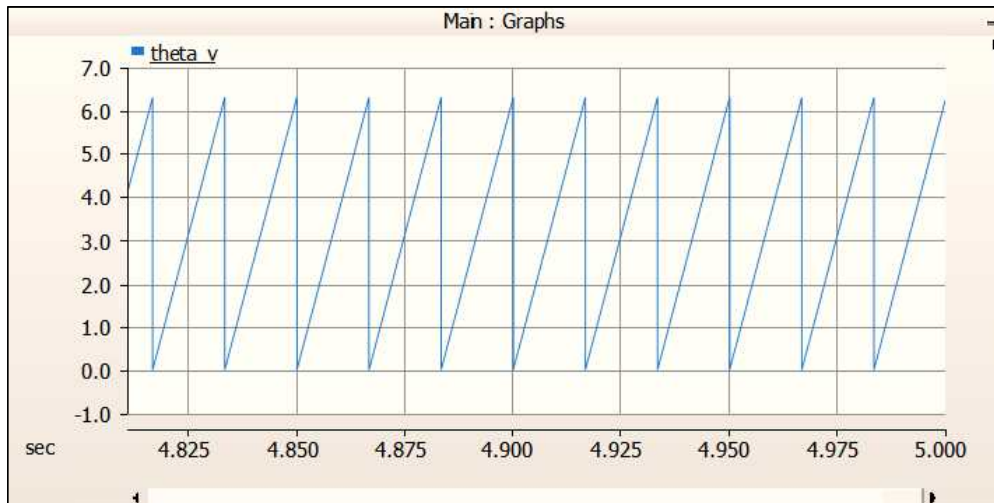


PCC 지점에서 측정한 전류 그래프이다.



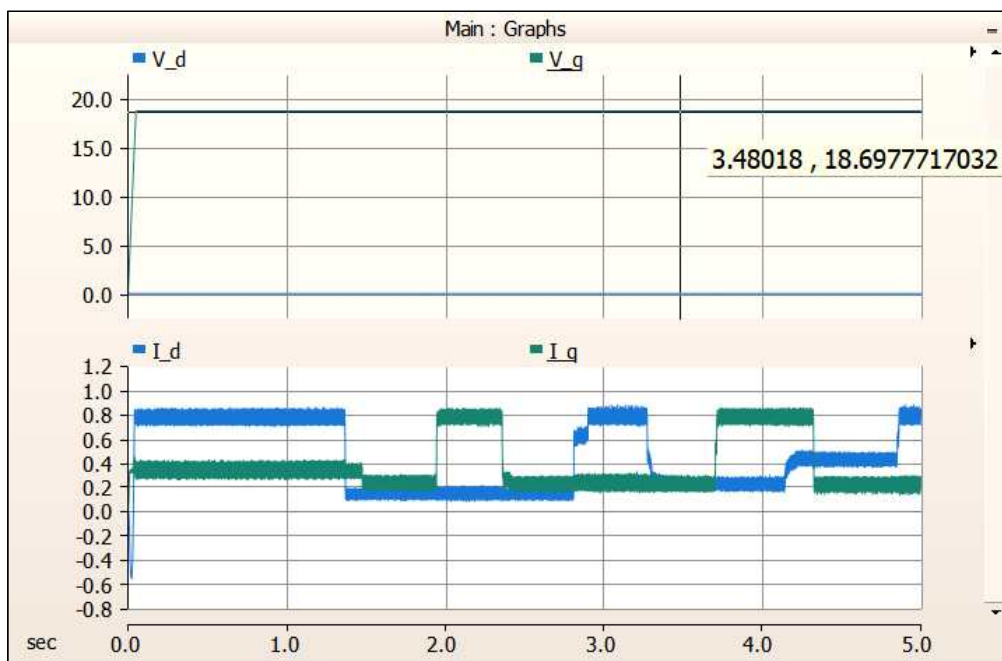
그래프를 확대하면 다음과 같다.

(3) θ_v



Radian 단위로 설정된 θ_v 그래프이다. θ_v 는 $0 \sim 2\pi$ 사이의 값을 갖는다.

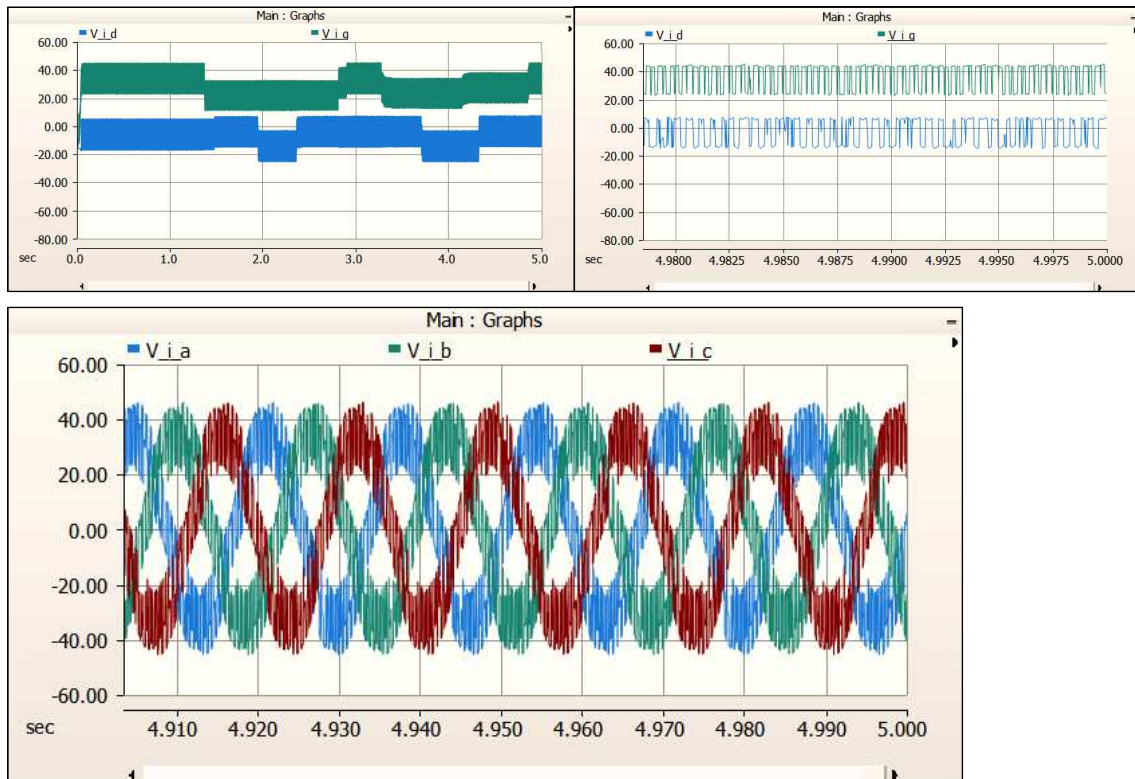
(4) V_{dq} 및 I_{dq}



V_{LG_abc} 를 DQ 변환하여 얻은 V_{dq} 그래프는 $V_d = 0$, $V_q = 18.6977717032$ [kV] 이므로 올바르게 변환되었음을 알 수 있다.

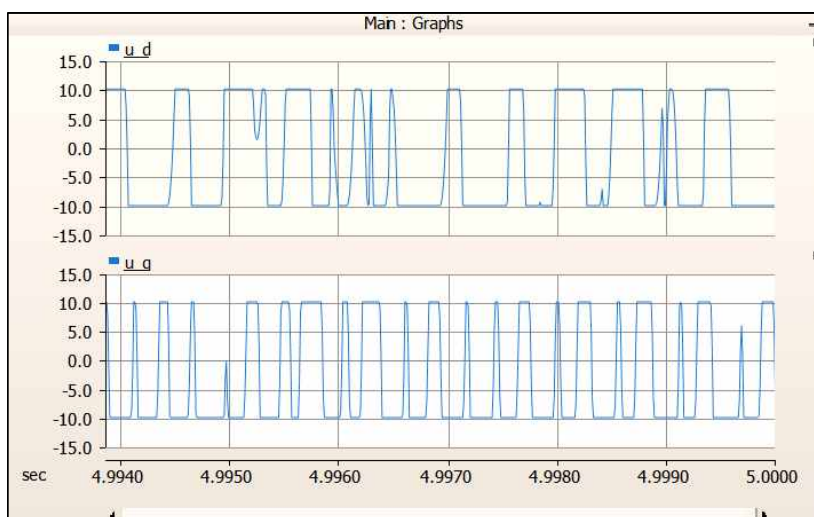
I_{dq} 는 I_{dq_ref} 값을 슬라이드 바를 통해 조절하면 실시간으로 변화하는 모습을 보인다.

(5) V_{i_dq} 및 V_{i_abc}



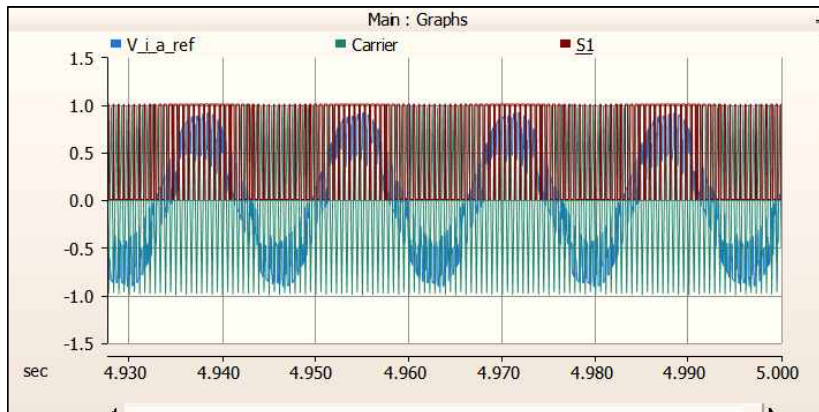
V_{i_dq} 와 DQ0-ABC 변환을 거친 V_{i_abc} 그래프이다.

(6) u_{dq}



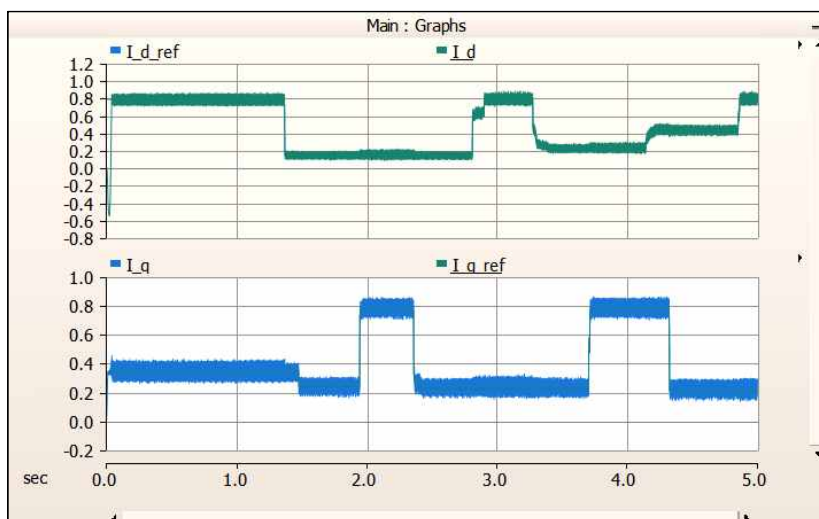
I_{dq} 가 I_{dq_ref} 의 값에 수렴하도록 하는 임의의 값 u_{dq} 에 대한 그래프이다. PI제어기의 Maximum = 10과 Minimum = -10 사이에서 변화하는 모습을 보인다.

(7) 캐리어 기반 PWM 제어



펄스폭 변조(PWM) 제어에서 과변조(Overmodulation)가 일어나지 않는지 확인하기 위한 그래프이다. 기준파가 반송파의 값(-1~1)을 벗어나지 않으므로 PWM 제어가 정상적으로 이루어지고 있음을 확인하였다.

4) 결과 분석 및 결론

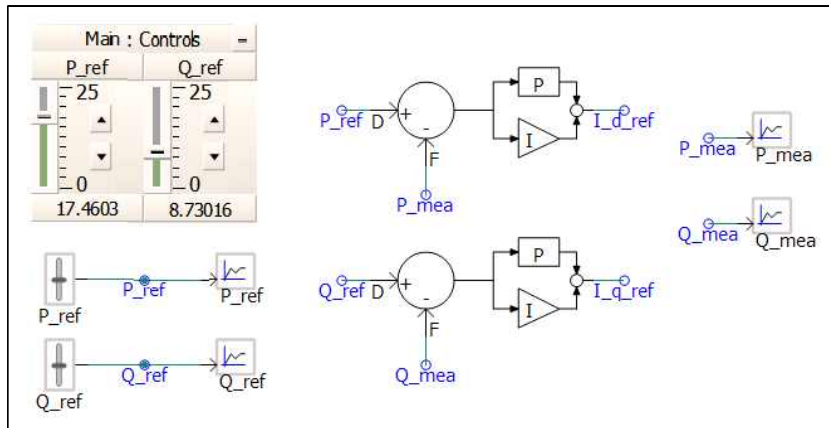


설정된 시뮬레이션 환경에서 전류 제어가 정상적으로 동작하는지 확인하기 위한 그래프이다. 사용자가 원하는 전류의 값인 I_{dq_ref} 를 슬라이드 바를 통해 임의로 조절하며 전류 I_{dq} 가 실시간으로 변하는 전류의 값을 잘 추종하는지 확인하였다.

전류 제어기의 경우, 경미한 노이즈를 허용하지만 매우 빠른 응답 특성을 가져야 한다는 특징이 있다. 시뮬레이션 결과 일부 노이즈가 포함되어 있지만, I_{dq_ref} 값을 조절함에 따라 I_{dq} 의 값이 즉각적으로 변동하기 때문에 전류 제어기 설계가 제대로 이루어졌다는 결론에 도달할 수 있었다.

2. Power 제어 인버터 설계 (Outer Loop)

1) PSCAD 설계

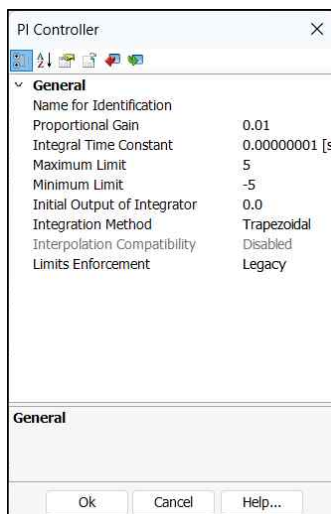


Power 제어기 설계

앞서 설계한 Inner Loop에서는 I_{dq_ref} 를 수동으로 조절하였다. Power 제어기 설계에서는 사용자가 원하는 P_{ref} 와 Q_{ref} 값에 맞춰 I_{dq_ref} 의 값을 자동으로 제어할 수 있도록 Outer Loop를 구성하였다.

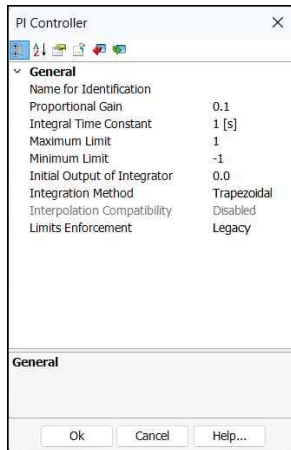
2) 시뮬레이션 환경 설정

(1) Inner Loop PI제어기 설정 변경



PWM 제어 시 Overmodulation을 방지하기 위하여 Maximum Limit과 Minimum Limit을 각각 5, -5로 수정하였다.

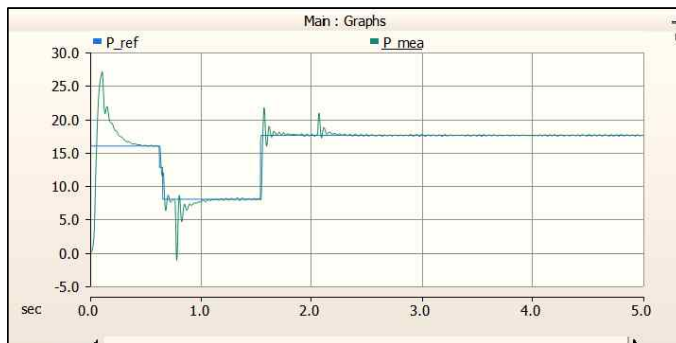
(2) Outer Loop PI제어기 설정



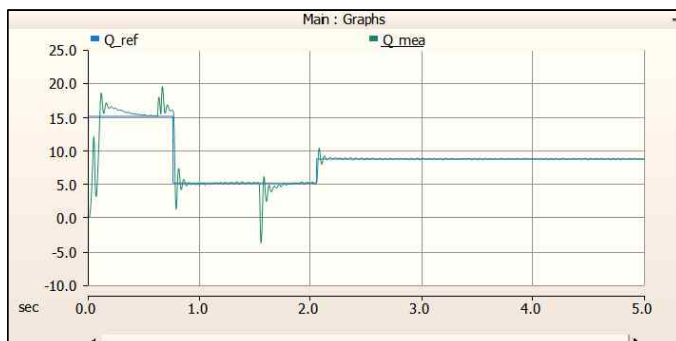
전류 제어와 다르게 Power 제어는 응답 속도보다 노이즈의 최소화에 초점을 두고 있다. 최적의 시뮬레이션 결과를 보기 위하여 다음과 같이 설정하였다.

3) PSCAD 시뮬레이션 결과

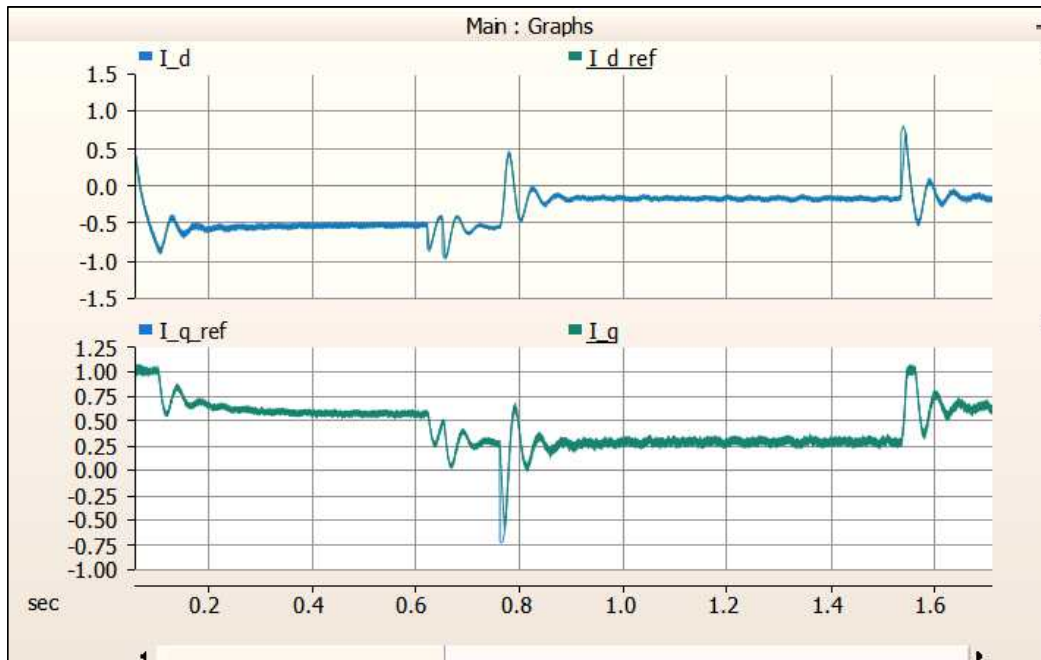
(1) Active Power(P) 제어



(2) Reactive Power(Q) 제어

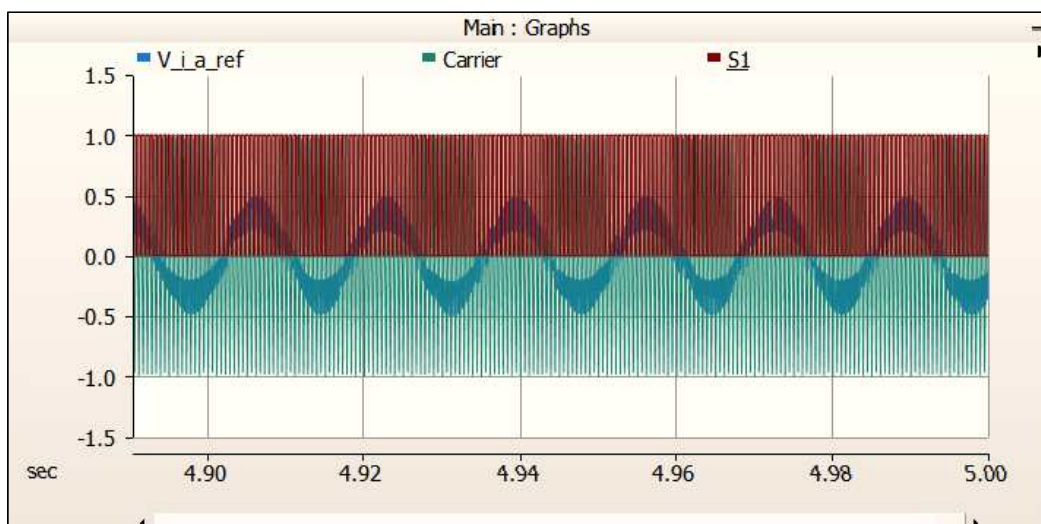


(3) P, Q 제어에 따른 전류 추종



그래프를 통하여 P와 Q를 임의의 값으로 조절함에 따라 전류가 적절히 제어되고 있음을 확인하였다.

(4) 캐리어 기반 PWM 제어



PWM 제어 시 Overmodulation 발생 여부를 알기 위한 그래프이다. 그래프 확인 결과 Overmodulation이 발생하지 않았으므로 PWM 제어가 올바르게 이루어졌음을 확인하였다.

4) 결과 분석 및 결론

Outer Loop를 설계하여 P_{ref} 와 Q_{ref} 의 값을 실시간으로 변경하며 나타나는 결과를 분석하였다. PCC 지점에서 측정한 P 와 Q 의 값이 변화하는 기준값(reference)을 잘 추종하므로 P , Q 제어기 설계가 잘 이루어졌음을 확인하였다. Power 제어기는 응답 속도가 느리더라도 노이즈를 최소화해야 하므로 PI 제어기 설계 시 Time Constant를 비교적 큰 값으로 설정하였다.

또한 P , Q 가 제대로 제어되기 위해서 Inner Loop의 I_{dq} 가 I_{dq_ref} 의 값을 잘 추종해야 한다. 시뮬레이션을 통해 얻은 그래프를 보면 전류 또한 목표값(reference)을 잘 추종하고 있으므로 전류 제어기 설계도 제대로 이루어졌다. 전류 제어기의 경우 매우 빠른 응답 속도에 초점을 맞추고 있기 때문에 일부 노이즈를 허용한다. 따라서 노이즈에 대한 개선 절차는 따로 진행하지 않았다.

결과적으로 PWM 기반 인버터 전류 및 Power 제어기 설계를 성공적으로 수행하였다.