

REPORT

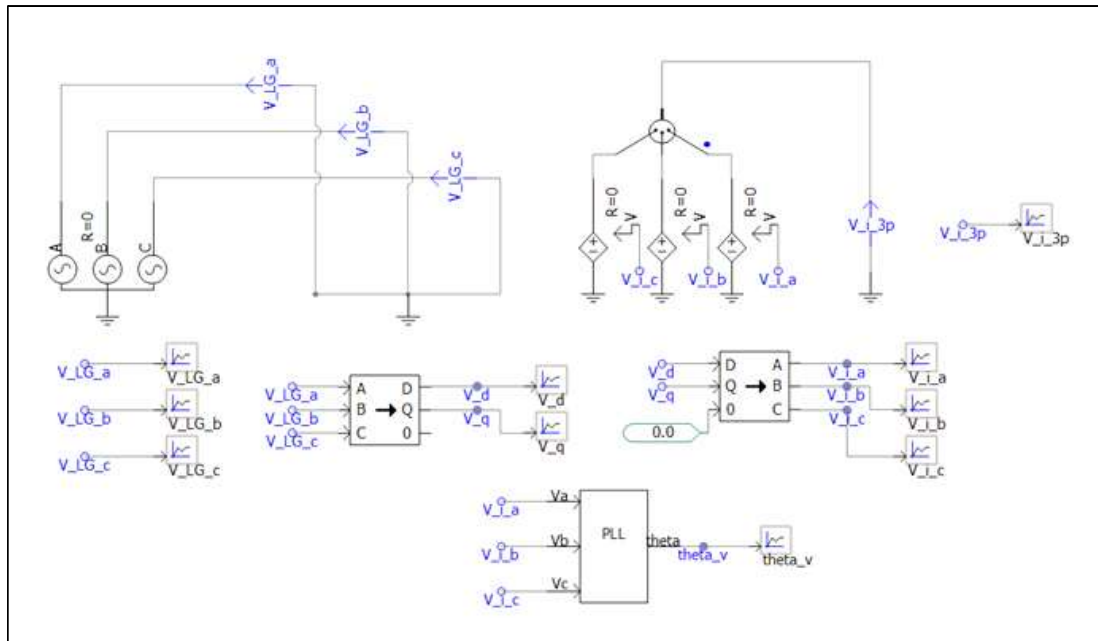
PSCAD 설계 보고서5



과목명	전력변환디바이스
담당교수	심재웅 교수님
학과	융합전자공학과
학년	3학년
학번	201910906
이름	이학민
제출일	2023.11.21.

1. DQ Transformation

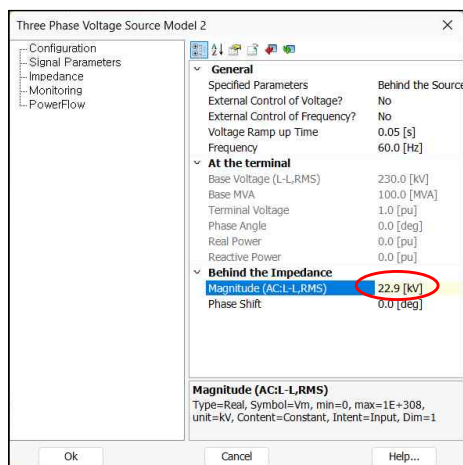
1) PSCAD 설계



3상 전압 생성(L-L) 및 측정(L-G)과 DQ변환 수행 설계

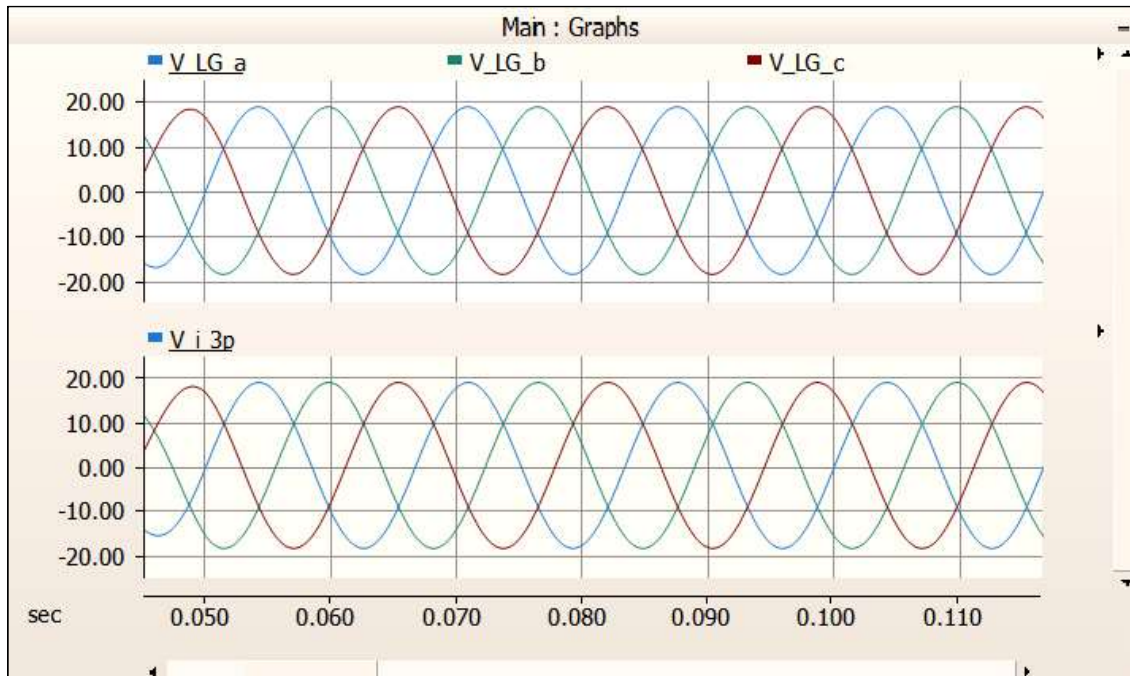
2) 시뮬레이션 환경 설정

- 3상 전압(L-L, RMS) 설정



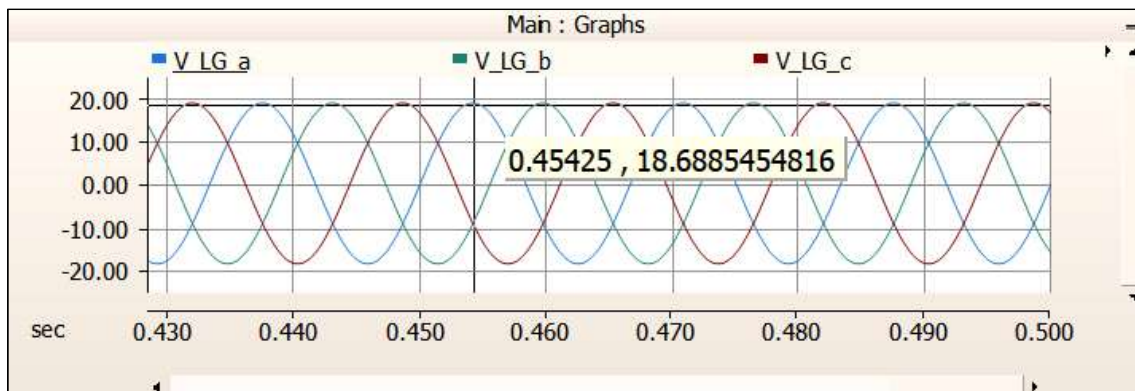
주어진 전압 $V_{LL,rms} = 22.9$ [kV]를 Voltage Source에 적용하였다.

3) PSCAD 시뮬레이션 결과



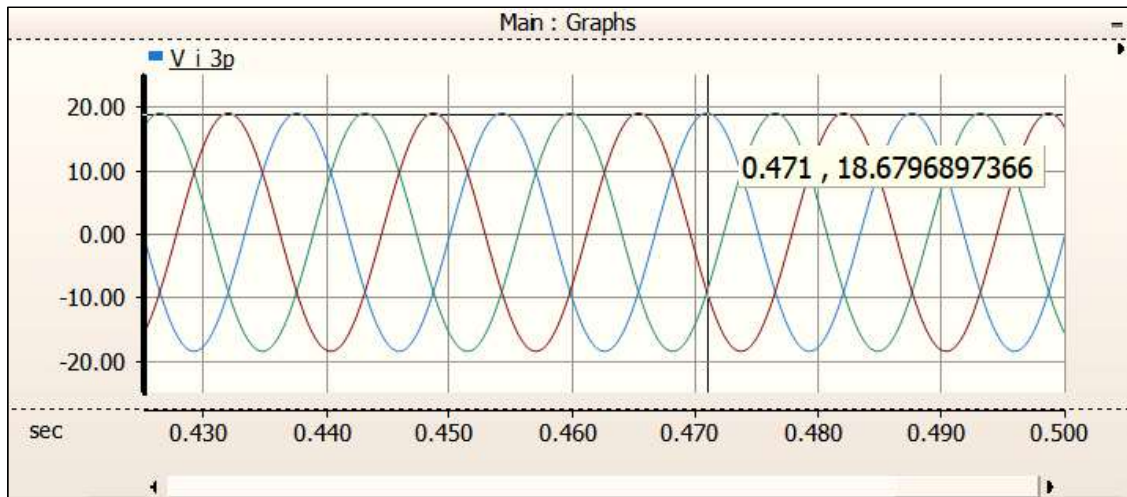
시뮬레이션을 실행하여 얻은 그래프는 다음과 같다.

선간전압 V_{LL} 이 22.9 [kV] 이므로 상전압 V_{LG} 은 $\frac{22.9}{\sqrt{3}} = 13.221321$ [kV] 이다. 따라서 V_{LG} 의 최댓값은 $\sqrt{2}$ 를 곱한 값인 18.697772 [kV]가 된다.



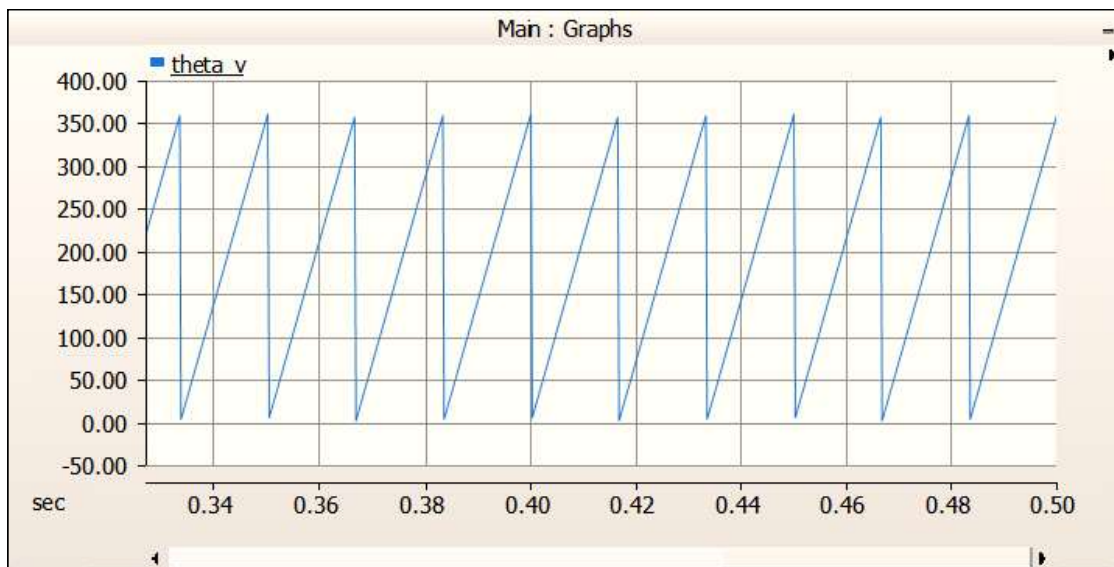
a, b, c상은 크기는 같고 위상만 다르므로 $V_{LG,3\phi}$ 의 값으로 $V_{LG,a}$ 의 최댓값을 측정하였다. 그래프의 값을 읽은 결과 계산한 값과 일치하였다.

DQ 변환 이후 다시 abc로 변환된 전압 $V_{i,3p}$ 의 그래프는 다음과 같다.



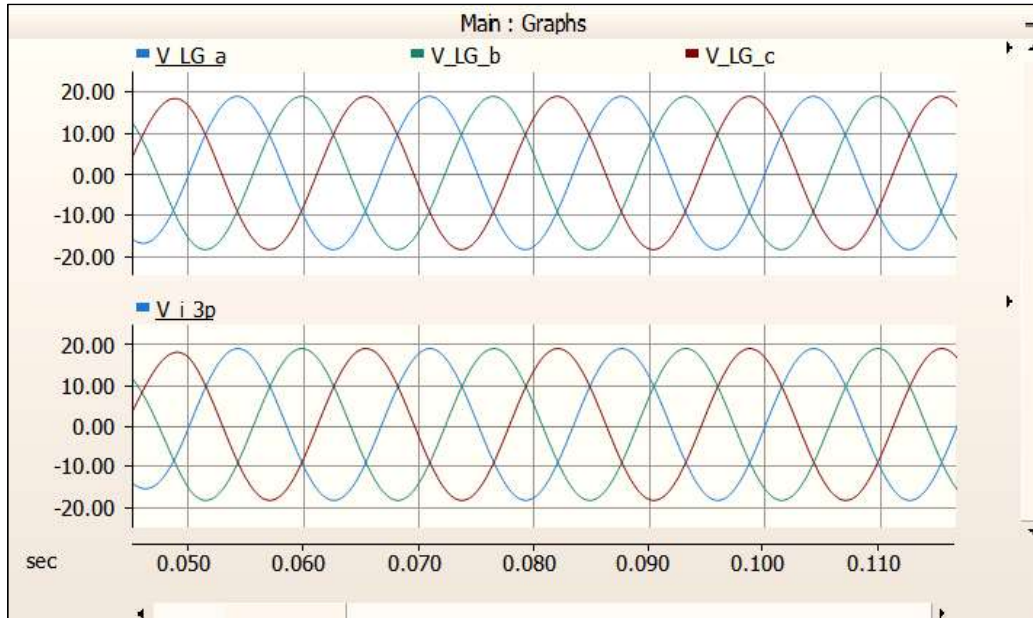
그래프의 최댓값을 읽으면 18.6796897366으로 앞서 측정한 $V_{LG,3p}$ 의 값과 일치하는 것을 알 수 있다.

PLL로 위상을 측정한 결과, 0° 에서 360° 사이의 값을 가지는 주기함수 그래프를 얻을 수 있었다.



4) 결과 분석 및 결론

시뮬레이션은 교류 전압을 DQ 변환한 후 다시 abc로 역변환하였을 때 앞서 측정한 원래 교류 전압과 결과가 일치하는지 확인하는 것이다.



두 그래프의 x축을 통일하여 나타내면 다음과 같고, 각각의 상마다 그래프가 일치함을 볼 수 있다.

초기에 인가된 3상 교류 전압을 측정한 결과는 $V_{LG,3p} = 18.6885454816$ [kV],

DQ 변환을 하고 다시 abc로 역변환을 한 3상 전압은 $V_{i,3p} = 18.6796897366$ [kV] 이다.

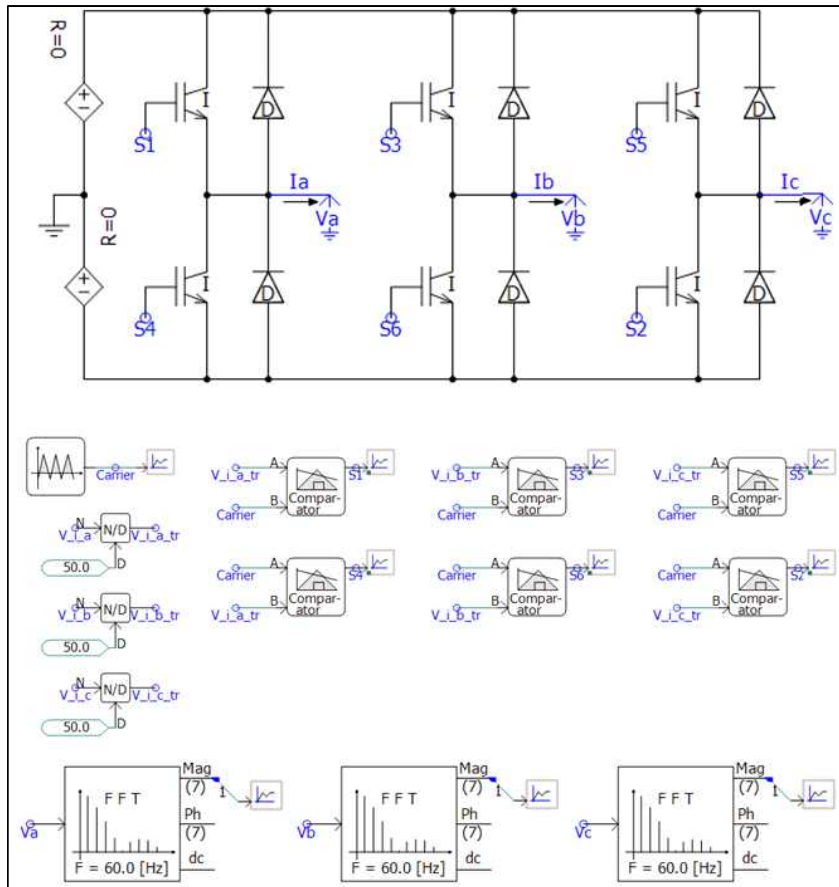
두 값 사이의 오차율을 계산하면 약 0.04%이고, 실제 계산값인 18.697772 [kV]와 큰 차이를 보이지 않으므로 시뮬레이션이 올바르게 이루어졌음을 확인하였다.

구분	값 [kV]
V_LG, 3p	18.6885455
V_i, 3p	18.6796897
측정오차율	0.04739%

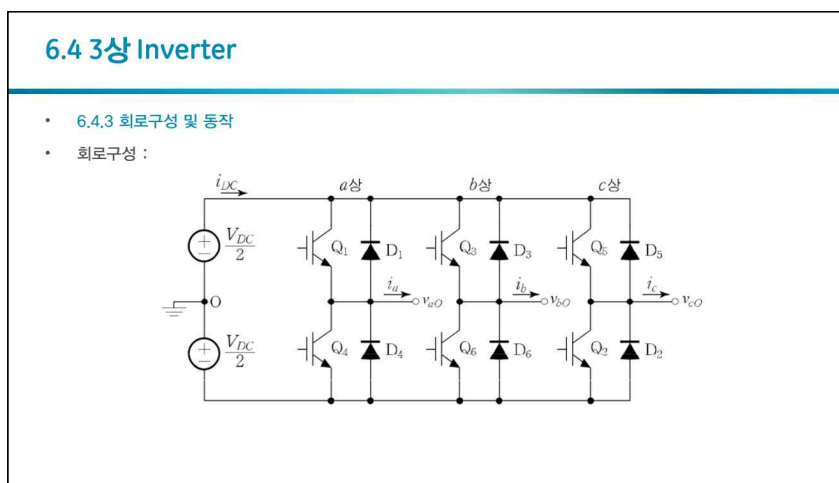
$$\text{오차율} = \frac{|V_{LG,3p} - V_{i,3p}|}{V_{LG,3p}} \times 100 [\%]$$

2. 3-phase PWM Inverter

1) PSCAD 설계



3상 PWM 인버터
및 FFT 분석 설계



3상 인버터 회로도
(전력전자 강의자료)

위 회로도를 참고하여 PSCAD로 3상 PWM 인버터를 설계하였다.

2) 시뮬레이션 환경 설정

캐리어 기반 PWM 제어를 설명하면 다음과 같다.

① 신호종류

- 기준파 (Reference Signal)
- 반송파 (Carrier Signal)

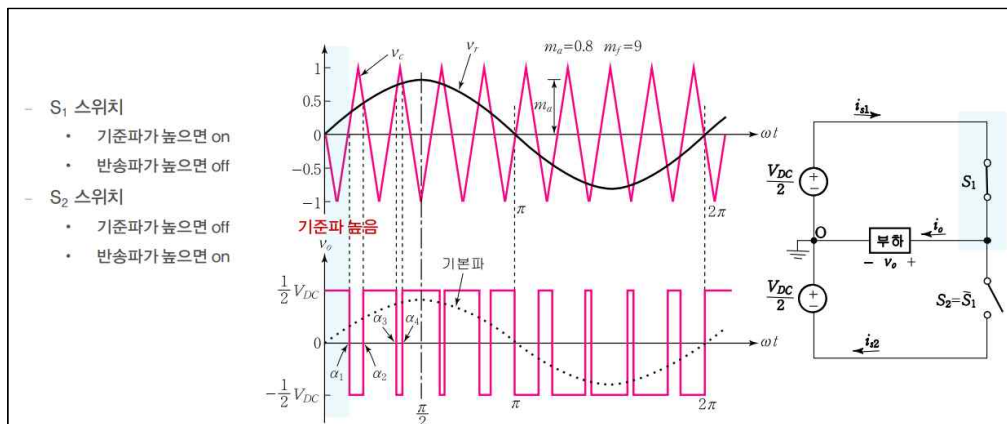
② 진폭 변조지수

$$m_a = \frac{\text{기준파의 진폭}}{\text{반송파의 진폭}}$$

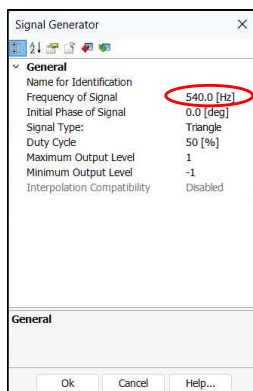
③ 주파수 변조지수

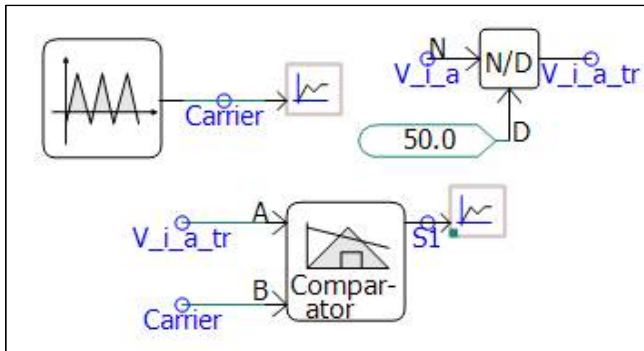
$$m_f = \frac{\text{반송파의 주파수}}{\text{기준파의 주파수}} = \frac{f_c}{f}$$

④ 동작 원리



초기 주파수 변조지수의 값으로 $m_f = 9$ 를 사용하였다. 기준파의 주파수는 60Hz이므로 반송파의 주파수를 540Hz로 설정하였다.

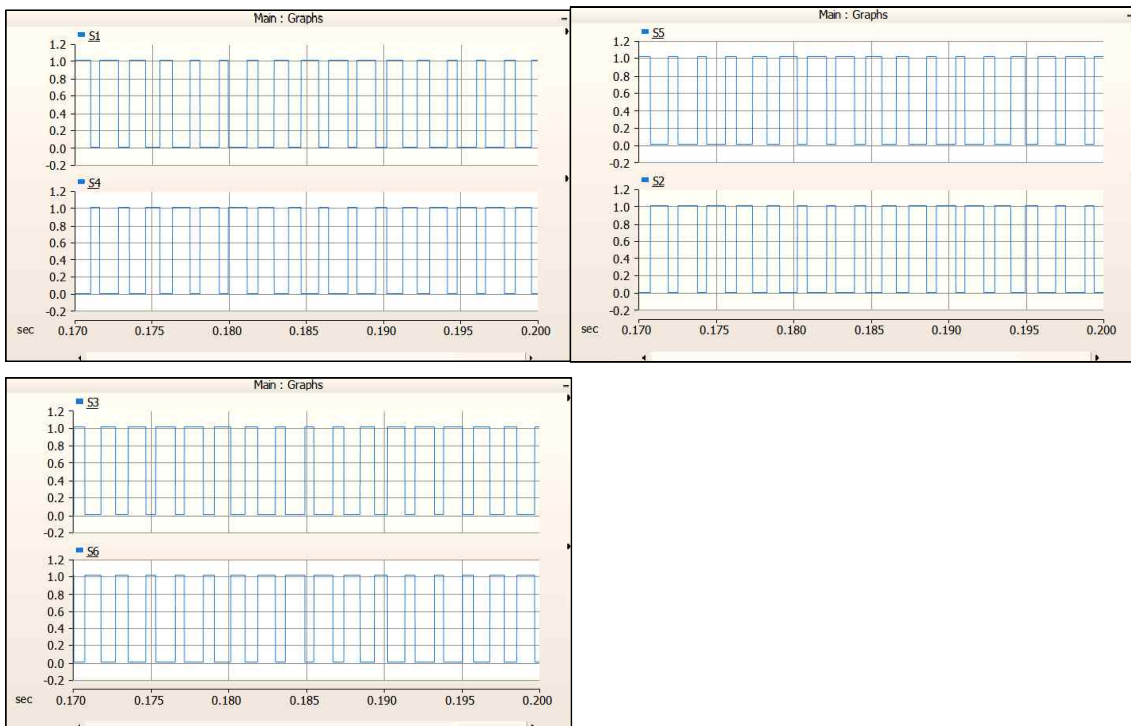




Ideal한 인버터 출력을 PWM에 맞게 1보다 작은 값으로 바꾸기 위하여 $\frac{V_{dc}}{2} = 50kV$ 로 나눈 신호를 기준파, 앞서 설정한 삼각파를 반송파로 사용하여 Comparator에 입력하였고 출력으로 스위치 신호를 얻었다.

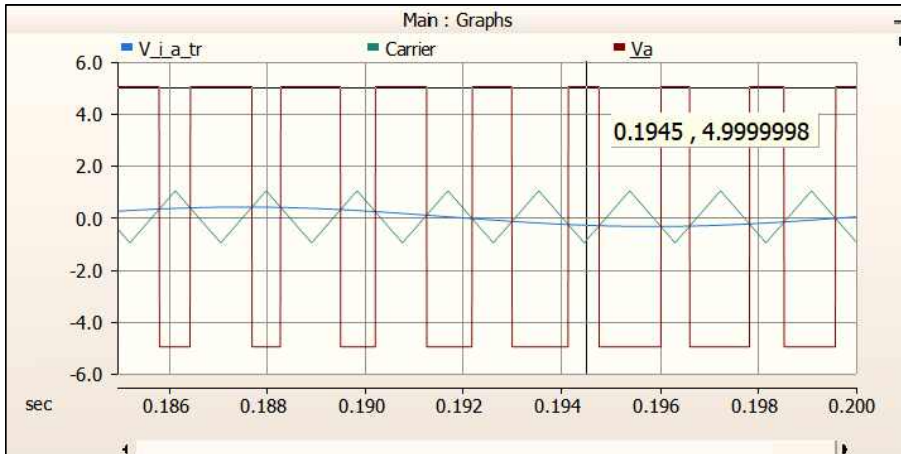
3) PSCAD 시뮬레이션 결과

(1) 스위치 신호 (S1 ~ S6)



각 스위치의 신호는 $S_1 = \overline{S_4}, S_2 = \overline{S_5}, S_3 = \overline{S_6}$ 의 관계를 갖는다.

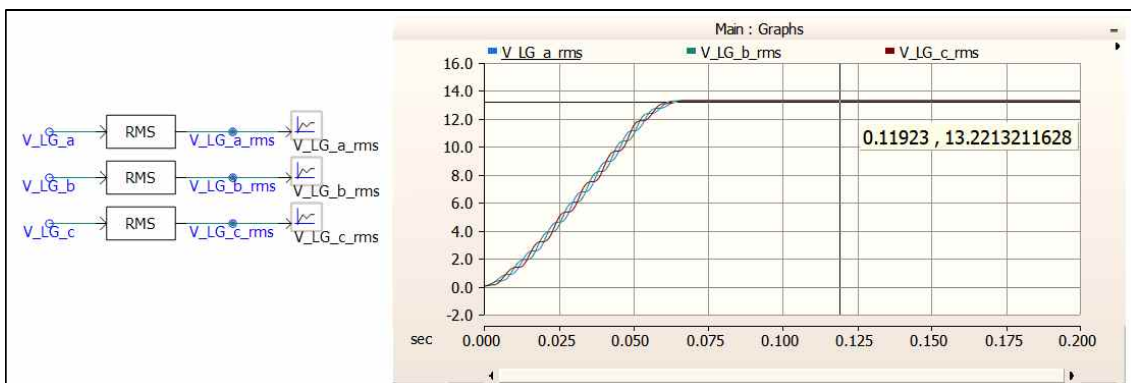
(2) 3상 PWM 인버터의 출력 전압 파형



$V_{i,abc}$ 를 Reference Signal로 사용한 3상 PWM 인버터의 출력 전압 파형은 다음과 같다. Reference Signal < Carrier Signal일 때 50[kV], 그 외에 -50[kV]의 값을 갖는다. 3개의 그래프를 보기 편하게 나타내기 위하여 V_a 의 Scale Factor를 0.1로 설정하였다. 따라서 그래프에서 V_a 의 크기를 읽으면 10배 작은 값인 5가 나오게 된다.

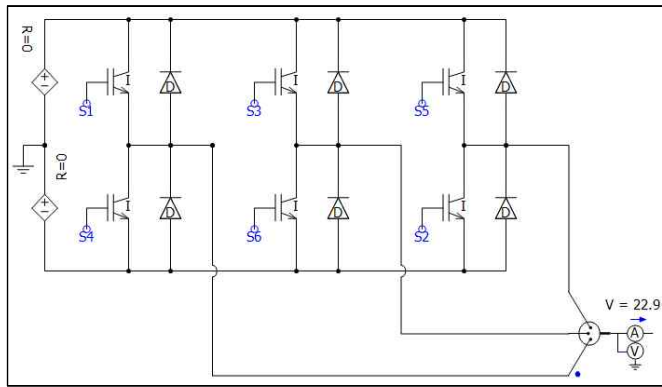
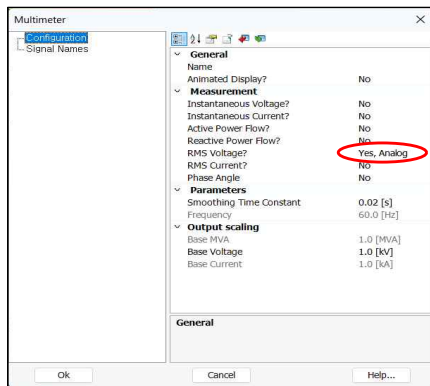
(3) 3상 PWM 인버터의 출력 전압 RMS

3상 PWM 인버터의 출력 전압 RMS를 구하기에 앞서, $V_{LG,abc}$ 의 RMS 값을 측정하면 다음과 같은 그래프를 얻을 수 있다. 단상의 값을 측정하였음에 유의한다.

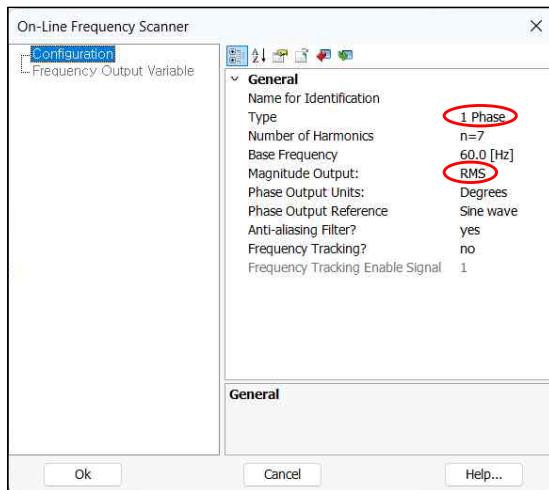


그래프의 정상상태 값을 읽으면 $V_{LG,abc,rms} = 13.2213211628$ [kV]이다.

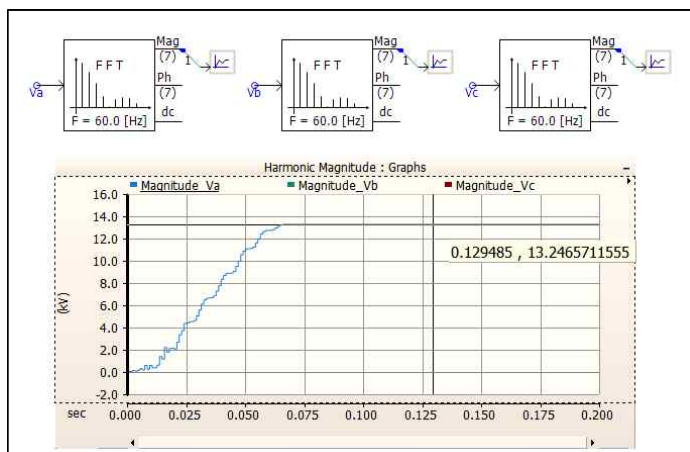
첫 번째 방법으로, 3상 PWM 인버터의 출력 전압 RMS를 측정하기 위해 멀티미터를 이용하였다. RMS Voltage 측정 결과는 아래의 그림에서 알 수 있듯이 22.9 [kV]이고 이는 선간전압 (L-L)에 해당한다. 따라서 초기에 입력했던 3상 선간전압의 값과 일치함을 확인하였다.



두 번째 방법으로, 3상 PWM 인버터의 출력 전압 RMS를 측정하기 위해서 $V_{out, a}$ 를 FFT 분석하여 기본파의 Magnitude 그래프를 얻었다. 앞서 측정한 단상의 값과 비교한다.



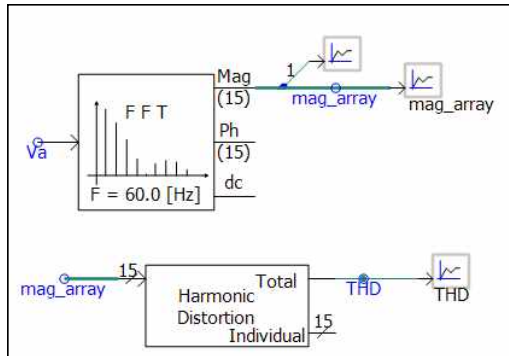
V_a 의 RMS를 측정하는 것이므로 1 Phase를 선택하고 Magnitude Output을 RMS로 하였다.



그래프의 정상상태 값을 읽으면 $V_{out, a, rms} = 13.2465711555$ [kV]이다.

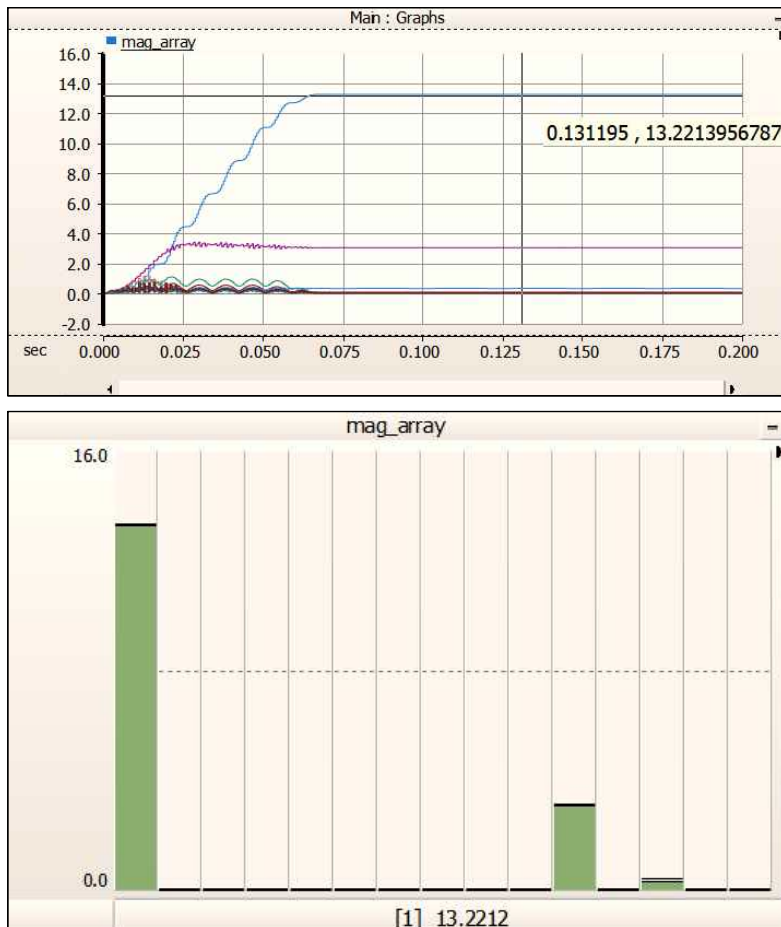
(4) Carrier Signal 주파수 변경에 따른 고조파 분석

스위칭 주파수는 Carrier Signal 주파수를 변경하여 조절할 수 있다. 스위칭 주파수가 바뀔 때 PWM 출력 전압의 고조파 분석을 하기 위하여 FFT 분석을 통해 THD를 구하였다.

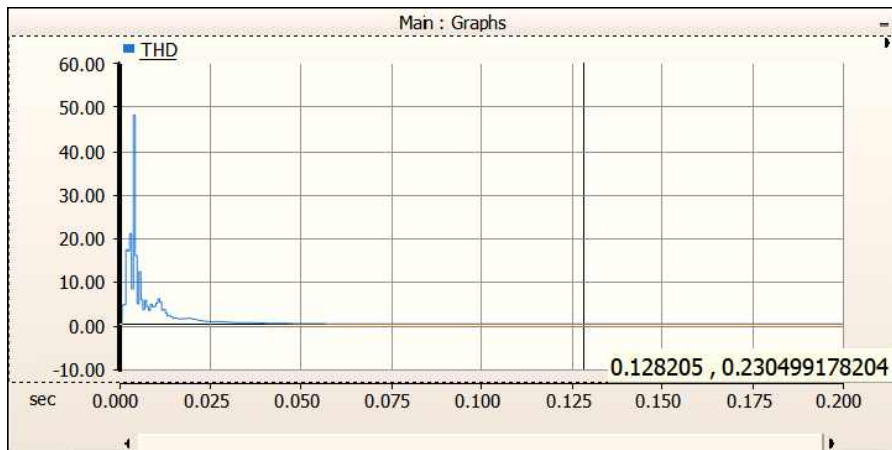


① $m_f = 21$

기준파의 주파수는 60[Hz]이므로 Carrier Signal Generator의 주파수를 1260[Hz]로 설정하였다. 각 고조파의 크기를 나타내는 그래프는 다음과 같이 얻을 수 있다.



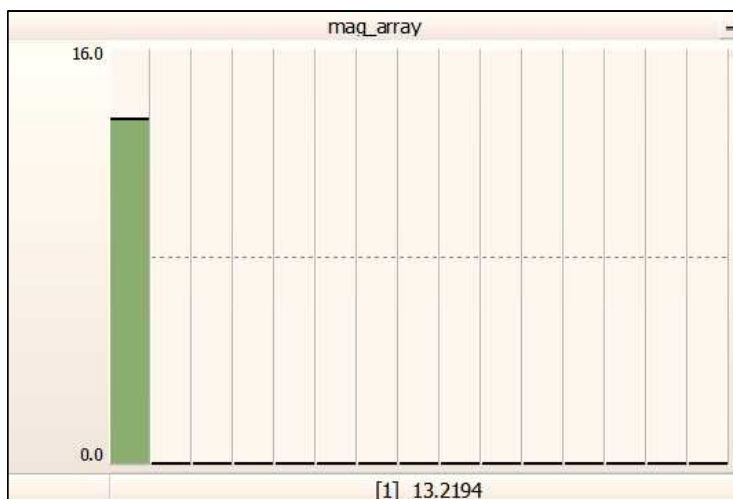
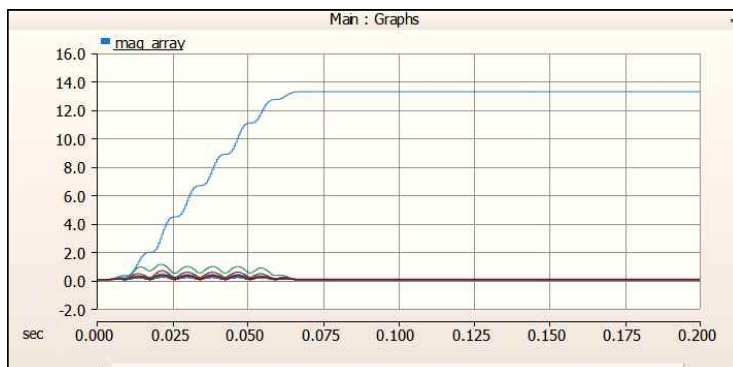
주파수 분석을 위하여 THD를 구하면 그래프는 다음과 같다.



THD = 0.2305

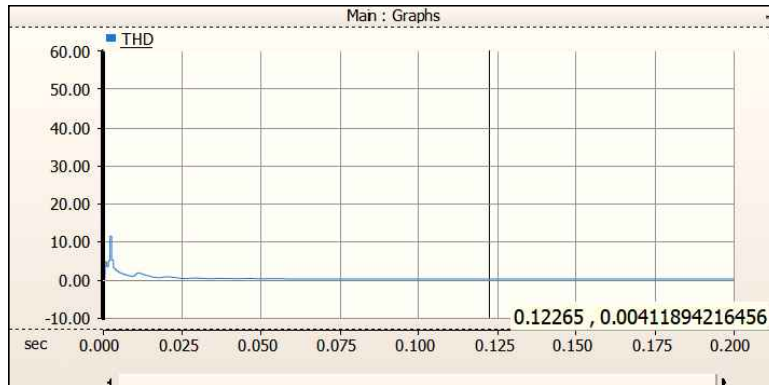
② $m_f = 41$

기준파의 주파수는 60[Hz]이므로 Carrier Signal Generator의 주파수를 2460[Hz]로 설정하였다. 각 고조파의 크기를 나타내는 그래프는 다음과 같이 얻을 수 있다.



두 그래프로부터 $m_f = 21$ 일 때보다 고조파의 성분이 줄어들었음을 확인하였다.

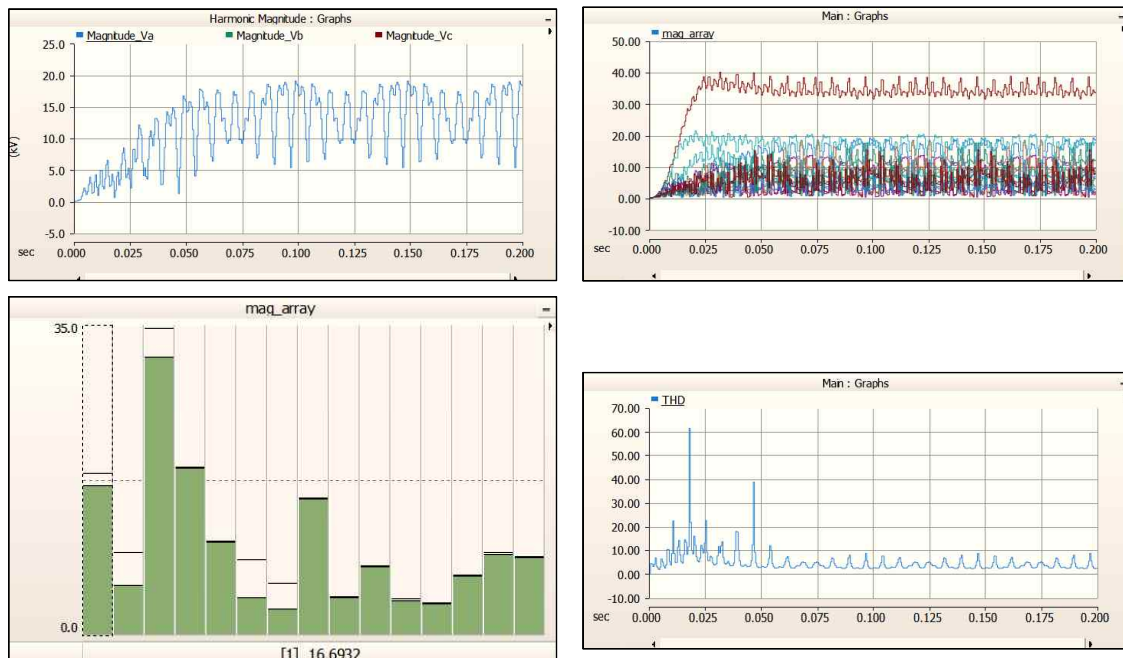
주파수 분석을 위하여 THD를 구하면 그래프는 다음과 같다.



THD = 0.0041

4) 결과 분석 및 결론

Carrier Signal 주파수를 변경하여 스위칭 주파수를 제어함에 따라 THD(전고조파왜율)의 차이를 관측할 수 있었다. 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 THD가 감소하는 긍정적인 효과를 얻게 되었다. 조금 더 확연한 차이를 알아보기 위하여 Carrier Signal 주파수를 200Hz로 과도하게 낮게 설정하여 시뮬레이션을 진행해보았다.



시뮬레이션하여 얻은 그래프에서 파형이 매우 불안정함을 관찰할 수 있었다. 따라서 스위칭 주파수를 높이면 THD가 감소하여 이상적인 결과에 가까워진다는 결론에 도달하였다. 하지만 스위칭 주파수가 과도하게 높아지면 스위칭 손실 또한 상승하기 때문에 적절한 스위칭 주파수 값을 선정하는 과정이 필요할 것이다.