

REPORT

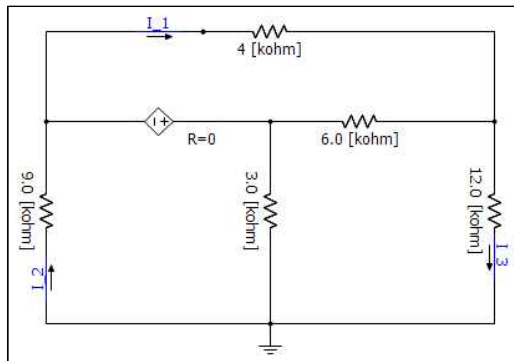
1주차 설계 보고서



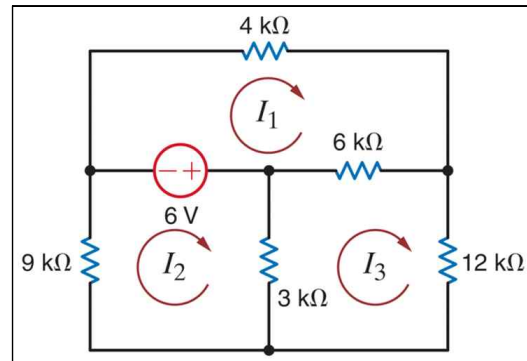
과목명	전력변환디바이스
담당교수	심재웅 교수님
학과	융합전자공학과
학년	3학년
학번	201910906
이름	이학민
제출일	2023.09.27.

1. Example1

1) 회로도



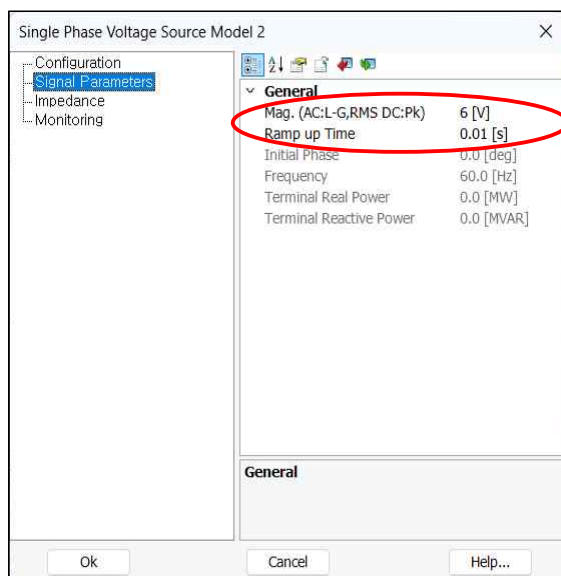
PSCAD로 설계한 회로



주어진 회로

2) 회로 정수 설정

주어진 회로의 조건에 따라 저항의 값을 맞추었고 전압원은 6[V]로 설정하였다.

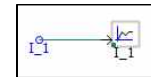
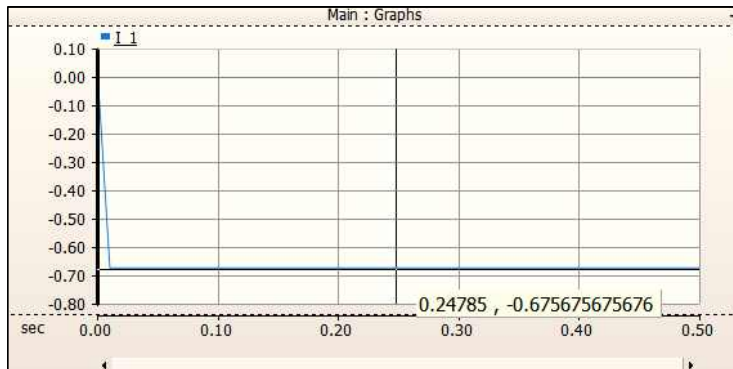


공급 전압의 파형을 정상상태에 빠르게 도달시키기 위하여 Ramp up Time을 0.05[s]에서 0.01[s]로 변경하였다.

3) PSCAD 시뮬레이션 결과

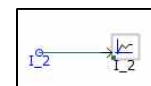
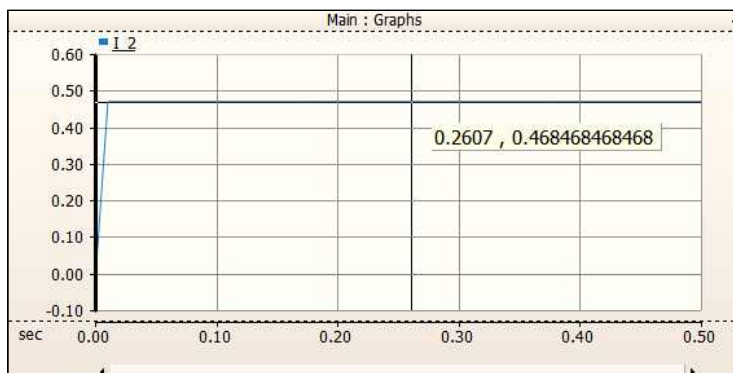
시간에 따른 각 전류의 파형을 시뮬레이션한 모습이다. 그래프의 값을 [mA] 단위로 나타내기 위하여 Output Channel의 Scale Factor를 1,000,000으로 설정하였다. (기본 단위가 [kA])

① 전류 I_1 그래프 파형



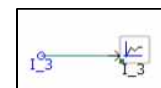
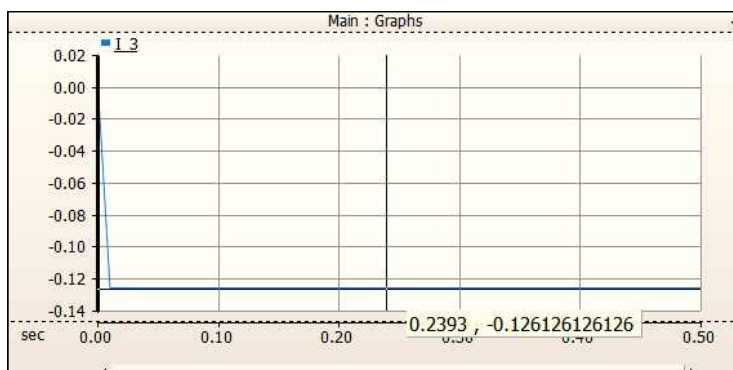
그래프의 값을 읽어보면 정상상태에 도달한 전류 I_1은 -0.675675675676 [mA]이다.

② 전류 I_2 그래프 파형



그래프의 값을 읽어보면 정상상태에 도달한 전류 I_2은 0.468468468468 [mA]이다.

③ 전류 I_3 그래프 파형



그래프의 값을 읽어보면 정상상태에 도달한 전류 I_3은 -0.126126126126 [mA]이다.

4) 결과 분석

위의 내용을 바탕으로 얻은 그래프의 값을 정리하면 다음과 같다.

$$I_1 = -0.675675675676 \text{ [mA]}$$

$$I_2 = 0.468468468468 \text{ [mA]}$$

$$I_3 = -0.126126126126 \text{ [mA]}$$

Loop1

$$4k I_1 + 6k (I_1 - I_3) + 6 = 0$$

$$(4k + 6k) I_1 - (0) I_2 - (6k) I_3 = -6$$

Loop2

$$9k I_2 + 3k (I_2 - I_3) - 6 = 0$$

$$-(0)I_1 + (9k + 3k) I_2 - (3k) I_3 = 6$$

Loop3

$$6k (I_3 - I_1) + 3k (I_3 - I_2) + 12k I_3 = 0$$

$$-(6k) I_1 - (3k) I_2 + (3k + 6k + 12k) I_3 = 0$$

$$\begin{bmatrix} 10k & 0 & -6k \\ 0 & 12k & -3k \\ -6k & -3k & 21k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6 \\ 6 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 10 & 0 & -6 \\ 0 & 12 & -3 \\ 0 & -3 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.006 \\ 0.006 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = -0.6757 \text{ mA}, I_2 = 0.4685 \text{ mA}$$

$$I_3 = -0.1261 \text{ mA}$$

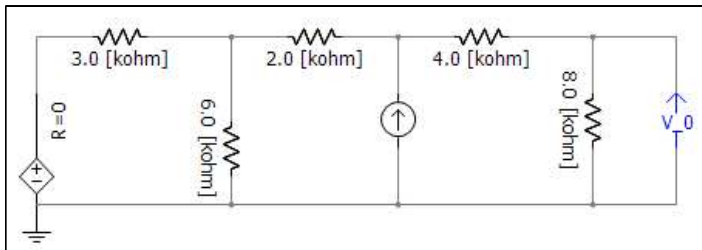
주어진 문제의 풀이 과정은 다음과 같고, PSCAD 시뮬레이션을 통해 구한 결과와 일치함을 알 수 있다.

5) 결론

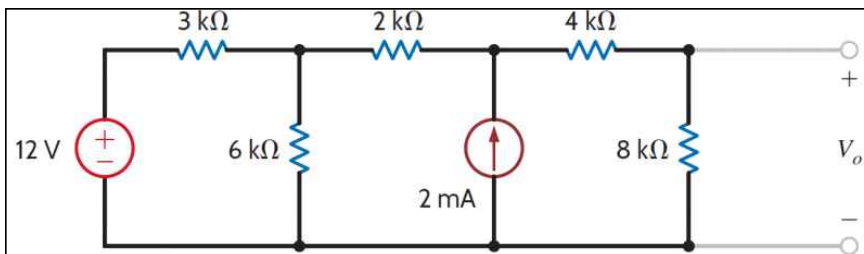
PSCAD 시뮬레이션을 통한 결과와 주어진 문제를 Mesh Equations를 통해 직접 계산한 결과가 일치하므로 회로 설계가 올바르게 이루어졌다고 할 수 있다.

2. Example2

1) 회로도



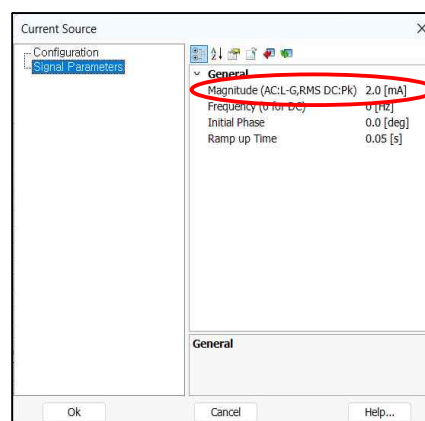
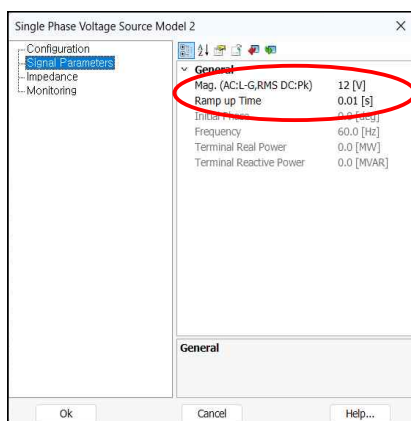
PSCAD로 설계한 회로



주어진 회로

2) 회로 정수 설정

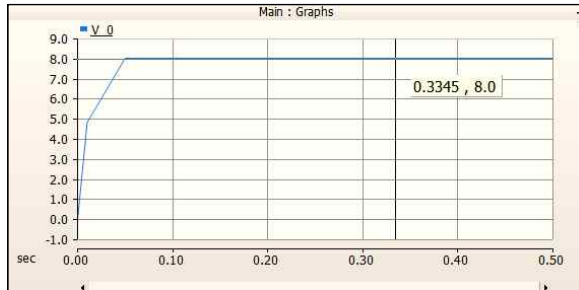
주어진 회로의 조건에 따라 저항의 값을 맞추었고, 전압원은 12[V], 전류원은 2[mA]로 설정하였다.



공급 전압의 파형을 정상상태에 빠르게 도달시키기 위하여 Ramp up Time을 0.05[s]에서 0.01[s]로 변경하였다.

3) PSCAD 시뮬레이션 결과

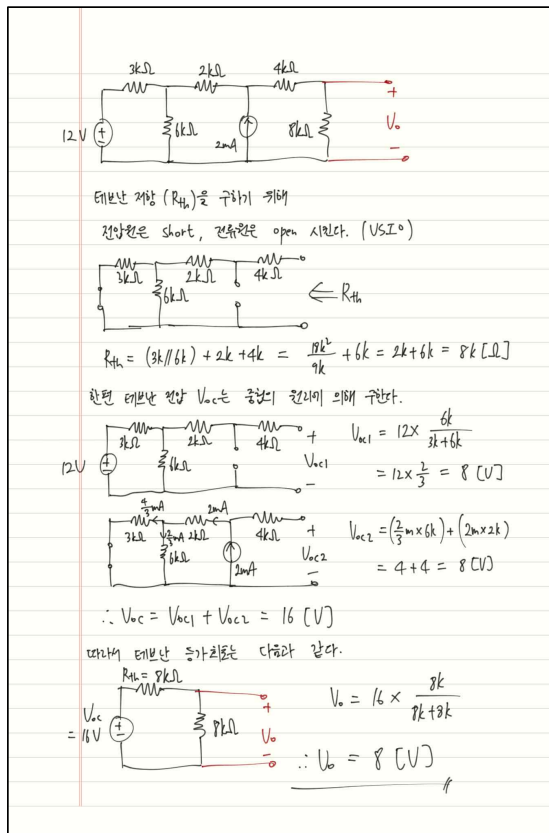
시간에 따른 각 전류의 파형을 시뮬레이션한 모습이다. 그래프의 값을 [V] 단위로 나타내기 위하여 Output Channel의 Scale Factor를 1,000으로 설정하였다. (기본 단위가 [kV])



그래프의 값을 읽어보면 정상상태에 도달한 전류 V_0 은 8.0 [V]이다.

4) 결과 분석

위의 과정을 통해 $V_0 = 8.0$ [V]임을 알 수 있었고, Thevenin's Theorem에 따라 풀이하는 과정은 다음과 같다. 두 결과를 비교하면 값이 같다.

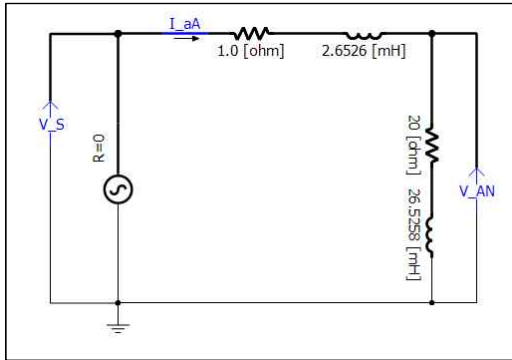


5) 결론

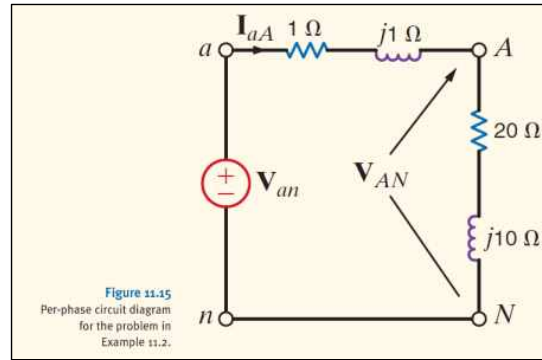
PSCAD 시뮬레이션을 통한 결과와 주어진 문제를 직접 풀이한 결과가 일치하므로 회로 설계가 올바르게 이루어졌다고 할 수 있다.

3. Example3

1) 회로도



PSCAD로 설계한 회로



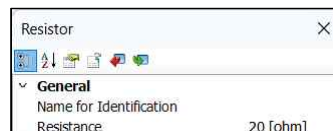
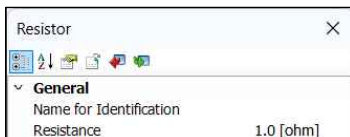
주어진 회로

Source와 Load가 모두 three-phase wye-connected인 회로에서 a phase를 기준으로 주어진 문제를 분석하였다. 중성점에서 Ground 소자를 통해 접지하였고 회로에서의 전압과 전류를 측정하기 위하여 멀티미터를 추가 설치하였다.

(전류 멀티미터 - 직렬연결 / 전압 멀티미터 - 병렬연결)

2) 회로 정수 설정

설계 시 저항은 주어진 조건에 따라 입력하였다.

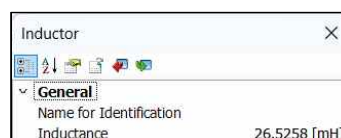


주어진 리액턴스의 값에서 인덕터의 인덕턴스(L)를 계산하였다. 이때 주파수는 $60 [Hz]$ 이다.

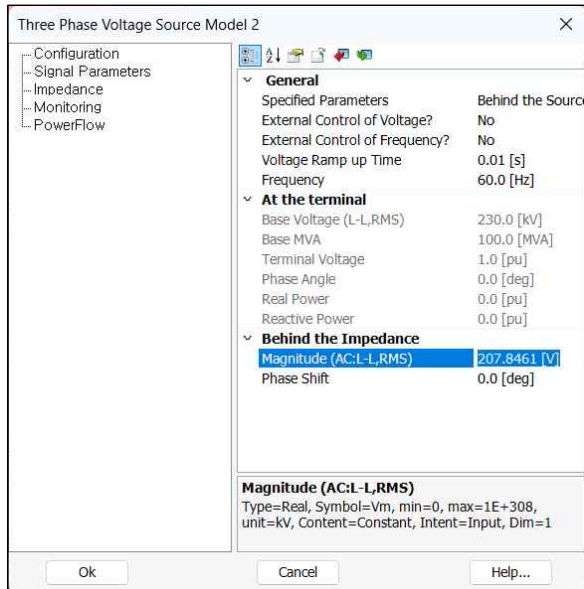
$$j\omega L = j1, \quad \omega L = 1, \quad 2\pi f L = 1$$

$$\therefore L = \frac{1}{120\pi} = 2.6526 [mH]$$

다음과 같은 과정을 통해 리액턴스가 $j1 [\Omega]$ 인 인덕터의 인덕턴스를 구하였다. 마찬가지로 방법으로 $j10 [\Omega]$ 일 때 인덕턴스를 구하면 $26.5258 [mH]$ 이다.



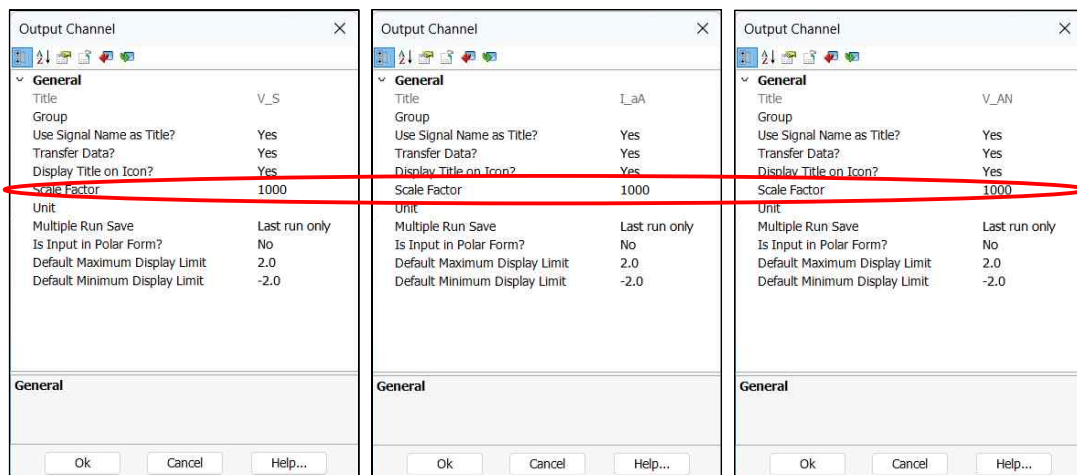
문제의 조건에서 Source의 크기가 120[V]이고 상전압, RMS에 해당한다. 하지만 PSCAD의 3상 전원은 선간전압(Line to Line)을 입력받는다.



따라서 Magnitude (AC:L-L, RMS)에 $120\sqrt{3} = 207.8461 [V]$ 를 사용하였다.

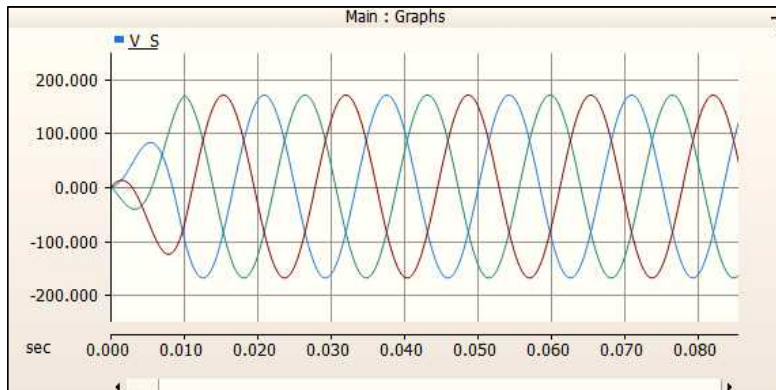
또한 전원의 전압 파형이 정상상태에 더 빠르게 도달할 수 있도록 Voltage Ramp up Time을 0.01[s]로 변경하였다.

3) PSCAD 시뮬레이션 결과



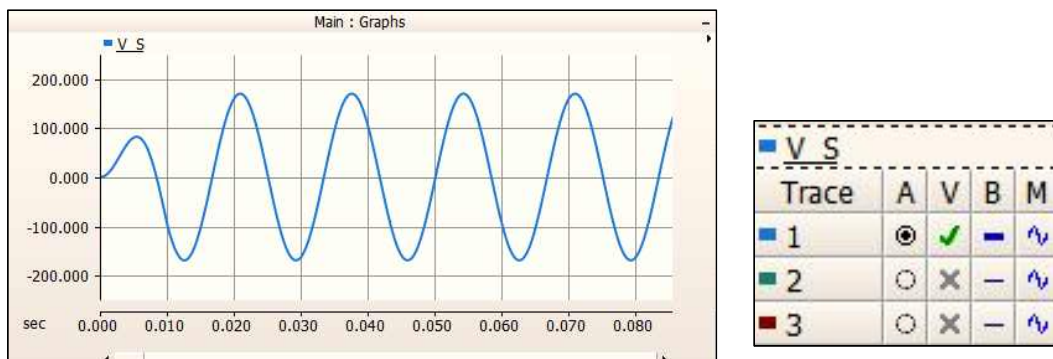
설계한 회로의 시뮬레이션 결과를 보기에 앞서 PSCAD의 기본 단위와 주어진 문제의 단위를 일치시키기 위하여 V_S, I_aA, V_AN의 Scale Factor를 1000으로 설정하였다.

(1) 공급전원(V_S)의 전압 파형

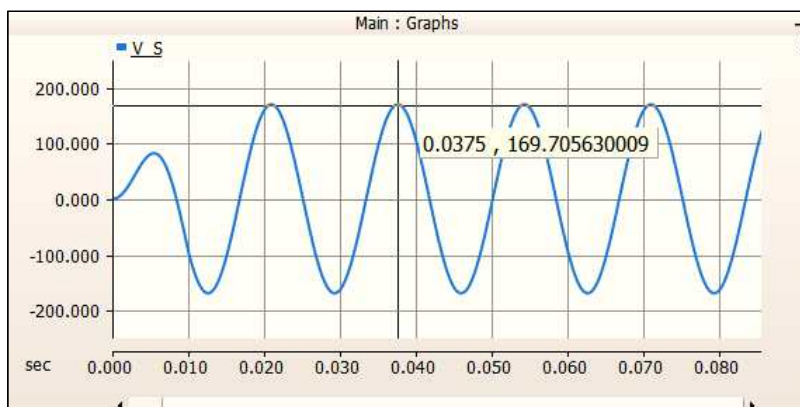


3상 전원에서 공급되는 전압(V_S)의 파형 그래프이다. 공급전원의 전압을 측정하기 위하여 전압 멀티미터를 공급전원의 양단에 병렬로 연결하였다.

주어진 문제의 분석이 수월하도록 a상의 전압 파형 그래프만 남기면 다음과 같다.



그래프 위에 마우스를 두고 키보드의 C 버튼을 누르면 다음과 같이 값을 읽을 수 있다.



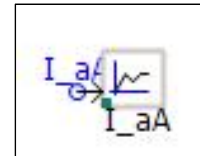
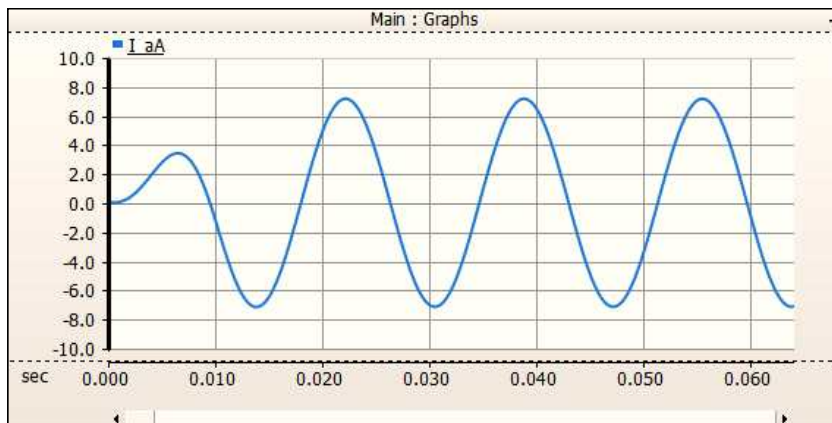
정상상태에 도달한 V_S의 파형은 최댓값이 169.705630009[V]인 정현파이다.

그래프가 올바르게 나왔는지 확인하기 위하여 그래프의 최댓값으로부터 RMS값을 직접 계산하여 비교하였다. 공급전원 전압의 RMS의 $\sqrt{2}$ 배가 전압의 최댓값이므로 다음과 같다.

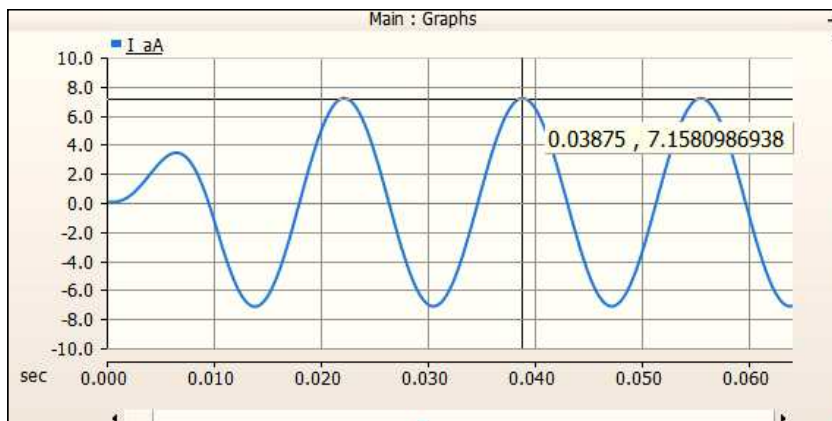
$$V_{s, rms} = \frac{V_{S, peak}}{\sqrt{2}} = 120.0000018 [V]$$

계산하여 얻은 RMS값이 문제에서 주어진 120[V]와 일치하므로 회로에서 전압이 의도한 대로 공급되고 있음을 알 수 있다.

(2) 선전류(I_aA) 파형



a, b, c상 중 a상에 흐르는 선전류(I_aA)의 파형 그래프만 선택한 결과이다. a상의 선전류를 측정하기 위하여 회로에서 전류 멀티미터를 저항, 인덕터 소자와 직렬로 연결하였다.

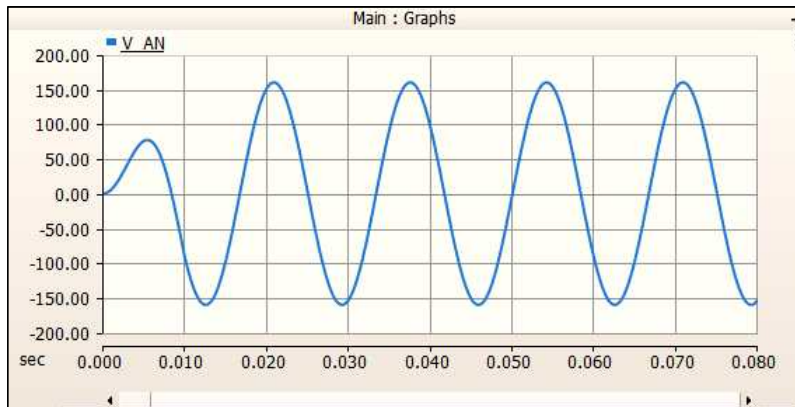


정상상태에 도달한 I_aA의 파형은 최댓값이 7.1580986938[A]인 정현파이다.

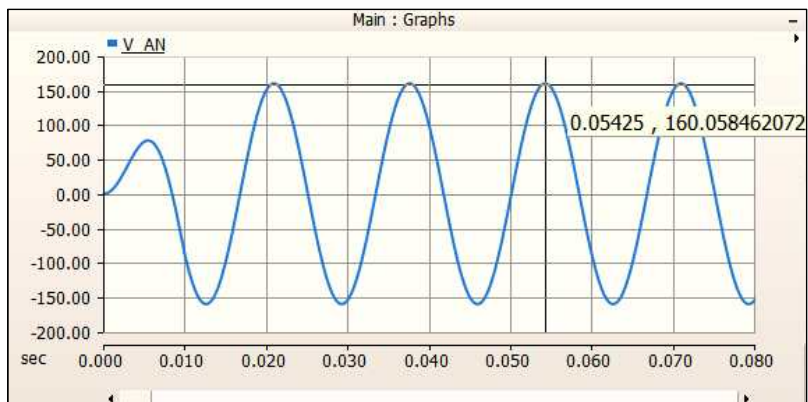
최댓값으로부터 RMS값을 구하면 다음과 같다.

$$I_{aA, rms} = \frac{I_{aA, peak}}{\sqrt{2}} = 5.061540127 [A]$$

(3) 부하전압(V_AN) 파형



a상의 부하에 걸리는 전압(V_AN)을 정하기 위하여 회로에서 전압 멀티미터를 부하의 저항, 인덕터 소자와 병렬로 연결하였다.

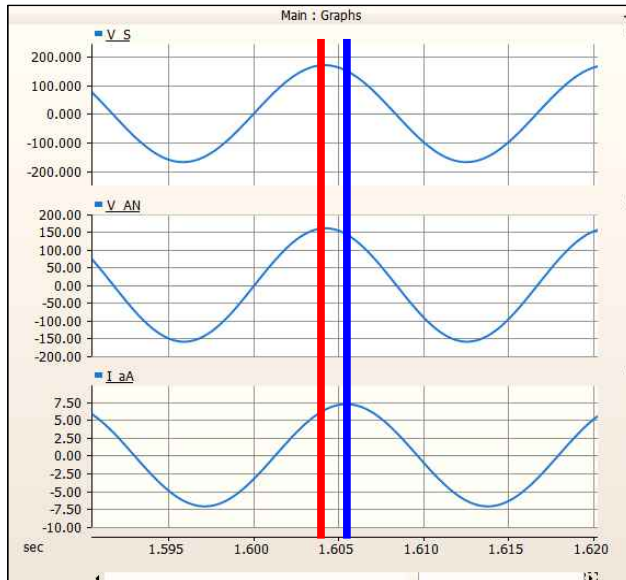


정상상태에 도달한 V_AN의 파형은 최댓값이 160.058462072[V]인 정현파이다.

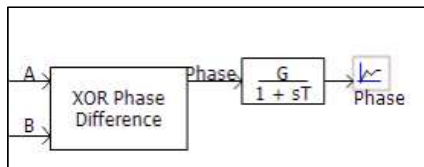
최댓값으로부터 RMS값을 구하면 다음과 같다.

$$V_{AN, rms} = \frac{V_{AN, peak}}{\sqrt{2}} = 113.1784239 [V]$$

(4) 각 파형의 위상 비교 및 측정



설계한 회로에 저항과 인덕터만 포함되어 있기 때문에 전류가 전압보다 위상이 뒤지는 현상 (Lagging)이 나타날 것이라고 예측하였다. 전압·전류 파형 그래프를 합하여 x축 시간을 하나로 보이게 만들고 파형을 비교해 본 결과, 두 전압(V_S , V_{AN}) 파형에 비해 전류(I_{aA})의 파형이 뒤짐을 한눈에 알 수 있었다. 또한 그래프만 봤을 때 파악하기는 어렵지만 V_S 와 V_{AN} 의 위상 차이도 존재하는데, 정확한 위상의 차이를 알기 위하여 XOR Phase Difference를 이용하였다.



앞서 시뮬레이션을 통해 얻은 그래프에서 전압과 전류의 크기를 구할 수 있었다. 한편 위상에 대한 정보는 얻지 못했는데, 다음과 같은 과정을 통해 signal B의 위상을 기준으로 한 signal A의 위상을 얻을 수 있다.

XOR Phase Difference

[Description](#)

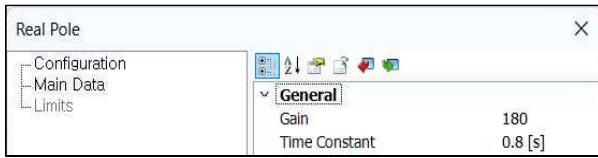
Input Parameters

Description

This component calculates the XOR phase difference between two time varying input signals A and B.

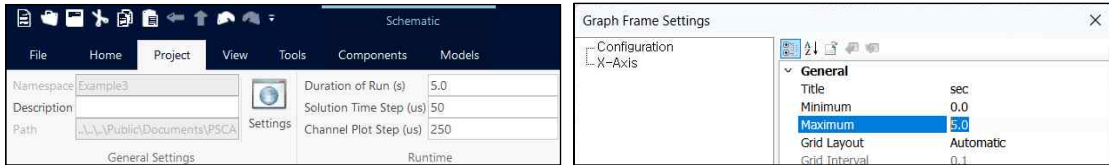
It produces a non-zero output when the two inputs are of opposite signs. The sign of the output is dependent on which input is leading compared to the other.

The average value of the signal can be regarded as the phase difference between the two signals. The output varies between -1 and +1 and MUST be smoothed in order to obtain a meaningful result. To convert to degrees, multiply by 180°. To convert to radians, multiply by π .

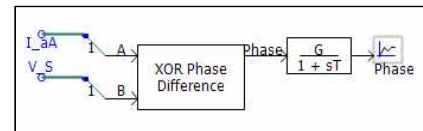
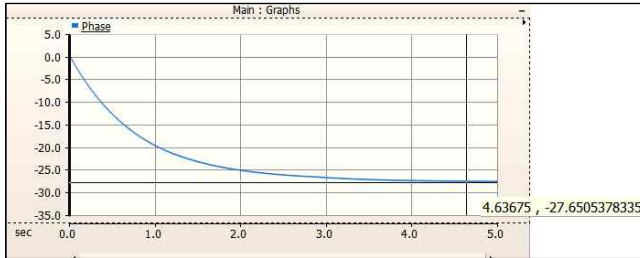


help 문서에 따르면, 위상 차이를 각도로 변환하기 위해서 180° 를 곱해주어야 하므로 Low Pass Filter의 Gain을 180으로 설정하였다. Time Constant는 0.8[s]로 설정하였다.

Phase 그래프를 보기에 앞서 Duration of Run과 x축 최댓값을 5.0[s]로 설정하였다.

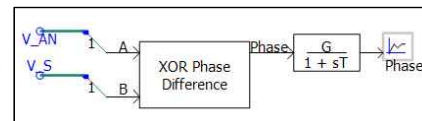
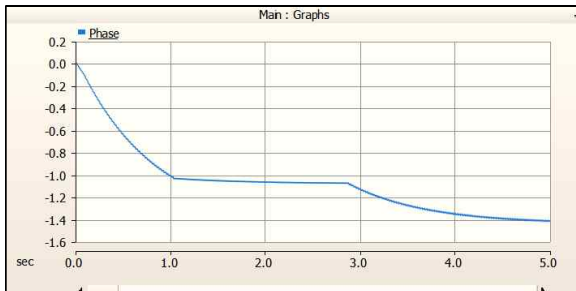


① Input Signals - (A : I_aA, B : V_S)

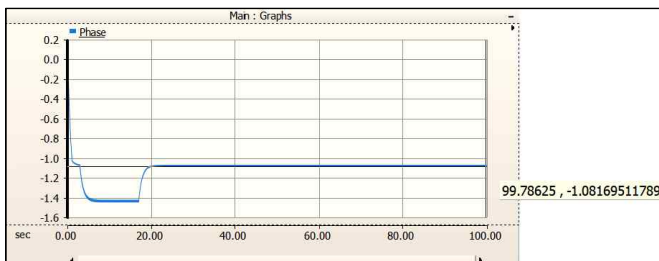


주어진 문제에서 V_S는 위상의 기준인 0° 이고 그래프의 값을 통해 V_S를 기준으로 한 I_aA의 위상은 -27.65° 에 근접함을 알 수 있다.

② Input Signals - (A : V_AN, B : V_S)



그래프의 파형이 끝까지 나오지 않은 것으로 판단하여 Duration of Run을 100.0[s]로 설정하고 다시 그래프를 구하였다.



마찬가지 방식으로 V_S를 기준으로 한 V_AN의 위상은 -1.08° 에 근접함을 알 수 있다.

4) 결과 분석

위의 내용을 바탕으로 얻은 그래프의 RMS값과 공급전원을 기준으로 한 각각의 위상을 정리하면 다음과 같다.

$$V_S = 120.0000018 \angle 0^\circ [V_{rms}]$$

$$I_{aA} = 5.061540127 \angle -27.6505378335^\circ [A_{rms}]$$

$$V_{AN} = 113.1784239 \angle -1.08169511789^\circ [V_{rms}]$$

<p>The phase voltages are</p> $V_{an} = 120 \angle 0^\circ \text{ V rms}$ $V_{bn} = 120 \angle -120^\circ \text{ V rms}$ $V_{cn} = 120 \angle +120^\circ \text{ V rms}$	<p>The per-phase circuit diagram is shown in Fig. 11.15. The line current for the <i>a</i> phase is</p> $I_{aA} = \frac{120 \angle 0^\circ}{21 + j11}$ $= 5.06 \angle -27.65^\circ \text{ A rms}$ <p>The load voltage for the <i>a</i> phase, which we call V_{AN}, is</p> $V_{AN} = (5.06 \angle -27.65^\circ)(20 + j10)$ $= 113.15 \angle -1.08^\circ \text{ V rms}$
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

주어진 문제의 풀이 과정은 다음과 같고, PSCAD 시뮬레이션을 통해 구한 결과와 일치함을 알 수 있다.

5) 결론

전력변환디바이스 교과목의 첫 번째 실습에서는 PSCAD를 이용하여 회로를 설계하고 시뮬레이션을 통해 분석하는 방법에 대하여 학습하였다. 실습 결과가 정확하게 나오긴 했지만, 그래프의 값을 읽기 위해 마우스 커서를 직접 이동해야 하고 교류 신호의 경우 위상을 구하는 그래프를 따로 출력해야 하는 번거로움이 있었다. 따라서 이번 실습과 같이 간단한 회로의 경우 직접 계산하여 구하는 것이 빠를 것 같다고 생각하였다. 하지만 복잡한 회로를 설계하는 과정이 필요하거나 다양한 입력 신호에 따라 달라지는 전압·전류의 파형을 빠르게 분석하고자 할 때 PSCAD 프로그램이 큰 도움이 될 것이다.