IT CookBook, 처음 만나는 회로이론(2판)

[실습 워크북 이용 안내]

- 본 실습 워크북의 저작권은 방성완과 한빛아카데미(주)에 있습니다.
- **이 자료를 무단으로 전제하거나 배포할 경우 저작권법 136조에 의거하여 최고 5년 이하의 징역 또는 5천만원 이하의 벌금에 처할 수 있고 이를 병과(倂科)할 수도 있습니다.**

회로와 MATLAB
시뮬링크의 만남

A1. 저항 R에 흐르는 전류 i 구하기 _[연계] 1장

A2. 전압 v_1과 v_2구하기 _[연계] 2장

A3. 선형연립방정식의 해 구하기 _[연계] 4장

A4. RL 회로의 전류 $i_L(t)$ 나타내기 _[연계] 5장

A5. 사인 파형 설계하기 _[연계] 6장

A6. 순간 전력 나타내기_[연계] 7장

A7. 보드선도 그리기 _[연계] 8장

A8. 전달함수 $F(s)$에 대한 계단 응답 구현하기 _[연계] 9장

A1. 저항 R에 흐르는 전류 i 구하기

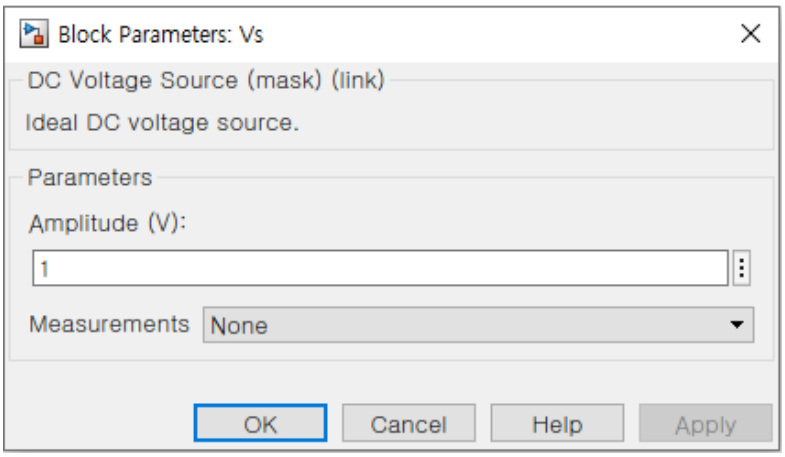
Q. [예제 1-3]에 주어진 회로에서 저항 R에 흐르는 전류 i를 구하는 시뮬링크 모델을 설계하라.

풀이

① powergui 블록을 생성한다.
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[powergui]

② DC Voltage Source 블록을 생성한다.
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[Electrical Sources]-[DC Voltage Source]

③ 블록의 이름을 Vs로 바꾼 후 더블 클릭하여 [Amplitude (V):]에 1를 입력한다.

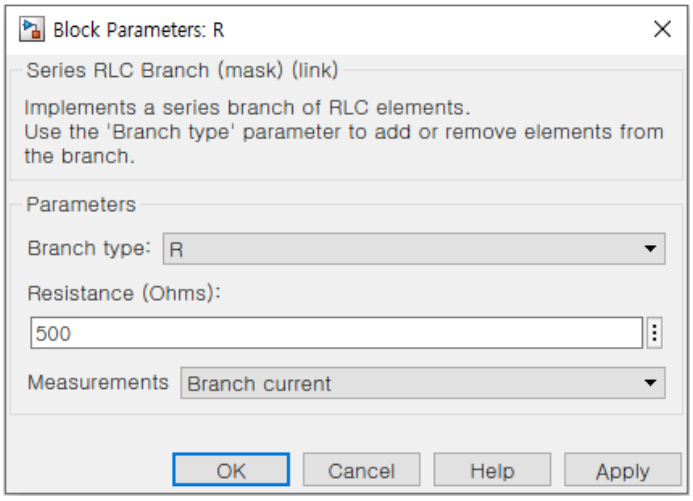


[그림 A1-1] 블록 Vs에 전압 지정

④ Series RLC Branch 블록을 생성하고 블록의 이름을 R로 지정한다.
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[Elements]-[Series RLC Branch]

⑤ 블록 R을 클릭한 후 마우스의 오른쪽 버튼을 눌러서 [Rotate & Flip]-[Counterclockwise]을 실행하여 회전시킨다.

⑥ 블록 R을 더블 클릭하여 [Branch type:]은 저항을 나타내는 R로 바꾸고, [Resistance(Ohms):]에 500을 입력하며, [Measurements]는 Branch current로 지정한다.

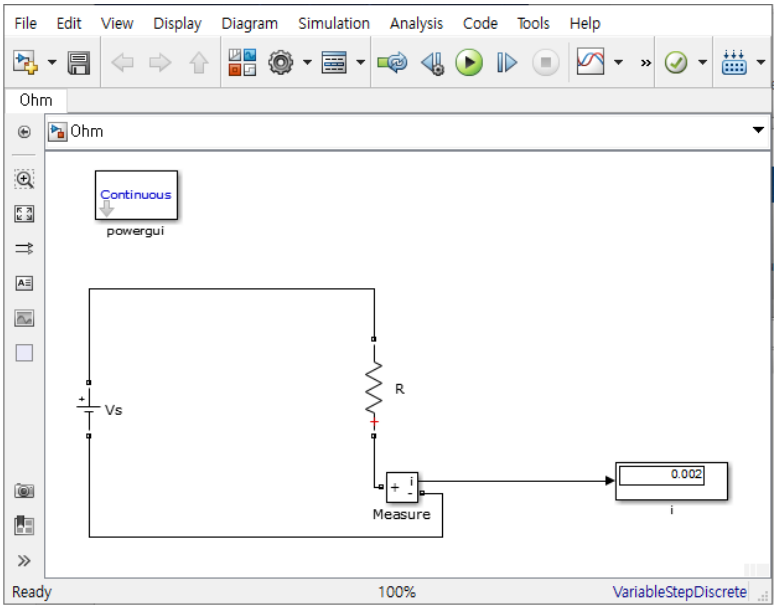


[그림 A1-2] 블록 R의 소자 변경과 저항값 지정

⑦ Current Measurement 블록을 생성하고 블록의 이름을 Measure로 바꾼다.
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[Measurements]-[Current Measurement]

⑧ Display 블록을 생성하고 블록의 이름을 i로 바꾼다.
[Sinks]-[Display]

⑨ 블록을 모두 연결하고 시뮬레이션을 실행하면 다음과 같은 결과를 얻는다.
[예제 1-3]의 결과와 동일한 전류 $i = 0.002$ [A] 또는 $i = 2$ [mA]를 Display 블록에서 보여준다.



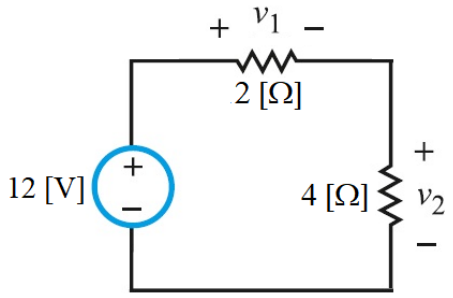
[그림 A1-3] 완성된 시뮬링크 모델

[그림 A1-3]의 시뮬링크 모델을 설계하기 위해서 사용한 시뮬링크 블록은 다음과 같다.

- **그래픽 사용자 인터페이스** : MATLAB의 시뮬링크를 이용하는 회로 설계에서 모든 상태변수(인덕터 전류 및 커패시터 전압)뿐만 아니라 전류와 전압의 정상값을 측정하여 그 결과를 나타내기 위해 그래픽 사용자 인터페이스(GUI: graphical user interface)를 사용한다.
- **powergui 블록** : powergui 블록을 이용하면 그래픽 사용자 인터페이스를 사용할 수 있다.
- **DC Voltage Source 블록** : DC Voltage Source 블록을 이용하면 이상적인 직류(DC) 전압원(voltage source)을 생성할 수 있다.
- **Series RLC Branch 블록** : Series RLC Branch 블록을 이용하면 저항, 인덕터 및 커패시터의 세 가지 소자 중 하나 또는 모두를 직렬 조합으로 연결하여 선형 부하를 구현할 수 있다.
- **Current Measurement 블록** : Current Measurement 블록을 이용하면 임의의 전기적 블록 또는 연결선에 흐르는 순간 전류를 측정할 수 있다.
- **Display 블록** : Display 블록은 연산 결과를 숫자로 보여줄 때 사용한다. 이때 Format을 이용하여 선택적으로 다양한 출력 형태를 결정할 수 있다.

A2. 전압 v_1과 v_2구하기

Q. 다음 회로에서 전압 v_1과 v_2를 구하는 시뮬링크 모델을 설계하라. [그림 A2-1]은 [연습문제 2.3]에 주어진 회로의 등가 저항을 이용하여 새롭게 구성한 회로와 동일하다.

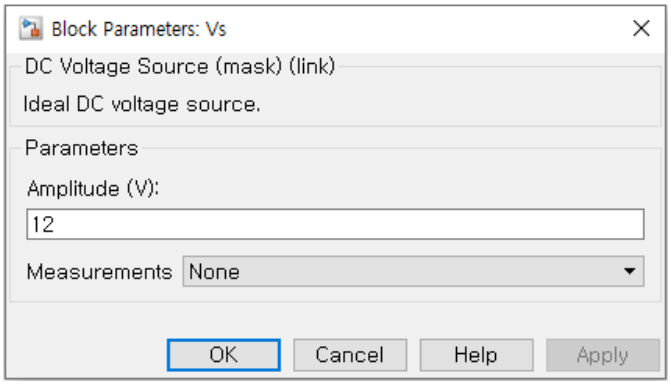


[그림 A2-1] 전압 분할 법칙의 적용

풀이

① **powergui 블록을 생성한다.**
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[powergui]

② **DC Voltage source 블록을 생성하고 블록의 이름을 Vs로 바꾼 후 더블클릭하여 [Amplitude:]에 12를 입력한다.**
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[Electrical Sources]-[DC Voltage Source]

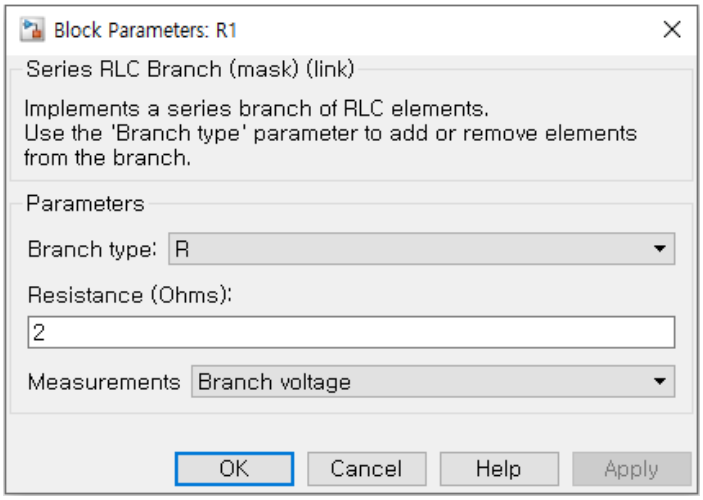


[그림 A2-2] 블록 Vs에 전압 설정

③ Series RLC Branch 블록을 생성하고 블록의 이름을 R1, R2로 바꾼다.
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[Elements]-[Series RLC Branch]

④ 블록 R2를 클릭한 후 마우스 오른쪽 버튼을 눌러서 [Rotate & Flip]-[Counterclockwise]을 실행하여 회전시킨다.

⑤ 블록 R1을 더블클릭하여 [Branch type:]은 저항을 나타내는 R로 바꾸고, [Resistance(Ohms):]에 2를 입력, [Measurements]는 Branch voltage로 설정한다.



[그림 A2-3] 블록 R1의 소자 변경과 저항값 설정

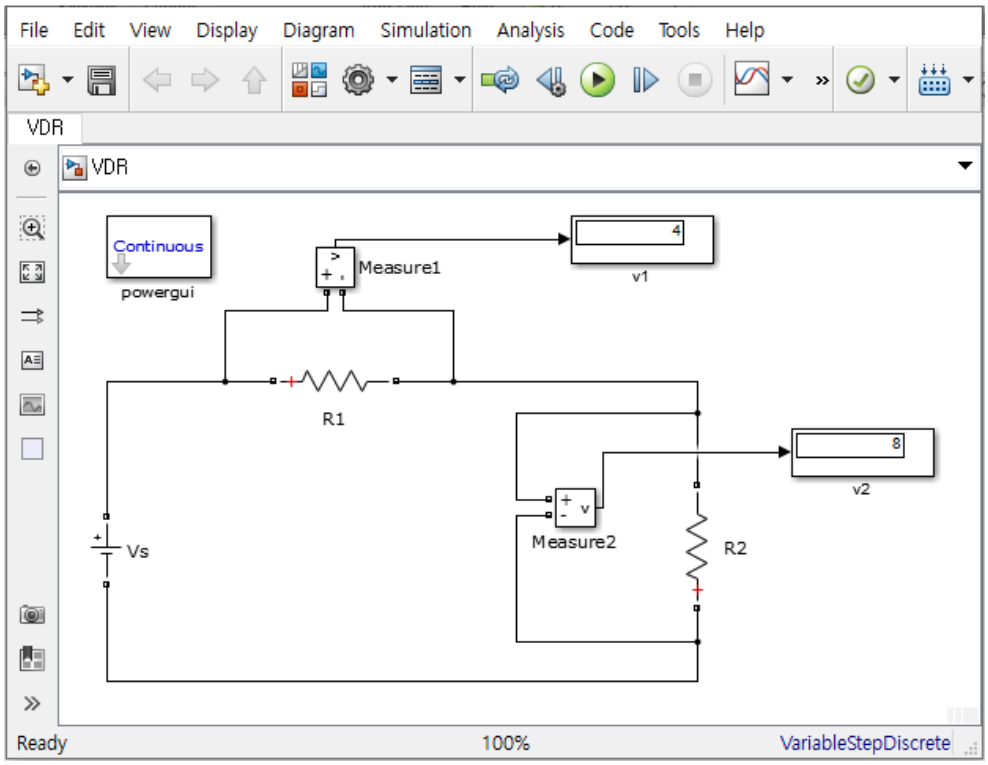
⑥ 마찬가지로 블록 R2를 더블클릭하여 [Branch type:]을 R로 바꾸고 [Resistance(Ohms):]에 4를 입력한다.

⑦ Voltage Measurement 블록 2개를 생성하고 블록의 이름을 각각 Measure1, Measure2로 바꾼다.
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[Measurements]-[Voltage Measurement]

⑧ 블록 Measure1을 클릭한 후 마우스 오른쪽 버튼을 누르고 [Rotate & Flip]-[Counterclockwise]을 실행하여 회전시킨다.

⑨ Display 블록 2개를 생성하고 블록의 이름을 각각 v1, v2로 바꾼다.
[Sinks]-[Display]

⑩ 블록을 모두 연결하고 시뮬레이션을 실행하면 다음과 같은 결과를 얻는다.



[그림 A2-4] 완성된 시뮬링크 모델

전압 분할 법칙(voltage divider rule)은 옴의 법칙과 키르히호프의 법칙을 기반으로 하는 회로 해석의 방법 중 하나이다. 전압 분할 법칙은 주어진 입력 전압을 이용하여 회로의 저항에 걸리는 전압을 계산하는 방법으로, 회로의 저항 비율을 고려하여 찾는다.

전압 분할 법칙을 이용하면 각 전압은 다음과 같다.

$$v_1 = 12 \times \frac{2}{2+4} = 4\,[\mathrm{V}]$$

$$v_2 = 12 \times \frac{4}{2+4} = 8\,[\mathrm{V}]$$

[그림 A2-4]의 시뮬링크 모델을 설계하기 위해서 사용한 시뮬링크 블록은 다음과 같다.

- **그래픽 사용자 인터페이스** : MATLAB의 시뮬링크를 이용하는 회로 설계에서 모든 상태변수 (인덕터 전류 및 커패시터 전압)뿐만 아니라 전류와 전압의 정상값을 측정하여 그 결과를 나타내기 위해 그래픽 사용자 인터페이스(GUI: graphical user interface)를 사용한다.
- **powergui 블록** : powergui 블록을 이용하면 그래픽 사용자 인터페이스를 사용할 수 있다.
- **DC Voltage Source 블록** : DC Voltage Source 블록을 이용하면 이상적인 직류(DC) 전압원(voltage source)을 생성할 수 있다.
- **Series RLC Branch 블록** : Series RLC Branch 블록을 이용하면 저항, 인덕터 및 커패시터의 세 가지 소자 중 하나 또는 모두를 직렬 조합으로 연결하여 선형 부하를 구현할 수 있다.
- **Voltage Measurement 블록** : Voltage Measurement 블록을 이용하면 두 전기적 접점 사이에 있는 저항에 걸리는 순간 전압을 측정할 수 있다.
- **Display 블록** : Display 블록은 연산 결과를 숫자로 보여줄 때 사용한다. 이때 Format을 이용하여 선택적으로 다양한 출력 형태를 결정할 수 있다.

A3. 선형연립방정식의 해 구하기

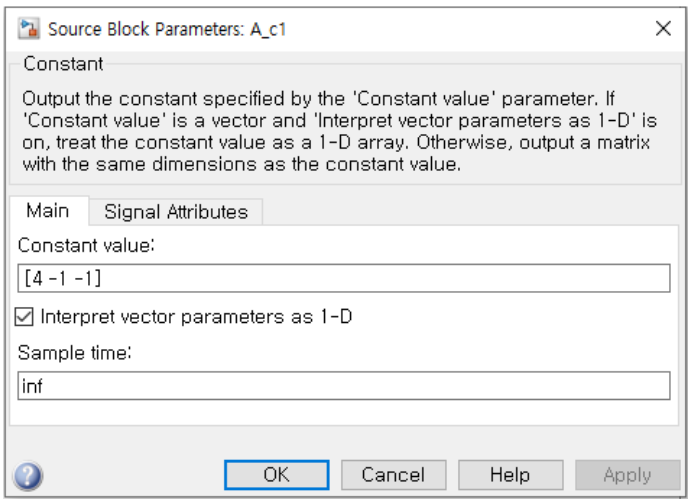
Q. 크래머 법칙을 이용하여 [예제 4-4]에서 주어진 다음 선형연립방정식의 해를 구하는 시뮬링크 모델을 설계하고, 그 결과를 나타내라.

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix}4 & -2 & -1\\ -1 & 2 & -1\\ -1 & -2 & 3\end{bmatrix},\quad \mathbf{x}=\begin{bmatrix}I_1\\ I_2\\ I_3\end{bmatrix},\quad \mathbf{c}=\begin{bmatrix}0\\ 3\\ 3\end{bmatrix}$$

풀이

① 행렬 **A**의 각 열을 입력할 수 있는 Constant 블록 세 개를 생성하고 블록의 이름을 각각 A_c1, A_c2, A_c3로 바꾼다.
[Commonly Used Blocks]-[Constant]

② 블록 A_c1, A_c2, A_c3을 더블클릭하여 [Constant value:]에 [4 -1 -1], [-2 2 -2], [-1 -1 3]을 입력한다.

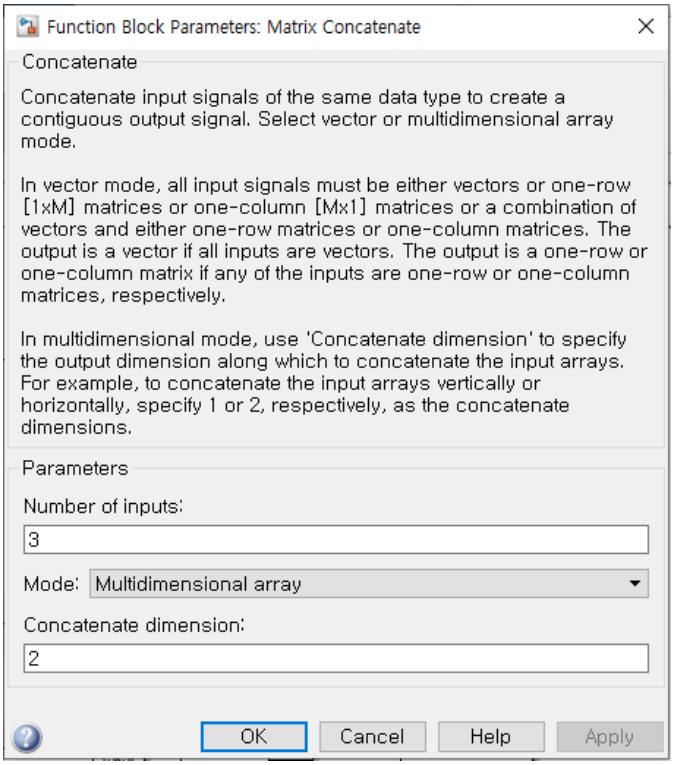


[그림 A3-1] 블록 A_c1에 행렬 A의 첫 번째 열을 입력

③ 상수 벡터 **c**를 입력할 수 있는 Constant 블록을 생성하고 블록의 이름을 c로 바꾼 후 [Constant value:]에 [0 3 3]을 입력한다.
[Commonly Used Blocks]-[Constant]

④ 크기가 같은 두 행렬을 하나로 묶는데 사용하는 Matrix Concatenate 블록 4개를 생성한다.
[DSP System Toolbox]-[Math Functions]-[Matrices and Linear Algebra]-[Matrix Operations]-[Matrix Concatenate]

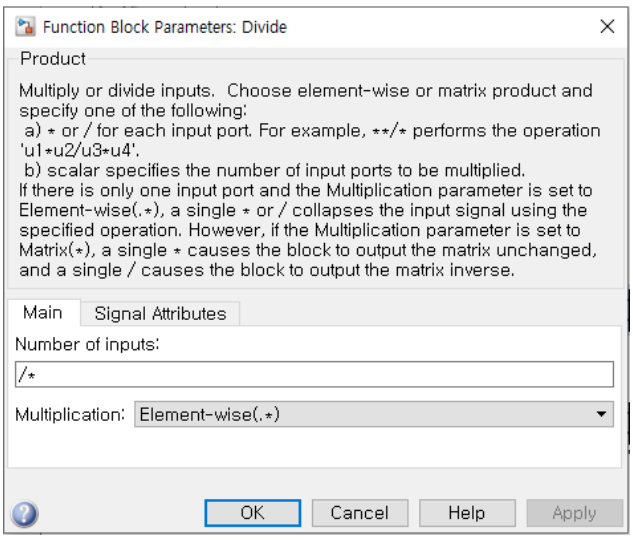
⑤ 4개의 블록을 더블클릭하고, 3개의 열을 입력 받을 수 있도록 [Number of inputs:]를 모두 3으로 바꾼다.



[그림 A3-2] Matrix Concatenate 블록의 입력 단자 3개 설정

⑥ 행렬식을 구하는 Determinant of 3x3 Matrix 블록 4개를 생성하고 블록의 이름을 각각 **det(A)**, **det(A1)**, **det(A2)**, **det(A3)**으로 바꾼다.
[Aerospace Blockset]-[Utilities]-[Math Operations]-[Determinant of 3x3 Matrix]

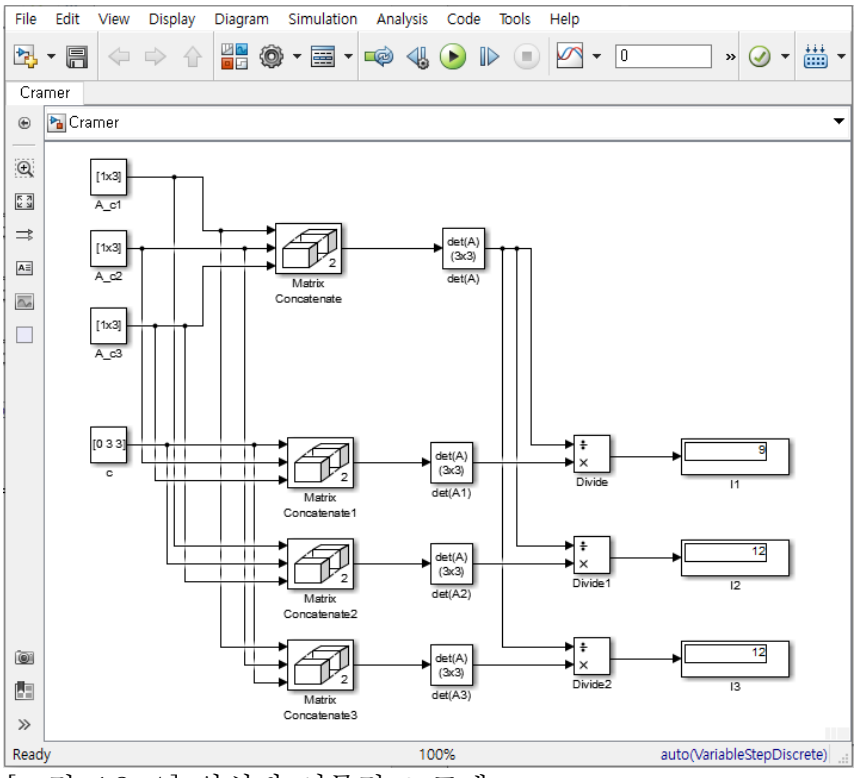
⑦ Divide 블록 3개를 생성하고 더블클릭하여 [Number of inputs:]를 모두 /*로 바꾼다.
[Math Operations]-[Divide]



[그림 A3-3] Divide 블록의 새로운 부호 설정

⑧ Display 블록 3개를 생성하고 블록의 이름을 각각 **x1**, **x2**, **x3**으로 바꾼다.
[Sinks]-[Display]

⑨ 블록을 모두 연결하고 시뮬레이션을 실행한다.



[그림 A3-4] 완성된 시뮬링크 모델

⑩ Display 블록에 계산된 결과는 [예제 4-4]와 동일하다.

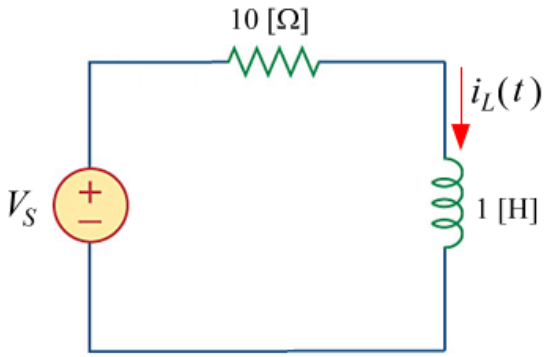
$$I_1 = \frac{|D_1|}{|D|} = \frac{36}{4} = 9 \quad , \quad I_2 = \frac{|D_2|}{|D|} = \frac{48}{4} = 12 \quad , \quad I_3 = \frac{|D_3|}{|D|} = \frac{48}{4} = 12$$

[그림 A3-4]의 시뮬링크 모델을 설계하기 위해서 사용한 시뮬링크 블록은 다음과 같다.

- **Constant 블록** : Constant 블록을 이용하면 실수와 복소수의 상숫값을 생성할 수 있다. Constant 블록은 상수값 매개변수의 차원에 따라 숫자, 벡터, 행렬의 출력을 생성한다.
- **Matrix Concatenate 블록** : Matrix Concatenate 블록을 이용하면 메모리의 인접한 위치에 있는 출력 신호의 원소를 생성하기 위한 입력 신호를 연결할 수 있다.
- **Determinant of 3x3 Matrix 블록** : Determinant of 3x3 Matrix 블록을 이용하면 입력으로 주어지는 행렬의 행렬식을 계산할 수 있다.
- **Divide 블록** : Divide 블록은 첫 번째 입력을 두 번째 입력으로 나눈 계산 결과를 출력 할 때 사용한다. 기능적으로 이미 설정된 2개의 블록 매개변숫값이 있는 Product 블록처럼 동작한다.
- **Display 블록** : Display 블록은 연산 결과를 숫자로 보여줄 때 사용한다. 이때 Forma을 이용하여 선택적으로 다양한 출력 형태를 결정할 수 있다.

A4. RL 회로의 전류 $i_L(t)$ 나타내기

Q. 다음 RL 회로의 전류 $i_L(t)$를 나타내는 시뮬링크 모델을 설계하고 그 결과를 스코프 창에 나타내라. 여기서 전압원 $V_S = 10\sin(150t)$ [V]이다.



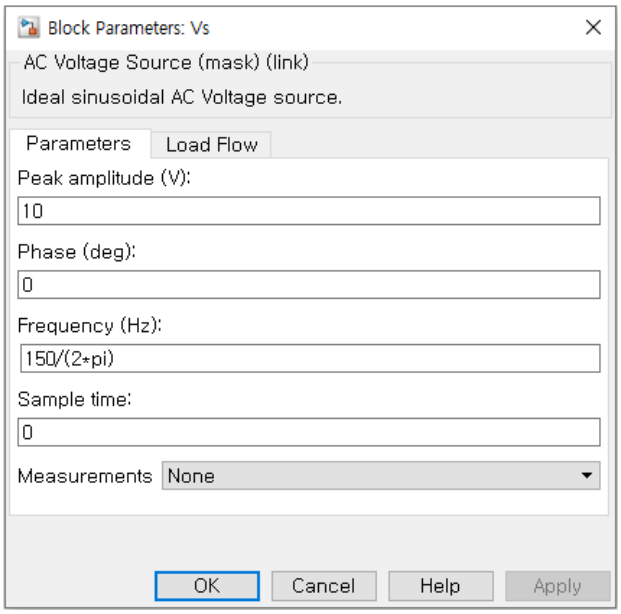
[그림 A4-1] RL 회로

<u>풀이</u>

① **powergui 블록을 생성한다**
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[powergui]

② **AC Voltage Source 블록을 생성하고 블록의 이름을 Vs로 바꾼다.**
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[Electrical Sources]-[AC Voltage Source]

③ **블록 Vs를 더블클릭하여 [Peak amplitude (V):]에 10, [Frequency(Hz):]에 150/(2*pi)를 입력한다.**

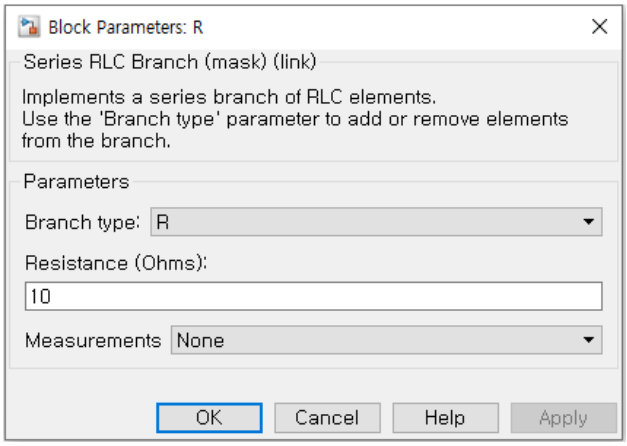


[그림 A4-2] 블록 Vs에 진폭, 주파수 설정

④ Series RLC Branch 블록 2개를 생성하고 블록의 이름을 각각 R, L로 바꾼다.
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[Elements]-[Series RLC Branch]

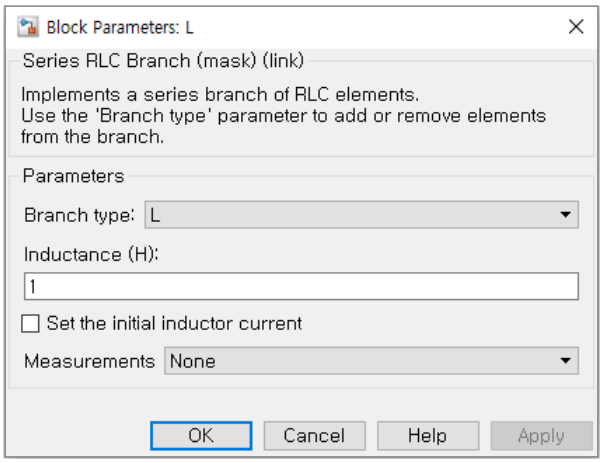
⑤ 블록 L을 클릭한 후 마우스 오른쪽 버튼을 누르고 [Rotate & Flip]-[Counterclockwise]를 실행하여 회전시킨다.

⑥ 블록 R을 더블클릭하여 [Branch type:]을 R로 바꾸고 [Resistance(Ohms):]에 10을 입력한다.



[그림 A4-3] 블록 R의 소자 변경과 저항 값 설정

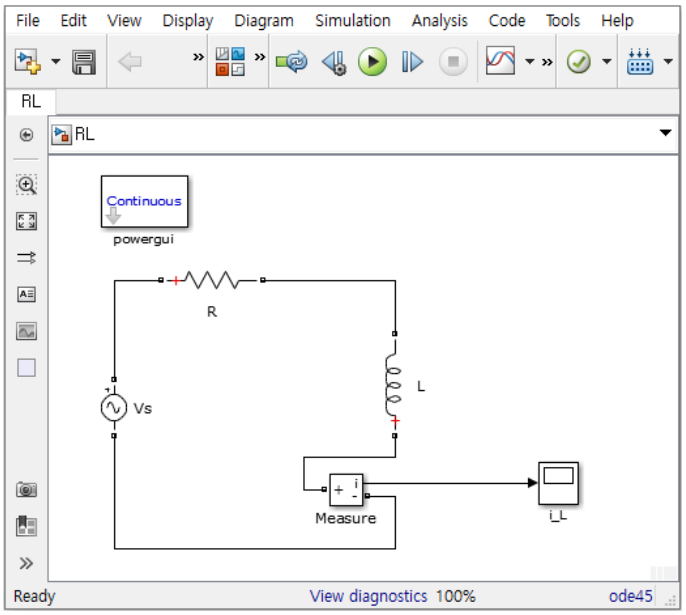
⑦ 블록 L을 더블클릭하여 [Branch type:]을 L로 바꾸고 [Inductance(H):]에 1을 입력한다.



[그림 A4-4] 블록 L의 소자 변경과 인덕턴스 값 설정

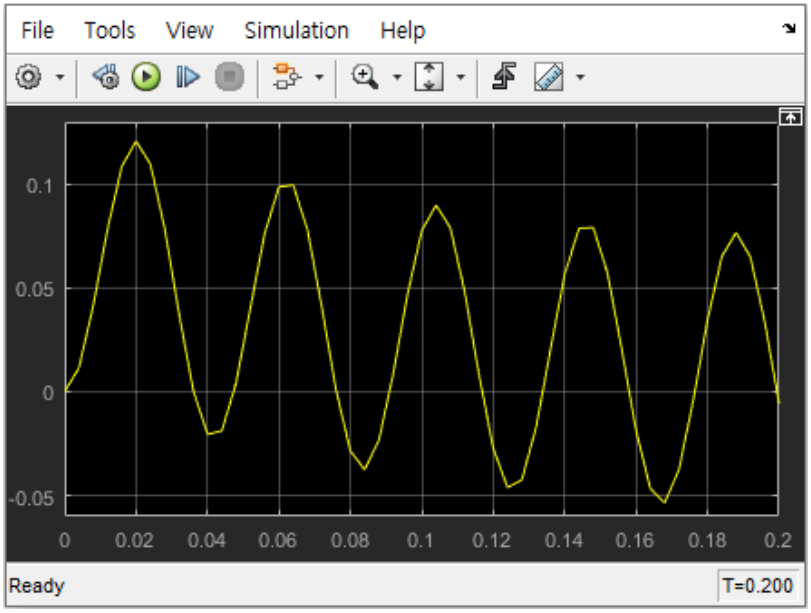
⑧ Current Measurement 블록을 생성하고 블록의 이름을 Measure로 바꾼다.
[Simscape]-[SimPowerSystems]-[Specialized Technology]-[Fundamental Blocks]-[Measurements]-[Current Measurement]

⑨ Scope 블록을 생성하고 블록의 이름을 i_L로 바꾸고 블록을 모두 연결한다.
[Sinks]-[Scope]



[그림 A4-5] 완성된 시뮬링크 모델

⑩ **시뮬레이션을 실행하면 다음과 같은 결과를 얻는다.**
만일 스코프 창에서 최적화된 스케일의 그래프를 보려면 스코프 창의 오른쪽 아래에서 마우스 왼쪽 버튼을 누른 후 나타나는 대각선 화살표를 움직여 조정한다.



[그림 A4-6] 스코프 창 결과

[그림 A4-5]의 시뮬링크 모델을 설계하기 위해서 사용한 시뮬링크 블록은 다음과 같다.

- **powergui 블록** : powergui 블록을 이용하면 그래픽 사용자 인터페이스를 사용할 수 있다.
- **AC Voltage source 블록** : AC Voltage source 블록을 이용하면 이상적 AC 전압원을 생성할 수 있다.
- **Series RLC Branch 블록** : Series RLC Branch 블록을 이용하면 저항, 인덕터 및 커패시터의 세 가지 소자 중 하난 또는 모두를 직렬 조합으로 연결하여 선형 부하를 구현할 수 있다.
- **Current Measurement 블록** : Current Measurement 블록을 이용하면 임의의 전기적 블록 또는 연결선에 흐르는 순간 전류를 측정할 수 있다.
- **Scope 블록** : Scope 블록을 이용하면 설계된 시스템의 시뮬레이션 결과를 신호 형태로 나타낼 수 있다.

A5. 사인 파형 설계하기

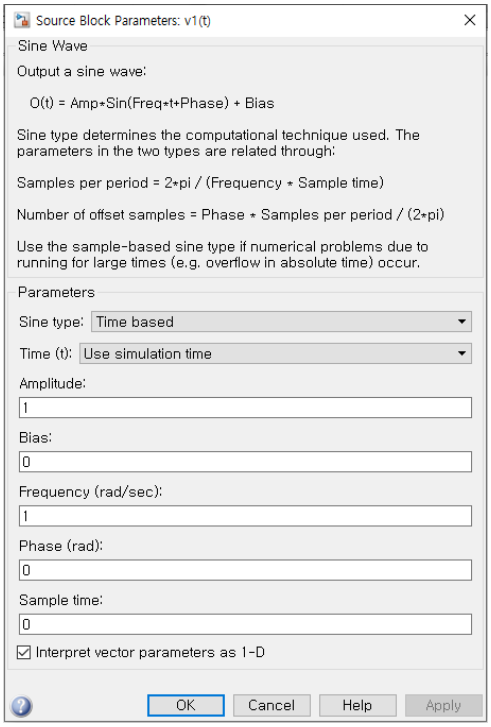
Q. 다음과 같은 사인 파형의 시뮬링크 모델을 설계하고 그 결과를 스코프 창에 함께 나타내라. 이때 시뮬레이션의 실행은 0초부터 10초까지 진행한다.

$$v_1(t) = \sin t\,,\quad v_2(t) = \cos t\,,\quad v_3(t) = \sin(t + 30^\circ)\,, v_4(t) = \sin(t + 30^\circ) - 45^\circ$$

풀이

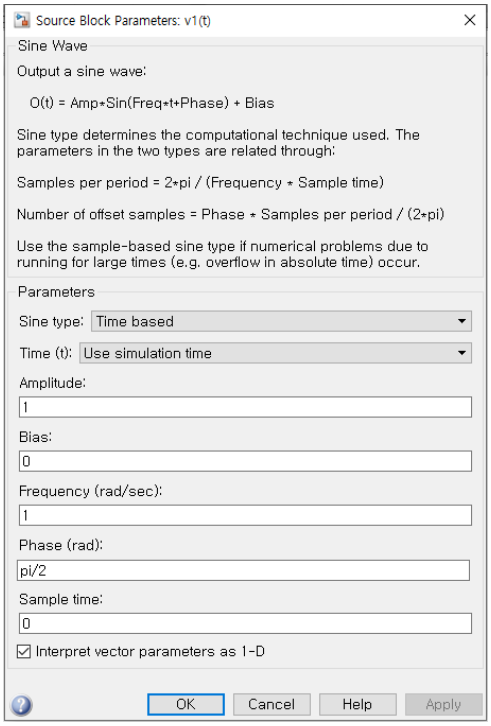
① Sine Wave 블록 4개를 설계창에 생성하고 블록의 글자 부분을 클릭하여 이름을 각각 v1(t), v2(t), v3(t), v4(t)로 바꾼다.
[Sources]-[Sine Wave]

② 블록 v1(t)를 더블클릭하여 [Source Block Parameters] 창을 열고 기본값으로 주어진 [Amplitude:]의 1, [Frequency (rad/sec):]의 1을 그대로 유지한다.



[그림 A5-1] 기본 Sine Wave 블록 설정

③ **블록 v2(t)를 더블클릭하여 [Phase (rad):]에 사인파와 코사인파의 위상 오프셋 차이인 pi/2를 입력한 후 [OK] 버튼을 클릭한다.**



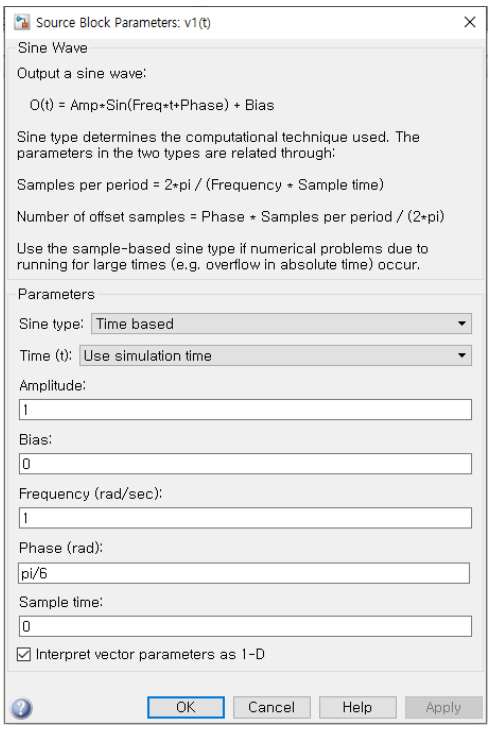
[그림 A5-2] Sine Wave 블록에 위상 오프셋을 설정하여 Cosine Wave 지정

④ **블록 v3(t)를 더블클릭하여 [Phase(rad):]에 위상 pi/6을 입력한다.**
이때 주어진 위상은 도(degree) 단위인 30°이지만, 위상을 나타내는 매개변수에는 라디안을 입력해야 하므로 라디안으로 변환된 pi/6을 입력한 것이다.

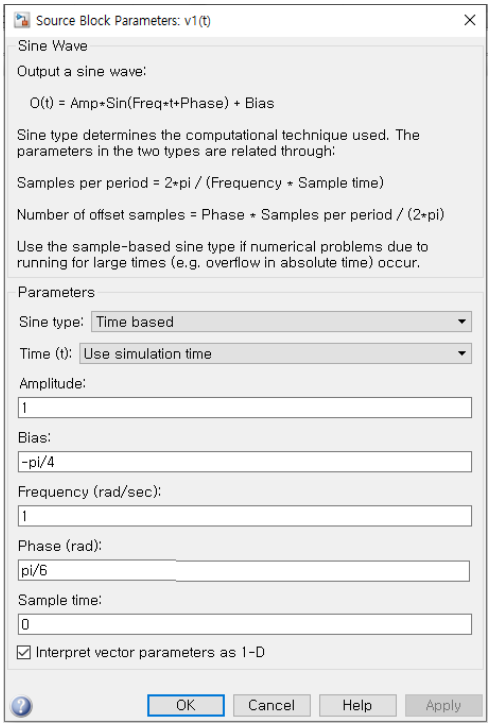
⑤ **블록 v4(t)를 더블클릭하여 [Bias:]에 편향 각도 -pi/4를 입력한다.**
이때 주어진 편향 각도는 도 단위인 -45°이지만, 편향 각도를 나타내는 매개변수에는 라디안을 입력해야 하므로 라디안으로 변환된 -pi/4를 입력한 것이다.

⑥ **Mux 블록을 생성한다.**
[Commonly Used Blocks]-[Mux]

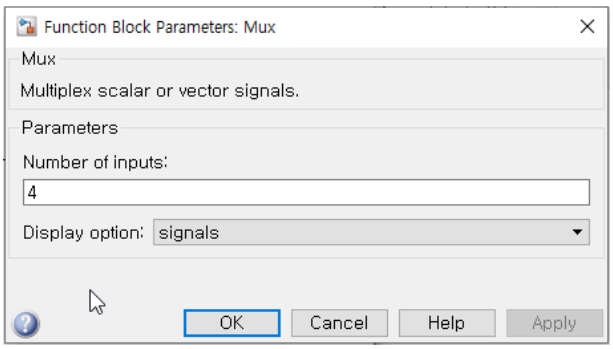
⑦ **Mux 블록을 더블클릭하여 [Number of inputs:]에 4를 입력하고 (기본값은2) [Display option:]을 signals로 바꾼 후 [OK] 버튼을 클릭한다.**
기본값인 bar를 그대로 사용해도 상관없다.



[그림 A5-3] Sine Wave 블록에 v3(t)에 위상 설정



[그림 A5-4] Sine Wave 블록에 v4(t)에 편향 각도 설정

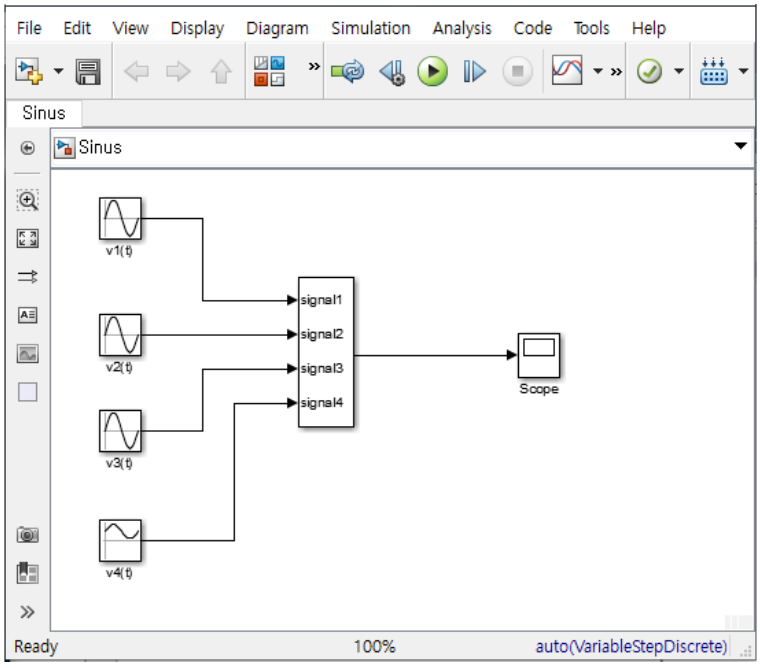


[그림 A5-5] Mux 블록에 입력 단자 4개 설정

signals 형태로 변환한 Mux 블록은 마우스 왼쪽 버튼으로 선택한 후 네 모서리 중 한 곳에 커서를 놓았을 때 대각선 형태의 화살표가 나타나면 크기를 조정할 수 있다.

⑧ **Scope 블록을 설계창에 생성한다.**
[Sinks]-[Scope]

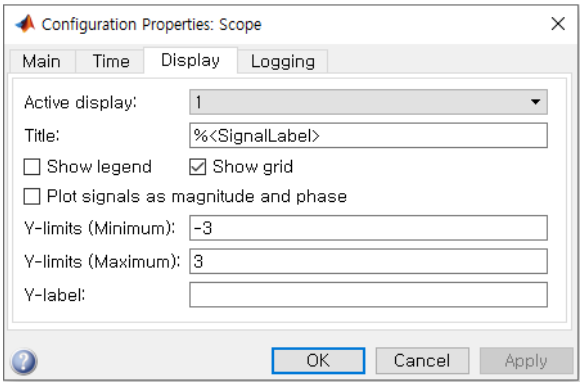
⑨ **생성된 블록을 연결하여 모델을 완성한다.**



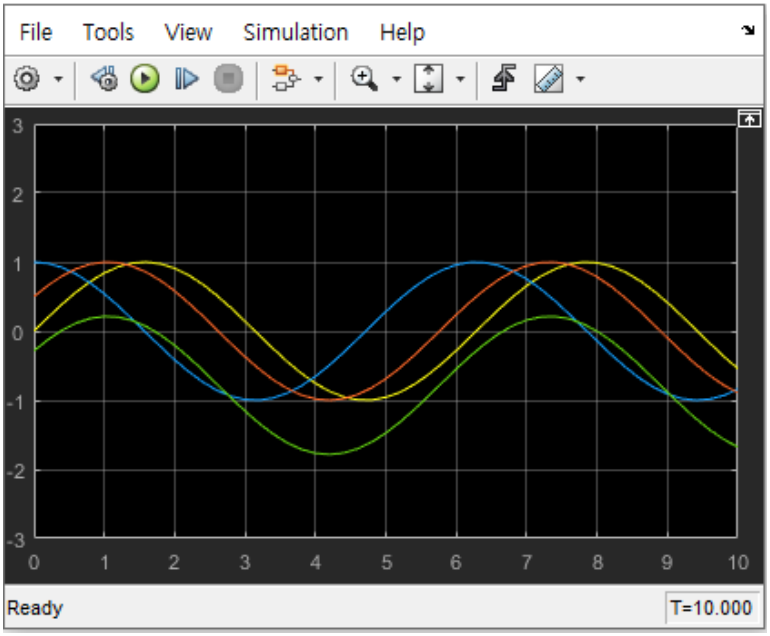
[그림 A5-6] 완성된 시뮬링크 모델

⑩ 시뮬레이션을 실행하기 전에 설계 창의 메뉴 표시줄에서 [Simulation] 메뉴를 클릭하여 [Model Configuration Parameters] 창을 창을 열고 [Start time]과 [Stop time]의 기본값 0.0과 10.0을 그대로 유지한다.

⑪ Scope 블록을 더블클릭하면 스코프 창에서 파형 4개의 실행 결과를 확인할 수 있다. 실행 결과를 최적화하기 위해 마우스의 오른쪽 버튼을 누르고 [Configuration properties...]를 클릭하여 창을 연 후 [Y-limits (Minimum):]에 -3, [Y-limits(Maximum):]에 3을 입력한다.



[그림 A5-7] 스코프 창 최적화



[그림 A5-8] 스코프 창 결과

[그림 A5-6]의 시뮬링크 모델을 설계하기 위해서 사용한 시뮬링크 블록은 다음과 같다.

- **Sine Wave 블록** : Sine Wave 블록은 [Sources] 라이브러리에서 제공하며, 이를 이용하면 사인 파형을 출력할 수 있다. 이 블록은 시간 의존적 형태나 표본 의존적 형태로 사용할 수 있다.

- **Cosine Wave 블록** : Cosine Wave 블록은 [Sources] 라이브러리에서 제공하지 않는다, 따라서 코사인파의 위상이 사인파의 위상보다 90° 뒤쳐져 있는 성질을 이용하여 Sine Wave 블록에 $\pi/2$ 라디안 위상 오프셋을 설정하고 사용한다.

- **Mux 블록** : Mux 블록은 스코프 창에 결과를 보내기 위해 다양한 블록의 결과를 하나의 벡터로 묶는데 사용한다.

- **Scope 블록** : Scope 블록을 이용하면 설계된 시스템의 시뮬레이션 결과를 신호 형태로 나타낼 수 있다.

A6. 순간 전력 나타내기

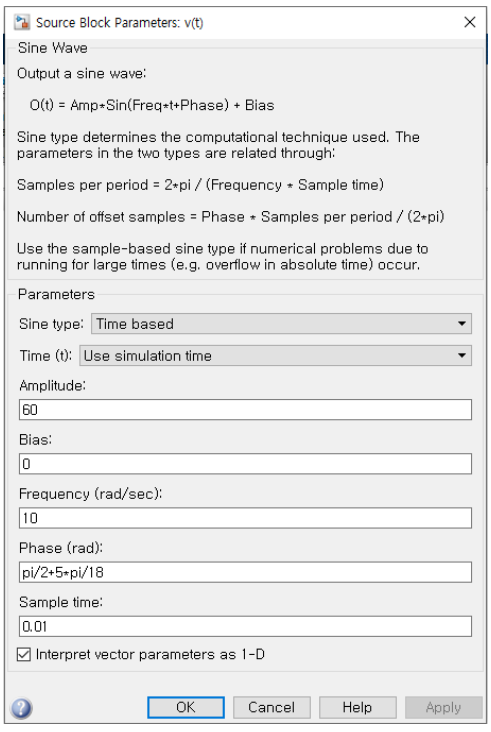
Q. [예제 7-1]에서 각주파수가 $\omega = 10$ [rad/s]일 때 다음의 순간 전압과 순간 전류에 의해서 생성되는 순간 전력을 5초 동안 나타내는 시뮬링크 모델을 설계하고, 그 결과를 스코프 창에 나타내라. 표본 시간(sample time)은 0.01 [s]로 설정한다.

$$v(t) = 60\cos(\omega t + 50^\circ)\ [\mathrm{V}]$$
$$i(t) = 10\cos(\omega t - 10^\circ)\ [\mathrm{A}]$$

풀이

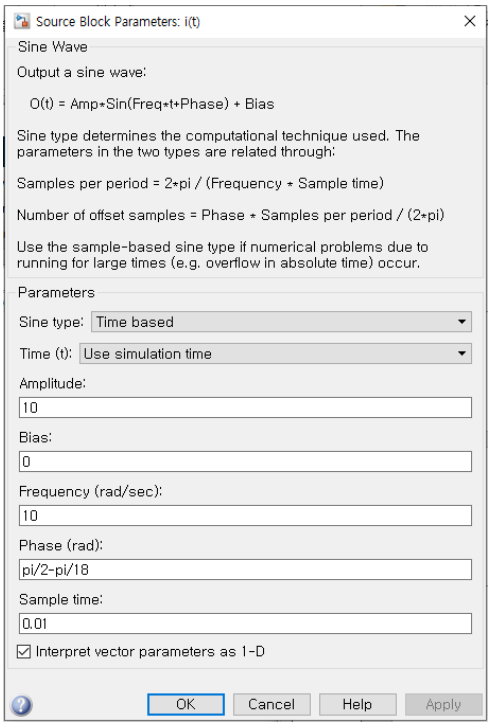
① Sine Wave 블록 두 개를 생성하고 블록 이름을 각각 v(t), i(t)로 바꾼다.
[Sources]-[Sine Wave]

② 블록 v(t)를 더블클릭하여 [Amplitude:]에 60, [Frequency (rad/sec):]에 10, [Phase (rad):]에 pi/2+5*pi/18, [Sample time:]에 0.01을 입력한다.



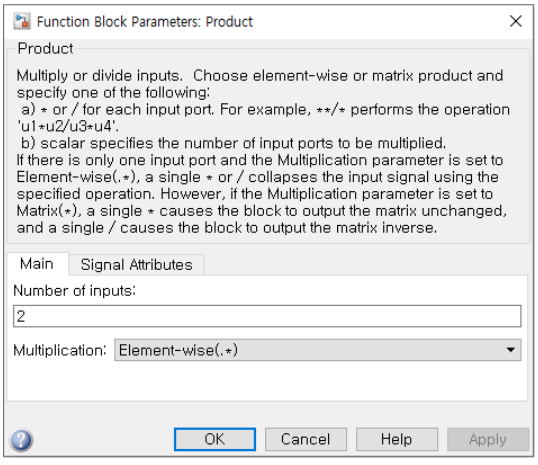
[그림 A6-1] v(t) 블록의 매개변수 설정

③ 블록 i(t)를 더블클릭하여 [Amplitude:]에 10, [Frequency (rad/sec):]에 10, [Phase (rad):]에 pi/2-pi/18, [Sample time:]에 0.01을 입력한다.



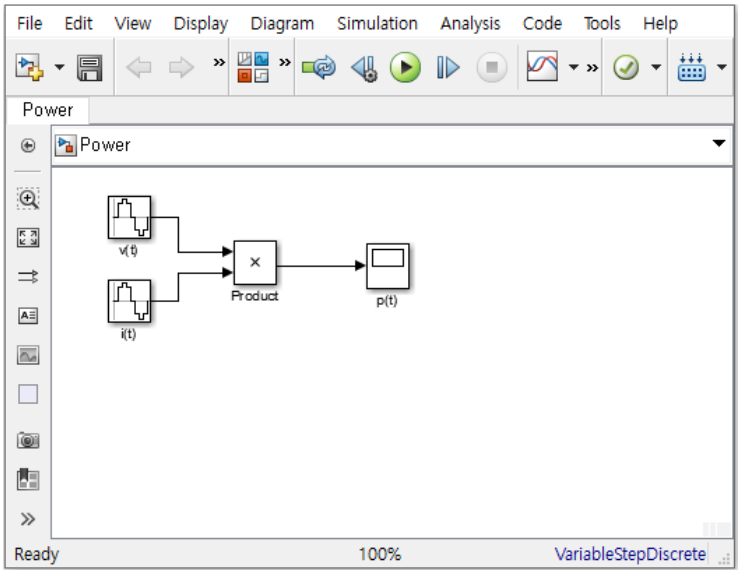
[그림 A6-2] i(t) 블록의 매개변수 설정

④ 순간 전압과 순간 전류를 곱하기 위한 Product 블록을 생성하고 블록을 더블클릭하여 [Number of inputs:]에 2를 입력한다.
[Math Operations]-[Product]



[그림 A6-3] Product 블록의 입력 단자 수 설정

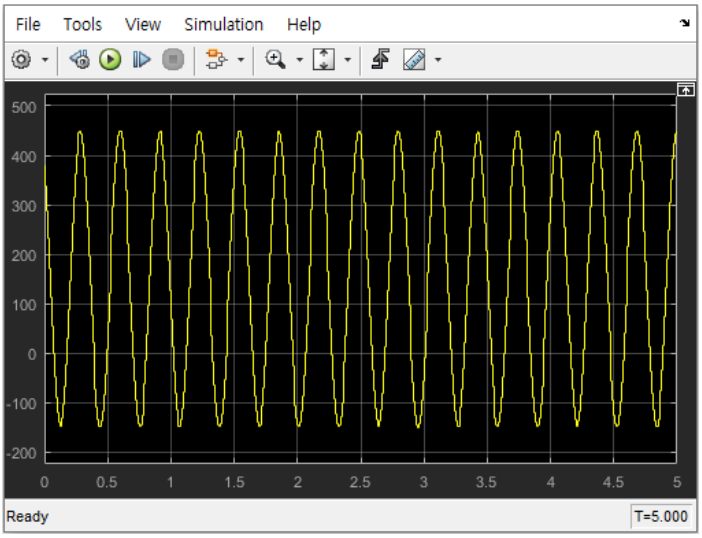
⑤ Scope 블록을 생성하고 블록의 이름을 p(t)로 바꾼 후 블록을 모두 연결한다.
[Sinks]-[Scope]



[그림 A6-4] 완성된 시뮬링크 모델

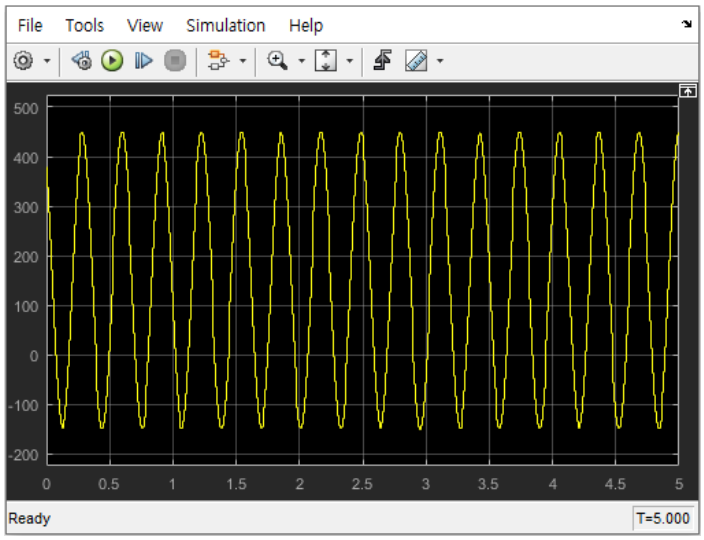
⑥ [Simulation] 메뉴를 클릭하여 [Model Configuration Parameters] 창을 열고 [Start time:]에 0, [Stop time:]에 5를 입력한다.

⑦ 시뮬레이션을 실행한 후 Scope 블록을 더블클릭하면 다음과 같은 결과를 얻는다.



[그림 A6-5] 스코프 창 결과

⑧ [예제 6-1]에서 각주파수 $\omega = 10$ [rad/s]를 이용하면 순간 전력은 $p(t) = 150 + 300\cos(20t + 40^\circ)$ [W]이고, 시뮬링크 모델은 소개하지 않지만 다음과 같이[그림 A6-5]와 동일한 결과를 얻는다.



[그림 A6-4]의 시뮬링크 모델을 설계하기 위해서 사용한 시뮬링크 블록은 다음과 같다.

▪ **Cosine Wave 블록** : Cosine Wave 블록은 [Sources] 라이브러리에서 제공하지 않는다, 따라서 코사인파의 위상이 사인파의 위상보다 90° 뒤쳐져 있는 성질을 이용하여 Sine Wave 블록에 $\pi/2$ 라디안 위상 오프셋을 설정하고 사용한다.

▪ **Product 블록** : Product 블록은 다수의 입력에 대한 곱셈 또는 나눗셈을 수행할 때 사용한다. 곱셈 매개변숫값에 따라 원소 단위 또는 행렬 곱셈을 사용하여 출력을 생성한다. 문자 *와 /는 입력에 대해 수행할 곱하기 및 나누기 연산을 나타낸다.

▪ **Scope 블록** : Scope 블록을 이용하면 설계된 시스템의 시뮬레이션 결과를 신호 형태로 나타낼 수 있다.

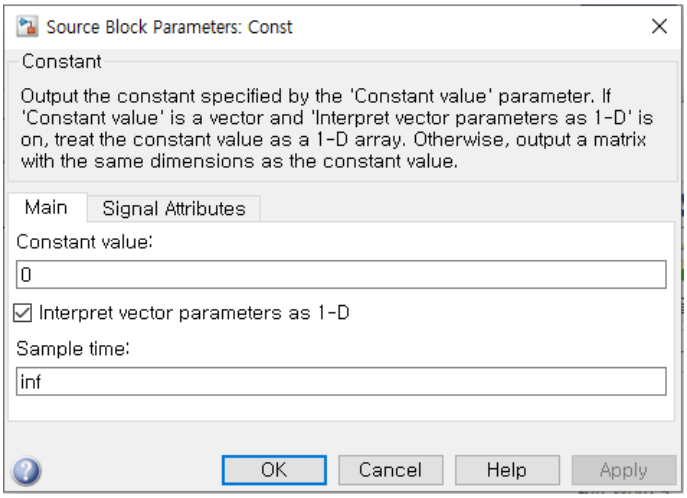
A7. 보드선도 그리기

Q. [예제 8-12]에서 $s = j\omega$로 대체한 후 다음과 같은 시스템에 대한 주파수 응답의 보드선도를 그리는 시뮬링크 모델을 설계하고 그 결과를 보드선도 창에 나타내라.

$$\mathbf{H}(s) = \frac{30(s+5)}{(s+2)(s+10)}$$

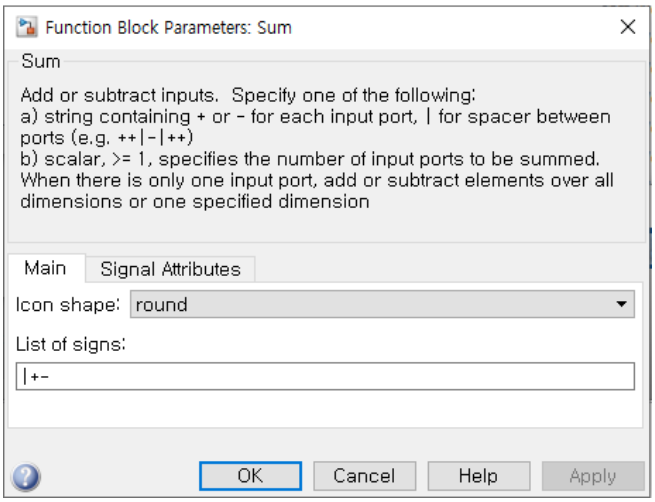
풀이

① Constant 블록을 생성하고 블록의 이름을 Const로 바꾼 후 더블클릭하여 [Constant value:]에 0을 입력한다.
[Commonly Used Blocks]-[Constant]



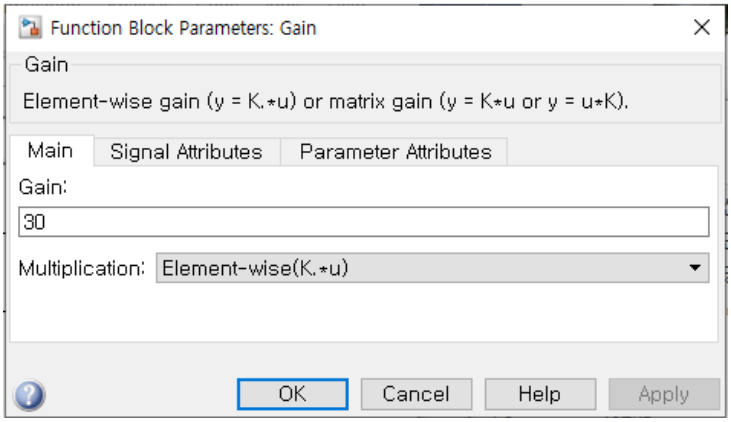
[그림 A7-1] Const 블록의 상숫값 설정

② Sum 블록을 생성하고 더블클릭하여 [List of signs:]에 |+- 를 설정한다
[Commonly Used Blocks]-[Sum]



[그림 A7-2] Sum 블록에 부호 지정

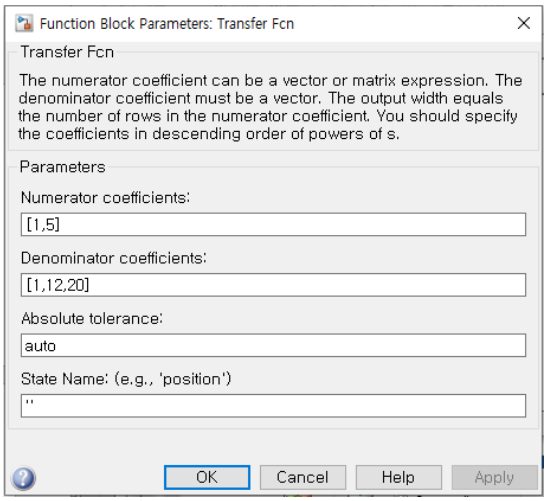
③ Gain 블록을 생성하고 더블클릭하여 [Gain:]에 30을 입력한다.
[Commonly Used Blocks]-[Gain]



[그림 A7-3] Gain 블록에 이득 지정

④ Transfer Fcn 블록을 생성하고 블록의 이름을 G(s)로 바꾼다.
[Continuous]-[Transfer Fcn]

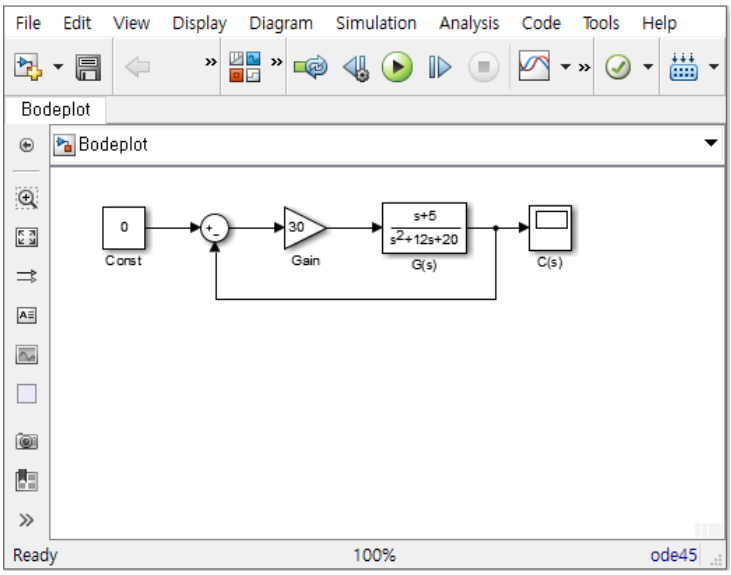
⑤ 블록 G(s)를 더블클릭하여 [Numerator coefficients:]에 [1,5], [Denominator coefficients:]에 [1,12,20]을 입력한다.



[그림 A7-4] Transfer Fcn 블록의 분자와 분모 계수 설정

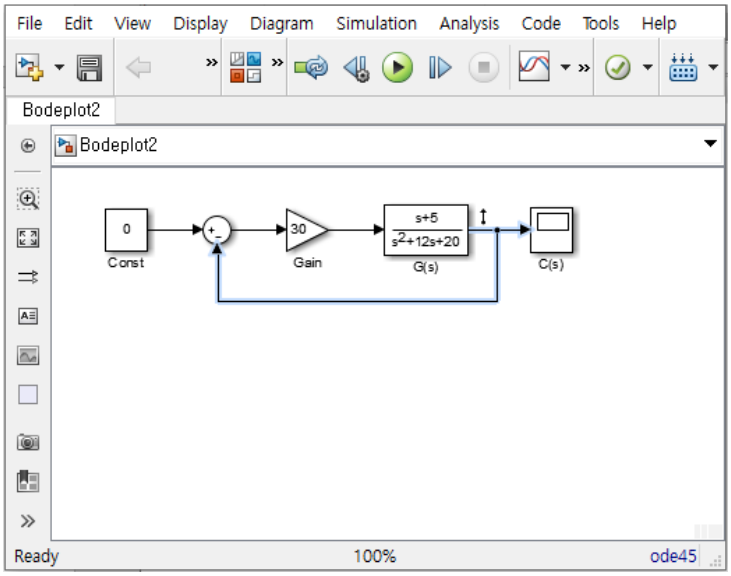
⑥ Scope 블록을 생성하고 블록의 이름을 C(s)로 바꾼다.
[Sinks]-[Scope]

⑦ 생성된 블록을 차례로 연결한다.



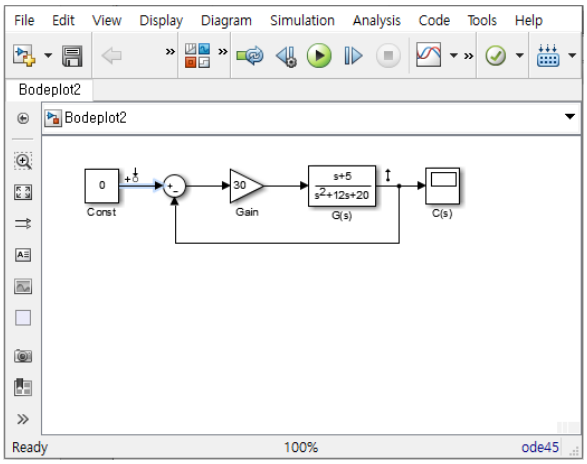
[그림 A7-5] 연결된 시뮬링크 모델

⑧ 마우스 커서를 G(s) 블록과 C(s) 블록 사이에 놓고 마우스 오른쪽 버튼으로 [Linear Analysis Points]-[Output Measurement]를 선택하면 다음과 같이 출력점을 나타내는 화살표가 설정된다.



[그림 A7-6] 출력점이 표시된 시뮬링크 모델

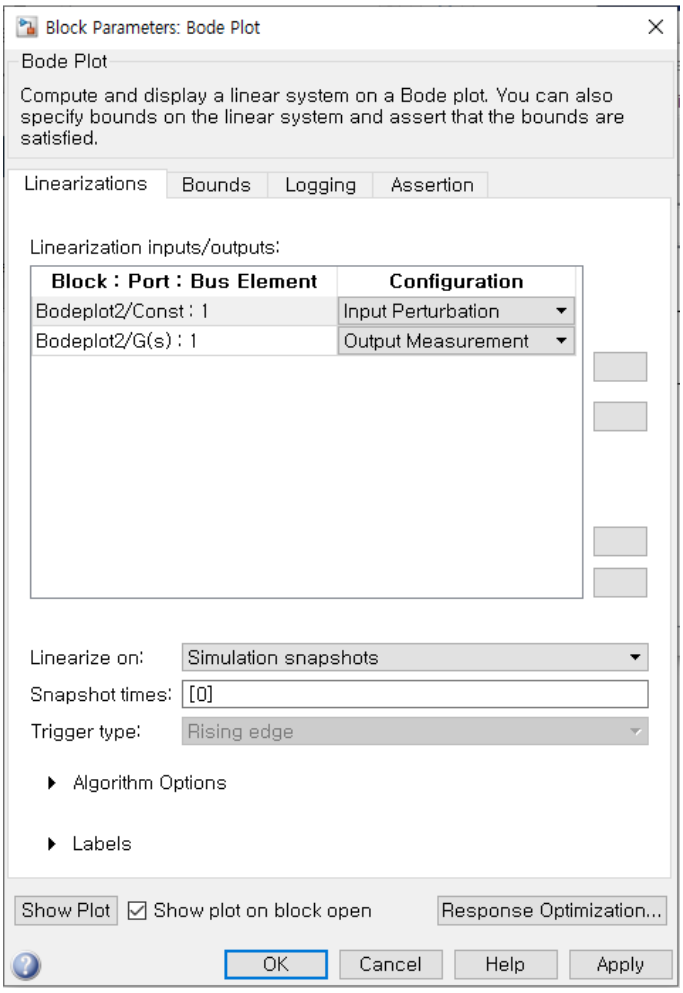
⑨ 마우스 커서를 Const 블록과 Sum 블록 사이에 놓고 마우스 오른쪽 버튼으로 [Linear Analysis Points]-[Input Perturbation]를 선택하면 다음과 같이 입력점을 나타내는 화살표가 설정된다.



[그림 A7-7] 입력점이 표시된 시뮬링크 모델

⑩ Bode Plot 블록을 생성하고 더블클릭하여 Show plot on block open에 체크한 후 [Apply]-[OK]

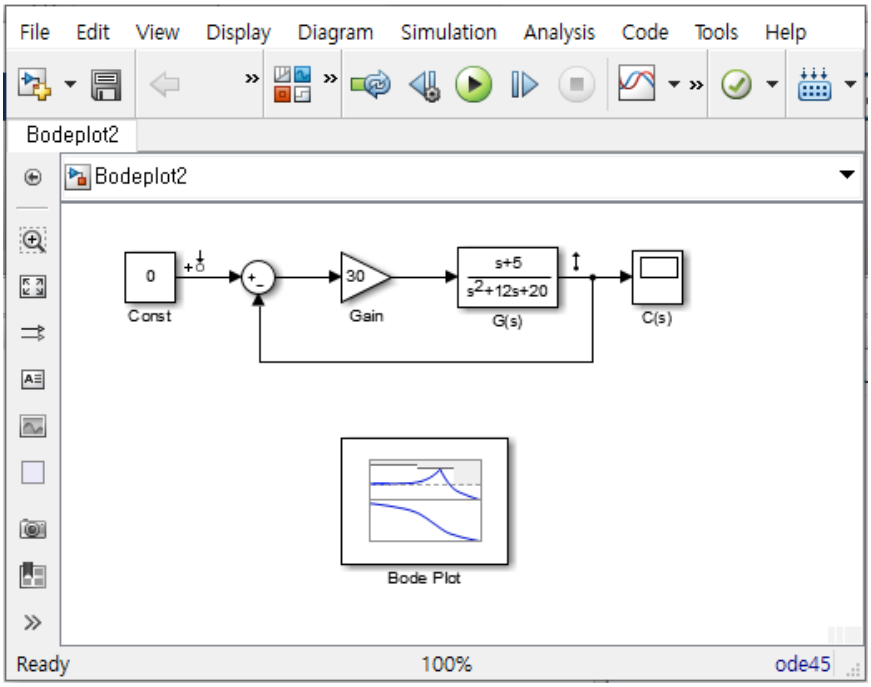
버튼을 클릭한다. [그림 A7-8]은 Bode Plot 블록의 설정 환경을 보여준다.
[Simulink Control Design]-[Linear Analysis Plots]-[Bode Plot]



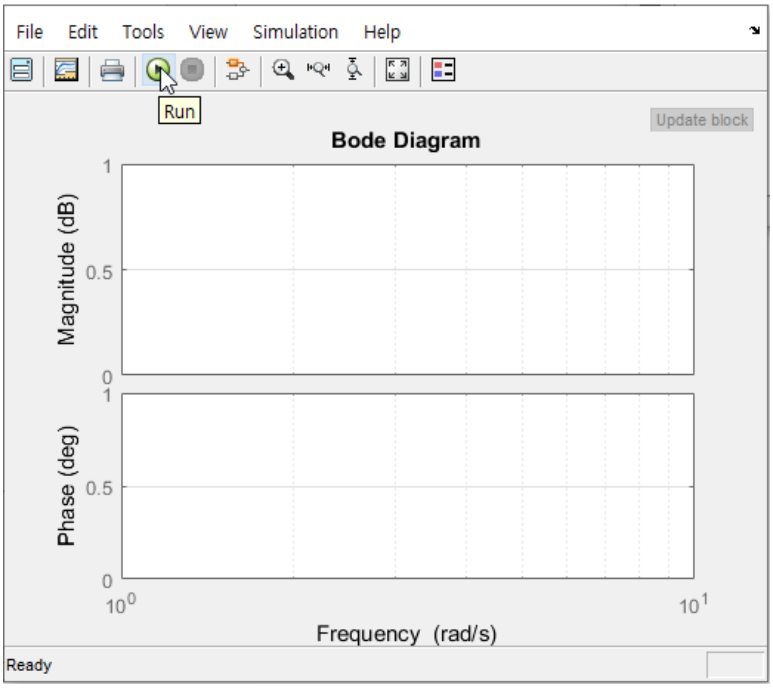
[그림 A7-8] Bode Plot 블록의 설정

⑪ Bode Plot 블록을 더블클릭하여 [Bode Plot] 창을 열고, 시뮬레이션 실행하는

[Run] 버튼을 클릭한다.

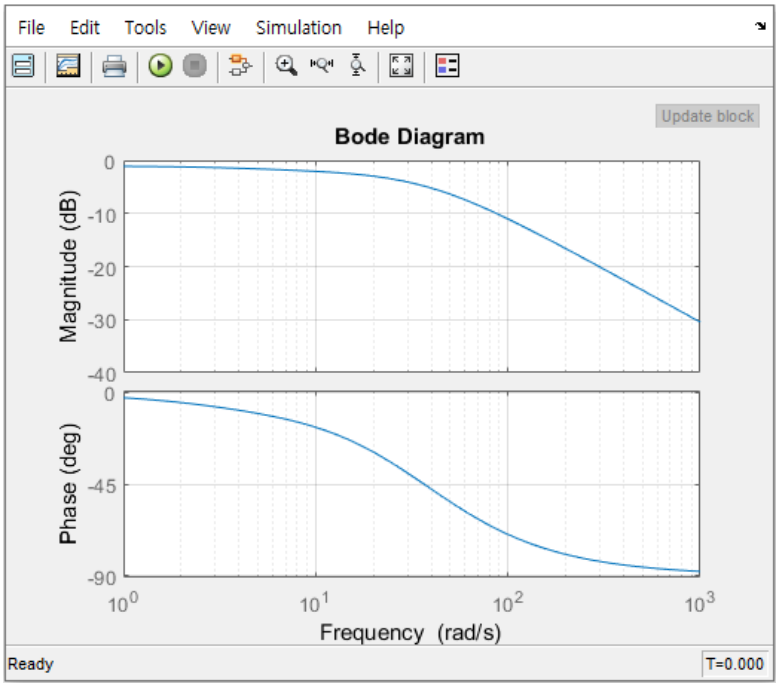


[그림 A7-9] 완성된 시뮬링크 모델



[그림 A7-10] Bode Plot 블록 창

⑫ Bode Plot의 크기를 알맞게 조정하면 다음과 같은 시뮬레이션 결과를 볼 수 있다.



[그림 A7-11]보드선도 창 결과

주파수 범위와 점의 수를 자동으로 선택한 시스템에 대한 주파수 응답의 보드선도이다. 위 창은 진폭 magnitude로 나타낸 위상 응답을 보여주고, 아래 창은 각도 phase로 나타낸 위상 응답을 보여준다. 과정 (6)에서 출력 설정을 위해서 Scope 블록을 생성할 뿐 실제 출력 결과와는 상관없다.

[그림 A7-9]의 시뮬링크 모델을 설계하기 위해서 사용한 시뮬링크 블록은 다음과 같다.

- **Constant 블록** : Constant 블록을 이용하면 실수와 복소수의 상숫값을 생성할 수 있다. Constant 블록은 상숫값 매개변수의 차원에 따라 숫자, 벡터, 행렬의 출력을 생성한다.

- **Sum 블록** : Sum 블록을 이용하면 상수, 벡터, 행렬 형태의 입력을 서로 더하거나 뺄 수 있다. 즉 Sum 블록의 부호 매개변수를 + 또는 -로 설정하여 덧셈 또는 뺄셈 연산을 할 수 있다.

- **Gain 블록** : Gain 블록을 이용하면 입력에 상숫값을 곱하는 계산을 할 수 있다. Gain 블록은 [Math Operations]-[Gain]또는 [Commonly Used Blocks]-[Gain]에서 동일하게 사용 가능하다.

- **Transfer Fcn 블록** : Transfer Fcn 블록을 이용하면 라플라스 영역 변수 s를 사용하는 전달함수로 선형 시스템 모델을 설계할 수 있다. 전달함수는 전적으로 분수의 분모와 분자에 지정되는 매개변수에 의존한다. 단일 입력에 대한 단일 출력 시스템에서는 상수 시간 영역 신호 모델 설계를 하고, 단일 입력에 대한 다중 출력 시스템에서는 상수 입력에 대한 벡터 출력 모델을 설계한다.

- **Scope 블록** : Scope 블록을 이용하면 설계된 시스템의 시뮬레이션 결과를 신호 형태로 나타낼 수 있다.

- **Bode Plot 블록** : Bode Plot 블록을 이용하면 비선형 시뮬링크 모델에서 선형 시스템을 계산하고 보드 선도에 이 선형 시스템을 나타낼 수 있다. 시뮬레이션을 실행하는 중에 지정된 선형화 입력과 출력 사이의 모델 부분을 선형화하고 선형 시스템의 크기와 위상을 동시에 나타낸다.

A8. 전달함수 $F(s)$에 대한 계단 응답 구현하기

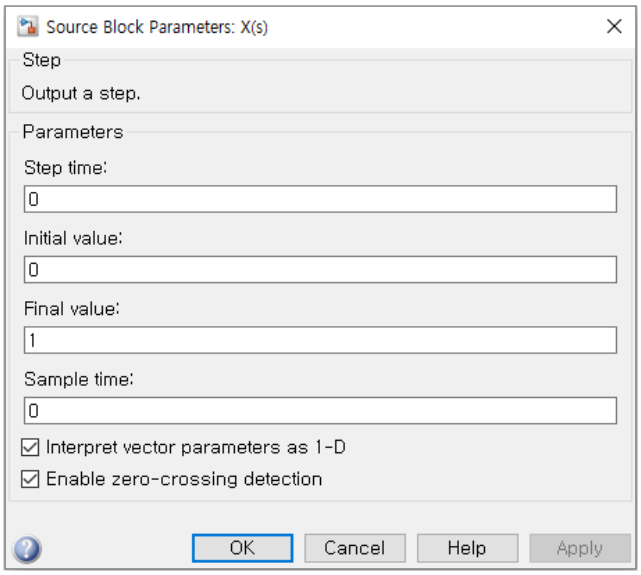
Q. [예제 9-2]에서 전달함수 $F(s)$에 대한 계단 응답을 구현하는 시뮬링크 모델을 설계하고, 시간 $0 \le t \le 8$일 때 그 결과를 스코프 창에 나타내라.

풀이

전달함수 두 개를 더하거나 빼는 형태는 다음과 같이 2개 전달함수로 분리시킨 후 병렬 연결 형태로 나타낼 수 있다.

$$F_1(s) = \frac{6}{s^2+4}, \quad F_2(s) = \frac{2s}{s^2+4}$$

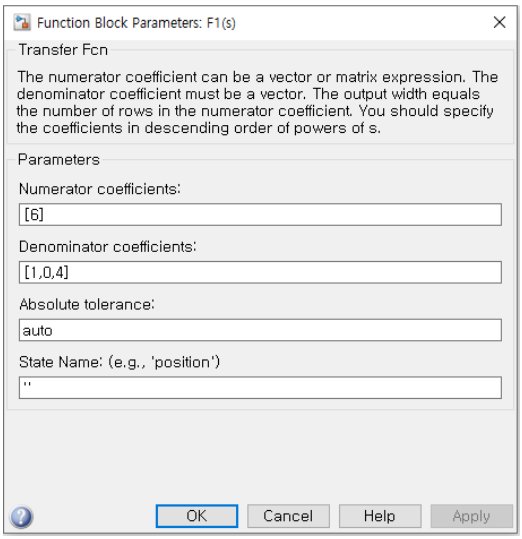
① Step 블록을 생성하고 블록의 이름을 X(s)로 바꾼다. 블록 X(s)를 더블클릭하여 [Step time:]에 0을 입력한다.
[Sources]-[Step]



[그림 A8-1] Step 블록에 변숫값 설정

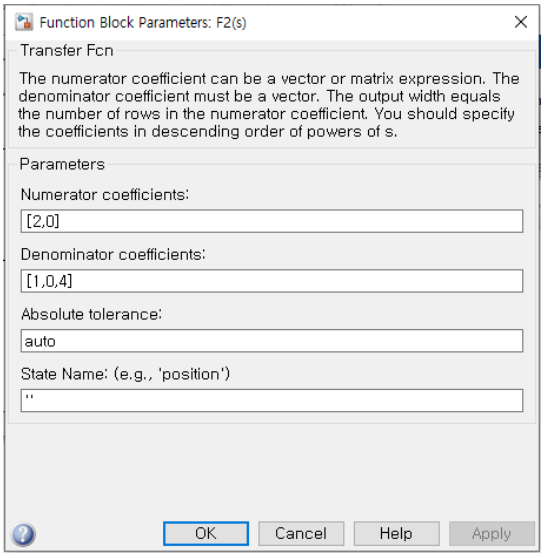
② Transfer Fcn 블록 2개를 생성하고 블록의 이름을 F1(s)와 F2(s)로 바꾼다.
[Continuous]-[Transfer Fcn]

③ 블록 F1(s)를 더블 클릭하여 Numerator coefficient:에 [6], Denominator coefficient:에 [1,0,4]를 지정한다.



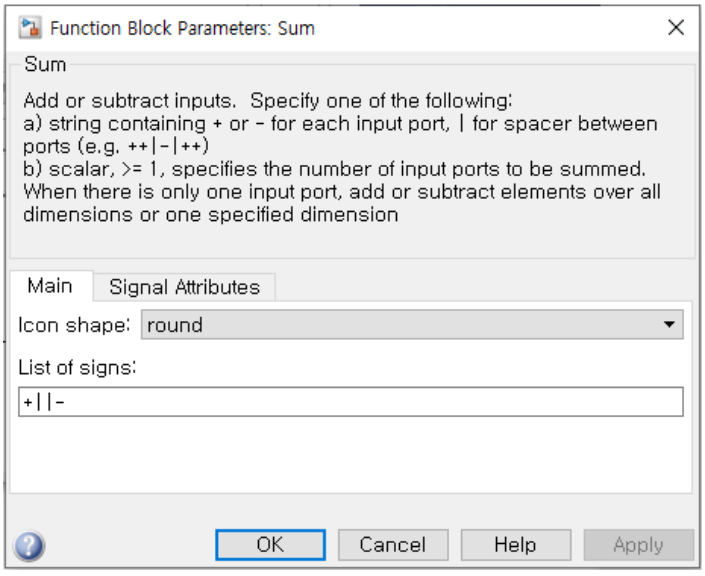
[그림 A8-2] 블록 F1(s)의 분자와 분모 계수 설정

④ 블록 F2(s)를 더블 클릭하여 Numerator coefficient:에 [2,0], Denominator coefficient:에 [1,0,4]을 지정한다



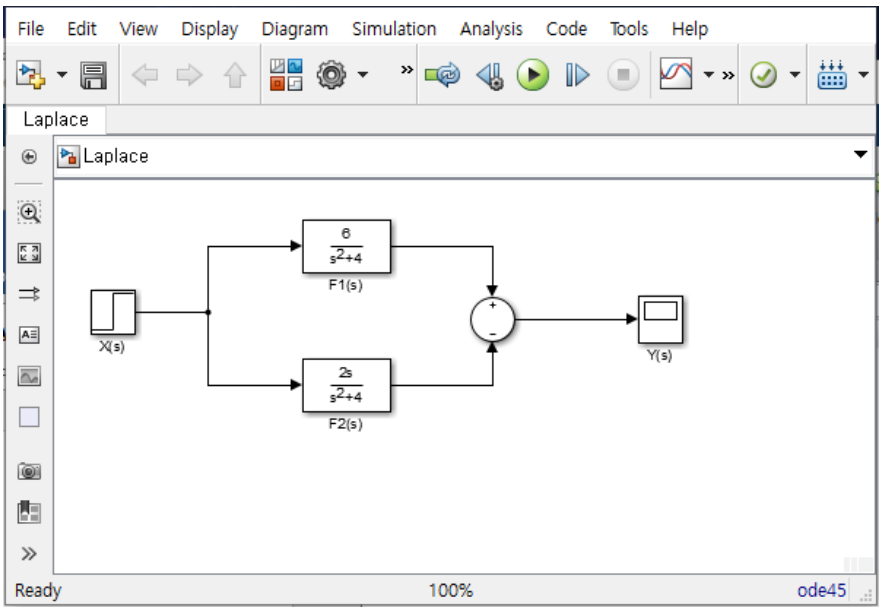
[그림 A8-3] 블록 F2(s)의 분자와 분모 계수 설정

⑤ Sum 블록을 생성하고 더블클릭하여 [List of signs:]에 |+-를 설정한다.
[Commonly Used Blocks]-[Sum]



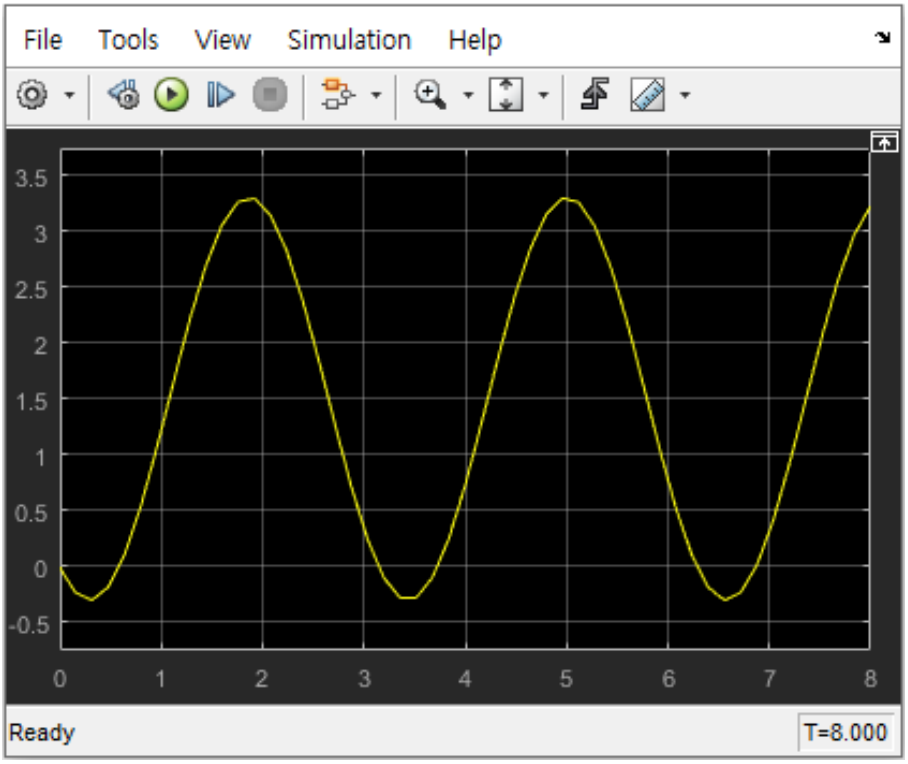
[그림 A8-4] Sum 블록에 부호 지정

⑥ 생성된 블록을 연결한다.



[그림 A8-5] 완성된 시뮬링크 모델

⑦ 설계창의 메뉴 표시줄에서 [Simulation] 메뉴를 클릭하여 [Model Configuration Parameters] 창을 창을 열고 [Start time]과 [Stop time]에 각각 0,8을 입력한 후 시뮬레이션을 실행한다.



[그림 A8-6]스코프 창 결과

[그림 A9-5]의 시뮬링크 모델을 설계하기 위해서 사용한 시뮬링크 블록은 다음과 같다.

▪ **Step 블록** : Step 블록을 이용하면 지정된 시간에서 두 레벨 사이의 계단 입력을 나타낼 수 있다. 이때 시뮬레이션 시간이 주어진 계단 시간보다 작으면 블록의 출력은 초깃값이 되지만, 시뮬레이션 시간이 계단 시간과 같거나 계단 시간보다 크면 블록의 출력은 최종값이 된다.

▪ **Transfer Fcn 블록** : Transfer Fcn 블록을 이용하면 라플라스 영역 변수 s를 사용하는 전달함수로 선형 시스템 모델을 설계할 수 있다. 전달함수는 전적으로 분수의 분모와 분자에 지정되는 매개변수에 의존한다. 단일 입력에 대한 단일 출력 시스템에서는 상수 시간 영역 신호 모델 설계를 하고, 단일 입력에 대한 다중 출력 시스템에서는 상수 입력에 대한 벡터 출력 모델을 설계한다.

▪ **Sum 블록** : Sum 블록을 이용하면 상수, 벡터, 행렬 형태의 입력을 서로 더하거나 뺄 수 있다. 즉 Sum 블록의 부호 매개변수를 + 또는 -로 설정하여 덧셈 또는 뺄셈 연산을 할 수 있다.

▪ **Scope 블록** : Scope 블록을 이용하면 설계된 시스템의 시뮬레이션 결과를 신호 형태로 나타낼 수 있다.