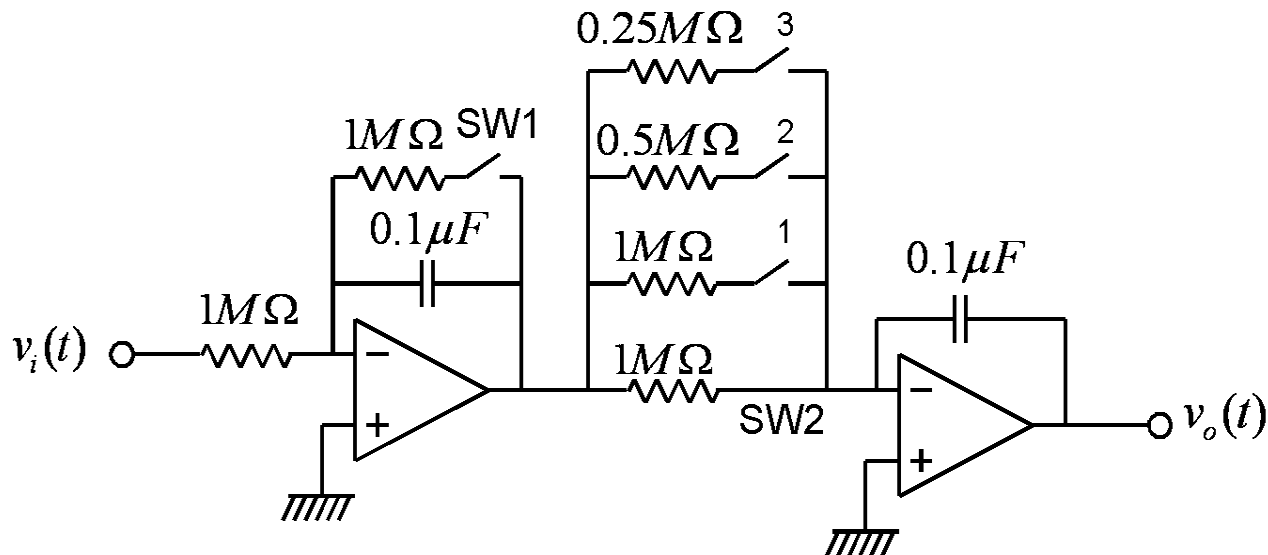


Lab 7

State Estimator Based Controller



- 이 실험에서는 다음 그림에 주어진 Dynamic Simulator에 대해서 state estimator based controller를 적용해 본다.



- 실험용 보드에는 시뮬레이터의 동적 특성을 변화시키기 위해서 DIP 스위치가 2개 있으며, 2점 스위치가 SW1, 3점 스위치가 SW2 이다.
- 실험 시작 전에 SW1의 1번은 OFF 상태로, SW2의 모든 스위치는 OFF 상태로 놓는다. 이 스위치 상태에서 시스템의 전달 함수는 다음과 같다.

$$G(s) = \left(-\frac{10}{s}\right)\left(-\frac{10}{s}\right) = \frac{100}{s^2}$$

- 샘플링 주파수는 1000Hz로 한다.

Experiment

- 이 실험에서는 dynamic simulator의 SW1과 SW2를 모두 OFF로 설정한 시스템에 대해서 state estimator based controller를 구현하여 실험을 수행한다. Dynamic simulator의 각 OP amp의 출력 전압을 state variable로 설정하면 state equation은 다음과 같다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

where

$$x(t) = \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & -10 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ -10 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- 이 시스템에 대한 state estimator based controller는 다음 식과 같다.

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(Cx(t) - C\hat{x}(t))$$

where

$$\hat{x}(t) = \begin{bmatrix} \hat{x}_1(t) \\ \hat{x}_2(t) \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & -10 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ -10 \end{bmatrix}, C = [1 \quad 0], L = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix}$$

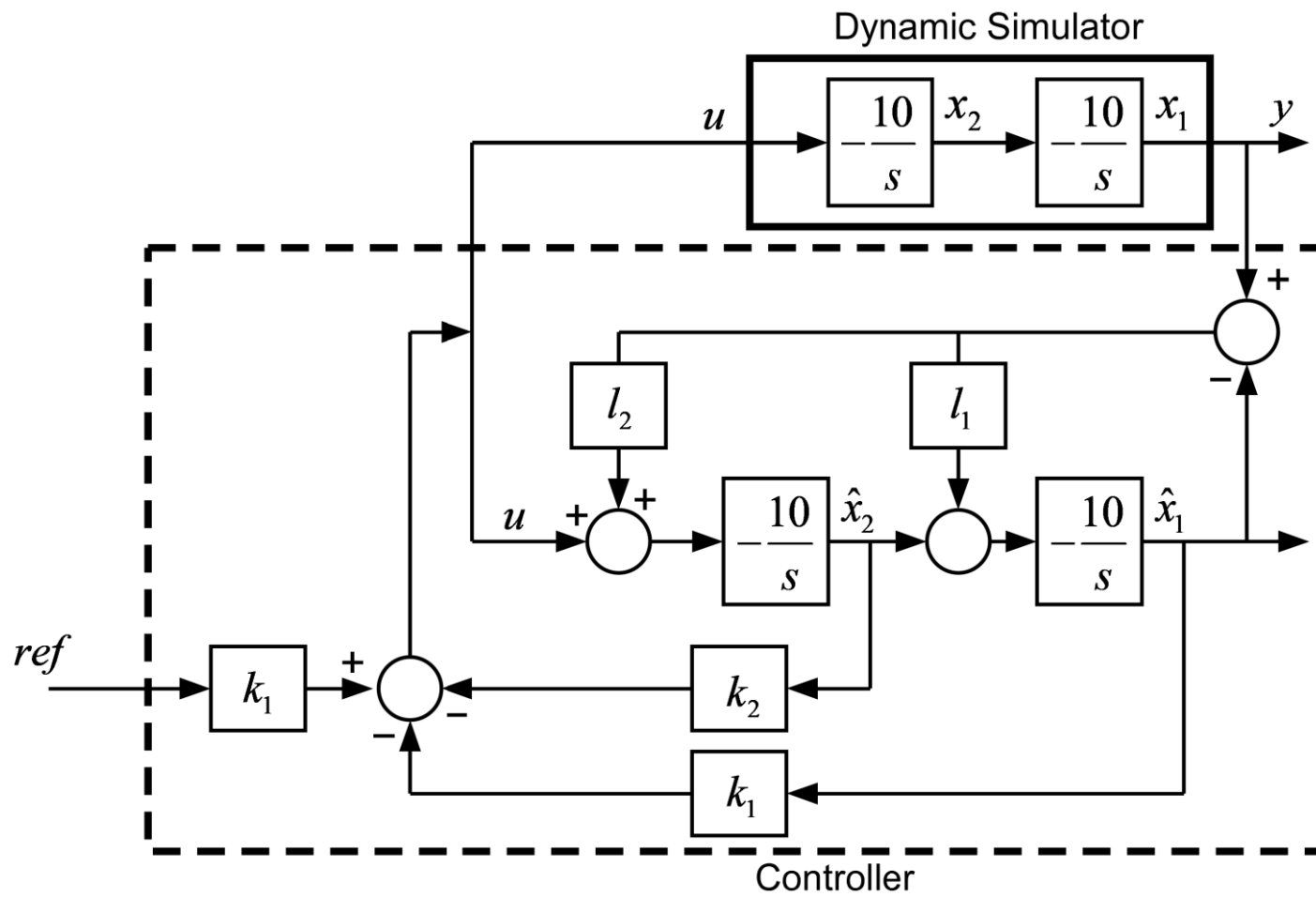
$$u(t) = k_1 ref - K\hat{x}(t)$$

- 위의 식을 풀어서 쓰면 다음 식과 같다.

$$\dot{\hat{x}}_1(t) = -10\hat{x}_2(t) + l_1(y(t) - \hat{x}_1(t))$$

$$\dot{\hat{x}}_2(t) = -10u(t) + l_2(y(t) - \hat{x}_1(t)) = -10(k_1 ref - k_1\hat{x}_1(t) - k_2\hat{x}_2(t)) + l_2(y(t) - \hat{x}_1(t))$$

$$u(t) = k_1 ref - k_1\hat{x}_1(t) - k_2\hat{x}_2(t)$$



- 이 제어를 디지털 컴퓨터에서 구현하기 위한 근사식은 다음과 같다.

$$\hat{x}_1(t) = \hat{x}_1(t - \Delta t) + \Delta t [-10\hat{x}_2(t - \Delta t) + l_1(y(t - \Delta t) - \hat{x}_1(t - \Delta t))]$$

$$\hat{x}_2(t) = \hat{x}_2(t - \Delta t) + \Delta t [-10(k_1 ref - k_1 \hat{x}_1(t - \Delta t) - k_2 \hat{x}_2(t - \Delta t)) + l_2(y(t - \Delta t) - \hat{x}_1(t - \Delta t))]$$

$$u(t) = k_1 ref - k_1 \hat{x}_1(t) - k_2 \hat{x}_2(t)$$

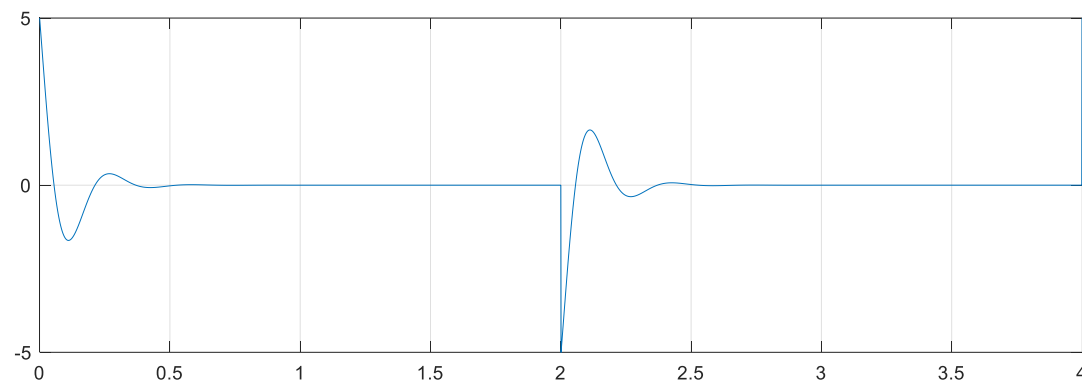
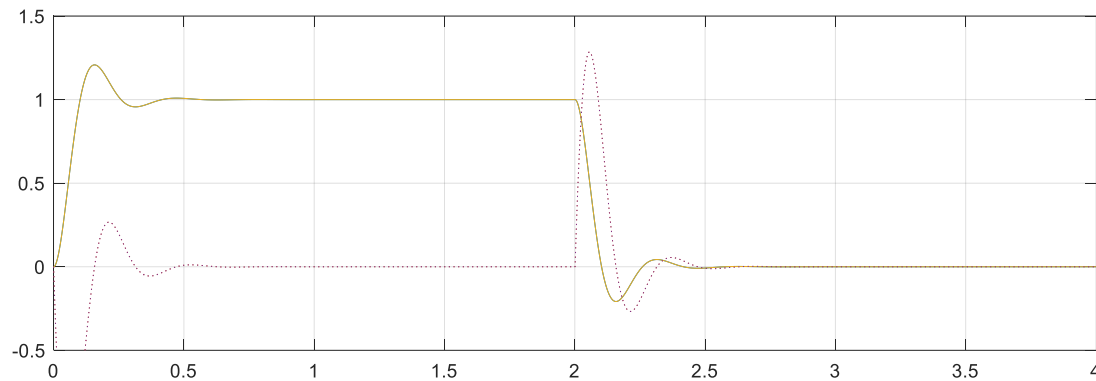
- Estimator의 gain L 은 MATLAB에서 다음 명령어에 의해서 구할 수 있다.

$$L = \text{acker}(A^T, C^T, P)$$

- 위의 식에서 estimator gain을 구하기 위한 pole의 위치는 state feedback gain 구할 때 사용되었던 pole의 위치보다 원점에서의 거리가 약3배에서 5배 정도 먼 위치에 선정하도록 한다. 이는 estimator 상태 변수의 응답 속도가 제어 대상 시스템 상태 변수의 응답 속도보다 빠르게 하기 위함이다. 예를 들어서 state feedback 제어를 구하기 위한 pole 위치가 -1 이라면, state estimator를 구하기 위한 pole의 위치는 $-3 \sim -5$ 정도의 위치로 선정하도록 한다.

Controller Pole location: $-10 \pm j20, k_1 = 5, k_2 = -2$

Estimator Pole location: $-30 \pm j60, l_1 = 60, l_2 = -450$



- 제어기의 pole location은 다음 과 같이 정한다.

$$-10 \pm 20j$$

- 그리고 estimator pole은 제어기 pole의 3배가 되도록 정한다.

$$3 \times (-10 \pm 20j) = -30 \pm 60j$$

- 위와 같은 pole 위치가 만족 되도록 estimator based controller 를 구현하고 step response를 측정하여 MATLAB 시뮬레이션과 비교한다.
- 주의할 점은 제어 신호의 범위가 $-10V \sim +10V$ 의 범위를 초과하지 않도록 한다.
- Reference input 을 2 Volt로 할 경우 제어 출력이 $-10V \sim +10V$ 의 범위를 넘을 가능성이 많으므로, reference input은 1볼트로 한다