

Contents

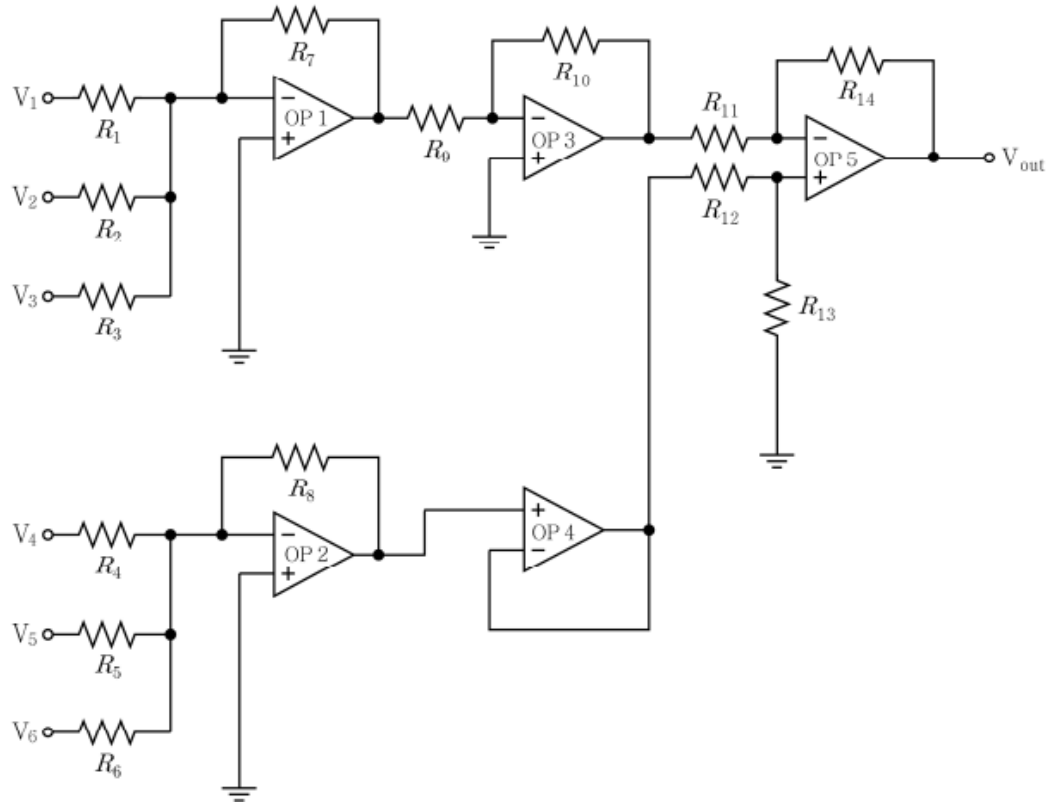
| | |
|--|-----------|
| 1 직류회로 | 3 |
| 1.1 2024 문5 | 4 |
| 2 교류회로 | 7 |
| 2.1 2024 문3 | 8 |
| 3 과도응답과 주파수응답 | 11 |
| 3.1 2024 문4 (s-domain sol 작성 필요) | 12 |
| 4 3상회로 | 17 |
| 4.1 2024 문2 | 18 |
| 5 Two-port network | 21 |
| 5.1 2024 문1 | 22 |

Chapter 1

직류회로

1.1 2024 문5

제 5 문. 그림과 같은 회로에 대해 다음 물음에 답하시오. (단, $V_1 = 1$ [V], $V_2 = 3$ [V], $V_3 = 5$ [V], $V_4 = 2$ [V], $V_5 = 4$ [V], $V_6 = 6$ [V]이며, $R_1 \sim R_{14}$ 는 10 [Ω], 모든 연산증폭기는 이상적이다) (총 20점)



- 1) OP 1의 출력단 전압을 구하시오. (6점)
- 2) OP 3의 출력단 전압을 구하시오. (6점)
- 3) V_{out} 을 구하시오. (8점)

Solution:

1) OP1은 inverting summer이고, 저항값이 모두 10옴으로 동일하여 gain이 각 inverted input 당 (-1)이므로 OP 1의 출력단 전압을 V_{OP1} 이라 하면

$$V_{OP1} = -(V_1 + V_2 + V_3) = -(1 + 3 + 5) = -9 [V]$$

2) OP3는 OP1의 출력 전압을 inverted input으로 하는 gain (-1)인 inverted amplifier이므로 OP 3의 출력단 전압을 V_{OP3} 이라 하면

$$V_{OP3} = -V_{OP1} = +9 [V]$$

3) OP5의 inverted input은 2)에서 구한 9 V가 R_{11} 의 왼쪽 단자에 입력되고, noninverted input에는 1)과 마찬가지로 과정에 의해서 $V_4 + V_5 + V_6 = -12 [V]$ 의 전압이 R_{12} 와 R_{13} 으로 구성된 1:1 전압 분배기에 입력된다. 따라서 OP5의 inverted input의 전압값은 noninverted input의 전압인 $-6 [V]$ 이다. 따라서 R_{11} 에서 $9 - (-6) = 15 V$ 의 전압 강하가 일어나므로 R_{14} 에서도 마찬가지로 15 V의 전압강하가 일어난다. 따라서 $V_{out} = -6 - 15 = -21 [V]$

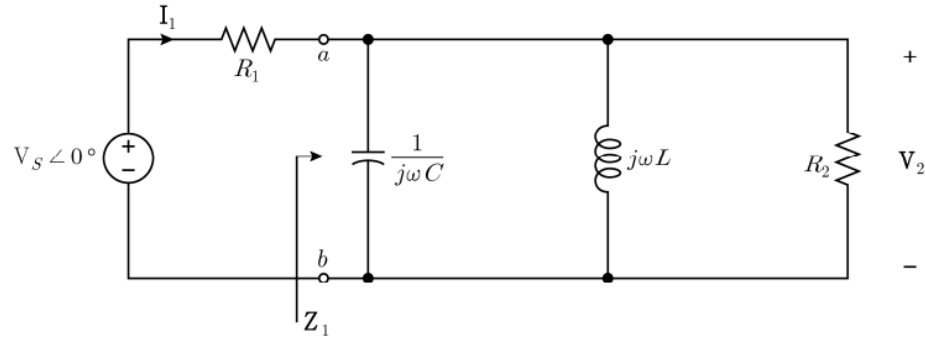
Chapter 2

교류회로

2.1 2024 문3

제 3 문. 그림과 같은 페이지 회로에서 다음 물음에 답하시오.

(총 20점)



- 1) $a-b$ 단자에서 들여다본 임피던스 Z_1 을 구하시오. (6점)
- 2) $V_2 = \frac{1}{2}V_S \angle 0^\circ$ 가 되기 위한 모든 조건을 ω , R_1 , R_2 , C , L 사이의 관계식으로 표현하시오. (6점)
- 3) $V_S = 100$ [V], $\omega = 1,000$ [rad/s], $R_1 = 0.5$ [Ω], $R_2 = 2.5$ [Ω], $C = 200$ [μ F], $L = 1$ [mH]일 때 I_1 을 구하시오. (8점)

Solution:

1) R-L-C 병렬 임피던스이므로

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= \left(\frac{1}{j\omega C} \parallel j\omega L \parallel R_2 \right)^{-1} \\
 &= \left(j\omega C + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)} \\
 &= \frac{\frac{1}{R_2} - j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)}{\frac{1}{R_2^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2}
 \end{aligned}$$

2)

$$\begin{aligned}
 V_2 &= \frac{Z_1}{R_1 + Z_1} V_s \\
 &= \frac{1}{2} V_s \angle 0^\circ \\
 \therefore \frac{Z_1}{R_1 + Z_1} &= \frac{1}{2} \rightarrow R_1 + 0j = Z_1
 \end{aligned}$$

따라서 R_1 과 Z_1 의 실수부와 허수부를 각각 비교하면 $R_1 = R_2$, $\omega C = \frac{1}{\omega L}$ 이다.

3) $Z_1 = \frac{1}{0.4 - 0.8j} = 0.5 + 1j$ 이므로

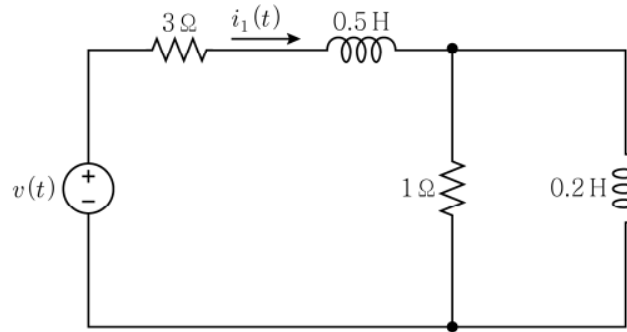
$$I_1 = \frac{V_s}{R_1 + Z_1} = \frac{100}{0.5 + (0.5 + 1j)} = 50\sqrt{2} \angle (-45^\circ)$$

Chapter 3

과도응답과 주파수응답

3.1 2024 문4 (s-domain sol 작성 필요)

제 4 문. 그림과 같은 회로에서 다음 물음에 답하시오. (단, $v(t) = 12u(t)$ [V]이고 $u(t)$ 는 단위 계단함수이다) (총 20점)



- 1) $i_1(t)$ 의 특성방정식의 근을 구하고, $i_1(t)$ 의 고유응답은 어떤 제동 특성을 보이는지 기술하시오. (6점)
- 2) $i_1(0^+)$, $\frac{di_1(0^+)}{dt}$, $i_1(\infty)$ 를 각각 구하시오. (6점)
- 3) $i_1(t)$ 를 구하시오. (단, $t > 0$ 이다) (8점)

Solution 1. Time-domain solution

1. Loop 1에서의 mesh 전류는 $i_1(t)$, Loop 2에서의 mesh 전류를 $i_2(t)$ 라 하면

$$0 = -v(t) + (3 + 1)i_1 + 1 \cdot (-i_2) + 0.5\dot{i}_1 \quad \cdots (\text{Loop 1})$$

$$0 = 1 \cdot i_2 + 1 \cdot (-i_1) + 0.2\dot{i}_2 \quad \cdots (\text{Loop 2})$$

위의 연립미분방정식에서 i_2 를 소거하기 위하여 Loop 1의 방정식을 미분하면

$$0 = -\dot{v}(t) + 4\dot{i}_1 - \dot{i}_2 + 0.5\ddot{i}_1 \quad \cdots (\text{Loop 1, 미분})$$

i_2 에 대해 Loop 1에서 얻은 두 식을 정리하면

$$i_2 = -v(t) + 4i_1 + 0.5\dot{i}_1 \quad \cdots (\text{Loop 1})$$

$$\dot{i}_2 = -\dot{v}(t) + 4\dot{i}_1 + 0.5\ddot{i}_1 \quad \cdots (\text{Loop 1, 미분})$$

Loop 2의 식을 i_1 에 대해 풀면

$$\begin{aligned} i_1 &= i_2 + 0.2\dot{i}_2 \\ &= (-v(t) + 4i_1 + 0.5\dot{i}_1) + 0.2(-\dot{v}(t) + 4\dot{i}_1 + 0.5\ddot{i}_1) \end{aligned}$$

$$\therefore 0.1\ddot{i}_1 + 1.3\dot{i}_1 + 3i_1 = v(t) + 0.2\dot{v}(t)$$

$$\ddot{i}_1 + 13\dot{i}_1 + 30i_1 = 10v(t) + 2\dot{v}(t) \quad \cdots (1)$$

식 (1)의 특성 방정식은 $s^2 + 13s + 30 = (s + 10)(s + 3) = 0$ 이므로 특성 방정식의 해는 $s = -10, -3$ 이고, 특성방정식의 해가 서로 다른 두 실근이므로 $i_1(t)$ 의 고유 응답은 overdamped response이다.

2. $t < 0$ 일 때 $v(t) = 0$ 이므로 두 mesh 전류 $i_1(t), i_2(t)$ 는 0이다. 또한 $t = 0$ 에서 갑자기 12 V DC 전압이 공급되어도 $i_1(t), i_2(t)$ 는 모두 inductor를 흐르는 전류이므로 갑자기 변할 수 없다. 따라서

$$i_1(t < 0) = i_1(0^+) = 0 \text{ [A]}, \quad i_2(t < 0) = i_2(0^+) = 0 \text{ [A]}$$

Loop 1의 $t > 0$ 에서의 KVL 식은

$$\begin{aligned} 0 &= -v(t) + 4i_1(t) - i_2(t) + 0.5 \frac{di_1}{dt}(t) \quad (t > 0) \\ \xrightarrow{t \rightarrow 0^+} &= -12 + 4i_1(0^+) - i_2(0^+) + 0.5 \frac{di_1}{dt}(0^+) \\ &= -12 + 4 \cdot 0 - 0 + 0.5 \frac{di_1}{dt}(0^+) \end{aligned}$$

따라서

$$\frac{di_1}{dt}(0^+) = 24 [A/s]$$

$t \rightarrow \infty$ 일 때 i_1, i_2 의 변화율은 모두 0이므로

$$\begin{aligned} \ddot{i}_1 + 13\dot{i}_1 + 30i_1 &= 10v(t) + 2\dot{v}(t) \quad \cdots (1) \\ \xrightarrow{t \rightarrow \infty} \quad 30 \cdot i_1(\infty) &= 10 \cdot 12V + 2 \cdot 0 \\ \therefore i_1(\infty) &= 4 [A] \end{aligned}$$

3. (1)식의 해는

$$i_1(t) = Ae^{-3t} + Be^{-10t} + i(\infty)$$

이고, 2)에서 구한 초기 조건을 반영하면 $A = -\frac{16}{7}, B = -\frac{12}{7}$ 이다. 따라서 정답은

$$i_1(t) = 4 - \frac{4}{7} (4e^{-3t} + 3e^{-10t}) [A]$$

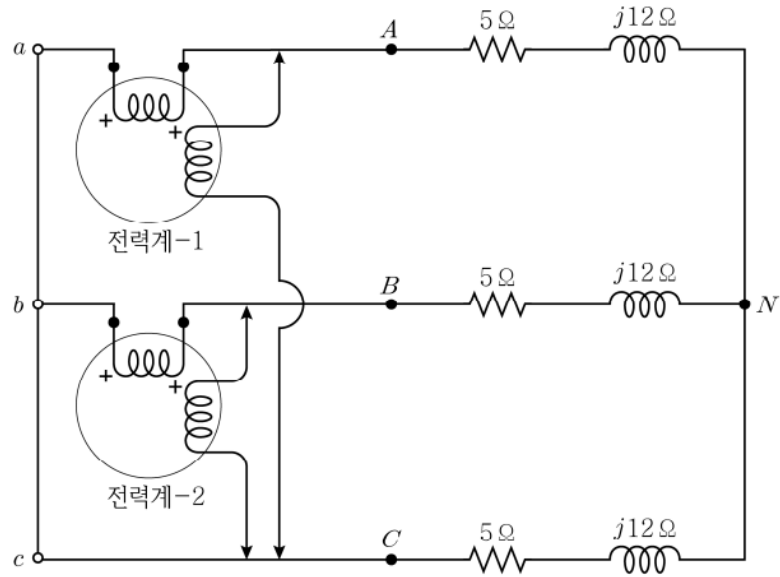
Solution 2. s-domain solution

Chapter 4

3상 회로

4.1 2024 문2

제 2 문. 그림과 같이 $V_{ab} = 390 \angle 30^\circ [V_{\text{rms}}]$ 이고 정상순을 가지는 평형 3상 전원에 의해 구동되는 회로에 대해 다음 물음에 답하시오. (총 20점)



- 1) 전력계-1에 의해 측정되는 전력을 구하시오. (8점)
- 2) 3상 평형부하에 의한 전체 소비전력을 구하시오. (12점)

Solution for 1)

전력계-1은 선간전압 V_{ac} 와 상전류 I_a 를 측정한다. 상임피던스를 $Z_Y = 5 + j12 = 13\angle\theta^\circ$ 라 하자. 먼저 선간전압은

$$\begin{aligned} V_{ac} &= V_{ca}\angle 180^\circ \\ &= (V_{ab}\angle + 120^\circ)\angle 180^\circ \\ &= V_{ab}\angle 300^\circ \end{aligned}$$

한편 상전류는

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{V_{an}}{Z_Y} = \frac{V_{ab}/\sqrt{3}\angle -30^\circ}{Z_Y} \\ &= \frac{V_{ab}}{13\sqrt{3}}\angle -(\theta + 30)^\circ \end{aligned}$$

따라서 전력계-1이 측정하는 전력은

$$\begin{aligned} P_1 &= \operatorname{Re}[V_{ac}I_a^*] \\ &= \operatorname{Re}[V_{ab}\angle 300^\circ \times \frac{V_{ab}^*}{13\sqrt{3}}\angle +(\theta + 30)^\circ] \\ &= \operatorname{Re}\left[\frac{|V_{ab}|^2}{13\sqrt{3}}\angle(\theta + 330^\circ)\right] \\ &= \frac{390^2}{13\sqrt{3}}\cos(\theta + 330^\circ) \\ &= 3900\sqrt{3}\cos(\theta - 30^\circ) \end{aligned}$$

Solution for 2)

마찬가지 방식으로 전력계-2가 측정하는 전력을 구하자. 먼저 전력계-2가 측정하는 선간전압은

$$V_{bc} = V_{ab} \angle -120^\circ$$

한편 상전류는

$$\begin{aligned} I_b &= \frac{V_{bn}}{Z_Y} = \frac{V_{bc}/\sqrt{3} \angle -30^\circ}{Z_Y} \\ &= \frac{V_{ab} \angle -120^\circ}{13\sqrt{3}} \angle -(\theta + 30)^\circ \\ &= \frac{V_{ab}}{13\sqrt{3}} \angle -(\theta + 150^\circ) \end{aligned}$$

따라서 전력계-2가 측정하는 전력은

$$\begin{aligned} P_2 &= \operatorname{Re} [V_{bc} I_b^*] \\ &= \operatorname{Re} [V_{ab} \angle -120^\circ \times \frac{V_{ab}^*}{13\sqrt{3}} \angle +(\theta + 150)^\circ] \\ &= \operatorname{Re} \left[\frac{|V_{ab}|^2}{13\sqrt{3}} \angle (\theta + 30^\circ) \right] \\ &= \frac{390^2}{13\sqrt{3}} \cos(\theta + 30^\circ) \\ &= 3900\sqrt{3} \cos(\theta + 30^\circ) \end{aligned}$$

따라서 3상 평형부하에 의한 전체 소비전력은 2 wattmeter 방법에 의해 $P_1 + P_2$ 와 같다.

$$P_T = P_1 + P_2 \tag{4.1}$$

$$= 3900\sqrt{3} (\cos(\theta - 30^\circ) + \cos(\theta + 30^\circ)) \tag{4.2}$$

$$= 3900\sqrt{3} \times \cos \theta \cos 30^\circ \times 2 \tag{4.3}$$

$$= 3900\sqrt{3} \times \frac{5}{13} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times 2 \tag{4.4}$$

$$= 4.5 \text{ kW} \tag{4.5}$$

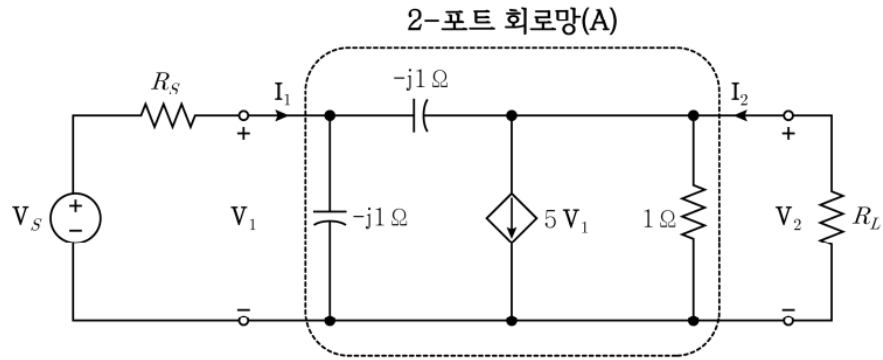
Chapter 5

Two-port network

5.1 2024 문1

제 1 문. 그림과 같은 회로에서 다음 물음에 답하시오.

(총 20점)

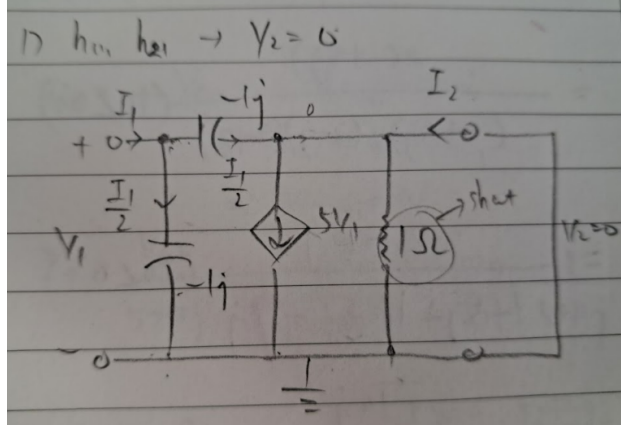


- 1) 2-포트 회로망(A)의 h -파라미터(하이브리드)를 구하시오. (단, 신호원과 부하는 제거한다) (12점)
- 2) $V_s = 10 \angle 0^\circ [\text{V}]$, $R_s = 1 [\Omega]$, $R_L = 1 [\Omega]$ 일 때, 1)에서 구한 h -파라미터를 이용하여 $V_2 [\text{V}]$ 를 구하시오. (8점)

Solution for 1)

h parameter의 정의는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix}$$



먼저 h_{11}, h_{21} 을 구하기 위하여 위 그림과 같이 output port를 short하면 ($V_2 = 0$)

1. 임피던스가 $(-1j)$ 인 두 capacitor 양단에 전압이 V_1 이 인가되므로 각 capacitor에는 $\frac{I_1}{2}$ 의 전류가 흐른다. 따라서

$$\frac{I_1}{2} = \frac{V_1}{(-1j)} \rightarrow h_{11} = \frac{V_1}{I_1}|_{V_2=0} = -\frac{j}{2}$$

2. 상단 capacitor의 우측 node에서 KCL을 적용하면

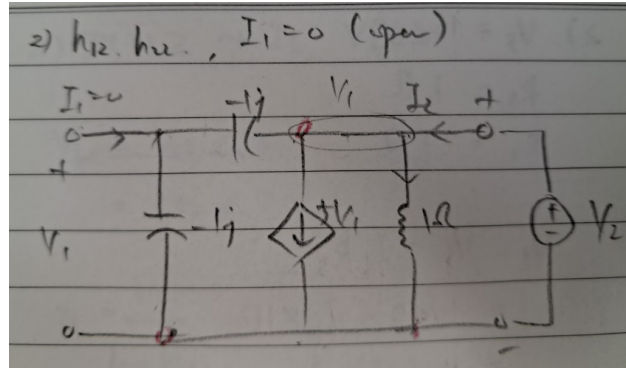
$$\frac{I_1}{2} + I_2 = 5V_1$$

I_2 를 I_1 에 관한 식으로 표현하기 위해 V_1 을 소거하면

$$\begin{aligned} I_2 &= 5V_1 - \frac{I_1}{2} \\ &= 5V_1 - jV_1 = (5 - j)V_1 \\ &= (5 - j) \times \left(-\frac{j}{2}I_1\right) = -\frac{1 + 5j}{2}I_1 \end{aligned}$$

따라서

$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1} \Big|_{V_2=0} = -\frac{1+5j}{2}$$



다음으로 h_{12}, h_{22} 를 구하기 위하여 input port를 open하면($I_1 = 0$) 위의 회로와 같다.

1. 임피던스가 $(-1j)$ 인 두 축전기가 node 전압 V_2 를 1:1로 배분하므로

$$V_1 = \frac{V_2}{2}$$

따라서

$$h_{12} = \frac{V_1}{V_2} \Big|_{I_1=0} = \frac{1}{2}$$

2. $(-1j)$ 축전기, $5V_1$ 종속 전류원, 1Ω 저항이 공유하는 node 전압이 V_2 임을 활용해 KCL을 적용하면

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{V_2 - V_1}{(-1j)} + 5V_1 + \frac{V_2}{1\Omega} \\ &= \frac{V_2}{(-2j)} + \frac{5}{2}V_2 + V_2 \\ &= \frac{7+j}{2}V_2 \end{aligned}$$

따라서

$$h_{22} = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{I_1=0} = \frac{7+j}{2}$$

Solution for 2)

$V_2 = 10\angle 0^\circ$, $R_s = 1\ \Omega$, $R_L = 1\ \Omega$ 일 때, V_2 를 구하기 위해선 다음 연립방정식을 풀어야 한다.

$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2$$

먼저 V_1, I_2 를 소거하면

$$\begin{aligned} V_1 &= V_s - I_1 R_s \\ &= 10\angle 0^\circ - I_1 \times (1\ \Omega) \\ &= 10\angle 0^\circ - I_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= -I_2 R_L \\ &= -I_2 \times (1\ \Omega) \\ &= -I_2 \end{aligned}$$

따라서

$$\begin{aligned} 10\angle 0^\circ - I_1 &= h_{11}I_1 + h_{12}V_2 \\ -V_2 &= h_{21}I_1 + h_{22}V_2 \end{aligned}$$

두번째 식을 활용해 I_1 을 소거할 수 있다.

$$I_1 = -\frac{1 + h_{22}}{h_{21}}V_2$$

따라서 첫번째 식을 정리하면

$$\begin{aligned}
 V_2 &= \frac{10\angle 0^\circ - (1 + h_{11})I_1}{h_{12}} \\
 &= \frac{10\angle 0^\circ - (1 + h_{11}) \times \left(-\frac{1 + h_{22}}{h_{21}}V_2\right)}{h_{12}} \\
 \left[1 - \frac{(1 + h_{11})(1 + h_{22})}{h_{12}h_{21}}\right] V_2 &= 10\angle 0^\circ
 \end{aligned}$$

1)에서 구한 h parameter 값들을 대입하면

$$\left[1 - \frac{(1 + h_{11})(1 + h_{22})}{h_{12}h_{21}}\right] = \frac{5 - 51j}{13}$$

따라서

$$V_2 = 10 \div \frac{5 - 51j}{13}$$