

[연습문제]

<< 4.1 선형회로 >>

[4.1] 함수 $y = x^2$ 는 선형함수가 아님을 보여라.

[풀이]

[4.1] $x = x_1$ 일 때 $y = y_1$ 이라 하면, $y_1 = x_1^2$ 이다. $x = kx_1$ 일 때

$$\begin{aligned} y &= k^2 x_1^2 \\ &= k^2 y_1 \\ &\neq ky_1 \end{aligned}$$

이므로 비례성을 만족하지 않는다. $x = x_1$ 일 때 $y = y_1$ 이고 $x = x_2$ 일 때 $y = y_2$ 라 하면, $y_1 = x_1^2$ 이고 $y_2 = x_2^2$ 이다. $x = x_1 + x_2$ 일 때,

$$\begin{aligned} y &= (x_1 + x_2)^2 \\ &= y_1 + y_2 + 2x_1x_2 \\ &\neq y_1 + y_2 \end{aligned}$$

이므로 중첩성을 만족하지 않는다. 따라서, 함수 $y = x^2$ 는 선형함수가 아니다.

[4.2] 그림 p4.2의 회로는 선형회로임을 보여라. 입력은 V_S 와 I_S 이고 출력은 V_O 와 I_O 이다.

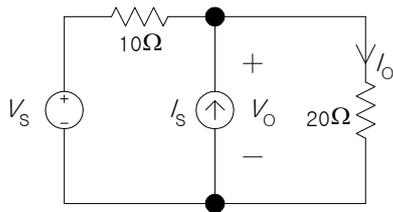


그림 p4.2

[풀이]

[4.2] KCL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$\frac{V_S - V_O}{10} + I_S = \frac{V_O}{20}$$

위의 식에서 V_O 를 구하면

$$V_O = \frac{2}{3} V_S + \frac{20}{3} I_S$$

이다. 오옴의 법칙에 의하여 I_O 는 다음과 같다.

$$I_O = \frac{V_O}{20}$$

$$= \frac{1}{30} V_S + \frac{1}{3} I_S$$

입력과 출력 사이의 관계를 벡터와 행렬로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_O \\ I_O \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{20}{3} \\ \frac{1}{30} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{S1} \\ I_{S1} \end{bmatrix} \text{ 일 때 } \begin{bmatrix} V_O \\ I_O \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{O1} \\ I_{O1} \end{bmatrix} \text{ 이라 하면, } \begin{bmatrix} V_{O1} \\ I_{O1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{20}{3} \\ \frac{1}{30} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{S1} \\ I_{S1} \end{bmatrix} \text{ 이다.}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} V_{S1} \\ I_{S1} \end{bmatrix} \text{ 일 때,}$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_O \\ I_O \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{20}{3} \\ \frac{1}{30} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} k \begin{bmatrix} V_{S1} \\ I_{S1} \end{bmatrix} \\ &= k \begin{bmatrix} V_{O1} \\ I_{O1} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

이므로 비례성을 만족한다.

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{S1} \\ I_{S1} \end{bmatrix} \text{ 일 때 } \begin{bmatrix} V_O \\ I_O \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{O1} \\ I_{O1} \end{bmatrix} \text{ 이고 } \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{S2} \\ I_{S2} \end{bmatrix} \text{ 일 때 } \begin{bmatrix} V_O \\ I_O \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{O2} \\ I_{O2} \end{bmatrix} \text{ 라고 하면,}$$

$$\begin{bmatrix} V_{O1} \\ I_{O1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{20}{3} \\ \frac{1}{30} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{S1} \\ I_{S1} \end{bmatrix} \text{ 이고 } \begin{bmatrix} V_{O2} \\ I_{O2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{20}{3} \\ \frac{1}{30} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{S2} \\ I_{S2} \end{bmatrix} \text{ 이다.}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{S1} + V_{S2} \\ I_{S1} + I_{S2} \end{bmatrix} \text{ 일 때 } \begin{bmatrix} V_O \\ I_O \end{bmatrix} \text{ 는}$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_O \\ I_O \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{20}{3} \\ \frac{1}{30} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{S1} + V_{S2} \\ I_{S1} + I_{S2} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{20}{3} \\ \frac{1}{30} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{S1} \\ I_{S1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{20}{3} \\ \frac{1}{30} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{S2} \\ I_{S2} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} V_{O1} \\ I_{O1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{O2} \\ I_{O2} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

이므로 중첩성을 만족한다. 따라서, 그림 p4.2의 회로는 선형회로이다.

[4.3] 입력신호와 출력신호가 각각 1개인 그림 p4.3의 회로에서, $v_i = 2[V]$ 일 때 $v_o = 1.2[V]$ 이다. 다음 물음에 답하여라.

- (1) $v_i = 6[V]$ 일 때 v_o 는 몇 V인 가?
- (2) $v_i = 3 \cos 120\pi t [V]$ 일 때 v_o 는 몇 V인 가?

(3) $v_i = 10 + 6 \cos 120\pi t$ [V]일 때 v_o 는 몇 V인 가?

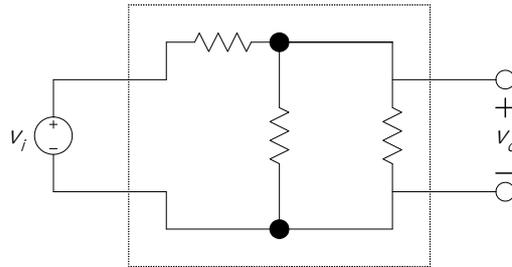


그림 p4.3

[풀이]

[4.3] 저항회로는 선형회로이므로 입력 v_i 와 출력 v_o 사이의 관계는

$$v_o = \frac{1.2}{2} v_i = 0.6 v_i \text{의 비례관계이다.}$$

(1) 비례성에 의하여 $v_i = 6$ [V]일 때 v_o 는 $v_o = 0.6 \times 6 = 3.6$ [V]이다.

(2) 비례성에 의하여 $v_i = 3 \cos 120\pi t$ [V]일 때 v_o 는

$$v_o = 0.6 \times 3 \cos 120\pi t = 1.8 \cos 120\pi t \text{ [V]이다.}$$

(3) 비례성과 중첩성에 의하여 $v_i = 10 + 6 \cos 120\pi t$ [V]일 때 v_o 는

$$\begin{aligned} v_o &= 0.6 \times 10 + 0.6 \times 6 \cos 120\pi t \text{ [V]} \\ &= 6 + 3.6 \cos 120\pi t \text{ [V]} \end{aligned}$$

이다.

[4.4] 그림 p4.4는 입력이 v_1 과 v_2 이고 출력이 v_o 이며, 종속전압원과 종속전류원을 포함하고 있는 선형회로의 블록 다이어그램이다. 이 회로에 대하여, 입력신호와 출력신호 사이의 관계를 측정된 결과가 표 p4.4와 같을 때, 다음 물음에 답하여라.

(1) $v_1 = 10$ [V]이고 $v_2 = 12$ [V]일 때, 출력 v_o 는 몇 V인 가?

(2) $v_1 = 8$ [V]이고 $v_2 = 9 \cos 100t$ [V]일 때, 출력 v_o 는 몇 V인 가?

(3) $v_1 = 12 \cos 10t$ [V]이고 $v_2 = 18 \cos 100t$ [V]일 때, 출력 v_o 는 몇 V인 가?



그림 p4.4

표 p4.4 그림 p4.4의 회로에서의 측정값

입력		출력
v_{11} [V]	v_{12} [A]	v_o [V]
4	0	1
0	6	2

[풀이]

[4.4] 증속에너지원이 포함된 회로도 선형회로이므로 입력과 출력 사이의 관계는 다음과 같다.

$$v_o = a_1 v_{11} + a_2 v_{12}$$

표 p4.4의 측정결과로부터, $a_1 = \frac{v_o}{v_{11}} \Big|_{v_{12}=0} = \frac{1}{4}$ 이고 $a_2 = \frac{v_o}{v_{12}} \Big|_{v_{11}=0} = \frac{2}{6}$

이므로 $v_o = \frac{1}{4} v_{11} + \frac{1}{3} v_{12}$ 이다.

(1) $v_{11} = 10[V]$ 이고 $v_{12} = 12[V]$ 일 때의 출력 v_o 는 $v_o = \frac{1}{4} \times 10 + \frac{1}{3} \times 12 = 6.5[V]$ 이다.

(2) $v_{11} = 8[V]$ 이고 $v_{12} = 9 \cos 100t[V]$ 일 때의 출력 v_o 는 $v_o = \frac{1}{4} \times 8 + \frac{1}{3} \times 9 \cos 100t = 2 + 3 \cos 100t [V]$ 이다.

(3) $v_{11} = 12 \cos 10t[V]$ 이고 $v_{12} = 18 \cos 100t[V]$ 일 때의 출력 v_o 는 $v_o = \frac{1}{4} \times 12 \cos 10t + \frac{1}{3} \times 18 \cos 100t = 3 \cos 10t + 6 \cos 100t [V]$ 이다.

<< 4.2 중첩의 원리 >>

[4.5] 그림 p4.5의 회로에 대하여 다음 물음에 답하여라.

(1) 중첩의 원리를 이용하여 V_o 를 구하여라.

(2) 마디해석법으로 V_O 를 구하여라.

(3) 루프해석법으로 V_O 를 구하여라.

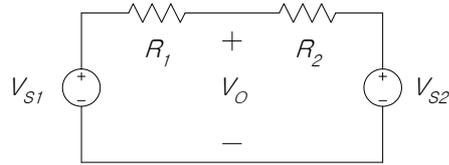


그림 p4.5

[풀이]

[4.5]

(1) (i) V_{S1} 만 있을 때 V_O 를 V_O^1 이라고 하면

$$V_O^1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{S1}$$

이다.

(ii) V_{S2} 만 있을 때 V_O 를 V_O^2 라고 하면

$$V_O^2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{S2}$$

이다.

(iii) V_{S1} 과 V_{S2} 가 모두 있을 때의 출력 V_O 는 중첩의 원리에 의해 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_O &= V_O^1 + V_O^2 \\ &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{S1} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{S2} \end{aligned}$$

(2) 마디에서 KCL을 적용하면

$$\frac{V_{S1} - V_O}{R_1} = \frac{V_O - V_{S2}}{R_2}$$

에서, $V_O = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{S1} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{S2}$ 이다.

(3) 루프전류 I 는 $I = \frac{V_{S1} - V_{S2}}{R_1 + R_2}$ 이고,

$$\begin{aligned} V_O &= R_2 I + V_{S2} \\ &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{S1} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{S2} \end{aligned}$$

이다.

[4.6] 그림 p4.6의 회로에 대하여, 중첩의 원리를 이용하여 V_O 를 I_1 과 I_2 의 항으로 나타내어라.

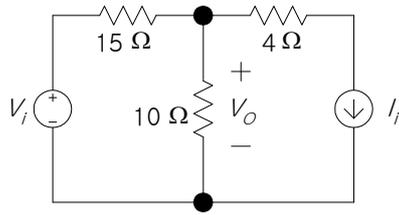


그림 p4.6

[풀이]

[4.6] 중첩의 원리를 이용하여 출력전압 V_o 를 구하는 과정은 다음과 같다.

- (i) 독립전압원 V_i 만 있을 때에는 $I_i = 0\text{A}$ 이고 이 때의 출력 V_o 를 V_o^1 이라고 하면 V_o^1 은 전압분배에 의해

$$\begin{aligned} V_o^1 &= \frac{10}{15+10} V_i \\ &= \frac{2}{5} V_i \end{aligned}$$

이다.

- (ii) 독립전류원 I_i 만 있을 때에는 $V_i = 0\text{V}$ 이고 이 때의 출력 V_o 를 V_o^2 라고 하면 V_o^2 는 오옴의 법칙에 의해

$$\begin{aligned} V_o^2 &= -(15 // 10) I_i \\ &= -6 I_i \end{aligned}$$

이다.

- (iii) V_i 와 I_i 가 모두 있을 때의 출력 V_o 는 중첩의 원리에 의해 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_o &= V_o^1 + V_o^2 \\ &= \frac{2}{5} V_i - 6 I_i \end{aligned}$$

[4.7] 그림 p4.7의 회로에 대하여, 다음 물음에 답하여라.

- (1) $v_s = 10\text{[V]}$ 이고 $i_s = 2\text{[A]}$ 일 때, 중첩의 원리를 이용하여 i_o 를 구하여라.
- (2) $v_s = 15 \cos 377t\text{[V]}$ 이고 $i_s = 5\text{[A]}$ 일 때, 중첩의 원리를 이용하여 i_o 를 구하여라.

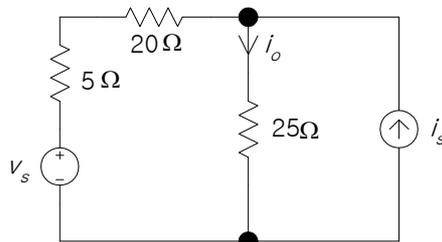


그림 p4.7

[풀이]

[4.7] 중첩의 원리를 이용하여 i_o 를 구하는 과정은 다음과 같다.

- (i) 독립전압원 v_s 만 있을 때에는 $i_s = 0[A]$ 이고 이 때의 i_o 를 i_o^1 이라고 하면 i_o^1 은 오옴의 법칙에 의하여

$$\begin{aligned} i_o^1 &= \frac{V_s}{5 + 20 + 25} \\ &= \frac{V_s}{50} \end{aligned}$$

이다.

- (ii) 독립전류원 i_s 만 있을 때에는 $v_s = 0V$ 이고 이 때의 i_o 를 i_o^2 라고 하면 i_o^2 는 전류분배의 법칙에 의하여

$$i_o^2 = \frac{1}{2} i_s$$

이다.

- (iii) v_s 와 i_s 가 모두 있을 때의 i_o 는 중첩의 원리에 의해 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i_o &= i_o^1 + i_o^2 \\ &= \frac{1}{50} v_s + \frac{1}{2} i_s \end{aligned}$$

- (1) $v_s = 10[V]$ 이고 $i_s = 2[A]$ 일 때의 i_o 는 $i_o = 0.2 + 1 = 1.2[V]$ 이다.

- (2) $v_s = 15 \cos 377t[V]$ 이고 $i_s = 5[A]$ 일 때의 i_o 는 $i_o = 0.3 \cos 377t + 2.5[V]$ 이다.

[4.8] 그림 p4.8의 회로에 대하여, 중첩의 원리를 이용하여 V_o 를 구하여라.

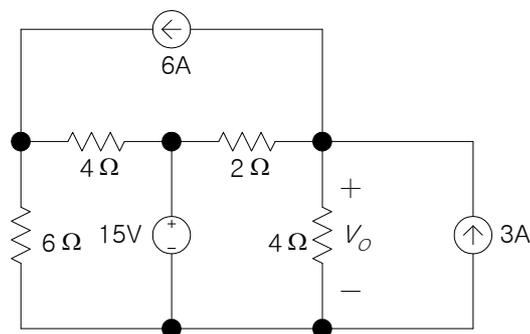


그림 p4.8

[풀이]

[4.8] 중첩의 원리를 이용하여 V_o 를 구하는 과정은 다음과 같다.

- (i) 15V의 독립전압원만 있을 때의 V_o 를 V_o^1 이라고 하면

V_o^1 은 전압분배의 법칙에 의하여

$$\begin{aligned} V_o^1 &= 15 \times \frac{4}{2+4} \\ &= 10 \text{ [V]} \end{aligned}$$

이다.

(ii) 6A의 독립전류원만 있을 때의 V_o 를 V_o^2 라고 하면

V_o^2 는 전류분배와 오옴의 법칙에 의하여

$$\begin{aligned} V_o^2 &= (-6) \times \frac{2}{2+4} \times 4 \\ &= -8 \text{ [V]} \end{aligned}$$

이다.

(iii) 3A의 독립전류원만 있을 때의 V_o 를 V_o^3 라고 하면

V_o^3 는 전류분배와 오옴의 법칙에 의하여

$$\begin{aligned} V_o^3 &= 3 \times \frac{2}{2+4} \times 4 \\ &= 4 \text{ [V]} \end{aligned}$$

이다.

(iv) 독립에너지원 3개가 모두 있을 때의 V_o 는 중첩의 원리에 의해 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_o &= V_o^1 + V_o^2 + V_o^3 \\ &= 10 + (-8) + 4 \\ &= 6 \text{ [V]} \end{aligned}$$

[4.9] 그림 p4.9의 회로에 대하여, 중첩의 원리를 이용하여 i_o 를 구하여라.

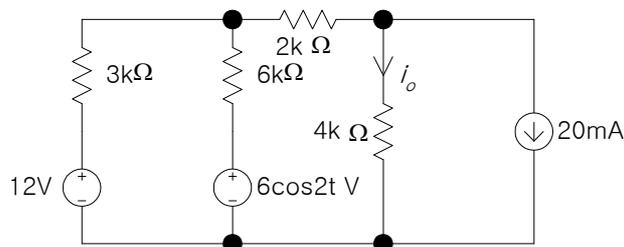


그림 p4.9

[풀이]

[4.9] 중첩의 원리를 이용하여 i_o 를 구하는 과정은 다음과 같다.

(i) 12V 독립전압원만 있을 때의 i_o 를 i_o^1 이라고 하면

i_o^1 은 전압분배의 법칙과 오옴의 법칙에 의하여

$$i_o^1 = (12 \times \frac{3}{3+3}) \times \frac{1}{2k+4k}$$

$$= 1[\text{mA}]$$

이다.

(ii) $6 \cos 2t$ V 독립전압원만 있을 때의 i_o 를 i_o^2 라고 하면

i_o^2 는 전압분배의 법칙과 오옴의 법칙에 의하여

$$i_o^2 = (6 \cos 2t \times \frac{3 // (2+4)}{6 + (3 // (2+4))}) \times \frac{1}{2k+4k}$$

$$= 0.25 \cos 2t [\text{mA}]$$

이다.

(iii) 20mA 독립전류원만 있을 때의 i_o 를 i_o^3 라고 하면

i_o^3 는 전류분배의 법칙에 의하여

$$i_o^3 = (-20) \times \frac{1}{2}$$

$$= -10 [\text{mA}]$$

이다.

(iv) 에너지원이 모두 있을 때의 i_o 는 중첩의 원리에 의해 다음과 같다.

$$i_o = i_o^1 + i_o^2 + i_o^3$$

$$= 1 + 0.25 \cos 2t + (-10)$$

$$= -9 + 0.25 \cos 2t [\text{mA}]$$

이다.

[4.10] 그림 p4.10의 회로에 대하여, 중첩의 원리를 이용하여 v_o 를 구하여라.

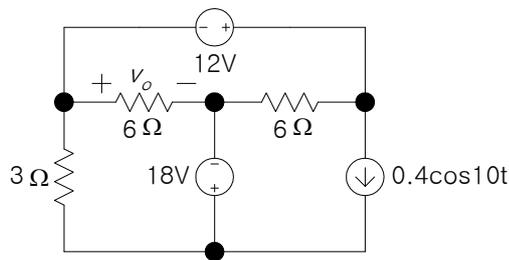


그림 p4.10

[풀이]

[4.10] 중첩의 원리를 이용하여 v_o 를 구하는 과정은 다음과 같다.

(i) 12V 독립전압원만 있을 때의 v_o 를 v_o^1 이라고 하면

v_o^1 은 전압분배의 법칙에 의하여

$$v_o^1 = (-12) \times \frac{3 // 6}{6 + (3 // 6)}$$

$$= -3[\text{V}]$$

이다.

(ii) 18V 독립전압원만 있을 때의 v_o 를 v_o^2 라고 하면

v_o^2 는 전압분배의 법칙에 의하여

$$\begin{aligned} v_o^2 &= 18 \times \frac{6//6}{3 + (6//6)} \\ &= 9[\text{V}] \end{aligned}$$

이다.

(iii) $0.4 \cos 10t\text{A}$ 독립전류원만 있을 때의 v_o 를 v_o^3 라고 하면

v_o^3 는 오옴의 법칙에 의하여

$$\begin{aligned} v_o^3 &= (3//6//6)(-0.4 \cos 10t) \\ &= -0.6 \cos 10t[\text{V}] \end{aligned}$$

이다.

(iv) 에너지원이 모두 있을 때의 v_o 는 중첩의 원리에 의해 다음과 같다.

$$\begin{aligned} v_o &= v_o^1 + v_o^2 + v_o^3 \\ &= -3 + 9 - 0.6 \cos 10t \\ &= 6 - 0.6 \cos 10t [\text{V}] \end{aligned}$$

이다.

[4.11] 그림 p4.11의 회로에서, $R_1 = R[\text{k}\Omega]$, $R_2 = kR_2[\text{k}\Omega]$ 일 때, 출력 $v_o(t)$ 를 $v_1(t)$ 와 $v_2(t)$ 의 함수로 나타내어라.

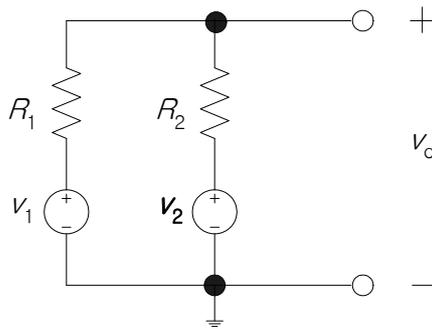


그림 p4.11

[풀이]

[4.11] 중첩의 원리에 의하여

$$\begin{aligned} v_o(t) &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_1(t) + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_2(t) \\ &= \frac{1}{1 + k} v_1(t) + \frac{k}{1 + k} v_2(t) \end{aligned}$$

[4.12] 그림 p4.12의 회로에서, $R_1 = R[\text{k}\Omega]$, $R_2 = kR_2[\text{k}\Omega]$ 이고 $v_{ac}(t)$ 는 최대치가 10V인 사인파이다. $v_{ac}(t)$ 가 $\frac{1}{2}$ 로 감쇠되어 출력에 나타나고 출력 $v_o(t)$ 의 직류성분이 5V이도록 k 값과 V_{dc} 의 값을 결정하여라.

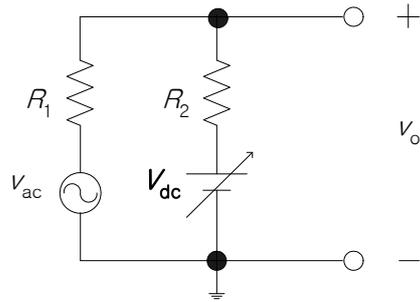


그림 p4.12

[풀이]

[4.12] 중첩의 원리에 의하여

$$\begin{aligned} v_o(t) &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{ac}(t) + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{dc} \\ &= \frac{1}{1+k} v_{ac}(t) + \frac{k}{1+k} V_{dc} \end{aligned}$$

이다. $\frac{1}{2} = \frac{1}{1+k}$ 에서 $k=1$ 이고 $\frac{k}{1+k} V_{dc} = 5$ 에서 $V_{dc} = 10[\text{V}]$ 이다.

[4.13] 그림 p4.13의 회로에서, $V_{dc} = 12\text{V}$ 이다. 출력 $v_o(t)$ 의 직류성분이 6V이도록 k 값을 정하여라. 이 때 교류성분 $v_{ac}(t)$ 는 얼마로 감쇠되어 출력에 나타나는 가?

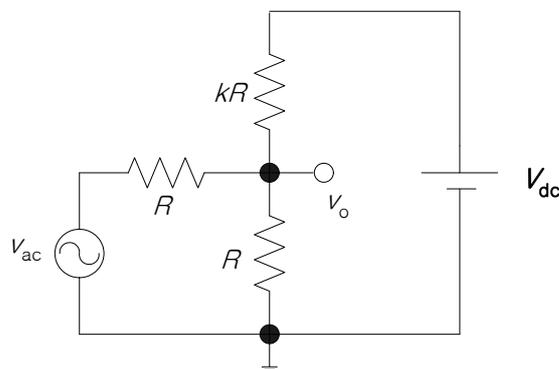


그림 p4.13

[풀이]

[4.13] 중첩의 원리에 의하여

$$v_o(t) = \frac{\frac{kR^2}{(k+1)R}}{R + \frac{kR^2}{(k+1)R}} v_{ac}(t) + \frac{\frac{1}{2}R}{(k + \frac{1}{2})R} V_{dc}$$

$$= \frac{k}{2k+1} v_{ac}(t) + \frac{1}{2k+1} V_{dc}$$

이다. $V_{dc} = 12[V]$ 일 때, $v_o(t)$ 의 DC성분이 $6[V]$ 이기 위하여는 $\frac{1}{2k+1} \times 12 = 6$ 에서 $k = 0.5$ 이어야 한다. 따라서, v_{ac} 는 $\frac{1}{4}$ 로 감소되어 출력에 나타난다.

[4.14] 그림 p4.14의 회로에 대하여, 중첩의 원리를 이용하여 출력전압 V_O 를 V_{i1} 과 V_{i2} 의 함수로 나타내어라.

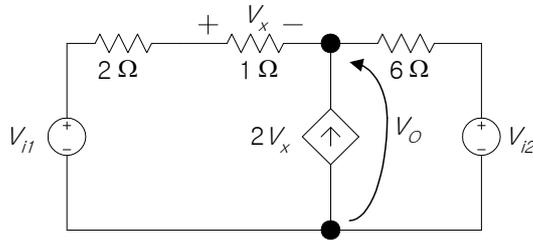


그림 p4.14

[풀이]

[4.14] 중첩의 원리를 이용하여 출력전압 V_O 를 구하는 과정은 다음과 같다.

(i) 독립전압원 V_{i1} 만 있을 때에는 $V_{i2} = 0V$ 이고 이 때의 출력 V_O 를 V_O^1 이라고 하면

회로는 그림 s4.14a의 회로와 같다. 그림 s4.14a 회로의 마디 a에서 KCL을 적용하면 다음의 식①을 얻는다.

$$\frac{V_O^1 - V_{i1}}{3} + \frac{V_O^1}{6} = 2V_x \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

마디 a의 전압은 V_O^1 이고 이 값은 다음과 같다.

$$V_O^1 = -3V_x + V_{i1} \quad \text{-----} \quad \text{②}$$

식①과 식②에서 V_x 를 소거하고 V_O^1 을 구하면 다음과 같다.

$$V_O^1 = \frac{6}{7} V_{i1}$$

(ii) 독립전압원 V_{i2} 만 있을 때에는 $V_{i1} = 0V$ 이고 이 때의 출력 V_O 를 V_O^2 라고 하면

회로는 그림 s4.14b의 회로와 같다. 그림 s4.14b 회로의 마디 a에서 KCL을 적용하면 다음의 식③을 얻는다.

$$\frac{V_O^2}{3} + \frac{V_O^2 - V_{i2}}{6} = 2V_x \quad \text{-----} \quad \text{③}$$

한편 V_o 는 다음과 같다.

$$V_o = -3V_x \quad \text{-----} \quad ④$$

식④를 식⑤에 대입하면 V_o^2 를 얻는다.

$$V_o^2 = \frac{1}{7} V_2$$

(iii) V_{i1} 과 V_{i2} 가 모두 있을 때의 출력 V_o 는 중첩의 원리에 의해 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_o &= V_o^1 + V_o^2 \\ &= \frac{6}{7} V_{i1} + \frac{1}{7} V_{i2} \end{aligned}$$

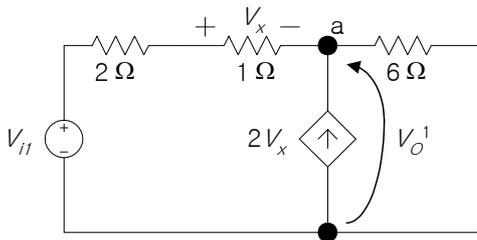


그림 s4.14a V_{i1} 만 있을 때의 회로

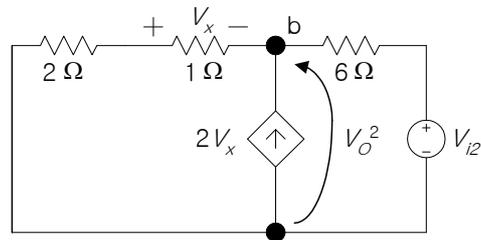


그림 s4.14b V_{i2} 만 있을 때의 회로

<< 4.3 전압원과 전류원의 상호변환 >>

[4.15] [예제4.2-2]의 회로와 동일한 그림 p4.15의 회로에 대하여, 전압원을 전류원으로 변환하여 V_o 를 V_{i1} 과 V_{i2} 의 함수로 나타내어라.

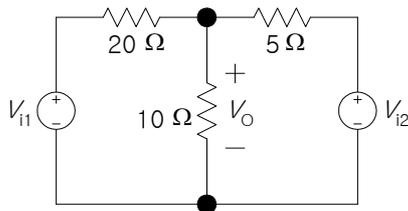


그림 p4.15

[풀이]

[4.15] V_{i1} 과 V_{i2} 의 두 전압원을 등가의 전류원으로 변환하면 그림 s4.15의 회로와 같고,

$20 // 10 // 5 = \frac{20}{7} [\Omega]$ 이므로 V_o 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_o &= \left(\frac{V_{i1}}{20} + \frac{V_{i2}}{5} \right) \times \frac{20}{7} \\ &= \frac{1}{7} V_{i1} + \frac{4}{7} V_{i2} \end{aligned}$$

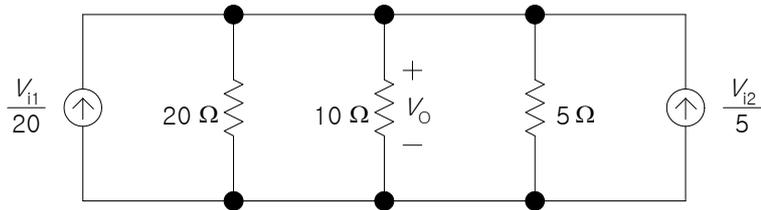


그림 s4.15

[4.16] 그림 p4.16의 회로에 대하여, 전압원과 전류원의 상호변환을 이용하여 I_O 를 V_i , I_1 , I_2 의 향으로 나타내어라.

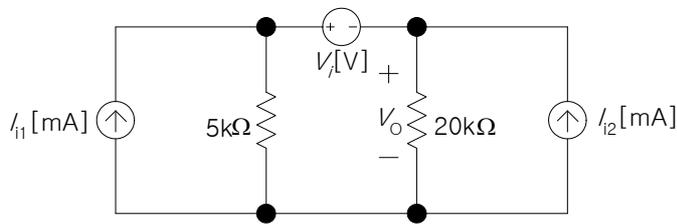


그림 p4.16

[풀이]

[4.16] I_1 과 I_2 의 두 전류원을 등가의 전압원으로 변환하면 그림 s4.16의 회로와 같으므로 V_O 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_O &= (5I_1 - V_i - 20I_2) \times \frac{20k}{5k + 20k} + 20I_2 \\
 &= -\frac{4}{5} V_i + 4I_1 + 4I_2
 \end{aligned}$$

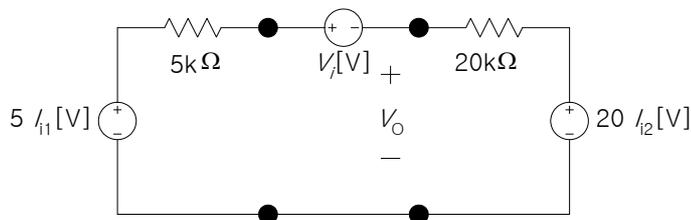


그림 s4.16

[4.17] 그림 p4.17의 회로에 대하여, 전압원과 전류원의 상호변환을 이용하여 V_O 를 구하여라.

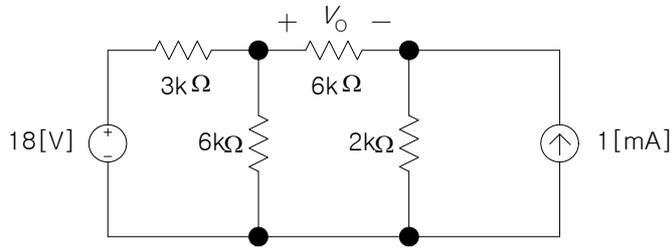


그림 p4.17

[풀이]

[4.17] 18V 전압원을 등가의 전류원으로 변환하면 그림 s4.17a의 회로와 같고, 그림 s4.17a의 회로에서 $3k//6k = 2[k\Omega]$ 이고 이 회로에서 두 전류원을 등가의 전압원으로 등가변환하면 그림 s4.17b의 회로와 같다. 따라서, V_o 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_o &= (12 - 2) \times \frac{6k}{10k} \\
 &= 6[V]
 \end{aligned}$$

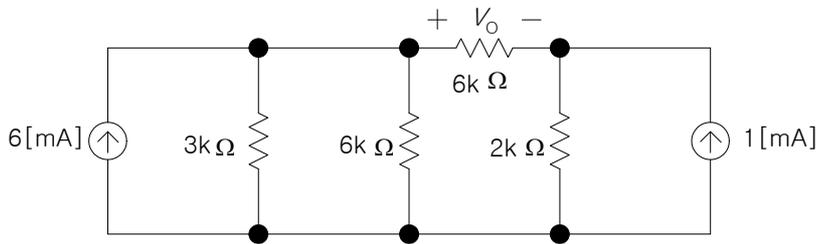


그림 s4.17a

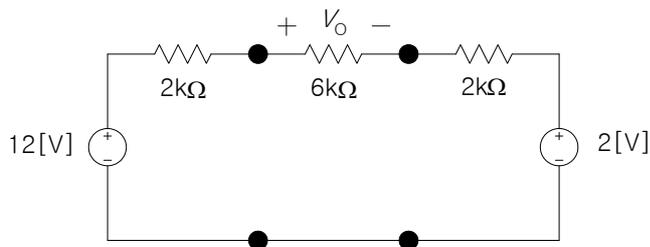


그림 s4.17b

[4.18] 그림 p4.18의 회로에 대하여, 전압원과 전류원의 상호변환을 이용하여 V_o 를 구하여라.

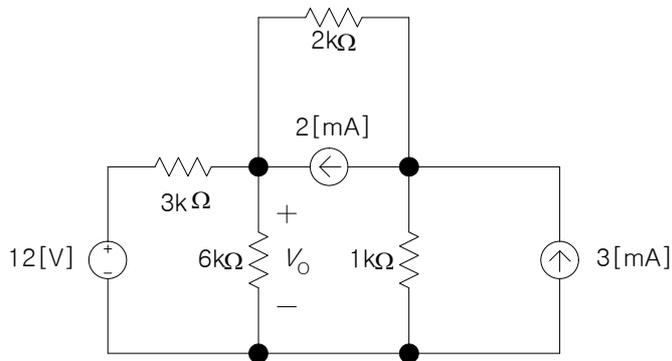


그림 p4.18

[풀이]

[4.18] 12V 전압원을 등가의 전류원으로 변환하면 그림 s4.18a의 회로와 같고, 그림 s4.18a의 회로에서 $3k//6k = 2[k\Omega]$ 이고 이 회로에서 세 전류원을 등가의 전압원으로 등가변환하면 그림 s4.18b의 회로와 같다. 따라서, V_o 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_o &= (8 - 4 - 3) \times \frac{3}{5} + 4 + 3 \\
 &= 7.6[V]
 \end{aligned}$$

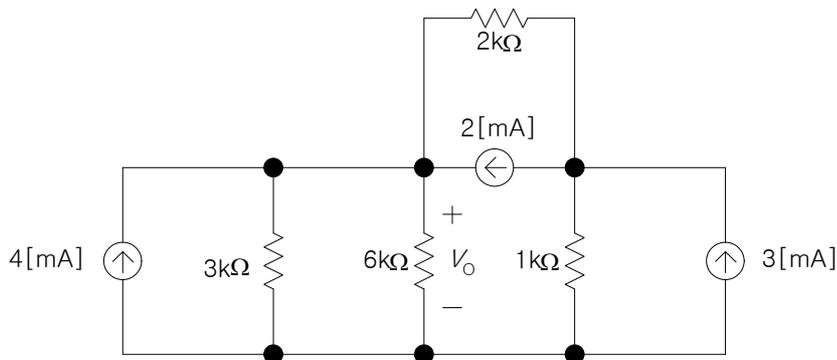


그림 s4.18a

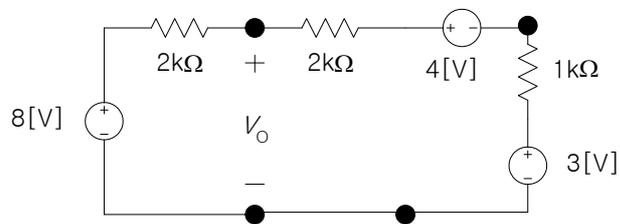


그림 s4.18b

[4.19] 종속전류원이 있는 그림 p4.19의 회로에 대하여, 전압원과 전류원의 상호변환을 이용하여 V_o 를 구하여라.

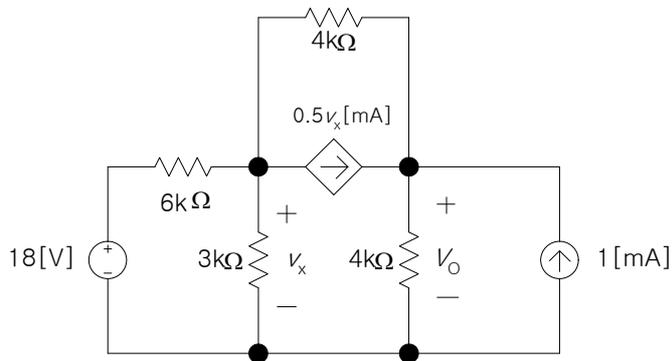


그림 p4.19

[풀이]

[4.19] 18V 전압원을 등가의 전류원으로, 1mA의 전류원을 등가의 전압원으로 변환하면 그림 s4.19a의 회로와 같다. 그림 s4.19a의 회로에서 $6k/3k = 2[k\Omega]$ 이고 3mA의 전류원을 등가의 전압원으로 변환하면 그림 s4.19b의 회로와 같다. 그림 s4.19b의 회로에서, 루프전류를 i [mA]라고 하면

$$v_x = 6 - 2i$$

이고, KVL에 의하여

$$\begin{aligned} 6 - 2i &= 4i - 2v_x + 4i + 4 \\ &= 8i - 2(6 - 2i) + 4 \end{aligned}$$

이다. 위의 식을 풀면 $i = \frac{1}{6}$ [mA]이다.

따라서, $V_o = 4i + 4$

$$\begin{aligned} &= \frac{2}{3} + 4 \\ &= \frac{14}{3} \text{ [V]} \end{aligned}$$

이다.

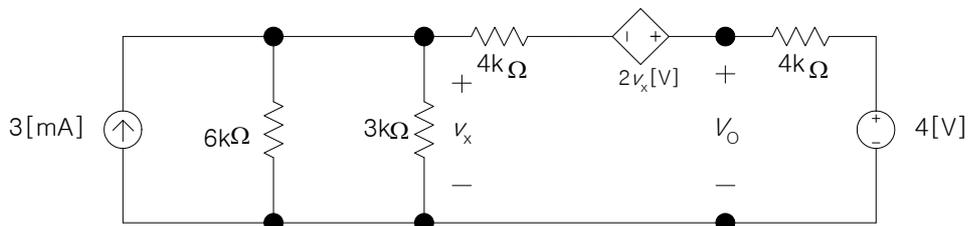


그림 s4.19a

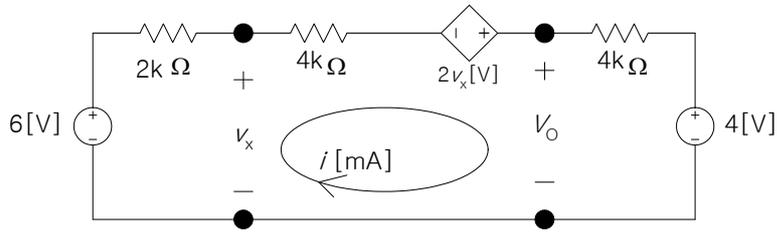


그림 s4.19b

[4.20] 종속전압원이 있는 그림 p4.20의 회로에 대하여, 전압원과 전류원의 상호변환을 이용하여 V_o 를 구하여라.

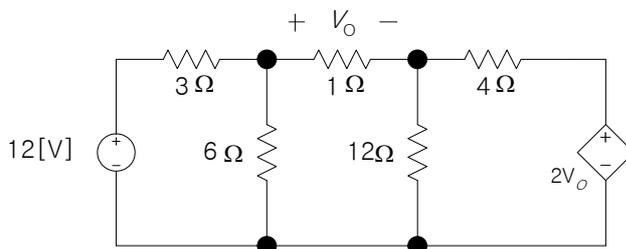


그림 p4.20

[풀이]

[4.20] 12V 전압원을 등가의 전류원으로, $2V_o$ 의 종속전압원을 등가의 종속전류원으로 변환하면 그림 s4.20a의 회로와 같다. 그림 s4.20a의 회로에서 $3//6 = 2[\Omega]$ 이고 전류원을 등가의 전압원으로 변환하면 그림 s4.20b의 회로와 같다. 그림 s4.20b의 회로에서, 루프전류를 $i[\text{mA}]$ 라고 하면

$$V_o = i$$

이고, KVL에 의하여

$$8 = 6i + 1.5V_o$$

이다. 위의 식을 풀면 $V_o = \frac{8}{7.5} = \frac{16}{15} [\text{V}]$ 이다.

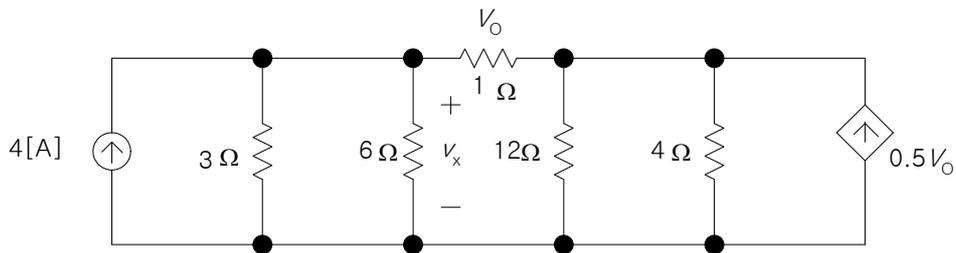


그림 s4.20a

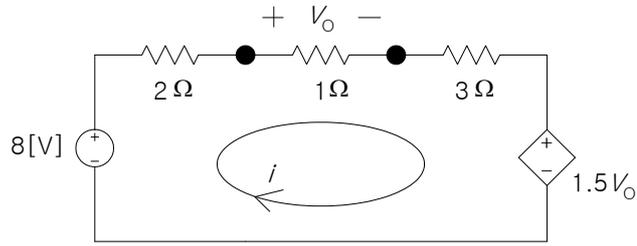


그림 s4.20b

<< 4.4 테브난의 정리와 노튼의 정리 >>

[4.21] 9A의 독립전류원이 있는 그림 p4.21의 회로에 대하여, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전류 I_o 를 구하여라.
- (2) 노튼의 정리를 이용하여 출력전류 I_o 를 구하여라.

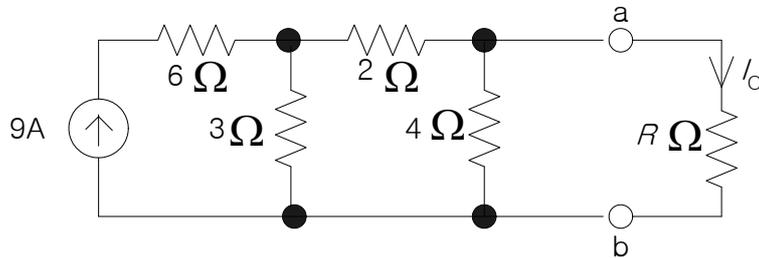


그림 p4.21

[풀이]

[4.51] (1) 단자 a, b의 왼쪽에 있는 회로를 테브난의 등가회로로 변환하기 위하여,

- (i) 그림 s21a의 회로에서 v_{oc} 를 구하면,

$$\begin{aligned} v_{oc} &= 9 \times \frac{3}{3+2+4} \times 4 \\ &= 12[\text{V}] \end{aligned}$$

이다.

- (ii) 그림 s4.21b의 회로에서 R_{eq} 를 구하면,

$$\begin{aligned} R_{eq} &= 4 // (2 + 3) \\ &= \frac{4 \times 5}{4 + 5} \\ &= \frac{20}{9} [\Omega] \end{aligned}$$

이다.

따라서, 그림 p4.21의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.21c의 회로와 같고, I_o 는 다음과 같다.

$$I_O = \frac{V_{oc}}{R_{eq} + R}$$

$$= \frac{108}{20 + 9R}$$

이다.

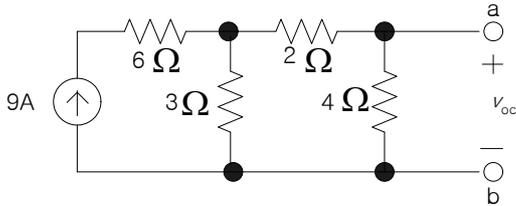


그림 s4.21a

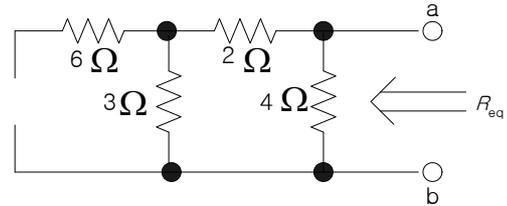


그림 s4.21b

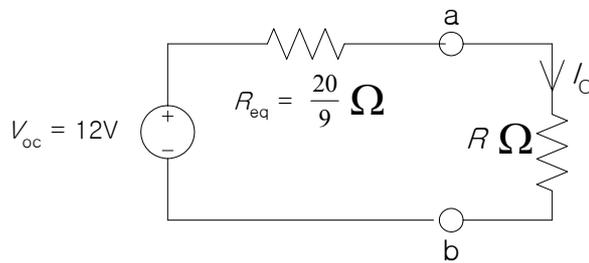


그림 s4.21c

(2) 단자 a, b의 왼쪽에 있는 회로를 노튼의 등가회로로 변환하기 위하여,

(i) 그림 s4.21d의 회로에서 i_{sc} 를 구하면,

$$i_{sc} = 9 \times \frac{3}{3+2}$$

$$= \frac{27}{5} [\text{A}]$$

이다.

(ii) 그림 s4.21e의 회로에서 R_{eq} 를 구하면,

$$R_{eq} = 4 // (2 + 3)$$

$$= \frac{4 \times 5}{4 + 5}$$

$$= \frac{20}{9} [\Omega]$$

이다.

따라서, 그림 p4.21의 회로를 노튼의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.21f의

회로와 같고, I_O 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 I_O &= i_{sc} \times \frac{R_{eq}}{R_{eq} + R} \\
 &= \frac{27}{5} \times \frac{\frac{20}{9}}{\frac{20}{9} + R} \\
 &= \frac{108}{20 + 9R}
 \end{aligned}$$

이다.

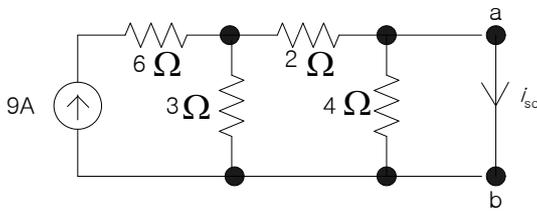


그림 s4.21d

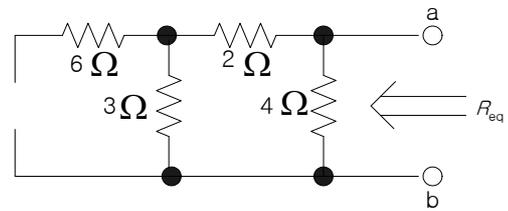


그림 s4.21e

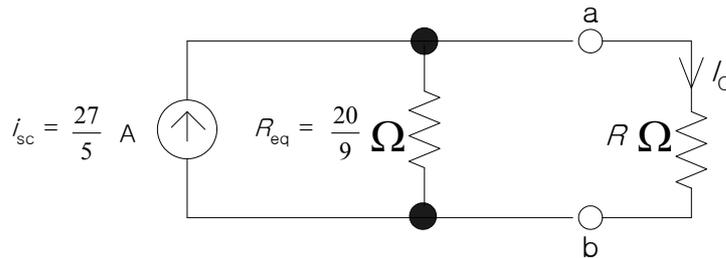


그림 s4.21f

[4.22] [예제4.2-2]의 회로와 동일한 그림 p4.22의 회로에 대하여, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_O 를 V_{11} 과 V_{12} 의 향으로 나타내어라.
- (2) 노튼의 정리를 이용하여 출력전압 V_O 를 V_{11} 과 V_{12} 의 향으로 나타내어라.
- (3) 중첩의 원리를 이용하여 출력전압 V_O 를 V_{11} 과 V_{12} 의 향으로 나타내어라.
- (4) 마디해석법으로 출력전압 V_O 를 V_{11} 과 V_{12} 의 향으로 나타내어라.
- (5) 루프해석법으로 출력전압 V_O 를 V_{11} 과 V_{12} 의 향으로 나타내어라.

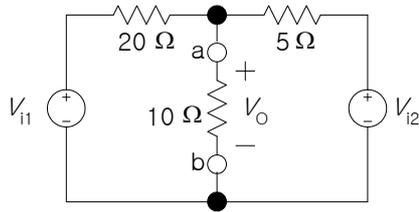


그림 p4.22

[풀이]

[4.22] (1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_O 를 구하는 과정은 다음과 같다. 단자 a, b에서 떼어낸 회로를 테브난의 등가회로로 변환하기 위하여,

(i) 그림 s4.22a의 회로에서 V_{oc} 를 구하면, 중첩의 원리에 의하여

$$\begin{aligned} V_{oc} &= V_{11} \frac{5}{20+5} + V_{12} \frac{20}{20+5} \\ &= \frac{1}{5} V_{11} + \frac{4}{5} V_{12} \end{aligned}$$

이다.

(ii) 그림 s4.22b의 회로에서 R_{eq} 를 구하면,

$$\begin{aligned} R_{eq} &= \frac{20 \times 5}{20+5} \\ &= 4[\Omega] \end{aligned}$$

이다.

따라서, 그림 p4.22의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.22c의 회로와 같고, V_O 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_O &= \left(\frac{1}{5} V_{11} + \frac{4}{5} V_{12} \right) \times \frac{10}{4+10} \\ &= \frac{1}{7} V_{11} + \frac{4}{7} V_{12} \end{aligned}$$

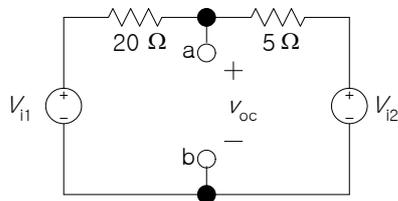


그림 s4.22a

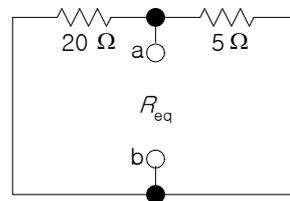


그림 s4.22b

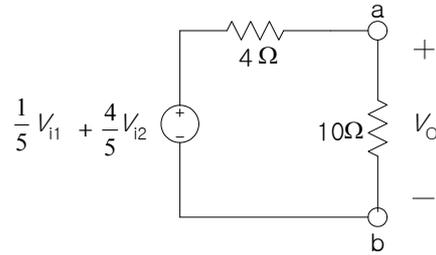


그림 s4.22c

(2) 노튼의 정리를 이용하여 출력전압 V_O 를 구하는 과정은 다음과 같다. 단자 a, b의 왼쪽에 있는 회로를 노튼의 등가회로로 변환하기 위하여,

(i) 그림 s4.22d 회로에서 i_{sc} 를 구하면, 중첩의 원리에 의하여

$$i_{sc} = \frac{1}{20} V_{i1} + \frac{1}{5} I_i$$

이다.

(ii) R_{eq} 는 테브난의 등가저항과 동일하므로,

$$R_{eq} = 4[\Omega]$$

이다.

따라서, 그림 p4.22의 회로를 노튼의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.22e의 회로와 같고, V_O 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_O &= \left(\frac{1}{20} V_{i1} + \frac{1}{5} I_i \right) \times \frac{4}{4 + 10} \times 10 \\ &= \frac{1}{7} V_{i1} + \frac{4}{7} V_{i2} \end{aligned}$$

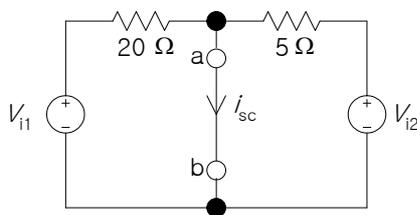


그림 s4.22d

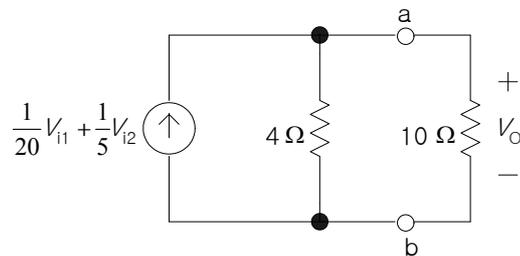


그림 s4.22e

(3) 중첩의 원리를 이용하여 출력전압 V_O 를 구한 과정은 [예제4.2-2]에 있으며,

$$V_O = \frac{1}{7} V_{i1} + \frac{4}{7} V_{i2}$$

이다.

(4) 마디해석법으로 출력전압 V_o 를 구한 과정은 [예제4.2-2]에 있으며,

$$V_o = \frac{1}{7} V_1 + \frac{4}{7} V_2$$

이다.

(5) 그림 s4.22f에서,

i_1 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$\begin{aligned} V_1 &= 20i_1 + 10(i_1 - i_2) \\ &= 30i_1 - 10i_2 \end{aligned} \quad \text{-----} \quad \textcircled{1}$$

i_2 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} 10(i_1 - i_2) &= 5i_2 + V_2 \\ \text{위의 식을 정리하면 다음과 같다.} \\ 10i_1 - 15i_2 &= V_2 \end{aligned} \quad \text{-----} \quad \textcircled{2}$$

식①과 식②로부터,

$$i_2 = \frac{V_1 - 3V_2}{35}, \quad i_1 = \frac{3V_1 - 2V_2}{70}$$

이다. 따라서,

$$\begin{aligned} V_o &= 10(i_1 - i_2) \\ &= \frac{1}{7} V_1 + \frac{4}{7} V_2 \end{aligned}$$

이다.

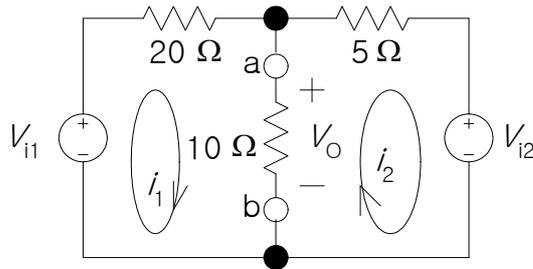


그림 s4.22f

[4.23] 그림 p4.23의 회로에 대하여, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 V_i 과 I_i 의 함수로 나타내어라.
- (2) 노턴의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 V_i 과 I_i 의 함수로 나타내어라.
- (3) 중첩의 원리를 이용하여 출력전압 V_o 를 V_i 와 I_i 의 함수로 나타내어라.
- (4) 마디해석법으로 출력전압 V_o 를 V_i 와 I_i 의 함수로 나타내어라.
- (5) 루프해석법으로 출력전압 V_o 를 V_i 와 I_i 의 함수로 나타내어라.

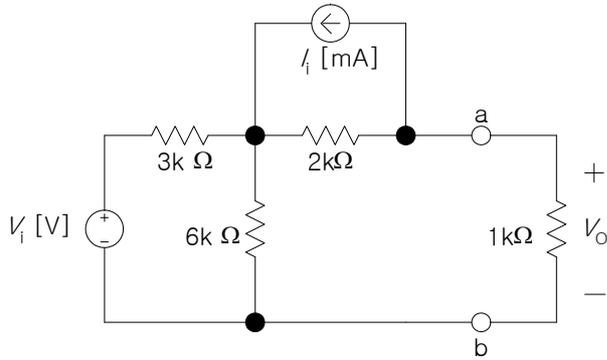


그림 p4.23

[풀이]

[4.23]

(1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 구하는 과정은 다음과 같다. 단자 a, b에서 떼어낸 회로는 그림 s4.23a의 회로와 같고, 이 회로에서 V_{oc} 는 중첩의 원리에 의하여

$$\begin{aligned} V_{oc} &= V_i \times \frac{6}{3+6} - 2I_i \\ &= \frac{2}{3} V_i - 2I_i \end{aligned}$$

이고, R_{eq} 는

$$\begin{aligned} R_{eq} &= 2k + (3k//6k) \\ &= 4[k\Omega] \end{aligned}$$

이다. 따라서, 그림 p4.23의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.23b의 회로와 같고, V_o 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_o &= \left(\frac{2}{3} V_i - 2I_i \right) \times \frac{1}{5} \\ &= \frac{2}{15} V_i - \frac{2}{5} I_i [V] \end{aligned}$$

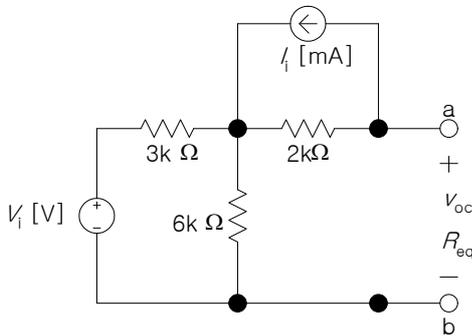


그림 s4.23a

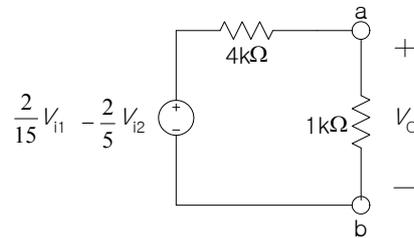


그림 s4.23b

(2) 노튼의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 구하는 과정은 다음과 같다. 단자 a, b에서

떼어낸 회로는 그림 s4.23c의 회로와 같고, 이 회로에서 i_{sc} 는 중첩의 원리에 의하여

$$\begin{aligned} i_{sc} &= \frac{V_i}{3k + (6k//2k)} \times \frac{6k}{6k + 2k} - \frac{2k}{2k + 2k} \times I_i \\ &= \frac{1}{6} V_i - \frac{1}{2} I_i \end{aligned}$$

이고, R_{eq} 는

$$\begin{aligned} R_{eq} &= 2k + (3k//6k) \\ &= 4[k\Omega] \end{aligned}$$

이다. 따라서, 그림 p4.23의 회로를 노튼의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.23d의 회로와 같고, V_o 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_o &= i_{sc} \times \frac{4k}{4k + 1k} \\ &= \frac{2}{15} V_i - \frac{2}{5} I_i [V] \end{aligned}$$

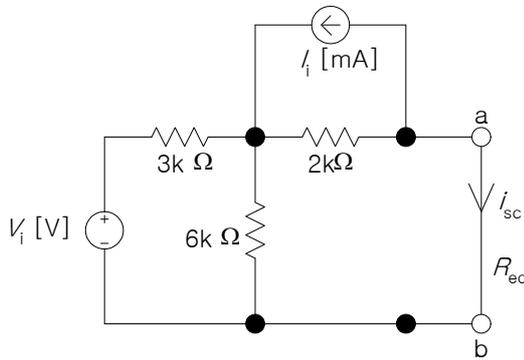


그림 s4.23c

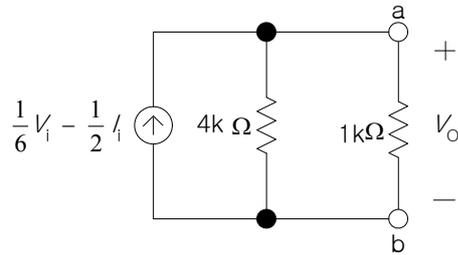


그림 s4.23d

(3) (i) 전압원 V_i 만 있을 때의 출력을 $V_o = V_o'$ 이라 하면, 그림 s4.23e의 회로에서

$$\begin{aligned} V_o' &= V_i \times \frac{(6//3)}{3 + (6//3)} \times \frac{1}{2+1} \\ &= V_i \times \frac{2}{5} \times \frac{1}{3} \\ &= \frac{2}{15} V_i \end{aligned}$$

이다.

(ii) 전류원 I_i 만 있을 때의 출력을 $V_o = V_o''$ 이라 하면, 그림 s4.23f의 회로에서

$$\begin{aligned} V_o' &= -I_i \times \frac{2}{2+3} \times 1 \\ &= -\frac{2}{5} I_i \end{aligned}$$

이다.

(i)과 (ii)로부터, $V_o = \frac{2}{15} V_i - \frac{2}{5} I_i$ 이다.

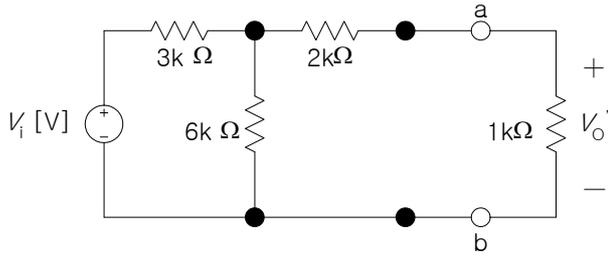


그림 s4.23e

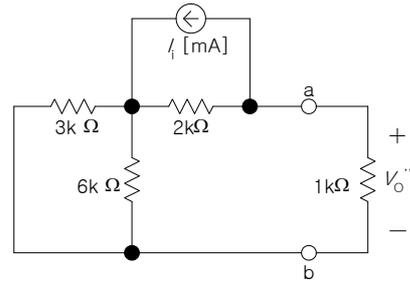


그림 s4.23f

(4) 그림 s4.23g 회로에서,

V_1 표시된 마디에서 KCL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$\frac{V_1 - V_i}{3k} + \frac{V_1}{6k} + \frac{V_1 - V_o}{2k} = I_i$$

위의 식을 정리하면 다음의 식①과 같다.

$$\frac{V_1}{1k} - \frac{V_o}{2k} = \frac{V_i}{3k} + I_i \text{ ----- ①}$$

V_o 표시된 마디에서 KCL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$\frac{V_1 - V_o}{2k} = I_i + \frac{V_o}{1k}$$

위의 식을 정리하면 다음의 식②와 같다.

$$\frac{V_1}{2k} - \frac{3V_o}{2k} = I_i \text{ ----- ②}$$

식①과 식②에서,

$$V_o = \frac{2}{15} V_i - \frac{2}{5} I_i$$

이다.

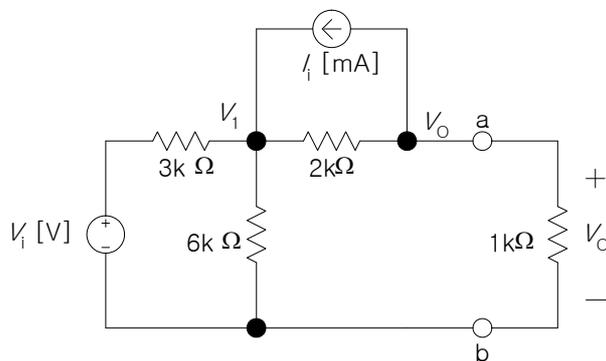


그림 s4.23g

(5) 그림 s4.23h에서와 같이 루프전류를 정의하자.

I_1 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$V_i = 3I_1 + 6(I_1 - I_2)$$

위의 식을 정리하면 다음의 식①을 얻는다.

$$9I_1 - 6I_2 = V_i \quad \text{----- ①}$$

I_2 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$6(I_1 - I_2) = 2(I_1 + I_2) + I_2$$

위의 식을 정리하면 다음의 식②를 얻는다.

$$6I_1 - 9I_2 = 2I_1 \quad \text{----- ②}$$

식①과 식②로부터,

$$I_2 = \frac{2}{15} V_i - \frac{2}{5} I_1 \quad \text{----- ⑤}$$

이다. 따라서,

$$V_o = 1 \times I_2 = \frac{2}{15} V_i - \frac{2}{5} I_1 \quad \text{[V]}$$

이다.

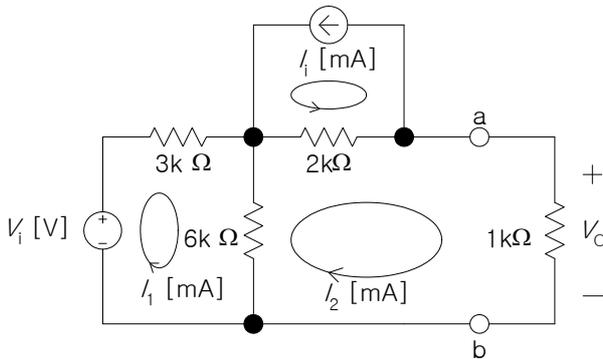


그림 s4.23h

[4.24] 그림 p4.24의 회로에 대하여, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전류 I_o 를 V_1 과 V_2 의 향으로 나타내어라.
- (2) 노튼의 정리를 이용하여 출력전류 I_o 를 V_1 과 V_2 의 향으로 나타내어라.
- (3) 중첩의 원리를 이용하여 출력전류 I_o 를 V_1 과 V_2 의 향으로 나타내어라.
- (4) 마디해석법으로 출력전류 I_o 를 V_1 과 V_2 의 향으로 나타내어라.
- (5) 루프해석법으로 출력전류 I_o 를 V_1 과 V_2 의 향으로 나타내어라.

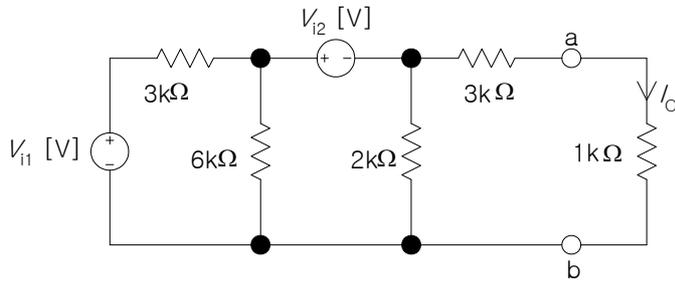


그림 p4.24

[풀이]

[4.24]

(1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 I_o 를 구하는 과정은 다음과 같다. 단자 a, b에서 떼어낸 회로는 그림 s4.24a의 회로와 같고, 이 회로에서 v_{oc} 는 중첩의 원리에 의하여

$$\begin{aligned} v_{oc} &= V_{i1} \times \frac{\frac{12}{8}}{3 + \frac{12}{8}} - \frac{1}{2} V_{i2} \\ &= \frac{1}{3} V_{i1} - \frac{1}{2} V_{i2} \end{aligned}$$

이고, R_{eq} 는

$$\begin{aligned} R_{eq} &= 3k + (2k // 2k) \\ &= 4[k\Omega] \end{aligned}$$

이다. 따라서, 그림 p4.24의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.24b의 회로와 같고, I_o 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_o &= \frac{\frac{1}{3} V_{i1} - \frac{1}{2} V_{i2}}{5k} \\ &= \frac{1}{15} V_{i1} - \frac{1}{10} V_{i2} \text{ [mA]} \end{aligned}$$

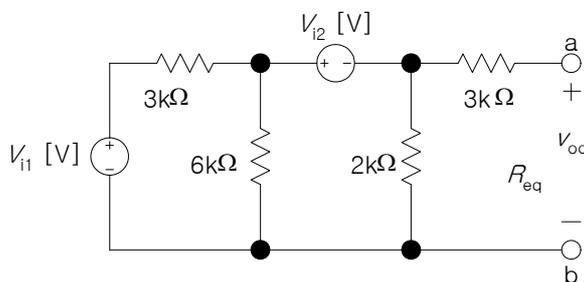


그림 s4.24a

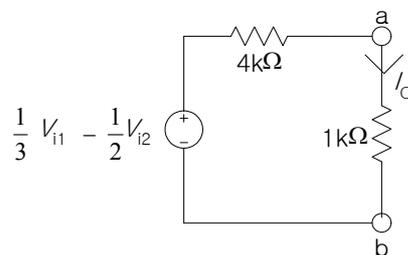


그림 s4.24b

(2) 노튼의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 구하는 과정은 다음과 같다. 단자 a, b에서

테어낸 회로는 그림 s4.24c의 회로와 같고, 이 회로에서 i_{sc} 는 중첩의 원리에 의하여

$$\begin{aligned} i_{sc} &= \frac{V_{i1}}{3k + (6k//2k//3k)} \times \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}} - \frac{V_{i2}}{2k + \frac{6k}{5k}} \times \frac{2k}{2k + 3k} \\ &= \frac{1}{12} V_{i1} - \frac{1}{8} V_{i2} \end{aligned}$$

이고, R_{eq} 는

$$\begin{aligned} R_{eq} &= 3k + (2k//2k) \\ &= 4[k\Omega] \end{aligned}$$

이다. 따라서, 그림 p4.24의 회로를 노튼의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.24d의 회로와 같고, I_O 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_O &= i_{sc} \times \frac{4k}{4k + 1k} \\ &= \frac{1}{15} V_{i1} - \frac{1}{10} V_{i2} \text{ [mA]} \end{aligned}$$

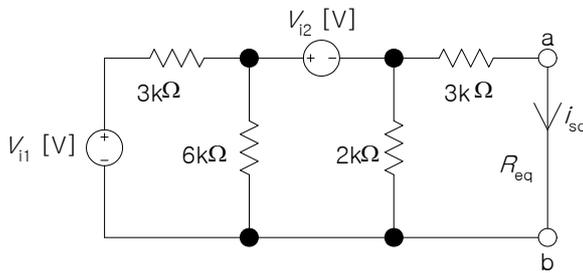


그림 s4.24c

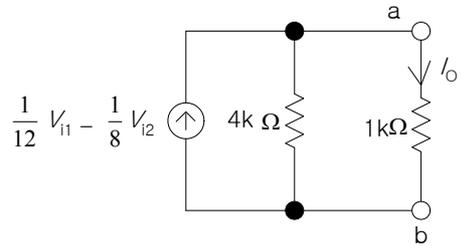


그림 s4.24d

(3) (i) 전압원 V_{i1} 만 있을 때의 출력을 $I_O = I_O'$ 이라 하면, 그림 s4.24e의 회로에서

$$\begin{aligned} I_O' &= V_{i1} \times \frac{(6k//2k//4k)}{3k + (6k//2k//4k)} \times \frac{1}{4k} \\ &= \frac{1}{15} V_{i1} \end{aligned}$$

이다.

(ii) 전압원 V_{i2} 만 있을 때의 출력을 $I_O = I_O''$ 이라 하면, 그림 s4.24f의 회로에서

$$\begin{aligned} I_O' &= -V_{i2} \times \frac{2k//4k}{(3k//6k) + (2k//4k)} \times \frac{1}{4k} \\ &= -\frac{1}{10} V_{i2} \end{aligned}$$

이다.

(i)과 (ii)로부터, $I_O = \frac{1}{15} V_{i1} - \frac{1}{10} V_{i2}$ [mA] 이다.

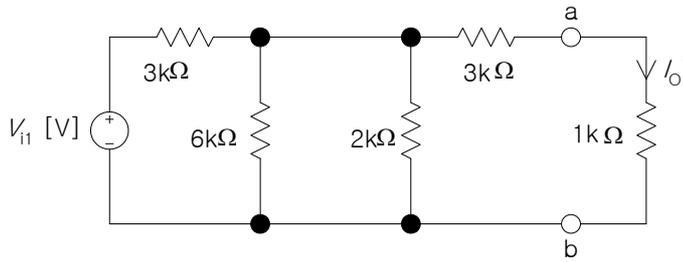


그림 s4.24e

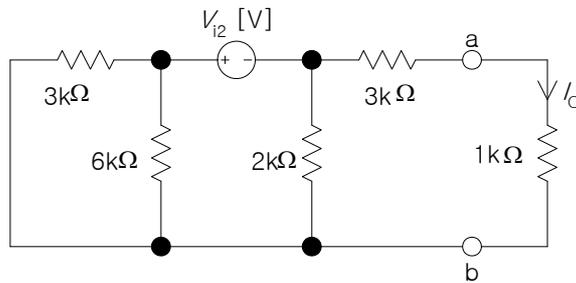


그림 s4.24f

(4) 그림 p4.24g 회로에서,

$V_1 + V_2$ 표시된 마디에서 KCL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$\frac{V_1 - (V_1 + V_2)}{3k} = \frac{V_1 + V_2}{6k} + \frac{V_1}{2k} + \frac{V_1}{4k}$$

위의 식을 정리하면

$$V_1 = \frac{4}{15} V_1 - \frac{2}{5} V_2$$

이다. 따라서,

$$I_o = \frac{V_1}{4k} = \frac{1}{15} V_1 - \frac{1}{10} V_2 \text{ [mA]}$$

이다.

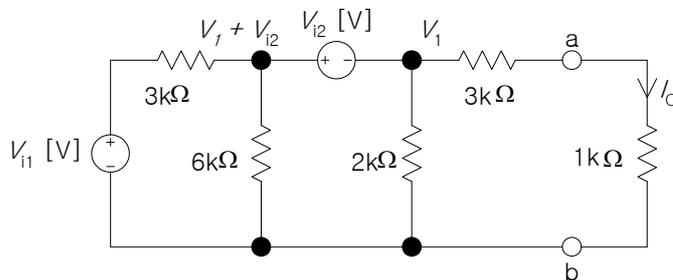


그림 s4.24g

(5) 그림 s4.24h에서와 같이 루프전류를 정의하자.

I_1 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$V_{i1} = 3I_1 + 6(I_1 - I_2)$$

위의 식을 정리하면 다음의 식①을 얻는다.

$$9I_1 - 6I_2 = V_{i1} \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

I_2 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$6(I_1 - I_2) = v_{i2} + 2(I_2 - I_3)$$

위의 식을 정리하면 다음의 식②를 얻는다.

$$6I_1 - 8I_2 + 2I_3 = v_{i2} \quad \text{-----} \quad \text{②}$$

I_3 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$2(I_2 - I_3) = 4I_3$$

위의 식을 정리하면 다음의 식③을 얻는다.

$$I_2 - 3I_3 = 0 \quad \text{-----} \quad \text{③}$$

식①, 식②, 식③으로부터,

$$I_3 = \frac{1}{15} V_{i1} - \frac{1}{10} V_{i2} \text{ [mA]} \quad \text{-----} \quad \text{⑤}$$

이다. 따라서,

$$V_o = 1k \times I_3 = \frac{1}{15} V_{i1} - \frac{1}{10} V_{i2} \text{ [V]}$$

이다.

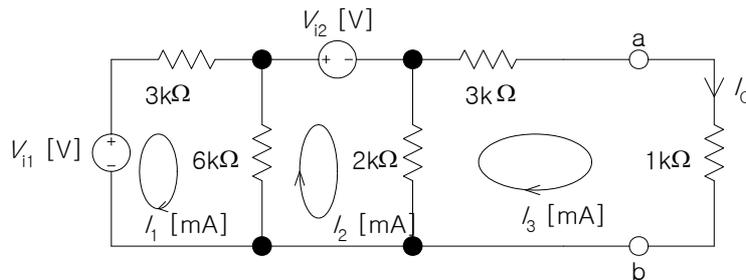


그림 s4.24h

[4.25] 그림 p4.25의 회로에 대하여, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 구하여라.
- (2) 노튼의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 구하여라.
- (3) 중첩의 원리를 이용하여 출력전압 V_o 를 구하여라.
- (4) 마디해석법으로 출력전압 V_o 를 구하여라.
- (5) 루프해석법으로 출력전압 V_o 를 구하여라.

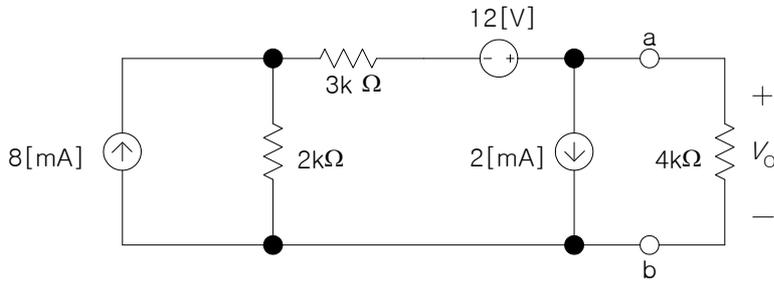


그림 p4.25

[풀이]

[4.25]

(1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_O 를 구하는 과정은 다음과 같다. 단자 a, b에서 떼어낸 회로는 그림 s4.25a의 회로와 같고, 이 회로에서 v_{oc} 는 중첩의 원리에 의하여

$$\begin{aligned} V_{oc} &= 8 \times 2 + 12 + (-2) \times 5 \\ &= 18[\text{V}] \end{aligned}$$

이고, R_{eq} 는

$$\begin{aligned} R_{eq} &= 3k + 2k \\ &= 5[\text{k}\Omega] \end{aligned}$$

이다. 따라서, 그림 p4.25의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.25b의 회로와 같고, V_O 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_O &= 18 \times \frac{4k}{5k + 4k} \\ &= 8 [\text{V}] \end{aligned}$$

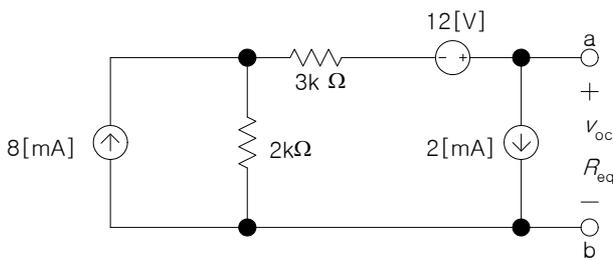


그림 s4.25a

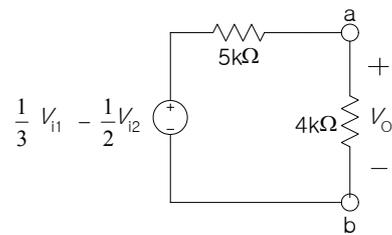


그림 s4.25b

(2) 노튼의 정리를 이용하여 출력전압 V_O 를 구하는 과정은 다음과 같다. 단자 a, b에서 떼어낸 회로는 그림 s4.25c의 회로와 같고, 이 회로에서 i_{sc} 는 중첩의 원리에 의하여

$$\begin{aligned} i_{sc} &= 8 \times \frac{2}{2 + 3} + \frac{12}{5k} + (-2) \\ &= 3.6[\text{mA}] \end{aligned}$$

이고, R_{eq} 는

$$R_{eq} = 5[k\Omega]$$

이다. 따라서, 그림 p4.25의 회로를 노튼의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.25d의 회로와 같고, V_o 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_o &= i_{sc} \times \frac{20}{5+4} \\ &= 8 [V] \end{aligned}$$

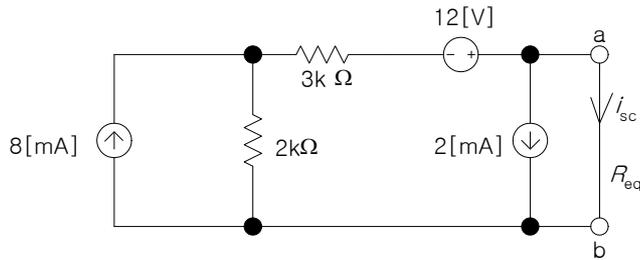


그림 p4.25c

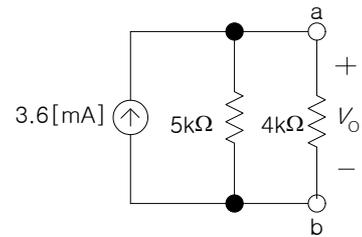


그림 s4.25d

(3) (i) 전류원 8[mA]만 있을 때의 출력을 $V_o = V_o'$ 이라 하면, 그림 s4.25e의 회로에서

$$\begin{aligned} V_o' &= 8 \times \frac{2}{2+7} \times 4 \\ &= \frac{64}{9} [V] \end{aligned}$$

이다.

(ii) 전압원 12V만 있을 때의 출력을 $V_o = V_o''$ 이라 하면, 그림 s4.25f의 회로에서

$$\begin{aligned} V_o'' &= 12 \times \frac{4}{3+2+4} \\ &= \frac{48}{9} [V] \end{aligned}$$

이다.

(iii) 전류원 2[mA]만 있을 때의 출력을 $V_o = V_o'''$ 이라 하면, 그림 s4.25g의 회로에서

$$\begin{aligned} V_o''' &= -2 \times (5//4) \\ &= -\frac{40}{9} [V] \end{aligned}$$

이다.

(i), (ii), (iii)으로부터, $V_o = V_o' + V_o'' + V_o''' = 8 [V]$ 이다.

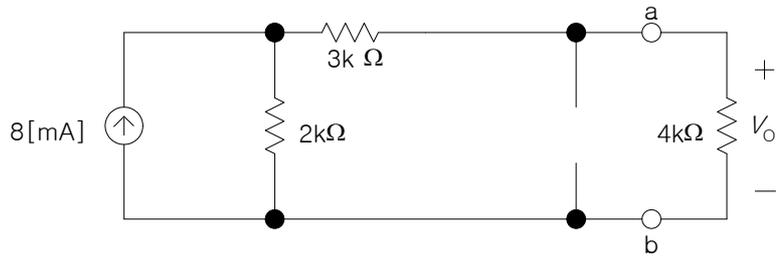


그림 s4.25e

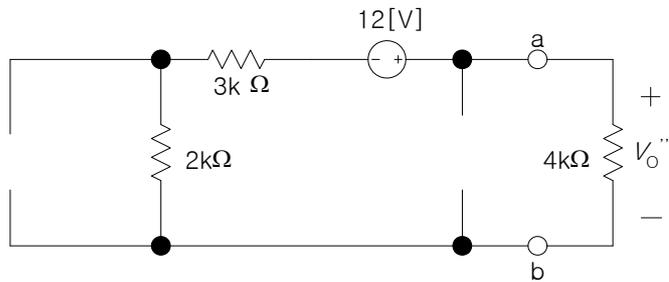


그림 s4.25f

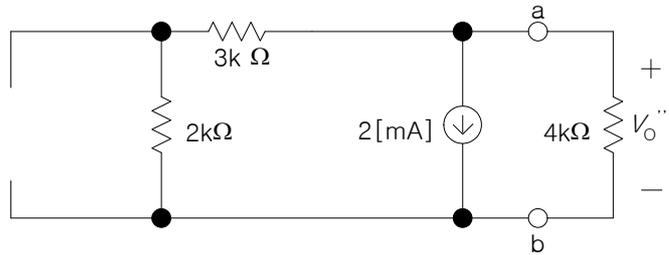


그림 s4.25g

(4) 그림 s4.25h 회로에서,

V_1 표시된 마디에서 KCL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$8 = \frac{V_1}{2} + \frac{V_1 - (V_o - 12)}{3}$$

위의 식을 정리하면 다음의 식①과 같다.

$$5V_1 - 2V_o = 24 \text{ ----- ①}$$

V_o 표시된 마디에서 KCL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$\frac{V_1 - (V_o - 12)}{3} = 2 + \frac{V_o}{4}$$

위의 식을 정리하면 다음의 식②와 같다.

$$4V_1 - 7V_o = -24 \text{ ----- ②}$$

식①과 식②에서, $V_o = 8$ [V]이다.

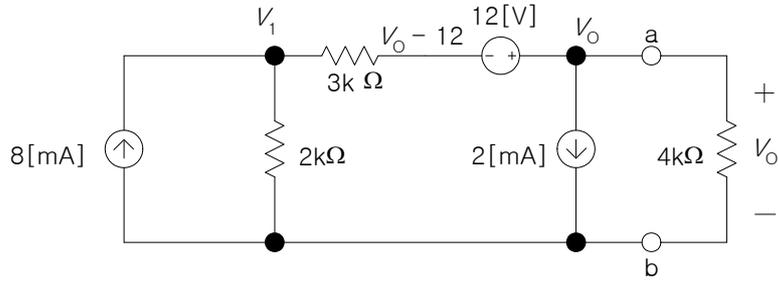


그림 s4.25h

(5) 그림 s4.25i에서와 같이 루프전류를 정의하자.

I_1 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$2(8 - I_1) = 3I_1 - 12 + \{4I_2\}$$

위의 식을 정리하면 다음의 식①을 얻는다.

$$5I_1 + 4I_2 = 28 \quad \text{----- ①}$$

한편, I_1 과 I_2 의 관계는

$$I_1 - I_2 = 2 \quad \text{----- ②}$$

이다.

식①과 식②로부터,

$$I_2 = 2 \text{ [mA]}$$

이다. 따라서,

$$V_o = 4k \times I_2 = 8 \text{ [V]}$$

이다.

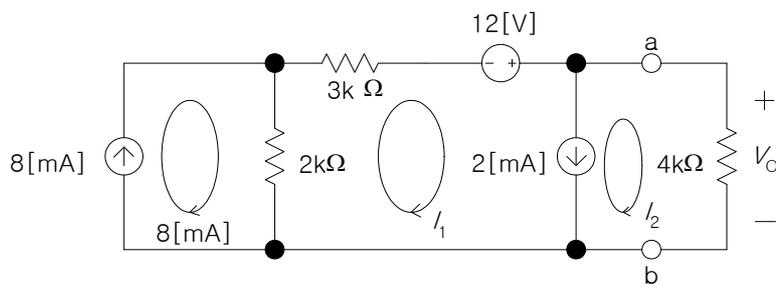


그림 s4.25i

[4.26] [예제4.4-3]의 회로와 동일한 그림 p4.26의 회로에 대하여, 테브난의 정리를 이용하여 V_o 를 구하여라.

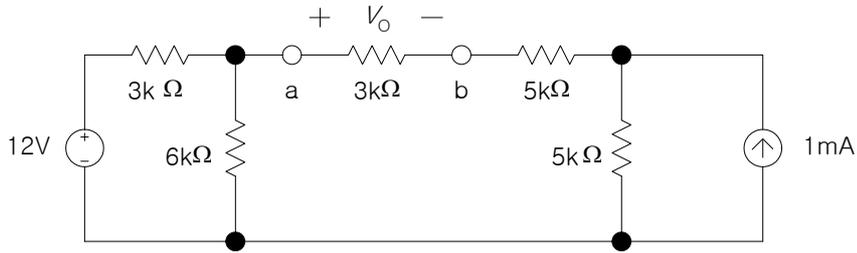


그림 p4.26

[풀이]

[4.26] 단자 a, b에서 본 그림 s4.26a의 회로에서,

$$\begin{aligned}
 v_{oc} &= 12 \times \frac{6}{3+6} + (-1) \times 5 \\
 &= 3[\text{V}]
 \end{aligned}$$

이고, $R_{eq} = (3 // 6) + 5 + 5 = 12[\text{k}\Omega]$ 이다. 단자 a, b에서 본 테브난 등가회로는 그림 s4.26b의 회로와 같고, V_o 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_o &= 3 \times \frac{3}{15} \\
 &= \frac{3}{5}[\text{V}]
 \end{aligned}$$

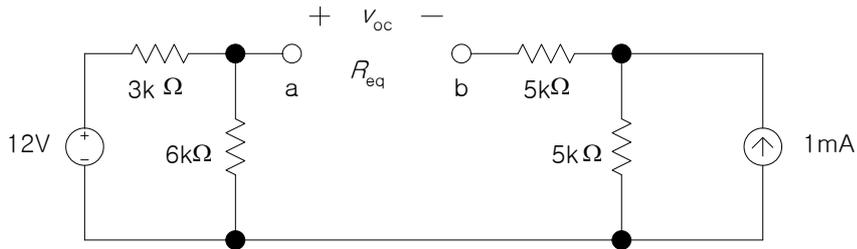


그림 s4.26a

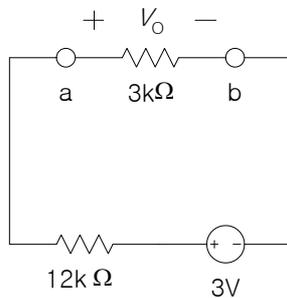


그림 s4.26b

[4.27] [예제4.4-4]의 회로와 동일한 그림 p4.27의 회로에서, 노튼의 정리를 이용하여 I_o 를

구하여라.

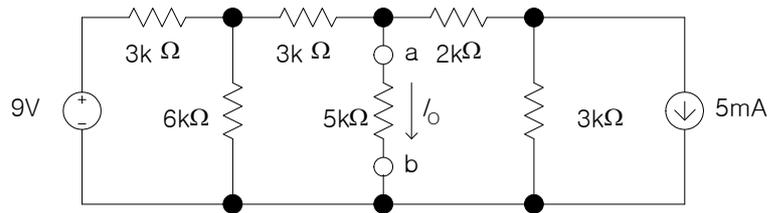


그림 p4.27

[풀이]

[4.27] 단자 a, b에서 본 노튼의 등가회로는 그림 s4.27a의 회로에서,

$$\begin{aligned} i_{sc1} &= \frac{9}{3k + (6k // 3k)} \times \frac{6k}{6k + 3k} + (-5) \times \frac{3}{2 + 3} \\ &= \frac{6}{5} - 3 \\ &= -1.8[\text{mA}] \end{aligned}$$

이고, $R_{eq} = (3k + 2k) // (2k // 3k) = \frac{5}{2} [\text{k}\Omega]$ 이다. 따라서, 단자 a, b에서 본 노튼의 등가회로는 그림 s4.27b의 회로와 같고, I_o 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_o &= (-1.8) \times \frac{\frac{5}{2}}{\frac{5}{2} + 5} \\ &= -0.6[\text{mA}] \end{aligned}$$

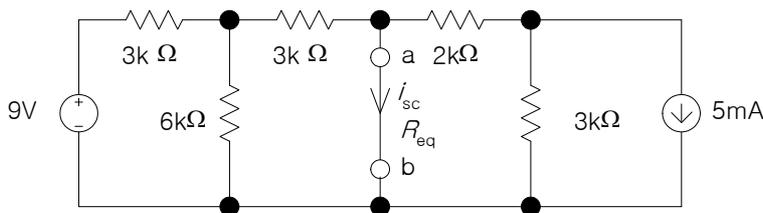


그림 s4.27a

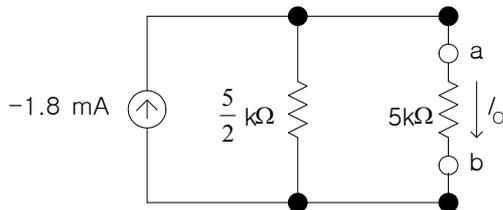


그림 s4.27b

[4.28] 그림 p4.28의 회로에서, 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 구하여라.

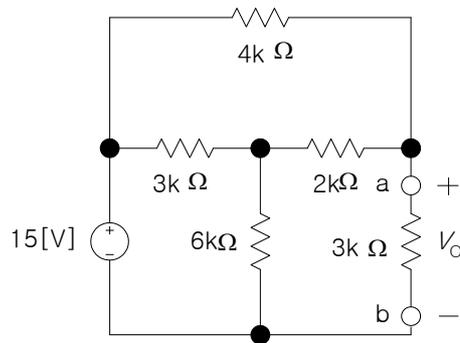


그림 p4.28

[풀이]

[4.28] 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 구하는 과정은 다음과 같다. 단자 a, b에서 떼어낸 회로는 그림 s4.28a의 회로와 같다.

(i) v_{oc} 를 구하기 위하여, 루프전류를 i_1 , i_2 라고 하면, 첫 번째 루프에 대하여 KVL을 적용하면

$$9i_1 - 3i_2 = 0$$

이고 위의 식을 정리하면 다음의 식을 얻는다.

$$3i_1 = i_2 \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

두 번째 루프에 대하여 KVL을 적용하면

$$15 = 9i_2 - 3i_1$$

이고 위의 식을 정리하면 다음의 식을 얻는다.

$$-i_1 + 3i_2 = 5 \quad \text{-----} \quad \text{②}$$

식①과 식②를 풀면

$$i_1 = \frac{5}{8} [\text{mA}],$$

$$i_2 = \frac{15}{8} [\text{mA}]$$

이다. 따라서, $v_{oc} = 2ki_1 + 6ki_2$

$$= \frac{5}{4} + \frac{45}{4}$$

$$= 12.5[\text{V}]$$

이다.

(ii) R_{eq} 는 그림 s4.28a의 회로에서

$$R_{eq} = \{(3k//6k) + 2k\} // (4k)$$

$$= 2[\text{k}\Omega]$$

이다. 따라서, 그림 p4.28의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.28b의 회로와 같고, V_o 는 다음과 같다.

$$V_o = \frac{25}{2} \times \frac{3}{2+3}$$

$$= 7.5 \text{ [V]}$$

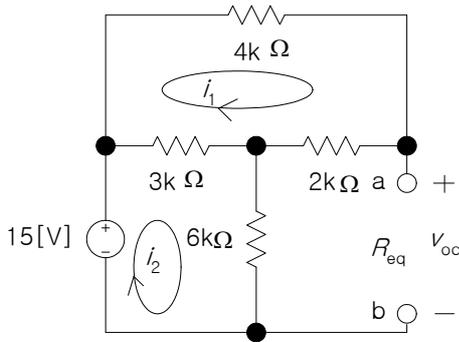


그림 s4.28a

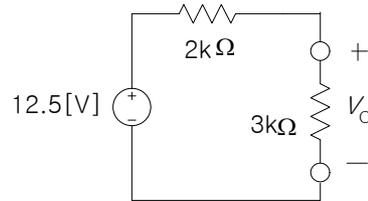


그림 s4.28b

[4.29] [예제4.2-3], [예제4.3-3]과 동일한 그림 p4.29의 회로에 대하여, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 V_S 와 I_S 의 함수로 나타내어라.
- (2) 노튼의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 V_S 와 I_S 의 함수로 나타내어라.
- (3) 중첩의 원리를 이용하여 출력전압 V_o 를 V_S 와 I_S 의 함수로 나타내어라.
- (4) 마디해석법으로 출력전압 V_o 를 V_S 와 I_S 의 함수로 나타내어라.
- (5) 루프해석법으로 출력전압 V_o 를 V_S 와 I_S 의 함수로 나타내어라.

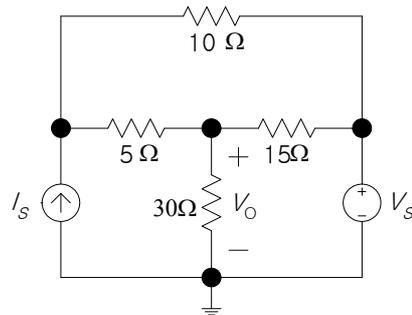


그림 p4.29

[풀이]

[4.29]

(1) 그림 s4.29a의 회로에서,

(i) v_{oc} : 중첩의 원리에 의하여

$$v_{oc} = V_S + I_S \times \frac{10}{20+10} \times 15$$

$$= V_S + 5I_S$$

이다.

(ii) $R_{TH} = 15 // (5 + 10) = 7.5 [\Omega]$ 이다.

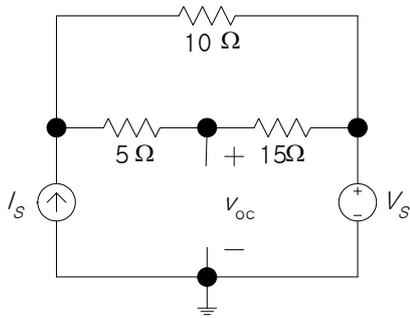


그림 s4.29a

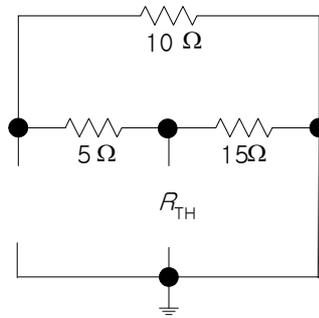


그림 s4.29b

따라서, 테브난의 등가회로는 그림 s4.29c와 같고,

$$V_o = (V_s + 5I_s) \times \frac{30}{30 + 7.5} = \frac{4}{5} V_s + 4I_s$$

이다.

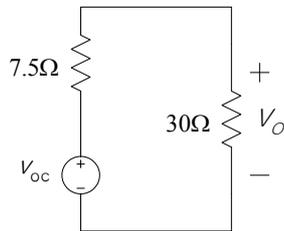


그림 s4.29c

(2) 그림 s4.29d의 회로에서,

I_1 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$30I_1 - 15I_2 = 5I_s \quad \text{----- ①}$$

I_2 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$-15I_1 + 15I_2 = -V_s \quad \text{----- ②}$$

식①과 식②로부터,

$$I_2 = -\frac{2}{15} V_s + \frac{1}{3} I_s$$

이다. 따라서,

$$I_{sc} = I_s - I_2 = \frac{2}{15} V_s + \frac{2}{3} I_s$$

이다.

노턴의 등가회로는 그림 s4.29e와 같으므로

$$V_o = (7.5 // 30) I_{sc} = 6I_{sc} = \frac{4}{5} V_s + 4I_s$$

이다.

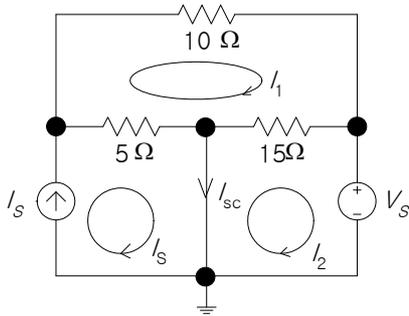


그림 s4.29d

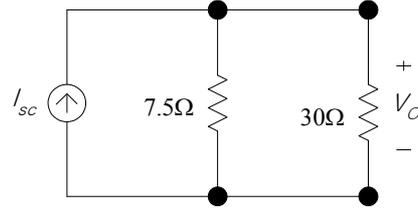


그림 s4.29e

(3) (i) 전압원 V_S 만 있을 때의 출력을 $V_O = V_O'$ 이라 하면, 그림 s4.29f의 회로에서

$$\begin{aligned} V_O' &= V_S \times \frac{30}{30 + (15 // 15)} \\ &= \frac{4}{5} V_S \end{aligned}$$

이다.

(ii) 전류원 I_S 만 있을 때의 출력을 $V_O = V_O''$ 이라 하면, 그림 s4.29g의 회로에서

$$\begin{aligned} V_O'' &= I_S \times \frac{10}{10 + \{5 + (30 // 15)\}} \times (30 // 15) \\ &= 4 I_S \end{aligned}$$

이다.

(i)과 (ii)로부터, $V_O = V_O' + V_O'' = \frac{4}{5} V_S + 4 I_S$ 이다.

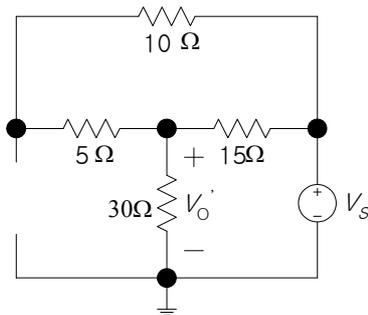


그림 s4.29f

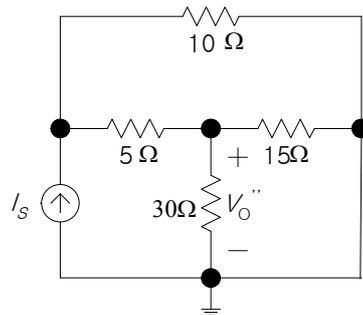


그림 s4.29g

(4) 마디해석법으로 구하는 과정은 [예제4.2-3]에 있으며,

$$V_O = \frac{4}{5} V_S + 4 I_S$$

이다.

(5) 루프해석법으로 구하는 과정은 [예제4.3-3]에 있으며,

$$V_o = \frac{4}{5} V_s + 4I_s$$

이다.

[4.30] [예제4.2-6], [예제4.3-6]과 동일한 그림 p4.30의 회로에 대하여, 다음 물음에 답하라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 V_s 의 함수로 나타내어라.
- (2) 노튼의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 V_s 의 함수로 나타내어라.
- (3) 마디해석법으로 출력전압 V_o 를 V_s 의 함수로 나타내어라.
- (4) 루프해석법으로 출력전압 V_o 를 V_s 의 함수로 나타내어라.

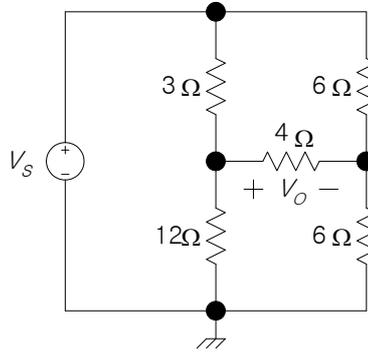


그림 p4.30

[풀이]

[4.30]

- (1) 그림 s4.30a의 회로에서, v_{oc} : 중첩의 원리에 의하여

$$\begin{aligned} v_{oc} &= V_s \times \frac{12}{15} - V_s \times \frac{6}{6+6} \\ &= \frac{3}{10} V_s \end{aligned}$$

이다.

그림 s4.30b의 회로에서, $R_{TH} = (3//12) + (6//6) = 5.4 [\Omega]$ 이다.

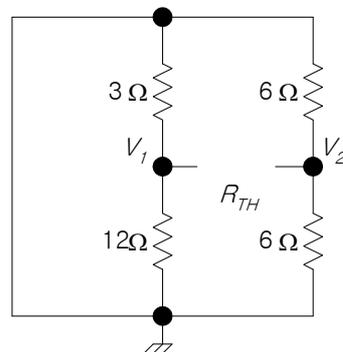
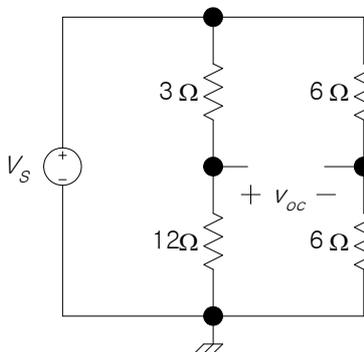


그림 s4.30a

그림 s4.30b

따라서, 테브난의 등가회로는 그림 s4.30c와 같고,

$$V_O = \frac{4}{9.4} \times v_{oc} = \frac{6}{47} V_S$$

이다.

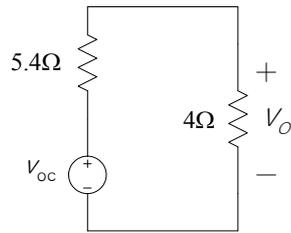


그림 s4.30c

(2) 그림 s4.30d의 회로에서,

I_1 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$15I_1 - 3I_2 - 12I_3 = V_S \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

I_2 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$I_1 - 3I_2 = 0 \quad \text{-----} \quad \text{②}$$

$$15I_1 - 3I_2 - 12I_3 = V_S \quad \text{-----} \quad \text{③}$$

I_3 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$2I_2 - I_3 = 0 \quad \text{-----} \quad \text{④}$$

식①, 식②, 식④으로부터,

$$I_2 = \frac{V_S}{18}, \quad I_3 = \frac{V_S}{9}$$

이다. 따라서,

$$I_{sc} = I_3 - I_2 = \frac{V_S}{18}$$

이다.

노턴의 등가회로는 그림 s4.30e와 같으므로

$$V_O = (5.4//4)I_{sc} = \frac{108}{47} I_{sc} = \frac{6}{47} V_S$$

이다.

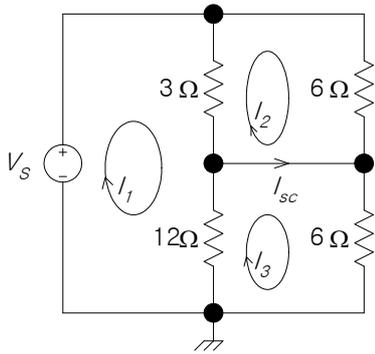


그림 p4.30d

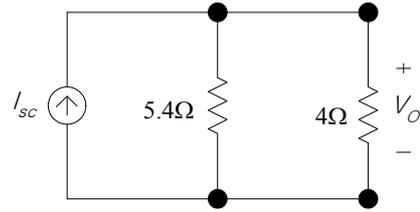


그림 s4.30e

(3) 마디해석법으로 푸는 과정은 [예제4.2-6]에 있으며, $V_o = \frac{6}{47} V_S$ 이다.

(4) 루프해석법으로 푸는 과정은 [예제4.3-6]에 있으며, $V_o = \frac{6}{47} V_S$ 이다.

[4.31] 그림 p4.31의 회로에서, 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 R_L 의 함수로 나타내어라.

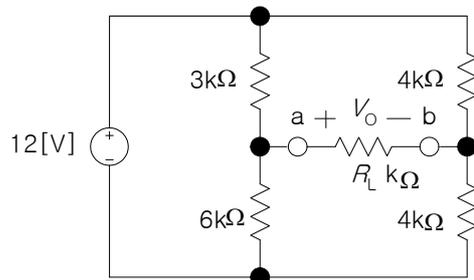


그림 p4.31

[풀이]

[4.31] 테브난의 정리를 이용하여 출력전압 V_o 를 구하는 과정은 다음과 같다. 단자 a, b에서 떼어낸 그림 s4.31a의 회로에서,

(i) v_{oc} :

$$\begin{aligned} v_{oc} &= 12 \times \frac{6}{9} - 12 \times \frac{4}{8} \\ &= 2[\text{V}] \end{aligned}$$

(ii) R_{eq} :

$$\begin{aligned} R_{eq} &= (3k//6k) + (4k//4k) \\ &= 4[\text{k}\Omega] \end{aligned}$$

이다. 따라서, 그림 p4.31의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.31b의 회로와 같고, V_o 는 다음과 같다.

$$V_o = 2 \times \frac{R_L}{4 + R_L}$$

$$= \frac{2R_L}{4 + R_L} \text{ [V]}$$

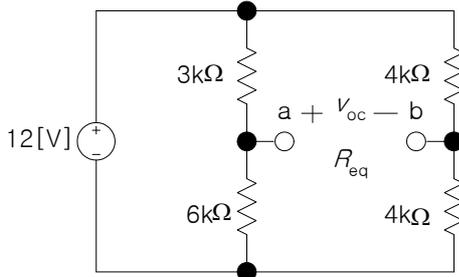


그림 s4.31a

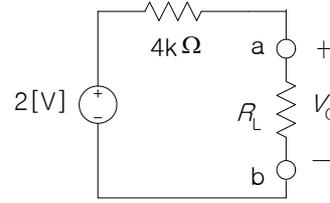


그림 s4.31b

[4.32] 그림 p4.32의 회로에서, 테브난의 정리를 이용하여 I_o 를 구하여라.

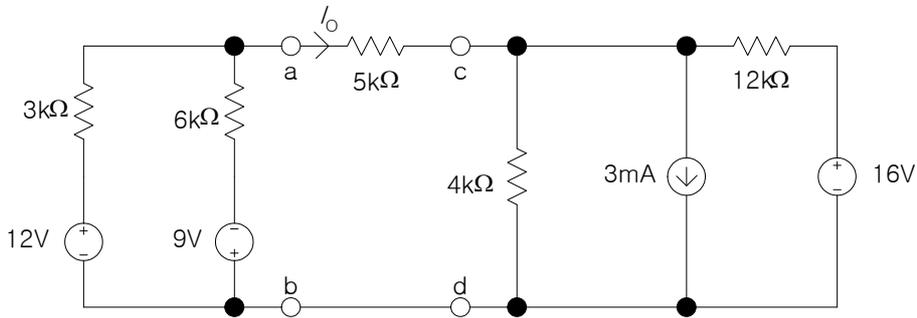


그림 p4.32

[풀이]

[4.32] 단자 a, b에서 본 오른쪽 회로의 테브난 등가회로는

$$v_{oc1} = 12 \times \frac{6}{3+6} + (-9) \times \frac{3}{3+6}$$

$$= 5 \text{ [V]}$$

이고, $R_{eq1} = (3 // 6) = 2 \text{ [k}\Omega\text{]}$ 이다. 단자 c, d에서 본 오른쪽회로의 테브난 등가회로는

$$v_{oc2} = 16 \times \frac{4}{4+12} + (-3) \times \frac{4 \times 12}{4+12}$$

$$= 4 - 9$$

$$= -5 \text{ [V]}$$

이고, $R_{eq2} = (4 // 12) = 3 \text{ [k}\Omega\text{]}$ 이다. 따라서, 그림 s4.32a의 회로에서, I_o 는 다음과 같다.

$$I_o = \frac{5 - (-5)}{2 + 5 + 3}$$

$$= 1[\text{mA}]$$

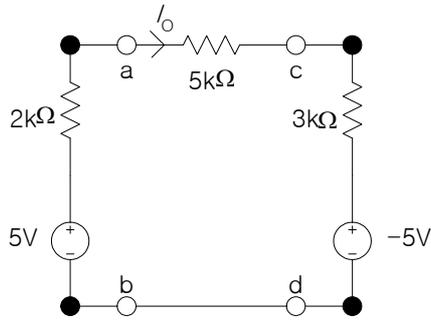


그림 s4.32a

[4.33] 그림 p4.33의 회로에서, 노튼의 정리를 이용하여 I_o 를 구하여라.

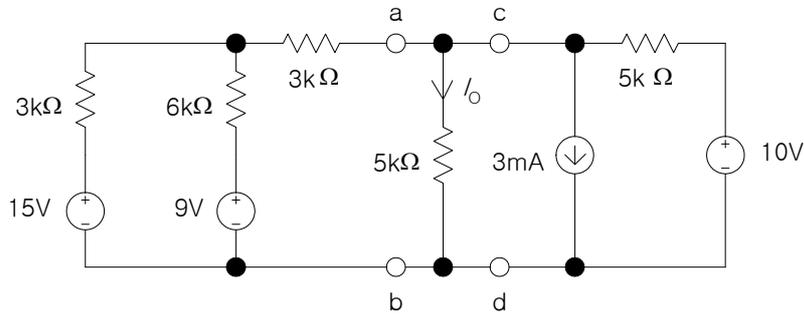


그림 p4.33

[풀이]

[4.33] 단자 a, b에서 본 오른쪽 회로의 노튼 등가회로는

$$\begin{aligned} i_{sc1} &= \frac{15}{5k} \times \frac{2}{3} + \frac{9}{7.5k} \times \frac{1}{2} \\ &= 2.6[\text{mA}] \end{aligned}$$

이고, $R_{eq1} = (3 // 6) + 3 = 5[\text{k}\Omega]$ 이다. 단자 c, d에서 본 오른쪽회로의 테브난 등가회로는

$$\begin{aligned} i_{sc2} &= \frac{10}{5k} + (-3) \\ &= -1[\text{mA}] \end{aligned}$$

이고, $R_{eq2} = 5[\text{k}\Omega]$ 이다. 따라서, 그림 s4.33a의 회로에서, I_o 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_o &= (2.6 - 1) \times \frac{1}{3} \\ &= \frac{1.6}{3} [\text{mA}] \end{aligned}$$

$$= \frac{8}{15} [\text{mA}]$$

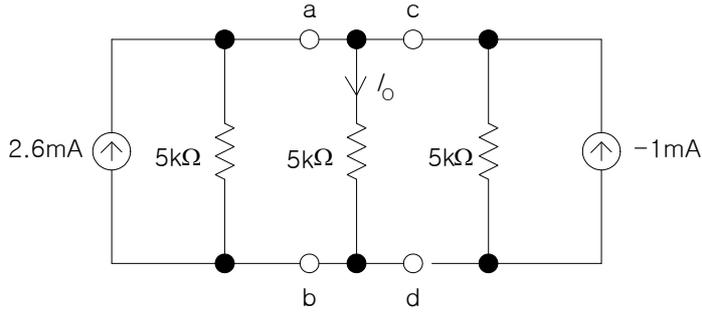


그림 s4.33a

[4.34] 그림 p4.34의 회로에서, 테브난의 정리를 이용하여 V_o 를 구하여라.

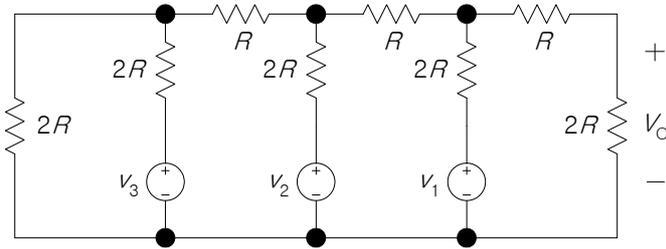


그림 p4.34

[풀이]

[4.34] 그림 p4.34의 회로에서 v_3 전원의 왼쪽 회로를 테브난의 등가회로로 바꾸면 그림 s4.34a의 회로와 같고, 그림 s4.34a의 회로에서 v_2 전원의 왼쪽 회로를 테브난의 등가회로로 바꾸면 그림 s4.34b의 회로와 같고, 그림 s4.34b의 회로에서 v_1 전원의 왼쪽 회로를 테브난의 등가회로로 바꾸면 그림 s4.34c의 회로와 같다. 그림 s4.34c의 회로에서,

$$V_o = \frac{1}{4} v_1 + \frac{1}{8} v_2 + \frac{1}{16} v_3$$

이다.

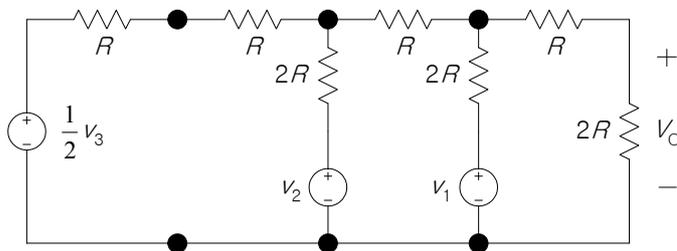


그림 s4.34a

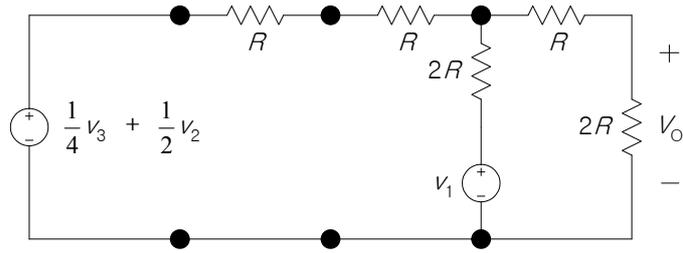


그림 s4.34b

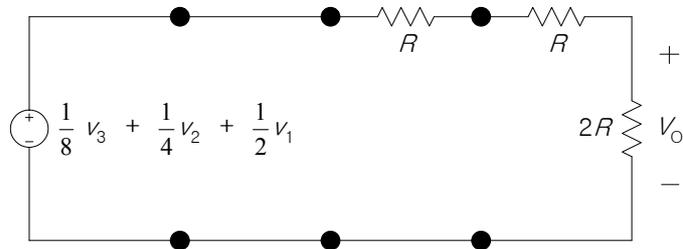


그림 s4.34c

[4.35] 그림 p4.35의 회로에서, 노튼의 정리를 이용하여 I_0 를 구하여라.

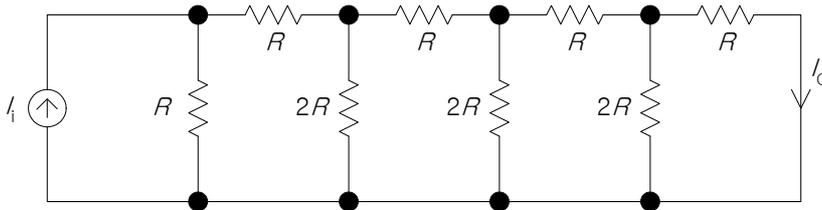


그림 p4.35

[풀이]

[4.35] 그림 p4.35의 회로에서, 맨 위에 있는 첫 번째 저항 R 의 왼쪽회로를 노튼의 등가회로로 바꾸면 그림 s4.35a의 회로와 같고, 그림 s4.35a의 회로에서 맨 위에 있는 첫 번째 저항 R 의 왼쪽 회로를 노튼의 등가회로로 바꾸면 그림 s4.35b의 회로와 같고, 그림 s4.35b의 회로에서 맨 위에 있는 첫 번째 저항 R 의 왼쪽 회로를 노튼의 등가회로로 바꾸면 그림 s4.35c의 회로와 같다. 그림 s4.35c의 회로에서,

$$I_0 = \frac{1}{16} I_i$$

이다.

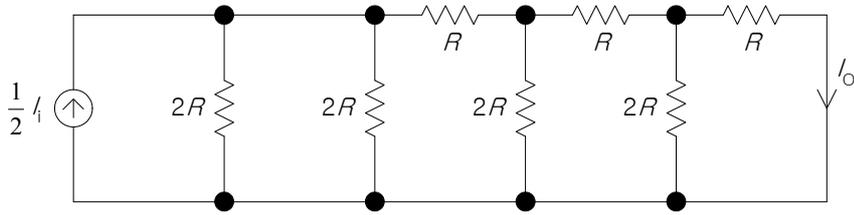


그림 s4.35a

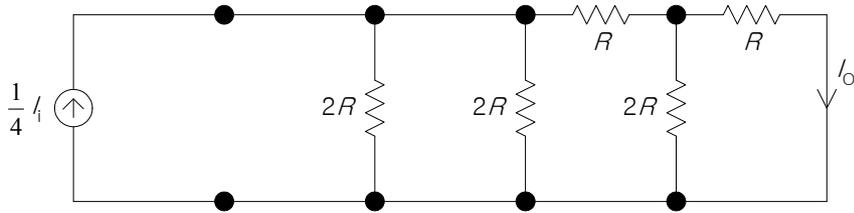


그림 s4.35b

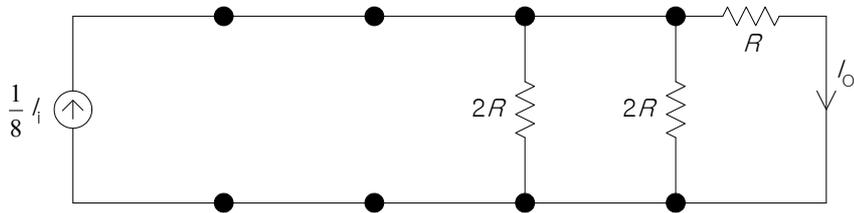


그림 s4.35c

[4.36] 그림 p4.36의 회로에서, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 I_o 를 구하여라.
- (2) 노튼의 정리를 이용하여 I_o 를 구하여라.
- (3) 마디해석법으로 I_o 를 구하여라.
- (4) 루프해석법으로 I_o 를 구하여라.

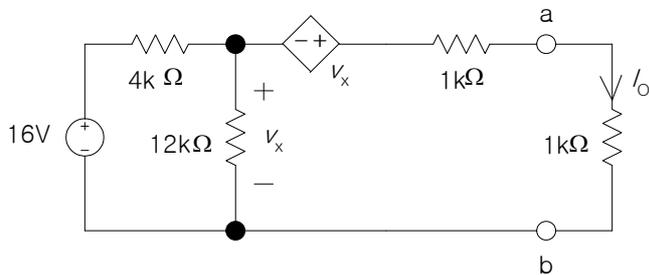


그림 p4.36

[풀이]

[4.36]

(1) (i) 그림 s4.36a의 회로에서 v_{oc} 를 구하면,

$$\begin{aligned} v_{oc} &= v_x + v_x \\ &= 2v_x \end{aligned}$$

이고, $v_x = 16 \times \frac{12}{16} = 12[\text{V}]$ 이므로 $v_{oc} = 24[\text{V}]$ 이다.

(ii) 그림 s4.36b의 회로에서 i_{sc} 를 구하면,

$$\frac{v_x - 16}{4} + \frac{v_x}{12} + \frac{2v_x}{1} = 0$$

에서 $v_x = \frac{12}{7}[\text{V}]$ 이다. $i_{sc} = \frac{2v_x}{1\text{k}}$ 이므로

$$i_{sc} = \frac{24}{7}[\text{mA}]$$

이다.

(i)과 (ii)에서 $R_{eq} = \frac{v_{oc}}{i_{sc}}$
 $= 7[\text{k}\Omega]$

이고, 그림 p4.36의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.36c와 같다.

따라서, $I_o = \frac{24}{8\text{k}} = 3[\text{mA}]$ 이다.

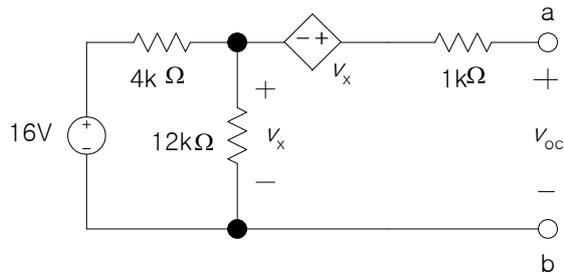


그림 s4.36a

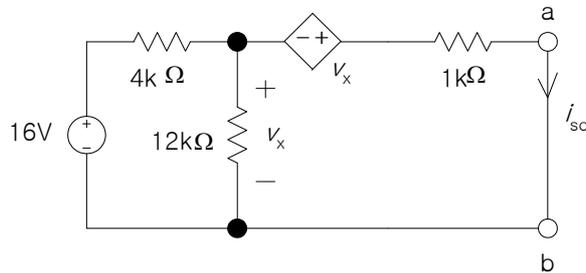


그림 s4.36b

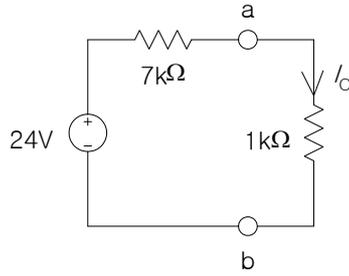


그림 s4.36c

(2) (1)의 결과에서 $i_{sc} = \frac{24}{7}$ [mA], $R_{eq} = 7$ [kΩ]이므로 그림 p4.36의 회로를 노튼의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.36d의 회로와 같고,

$$\begin{aligned} I_o &= i_{sc} \times \frac{7}{8} \\ &= 3 \text{ [mA]} \end{aligned}$$

이다.

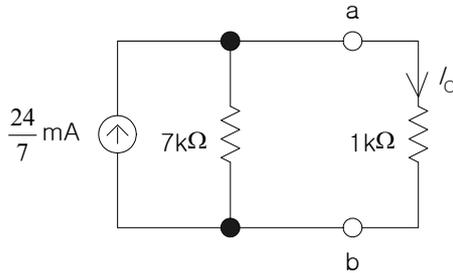


그림 s4.36d

(3) 그림 p4.36회로에서, $I_o = \frac{2 V_x}{2k}$ 이고,

마디에서 KCL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \frac{16 - V_x}{4k} &= \frac{V_x}{12k} + I_o \\ &= \frac{V_x}{12k} + \frac{2 V_x}{2k} \end{aligned}$$

위의 식을 정리하면 $V_x = 3$ [V]이다.

따라서, $I_o = 3$ [mA]이다.

(4) 그림 s4.36e에서와 같이 루프전류를 정의하자.

I_1 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$16 I_1 - 12 I_2 = 16$$

위의 식을 정리하면 다음의 식①을 얻는다.

$$4I_1 - 3I_2 = 4 \quad \text{----- ①}$$

I_2 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$12(I_1 - I_2) = -12(I_1 - I_2) + 2I_2$$

위의 식을 정리하면 다음의 식②를 얻는다.

$$I_1 = \frac{13}{12} I_2 \quad \text{----- ②}$$

식①과 식②로부터,

$$I_2 = I_O = 3 \text{ [mA]}$$

이다.

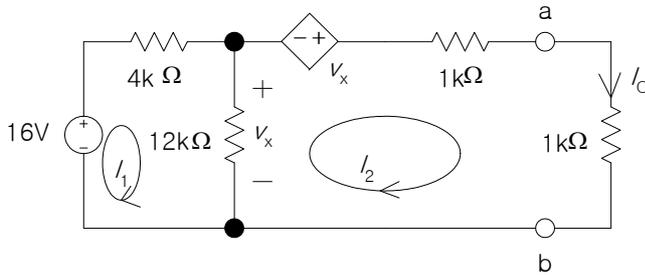


그림 s4.36e

[4.37] 그림 p4.37의 회로에서, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 I_O 를 구하여라.
- (2) 노튼의 정리를 이용하여 I_O 를 구하여라.
- (3) 마디해석법으로 I_O 를 구하여라.
- (4) 루프해석법으로 I_O 를 구하여라.

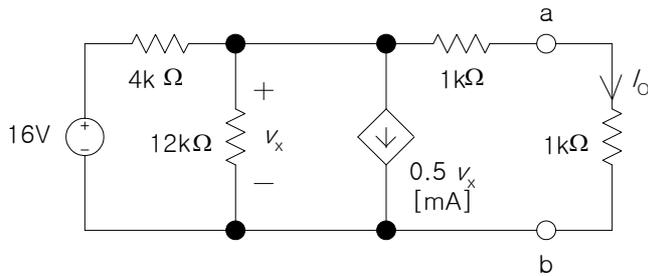


그림 p4.37

[풀이]

[4.37]

(1) (i) 그림 s4.37a의 회로에서 v_{oc} 를 구하면,

$$\frac{v_x - 16}{4} + \frac{v_x}{12} + 0.5v_x = 0$$

에서 $v_x = 4.8[V]$ 이다. $v_{oc} = v_x = 4.8[V]$ 이다.

(ii) 그림 s4.37b의 회로에서 i_{sc} 를 구하면,

$$\frac{v_x - 16}{4} + \frac{v_x}{12} + 0.5v_x + \frac{v_x}{1} = 0$$

에서 $v_x = \frac{24}{11}$ [V]이다. $i_{sc} = \frac{v_x}{1k}$ 이므로

$$i_{sc} = \frac{24}{11} \text{ [mA]}$$

이다.

$$\begin{aligned} \text{(i)과 (ii)에서 } R_{eq} &= \frac{V_{oc}}{i_{sc}} \\ &= 2.2 \text{ [k}\Omega\text{]} \end{aligned}$$

이고, 그림 p4.37의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.37c와 같다.

따라서, $I_O = \frac{4.8}{3.2k} = 1.5 \text{ [mA]}$ 이다.

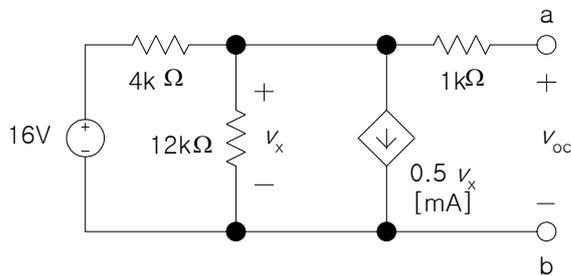


그림 s4.37a

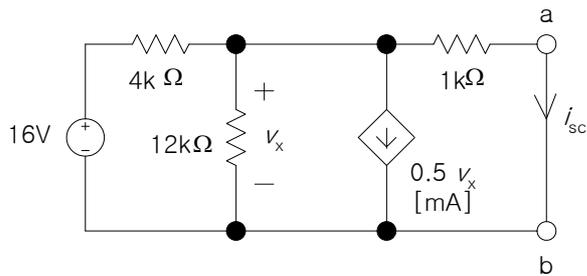


그림 s4.37b

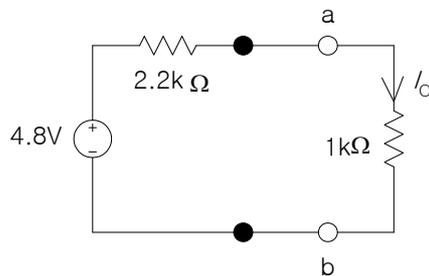


그림 s4.37c

(2) (1)의 결과에서 $i_{sc} = \frac{24}{11}$ [mA], $R_{eq} = 2.2$ [k Ω]이므로 그림 p4.37의 회로를 노튼의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.37d의 회로와 같고,

$$\begin{aligned} I_O &= i_{sc} \times \frac{2.2}{3.2} \\ &= 1.5 \text{ [mA]} \end{aligned}$$

이다.

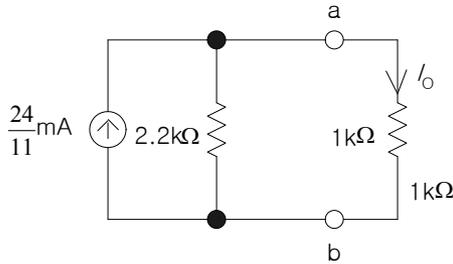


그림 s4.37d

(3) 그림 p4.37회로의 마디에서 KCL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$\frac{16 - V_x}{4k} = \frac{V_x}{12k} + 0.5 V_x + \frac{V_x}{2k}$$

위의 식을 정리하면 $V_x = 3$ [V]이다.

따라서, $I_O = \frac{V_x}{2k} = 1.5$ [mA]이다.

(4) 그림 s4.37e에서와 같이 루프전류를 정의하자.

I_1 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$16I_1 - 12I_2 = 16$$

위의 식을 정리하면 다음의 식①을 얻는다.

$$4I_1 - 3I_2 = 4 \quad \text{----- ①}$$

I_2 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$-12I_1 + 12I_2 + 2I_3 = 0$$

위의 식을 정리하면 다음의 식②를 얻는다.

$$-6I_1 + 6I_2 + I_3 = 0 \quad \text{----- ②}$$

I_3 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$\begin{aligned} I_2 - I_3 &= 0.5 V_x \\ &= 0.5 \times 12 \times (I_1 - I_2) \end{aligned}$$

위의 식을 정리하면 다음의 식③를 얻는다.

$$-6I_1 + 7I_2 - I_3 = 0 \quad \text{----- ③}$$

식①, 식②, 식③으로부터,

$$I_3 = I_O = 1.5 \text{ [mA]}$$

이다.

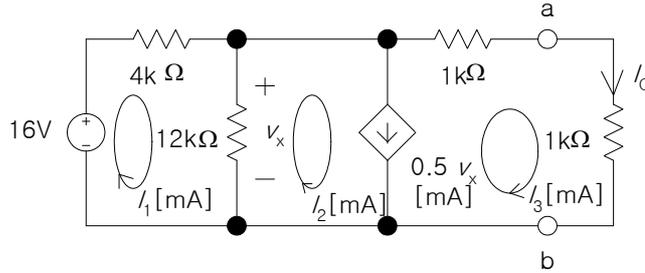


그림 s4.37e

[4.38] 그림 p4.38의 회로에서, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 V_O 를 구하여라.
- (2) 노튼의 정리를 이용하여 V_O 를 구하여라.
- (3) 마디해석법으로 V_O 를 구하여라.
- (4) 루프해석법으로 V_O 를 구하여라.

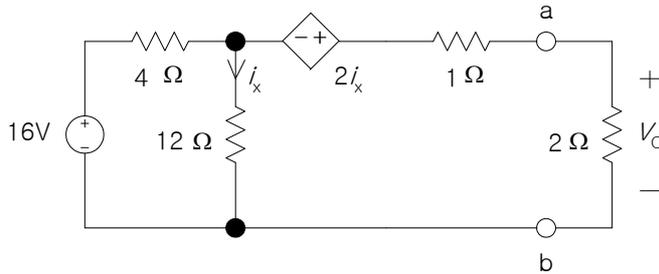


그림 p4.38

[풀이]

[4.38]

(1) (i) 그림 s4.38a의 회로에서 v_{oc} 를 구하면,

$$\begin{aligned} v_{oc} &= 2i_x + 16 \times \frac{12}{16} \\ &= 2i_x + 12 \end{aligned}$$

이고, $v_x = \frac{16}{4 + 12} = 1[\text{A}]$ 이므로 $v_{oc} = 14[\text{V}]$ 이다.

(ii) 그림 s4.38b의 회로에서 i_{sc} 를 구하면,

$$i_{sc} = i_2$$

이고, 첫 번째 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$16i_1 - 12i_2 = 16$$

위의 식을 정리하면 다음의 식①을 얻는다.

$$4i_1 - 3i_2 = 4 \text{ ----- ①}$$

두 번째 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$12(i_1 - i_2) = -2i_x + i_2$$

$i_x = i_1 - i_2$ 이므로 위의 식을 정리하면 다음의 식②를 얻는다.

$$i_1 = \frac{15}{14} i_2 \text{ ----- ②}$$

식①과 식②에서, $i_2 = \frac{28}{9} [A]$ 이므로 $i_{sc} = i_2 = \frac{28}{9} [A]$ 이다.

$$\begin{aligned} \text{(i)과 (ii)에서 } R_{eq} &= \frac{V_{oc}}{i_{sc}} \\ &= \frac{9}{2} [\Omega] \end{aligned}$$

이고, 그림 p4.38의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.38c와 같

다. 따라서, $V_O = 14 \times \frac{2}{\frac{9}{2} + 2} = \frac{56}{13} [V]$ 이다.

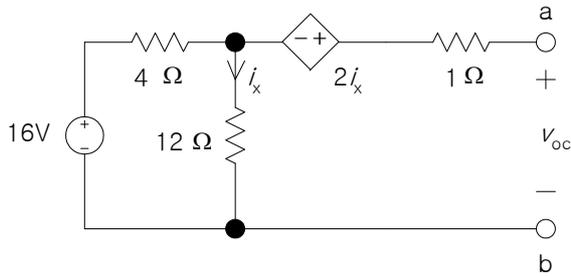


그림 s4.38a

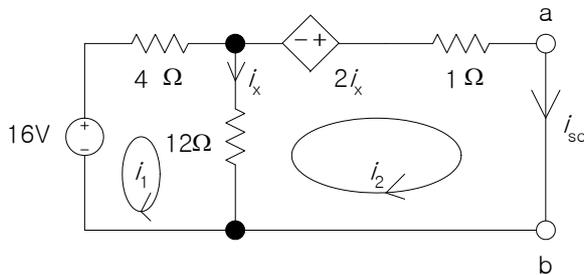


그림 s4.38b

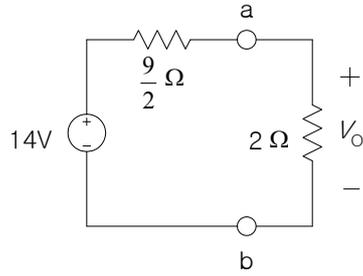


그림 s4.38c

(2) (1)의 결과에서 $i_x = \frac{28}{9} \text{ [A]}$, $R_{eq} = \frac{9}{2} \text{ [\Omega]}$ 이므로 그림 p4.38의 회로를 노튼의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.38d의 회로와 같고,

$$\begin{aligned}
 V_o &= i_x \times \frac{\frac{9}{2} \times 2}{\frac{9}{2} + 2} \\
 &= \frac{56}{13} \text{ [A]}
 \end{aligned}$$

이다.

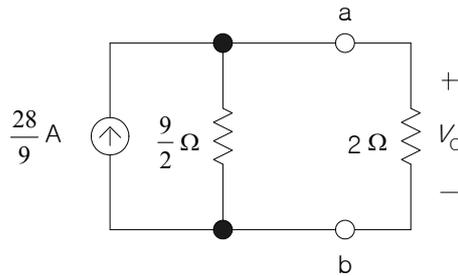


그림 s4.38d

(3) 그림 s4.38e 회로의 마디에서 KCL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$\frac{16 - 12i_x}{4} = i_x + \frac{14i_x}{3}$$

위의 식을 정리하면 $i_x = \frac{6}{13} \text{ [A]}$ 이다.

따라서, $V_o = 14i_x \times \frac{2}{1+2} = \frac{56}{13} \text{ [V]}$ 이다.

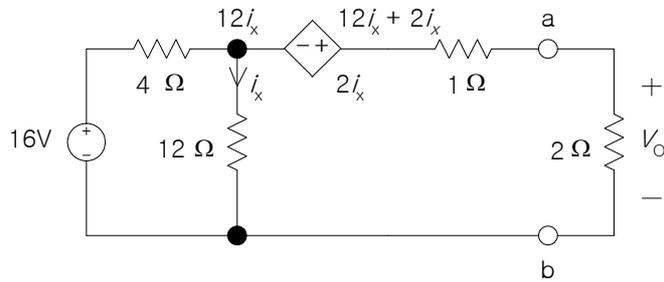


그림 s4.38e

(4) 그림 s4.38f에서와 같이 루프전류를 정의하자.

I_1 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$16I_1 - 12I_2 = 16$$

위의 식을 정리하면 다음의 식①을 얻는다.

$$4I_1 - 3I_2 = 4 \quad \text{----- ①}$$

I_2 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$-12I_1 + 15I_2 - 2i_x = 0 \quad \text{----- ②}$$

한편, i_x 는 다음과 같다.

$$I_1 - I_2 = i_x \quad \text{----- ③}$$

식①, 식②, 식③으로부터,

$$I_2 = \frac{28}{13} \text{ [A]}$$

이다. 따라서,

$$V_o = 2I_2 = \frac{56}{13} \text{ [V]}$$

이다.

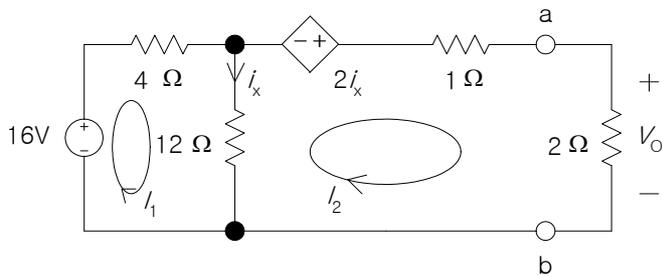


그림 s4.38f

[4.39] 그림 p4.39의 회로에서, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 테브난의 정리를 이용하여 V_o 를 구하여라.
- (2) 노튼의 정리를 이용하여 V_o 를 구하여라.
- (3) 마디해석법으로 V_o 를 구하여라.

(4) 루프해석법으로 V_O 를 구하여라.

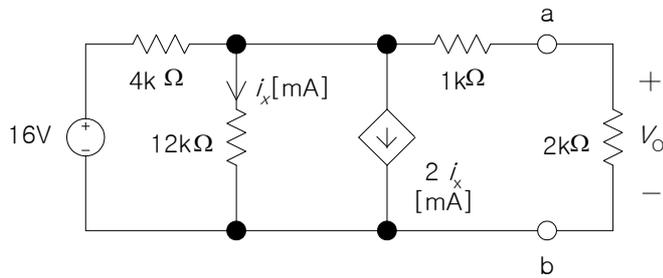


그림 p4.39

[풀이]

[4.39]

(1) (i) 그림 s4.39a의 회로에서 v_{oc} 를 구하면,

$$\frac{v_{oc} - 16}{4} + \frac{v_{oc}}{12} + 2i_x = 0$$

과 $i_x = \frac{v_{oc}}{12}$ 에서,

$$3v_{oc} - 48 + v_{oc} + 2v_{oc} = 0$$

이므로, $v_{oc} = 8[V]$ 이다.

(ii) 그림 s4.39b의 회로에서 i_{sc} 를 구하면,

$$\frac{V_1 - 16}{4} + \frac{V_1}{12} + 2i_x + \frac{V_1}{1} = 0$$

과 $i_x = \frac{V_1}{12}$ 에서

$$3V_1 - 48 + V_1 + 2V_1 + 12V_1 = 0$$

이므로 $V_1 = \frac{48}{18} = \frac{8}{3}[V]$ 이다.

$$\begin{aligned} \text{따라서, } i_{sc} &= \frac{V_1}{1k} \\ &= \frac{8}{3}[\text{mA}] \end{aligned}$$

이다.

$$\begin{aligned} \text{(i)과 (ii)에서 } R_{eq} &= \frac{v_{oc}}{i_{sc}} \\ &= 3[k\Omega] \end{aligned}$$

이고, 그림 p4.39의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.39c와 같다.

따라서, $V_O = 8 \times \frac{2}{5} = 3.2[V]$ 이다.

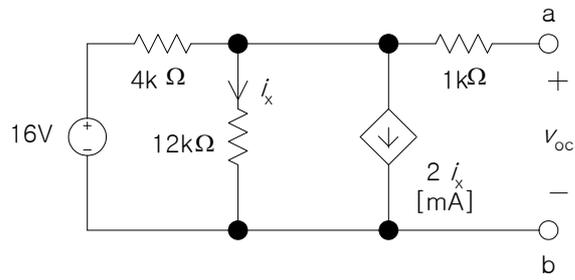


그림 s4.39a

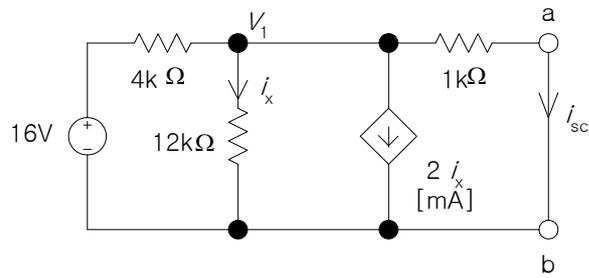


그림 s4.39b

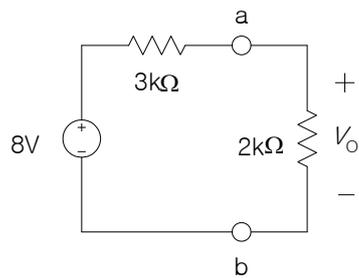


그림 s4.39c

(2) (1)의 결과에서 $i_{sc} = \frac{8}{3}$ [mA], $R_{eq} = 3$ [kΩ]이므로 그림 p4.39의 회로를 노튼의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.39d의 회로와 같고,

$$\begin{aligned}
 V_o &= i_{sc} \times \frac{2 \times 3}{3 + 2} \\
 &= 3.2 \text{ [V]}
 \end{aligned}$$

이다.

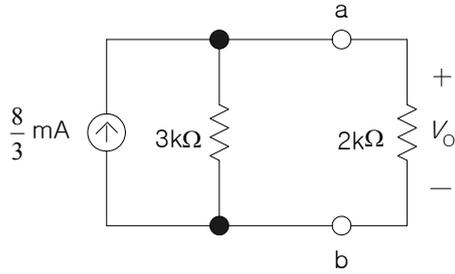


그림 s4.39d

(3) 그림 s4.39e 회로의 마디에서 KCL을 적용하면 다음의 식을 얻는다.

$$\frac{16 - 12i_x}{4} = i_x + 2i_x + \frac{12i_x}{3}$$

위의 식을 정리하면 $i_x = \frac{2}{5}$ [mA]이다.

따라서, $V_o = 12i_x \times \frac{2}{1+2} = \frac{16}{5} = 3.2$ [V]이다.

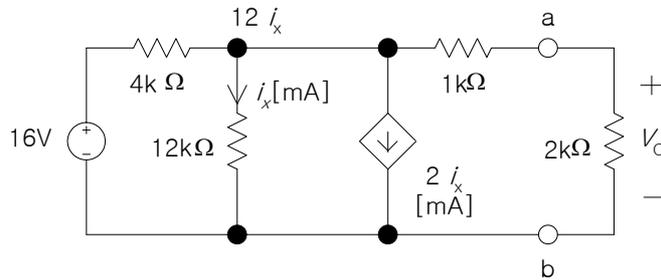


그림 s4.39e

(4) 그림 s4.39f에서와 같이 루프전류를 정의하자.

I_1 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$16I_1 - 12I_2 = 16$$

위의 식을 정리하면 다음의 식①을 얻는다.

$$4I_1 - 3I_2 = 4 \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

I_2 표시된 루프에 대하여 KVL을 적용하면 다음의 식을 얻고,

$$12(I_1 - I_2) = 3I_3$$

위의 식을 정리하면 다음의 식②를 얻는다.

$$4I_1 - 4I_2 - I_3 = 0 \quad \text{-----} \quad \text{②}$$

한편, I_2 와 I_3 의 관계는 다음과 같고,

$$\begin{aligned} I_2 - I_3 &= 2i_x \\ &= 2(I_1 - I_2) \end{aligned}$$

위의 식을 정리하면 식③과 같다.

$$-2I_1 + 3I_2 - I_3 = 0 \quad \text{-----} \quad \textcircled{3}$$

식①, 식②, 식③으로부터,

$$I_3 = \frac{8}{5} \text{ [mA]}$$

이다. 따라서,

$$V_o = 2kI_3 = \frac{16}{5} = 3.2 \text{ [V]}$$

이다.

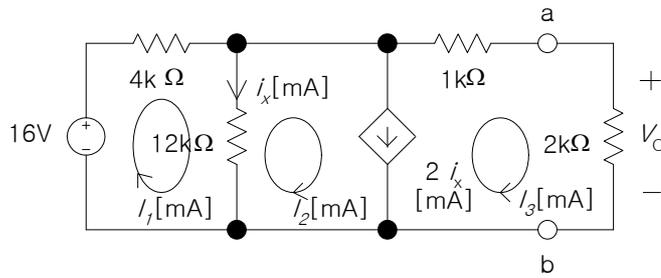


그림 s4.39f

[4.40] 그림 p4.40의 회로에서, 테브난의 정리를 이용하여 I_o 를 구하여라.

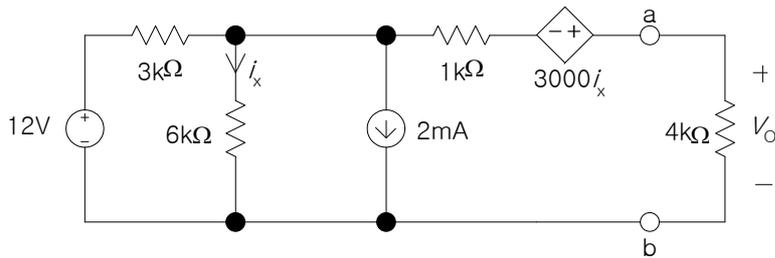


그림 p4.40

[풀이]

[4.40]

(1) (i) 그림 s4.40a의 회로에서 v_{oc} 를 구하면,

$$\frac{V_1 - 12}{3} + \frac{V_1}{6} + 2 = 0,$$

$$2V_1 - 24 + V_1 + 12 = 0$$

에서, $V_1 = 4 \text{ [V]}$ 이다.

$$i_x = \frac{V_1}{6k} = \frac{2}{3} \text{ [mA]} \text{ 이므로}$$

$$\begin{aligned} v_{oc} &= 3,000i_x + V_1 \\ &= 6 \text{ [V]} \end{aligned}$$

이다.

(ii) 그림 s4.40b의 회로에서 i_{sc} 를 구하자. $i_x = \frac{V_1}{6k}$ 를 다음의 식에 대입하면,

$$\frac{V_1 - 12}{3} + \frac{V_1}{6} + 2 + \frac{V_1 + 3,000i_x}{1} = 0,$$

$$2V_1 - 24 + V_1 + 12 + 6V_1 + 3V_1 = 0$$

에서, $V_1 = 1[V]$ 이다. $i_x = \frac{1}{6} [mA]$ 이므로,

$$i_{sc} = \frac{V_1 + 3,000i_x}{1k}$$

$$= 1 + \frac{1}{2}$$

$$= 1.5[mA]$$

이다.

(i)과 (ii)에서 $R_{eq} = \frac{V_{oc}}{i_{sc}}$

$$= 4[k\Omega]$$

이고, 그림 p4.40의 회로를 테브난의 등가회로로 간략화한 회로는 그림 s4.40c와 같다.

따라서, $V_O = 3[V]$ 이다.

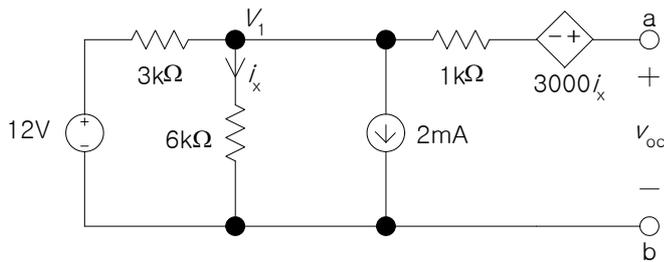


그림 s4.40a

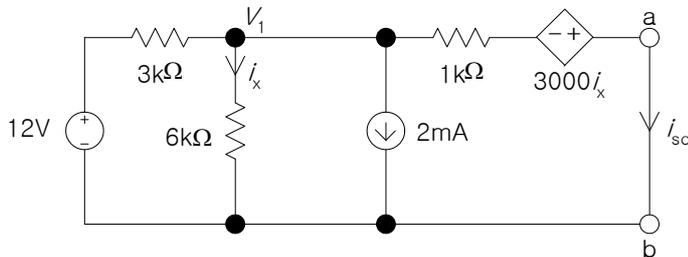


그림 s4.40b

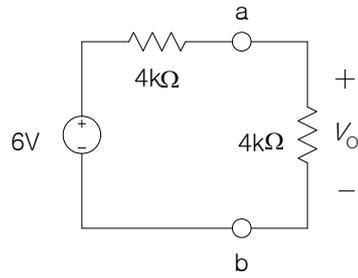


그림 s4.40c

<< 종속원만 있는 회로의 테브난과 노튼의 등가회로 >>

[4.41] 그림 p4.41의 회로들에 대하여, 테브난의 등가회로와 노튼의 등가회로를 구하여라.

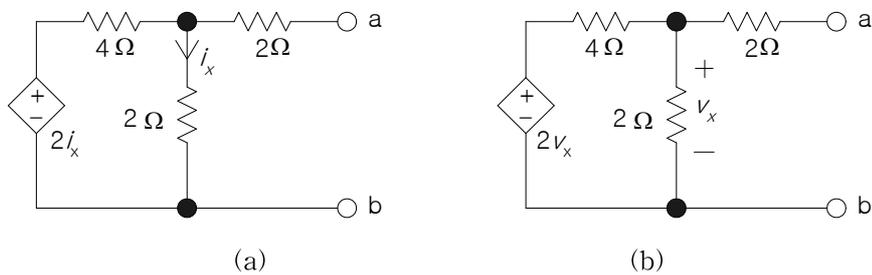


그림 p4.41

[풀이]

[4.41]

(1) (a)의 회로의 테브난의 등가회로와 노튼의 등가회로: (a)의 회로에서 $v_{oc} = 0[V]$, $i_{sc} = 0[A]$ 이므로 테브난의 등가회로와 노튼의 등가회로는 동일하다. 그림 s4.41a의 회로와 같이 1V의 전압원을 연결하였을 때 1V 전압원에서 공급하는 전류를 i_o 라고 하면, 단자 a, b에서 본 테브난의 등가저항 R_{eq} 는 $R_{eq} = \frac{1}{i_o}$ 이다. 그림 s4.41a의 회로에서,

$$\frac{V_1 - 2i_x}{4} + \frac{V_1}{2} + \frac{V_1 - 1}{2} = 0$$

이고, $i_x = \frac{V_1}{2}$ 이므로 $V_1 = \frac{1}{2}[V]$ 이다. 따라서, $i_o = \frac{1 - V_1}{2} = \frac{1}{4}[A]$ 이고,

$R_{eq} = \frac{1}{i_o} = 4[\Omega]$ 이다. 그림 p4.41의 (a)의 회로의 테브난의 등가회로는 그림 s4.41b의 회로와 같다.

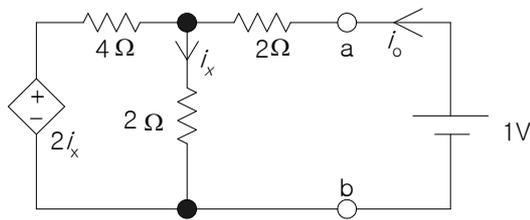


그림 s4.41a

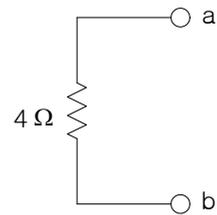


그림 s4.41b

(2) (b)의 회로의 테브난의 등가회로와 노튼의 등가회로: (b)의 회로에서 $v_{oc} = 0[V]$, $i_{sc} = 0[A]$ 이므로 테브난의 등가회로와 노튼의 등가회로는 동일하다. 그림 s4.41c의 회로와 같이 1V의 전압원을 연결하였을 때 1V 전압원에서 공급하는 전류를 i_o 라고 하면, 단자 a, b에서 본 테브난의 등가저항 R_{eq} 는 $R_{eq} = \frac{1}{i_o}$ 이다. 그림 s4.41c의 회로에서,

$$\frac{v_x - 2v_x}{4} + \frac{v_x}{2} + \frac{v_x - 1}{2} = 0$$

에서, $v_x = \frac{2}{3}[V]$ 이고, $i_o = \frac{1 - v_x}{2} = \frac{1}{6}[A]$ 이다. 따라서, $R_{eq} = \frac{1}{i_o} = 6[\Omega]$ 이고, 그림 p4.41의 (b)의 회로의 테브난의 등가회로는 그림 s4.41d의 회로와 같다.

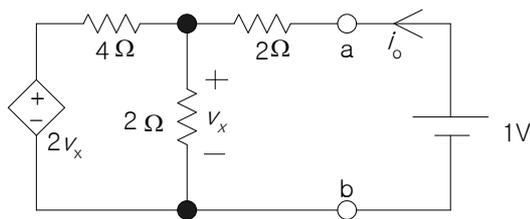


그림 s4.41c

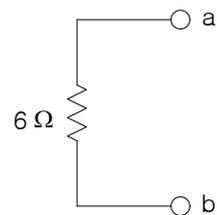
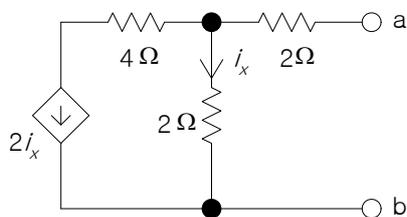
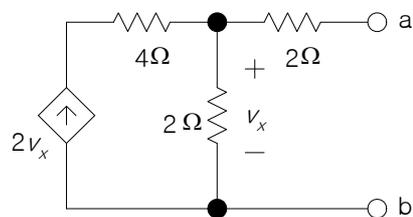


그림 s4.41d

[4.42] 그림 p4.42의 회로들에 대하여, 테브난의 등가회로와 노튼의 등가회로를 구하여라.



(a)



(b)

그림 p4.42

[풀이]

[4.42]

(1) (a)의 회로의 테브난의 등가회로와 노튼의 등가회로: (a)의 회로에서 $v_{oc} = 0[V]$, $i_{sc} = 0[A]$ 이므로 테브난의 등가회로와 노튼의 등가회로는 동일하다. 그림 s4.42a의 회로와 같이 1V의 전압원을 연결하였을 때 1V 전압원에서 공급하는 전류를 i_o 라고 하면, 단자 a, b에서 본 테브난의 등가저항 R_{eq} 는 $R_{eq} = \frac{1}{i_o}$ 이다. 그림 s4.42a의 회로에서,

$$2i_x + \frac{V_1}{2} + \frac{V_1 - 1}{2} = 0$$

이고, $i_x = \frac{V_1}{2}$ 이므로 $V_1 = \frac{1}{4}[V]$ 이다. 따라서, $i_o = \frac{1 - V_1}{2} = \frac{3}{8}[A]$ 이고, $R_{eq} = \frac{1}{i_o} = \frac{8}{3}[\Omega]$ 이다. 그림 p4.42의 (a)의 회로의 테브난의 등가회로는 그림 s4.42b의 회로와 같다.

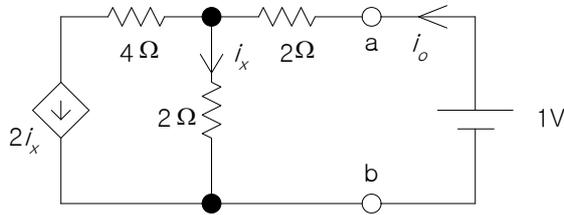


그림 s4.42a

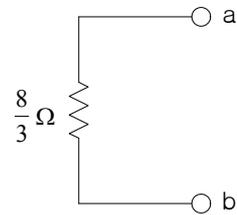


그림 s4.42b

(2) (b)의 회로의 테브난의 등가회로와 노튼의 등가회로: (b)의 회로에서 $v_{oc} = 0[V]$, $i_{sc} = 0[A]$ 이므로 테브난의 등가회로와 노튼의 등가회로는 동일하다. 그림 s4.42c의 회로와 같이 1V의 전압원을 연결하였을 때 1V 전압원에서 공급하는 전류를 i_o 라고 하면, 단자 a, b에서 본 테브난의 등가저항 R_{eq} 는 $R_{eq} = \frac{1}{i_o}$ 이다. 그림 s4.42c의 회로에서,

$$2v_x = \frac{v_x}{2} + \frac{v_x - 1}{2}$$

에서, $v_x = -\frac{1}{2}[V]$ 이고, $i_o = \frac{1 - v_x}{2} = \frac{3}{4}[A]$ 이다. 따라서, $R_{eq} = \frac{1}{i_o} = \frac{4}{3}[\Omega]$ 이고, 그림 p4.42의 (b)의 회로의 테브난의 등가회로는 그림 s4.42d의 회로와 같다.

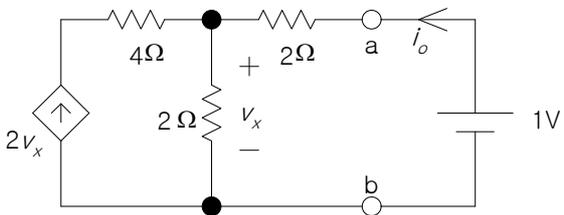


그림 s4.42c

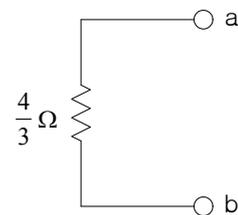


그림 s4.42d

[4.43] 미지의 회로 N의 단자 a, b 사이에 독립전류원 I_S 를 그림 p4.43의 (a)와 같이 연결하였다. I_S 와 v_{ab} 의 측정값이 표 p4.43과 같을 때, 테브난의 등가회로를 구하여라. 단, 전류원 I_S 의 내부저항은 0Ω 이고, v_{ab} 의 측정에 사용된 전압계의 입력저항은 $\infty\Omega$ 이라고 가정한다.

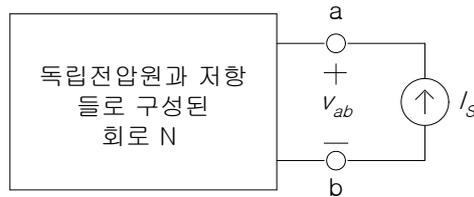


그림 p4.43

표 p4.43

I_S [mA]	v_{ab} [V]
0	10
1	12

[풀이]

[4.43] 테브난의 등가회로를 고려한 그림 s4.43a의 회로에서, 중첩의 원리에 의하여 $v_{ab} = v_{oc} + R_{eq}I_S$ 이고, 이 식에 표 p4.43의 데이터를 대입하면,

$$v_{oc} = 10[V]$$

이고, $12 = 10 + R_{eq} \times 1$ 에서 $R_{eq} = 2[k\Omega]$ 이다.

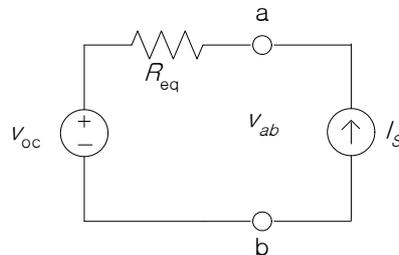


그림 s4.43a 그림 p4.43의 회로의 테브난의 등가회로

[4.44] 독립전압원과 저항으로 구성된 미지의 회로 N의 단자 a, b 사이에 저항 R_L 을 그림 p4.44의 (a)와 같이 연결하였을 때, 단자 a, b에서 본 회로 N의 테브난의 등가회로는 그림

p4.44의 (b)와 같다고 한다. R_L 의 값에 따른 v_o 의 측정값이 표 p4.44와 같을 때, 표 p4.44에 i_o 의 값을 기입하고 또한 그림 p4.44의 (b)에 있는 v_{oc} 와 R_{eq} 를 구하여라. 단, v_o 의 측정에 사용된 전압계의 입력저항은 $\infty\Omega$ 이라고 가정한다.

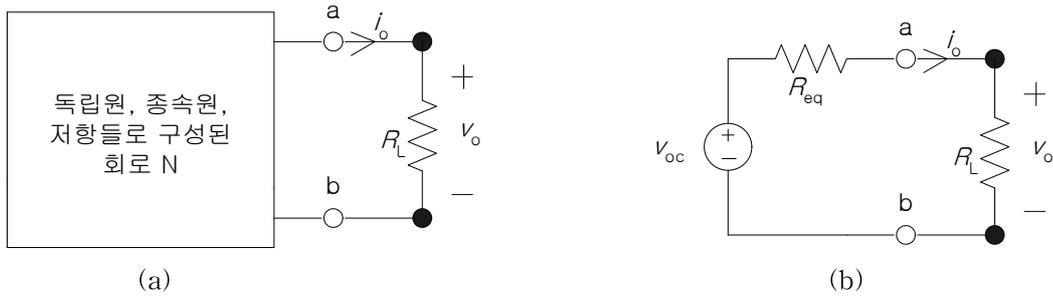


그림 p4.44

표 p4.44 R_L 과 v_o 의 측정값

R_L	v_o	i_o
1k Ω	4V	
3k Ω	6V	

[풀이]

[4.44] $i_o = \frac{v_o}{R_L}$ 이므로 $R_L = 1k\Omega$, $v_o = 4V$ 일 때, $i_o = 4mA$ 이고, $R_L = 3k\Omega$, $v_o = 6V$ 일 때, $i_o = 2mA$ 이다. 그림 p4.44의 (b)에서, $v_o = v_{oc} - R_{eq}i_o$ 이므로, 측정 데이터를 이 식에 대입하면 다음의 두 식을 얻는다.

$$4 = v_{oc} - R_{eq} \times 4 \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

$$6 = v_{oc} - R_{eq} \times 2 \quad \text{-----} \quad \text{②}$$

식①과 식②에서, $v_{oc} = 8[V]$, $R_{eq} = 1[k\Omega]$ 이다.

[4.45] 독립전압원과 저항으로 구성된 그림 p4.45의 미지의 회로 N에서, 단자 a, b 사이의 측정 전압이 $v_o = \frac{25}{3}V$ 이었고, 단자 a와 b를 단락시켰을 때 단자 a에서 b로 흐르는 전류의 측정값이 $i_o = 5\mu A$ 였다. 단자 a, b에서 본 회로 N의 테브난의 등가회로를 구하여라. 단, 측정에 사용된 전압계의 입력저항은 $10M\Omega$ 이고 전류계의 내부저항은 2Ω 이라고 가정한다.

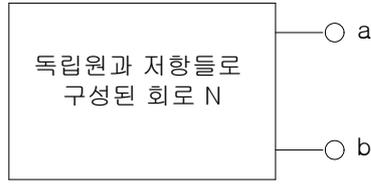


그림 p4.45

[풀이]

[4.45] 회로 N의 테브난의 등가회로를 고려한 전압측정시의 회로는 그림 s4.45a와 같고,

$\frac{50}{6} = v_{oc} \times \frac{10}{R_{eq} + 10}$ 에서 다음의 식①을 얻는다.

$$6v_{oc} - 5R_{eq} = 50 \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

전류측정시의 회로는 그림 s4.45b와 같고, $5 = \frac{v_{oc}}{R_{eq} + 2 \times 10^{-6}}$ 에서 다음의 식②를 얻는다.

$$v_{oc} = 5R_{eq} \quad \text{-----} \quad \text{②}$$

식①과 식②에서, $R_{eq} = 2[\text{M}\Omega]$ 이고 $v_{oc} = 10[\text{V}]$ 이다.

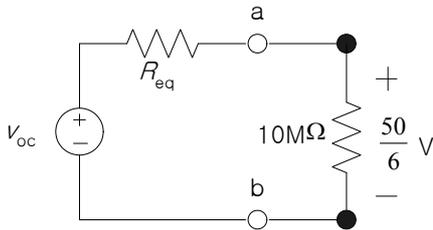


그림 s4.45a

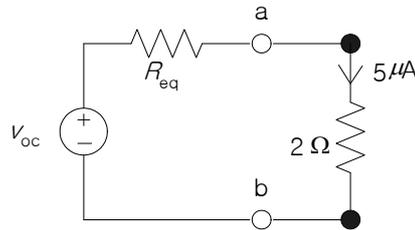
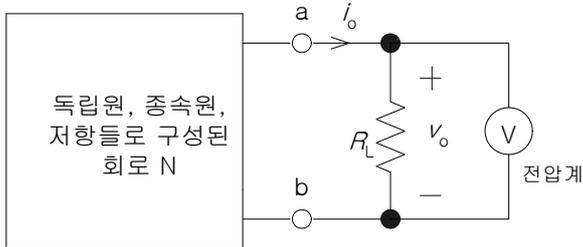
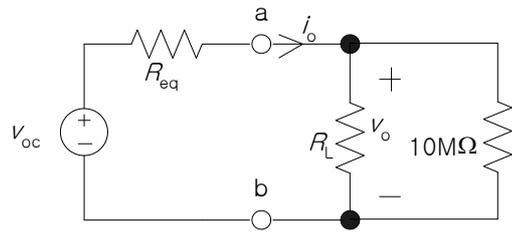


그림 s4.45b

[4.46] 독립원, 종속원 그리고 저항으로 구성된 미지의 회로 N의 단자 a, b 사이에 저항 R_L 을 그림 p4.46의 (a)와 같이 연결하였을 때, 단자 a, b에서 본 회로 N의 테브난의 등가회로는 그림 p4.46의 (b)와 같다고 한다. R_L 의 값에 따른 v_o 의 측정값이 표 p4.46과 같을 때, 표 p4.46에 i_o 의 값을 기입하고 또한 그림 p4.46의 (b)에 있는 v_{oc} 와 R_{eq} 를 구하여라. 단, 측정에 사용된 전압계의 입력저항은 $10\text{M}\Omega$ 이고 저항계는 오차가 없다고 가정한다.



(a)



(b)

그림 p4.46

표 p4.46 R_L 과 v_o 의 측정값

R_L	v_o	i_o
$2\text{M}\Omega$	$\frac{50}{11}\text{V}$	
$5\text{M}\Omega$	$\frac{25}{4}\text{V}$	

[풀이]

[4.46] $i_o = \frac{v_o}{R_L} + \frac{v_o}{10} [\mu\text{A}]$ 이므로 $R_L = 2\text{M}\Omega$, $v_o = \frac{50}{11}\text{V}$ 일 때, $i_o = \frac{30}{11}\mu\text{A}$ 이고,

$R_L = 5\text{M}\Omega$, $v_o = \frac{25}{4}\text{V}$ 일 때, $i_o = \frac{7.5}{4}\mu\text{A}$ 이다. 그림 p4.46의 (b)에서, $v_o = v_{oc} - R_{eq}i_o$

이고, 측정 데이터를 이 식에 대입하면 다음의 두 식을 얻는다.

$$\frac{50}{11} = v_{oc} - R_{eq} \times \frac{30}{11} \text{-----} \text{①}$$

$$\frac{25}{4} = v_{oc} - R_{eq} \times \frac{7.5}{4} \text{-----} \text{②}$$

식①과 식②에서, $v_{oc} = 10[\text{V}]$, $R_{eq} = 2[\text{M}\Omega]$ 이다.

<< 4.5 최대 전력전달의 정리 >>

[4.47] 그림 p4.47의 회로에 대하여, 부하 R_L 에 전달되는 전력이 최대이기 위한 R_L 의 값을 구하고 이 때 부하 R_L 에 전달되는 최대전력 $P_{L, \max}$ 를 구하여라.

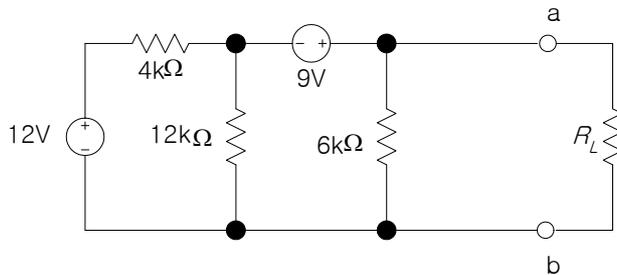


그림 p4.47

[풀이]

[4.47]

(1) 단자 a, b에서 본 왼쪽 회로의 등가회로를 테브난의 정리를 이용하여 구하자.

(i) R_{eq} : 테브난의 저항 R_{eq} 는 다음과 같다.

$$R_{eq} = 6k // 12k // 4k$$

$$= 2[k\Omega]$$

(ii) v_{oc} : v_{oc} 는 중첩의 원리에 의하여 다음과 같다.

$$v_{oc} = 12 \times \frac{4}{4+4} + 9 \times \frac{6}{6+3}$$

$$= 6 + 6$$

$$= 12[V]$$

(i)과 (ii)로부터 테브난의 등가회로는 그림 s4.47a와 같고, $R_L = R_{eq} = 2[k\Omega]$ 일 때 최대전력전달이 이루어진다.

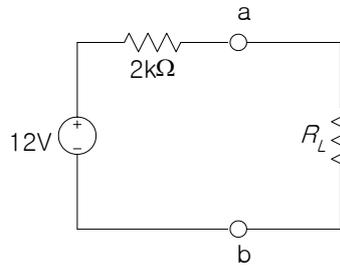


그림 s4.47a

(2) 부하에 전달되는 최대전력 $P_{L, \max}$ 는 그림 s4.47a로부터 다음과 같다.

$$P_{L, \max} = 2k \times \left(\frac{12}{4k}\right)^2$$

$$= 18[mW]$$

[4.48] 그림 p4.48의 회로에 대하여, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 부하 R_L 에 전달되는 전력이 최대이기 위한 R_L 의 값을 구하여라.
- (2) 부하 R_L 에 전달되는 최대전력 $P_{L, \max}$ 를 구하여라.
- (3) 부하에 최대전력이 전달될 때, 9V 전압원에서 공급하는 전력 $P_{9V, \max}$ 와 6V 전압원에서 공급하는 전력 $P_{6V, \max}$ 는 얼마인 가?
- (4) (2)와 (3)의 결과를 이용하여 $\frac{P_{L, \max}}{P_{9V, \max} + P_{6V, \max}}$ 를 구하여라.

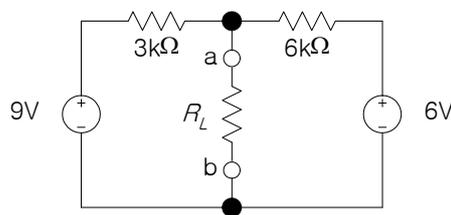


그림 p4.48

[풀이]

[4.48]

(1) 단자 a, b에서 회로의 등가회로를 테브난의 정리를 이용하여 구하자.

(i) R_{eq} : 테브난의 저항 R_{eq} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{eq} &= 3k // 6k \\ &= 2[k\Omega] \end{aligned}$$

(ii) v_{oc} : v_{oc} 는 중첩의 원리에 의하여 다음과 같다.

$$\begin{aligned} v_{oc} &= 9 \times \frac{6}{3+6} + 6 \times \frac{3}{3+6} \\ &= 8[V] \end{aligned}$$

(i)과 (ii)로부터 테브난의 등가회로는 그림 s4.48a와 같고, $R_L = 2[k\Omega]$ 일 때 최대 전력전달이 이루어진다.

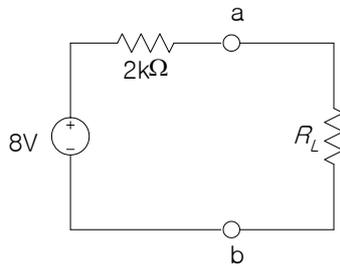


그림 s4.48a

(2) 부하에 전달되는 최대전력 $P_{L, \max}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{L, \max} &= 2k \times \left(\frac{8}{2 \times 2k} \right)^2 \\ &= 4[mW] \end{aligned}$$

(3) 부하 R_L 에 최대전력이 전달될 때, 부하에 흐르는 전류는 그림 s4.48a에서 $\frac{8}{4k} = 2$ [mA]이고 R_L 에 걸리는 전압은 $2 \times 2 = 4[V]$ 이다. 그림 p4.48의 회로에서 9V 전압원에 흐르는 전류는 $\frac{9-4}{3k} = \frac{5}{3}$ [mA]이므로 9V 전압원에서 공급하는 전력 $P_{9V, \max}$ 는 $P_{9V, \max} = 9 \times \frac{5}{3} = 15[mW]$ 이다. 6V 전압원에 흐르는 전류는 $\frac{6-4}{6k} = \frac{1}{3}$ [mA]이므로 6V 전압원에서 공급하는 전력 $P_{6V, \max}$ 는 $P_{6V, \max} = 6 \times \frac{1}{3} = 2[mW]$ 이다.

(4) (2)와 (3)의 결과를 이용하면,

$$\begin{aligned} \frac{P_{L, \max}}{P_{9V, \max} + P_{6V, \max}} &= \frac{4}{15 + 2} \\ &= \frac{4}{17} \end{aligned}$$

이다.

[4.49] 그림 p4.49의 회로에서, 회로 N_1 에서 회로 N_2 로 전력이 최대 전달되게 하기 위한 R_L 의 값을 구하여라.

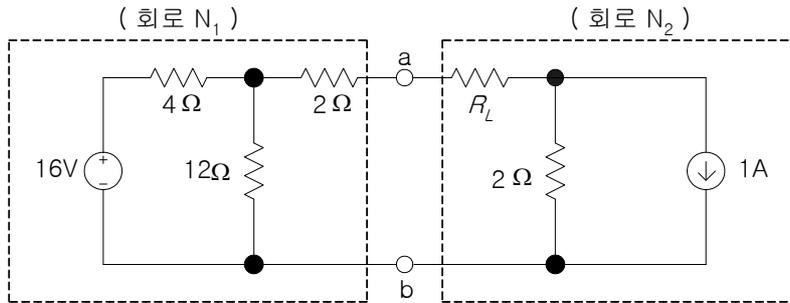


그림 p4.49

[풀이]

[4.49] 회로 N_1 과 회로 N_2 를 테브난의 등가회로로 바꾸면 그림 s4.49a의 회로와 같고, 회로 N_1 에서 회로 N_2 로 전력이 최대 전달되게 하기 위한 R_L 의 값은 $5 = R_L + 2$ 에서 $R_L = 3[\Omega]$ 이다.

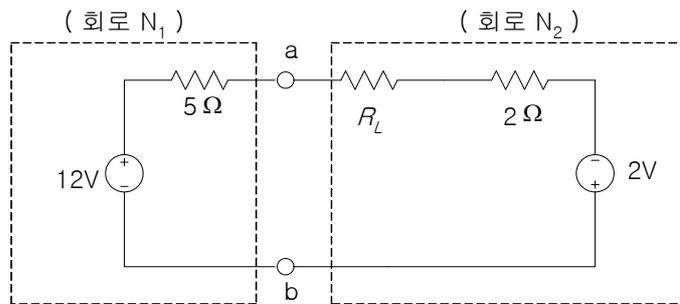


그림 s4.49a

[4.50] 어떤 증폭기의 모델이 그림 p4.50과 같다고 할 때, 다음 물음에 답하여라.

- (1) 단자 a, b에서 본 등가회로를 구하여라.
- (2) 부하 R_L 에 전달되는 전력이 최대이기 위한 R_L 의 값을 구하여라.
- (3) 부하 R_L 에 전달되는 최대전력 $P_{L, \max}$ 를 구하여라.
- (4) 부하에 최대전력이 전달될 때, 전압이득 $\frac{V_o}{V_i}$ 를 구하여라.

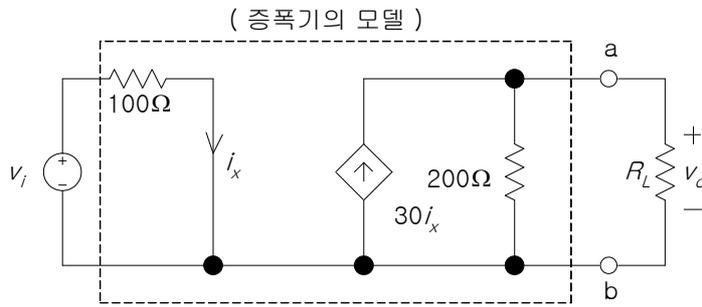


그림 p4.50

[풀이]

[4.50]

(1) 단자 a, b에서 본 증폭기의 등가회로를 테브난의 정리를 이용하여 구하자.

(i) v_{oc} : 그림 s4.50a의 회로에서, $i_x = \frac{v_i}{100}$ 이므로

$$\begin{aligned} v_{oc} &= 200 \times 30 i_x \\ &= 60 v_i \end{aligned}$$

이다.

(ii) R_{eq} : 그림 s4.50b의 회로에서, $i_x = 0$ 이므로

$$v_1 = 200 \times 1$$

이다. 따라서, 테브난의 저항 R_{eq} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{eq} &= \frac{v_1}{1} \\ &= 200 [\Omega] \end{aligned}$$

(i)과 (ii)로부터 테브난의 등가회로는 그림 p4.50c와 같다.

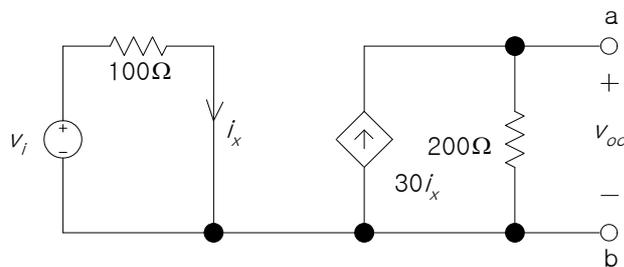


그림 s4.50a v_{oc}

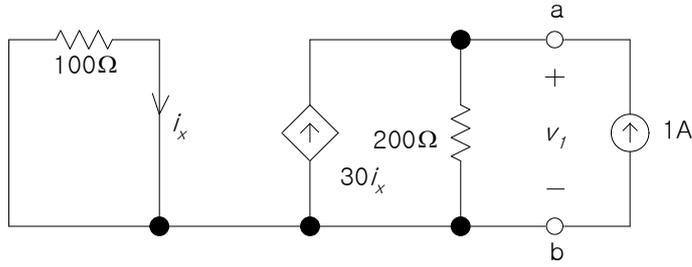


그림 s4.50b R_{eq}

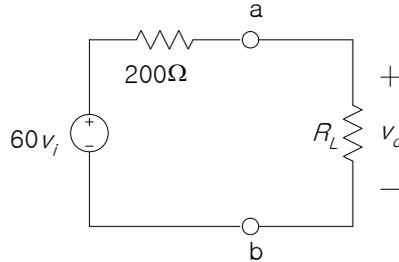


그림 s4.50c

(2) $R_L = 200[\Omega]$ 일 때 최대전력전달이 이루어진다.

(3) 부하에 전달되는 최대전력 $P_{L, \max}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{L, \max} &= 200 \left(\frac{60 v_i}{400} \right)^2 \\ &= \frac{9}{2} v_i^2 [\text{W}] \end{aligned}$$

(4) $R_L = 200[\Omega]$ 일 때, $v_o = \frac{1}{2} v_{oc} = 30 v_i$ 이므로 전압이득은

$$\frac{v_o}{v_i} = 30$$

이다. 즉, 입력신호의 30배 크기인 신호가 출력신호로 나타난다. 위의 결과는 다음과 같이

구한 결과와 일치한다. 그림 p4.50의 회로에서, $i_x = \frac{v_i}{100}$ 이므로

$$\begin{aligned} v_o &= (200 // 200) \times 30 i_x \\ &= 30 v_i \end{aligned}$$

이다. 따라서, $\frac{v_o}{v_i} = 30$ 이다.

[4.51] 어떤 증폭기의 모델이 그림 p4.51과 같다고 할 때, 다음 물음에 답하여라.

(1) 단자 a, b에서 본 등가회로를 구하여라.

(2) 부하 R_L 에 전달되는 전력이 최대이기 위한 R_L 의 값을 구하여라.

(3) 부하에 최대전력이 전달될 때, 전압이득 $\frac{V_o}{V_i}$ 를 구하여라.

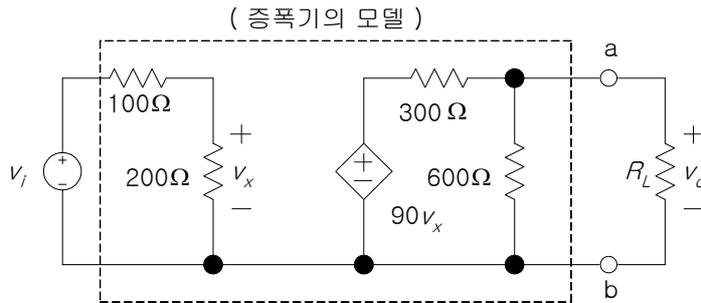


그림 p4.51

[풀이]

[4.51]

(1) 단자 a, b에서 본 증폭기의 등가회로를 테브난의 정리를 이용하여 구하자.

(i) V_{oc} : 그림 s4.51a의 회로에서, $V_x = \frac{2}{3} V_i$ 이므로

$$\begin{aligned} V_{oc} &= 90 V_x \times \frac{600}{900} \\ &= 40 V_i \end{aligned}$$

이다.

(ii) R_{eq} : 그림 s4.51b의 회로에서, $V_x = 0$ 이므로

$$\begin{aligned} R_1 &= (300 // 600) \times 1 \\ &= 200[\Omega] \end{aligned}$$

이다. 따라서, 테브난의 저항 R_{eq} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{eq} &= \frac{V_1}{I} \\ &= 200[\Omega] \end{aligned}$$

(i)과 (ii)로부터 테브난의 등가회로는 그림 s4.51c와 같다.

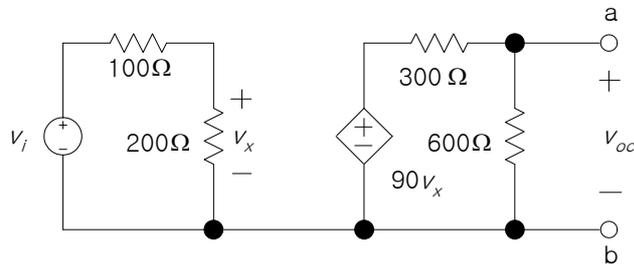


그림 s4.51a V_{oc}

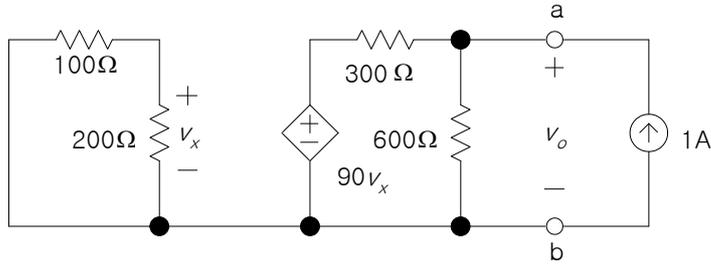


그림 s4.51b R_{eq}

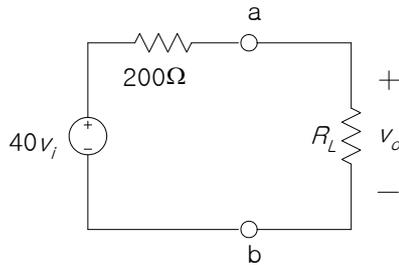


그림 s4.51c

(2) $R_L = 200[\Omega]$ 일 때 최대전력전달이 일어난다.

(3) $R_L = 200[\Omega]$ 일 때, 그림 s4.51c에서 $v_o = \frac{1}{2} v_{oc} = 20 v_i$ 이므로 전압이득은

$$\frac{v_o}{v_i} = 20$$

이다. 즉, 입력신호의 20배 크기인 신호가 출력신호로 나타난다. 위의 결과는 다음과 같이

구한 결과와 일치한다. 그림 p4.51의 회로에서, $v_x = \frac{2}{3} v_i$ 이므로

$$\begin{aligned} v_o &= 90 v_x \times \frac{\frac{300}{2}}{300 + \frac{300}{2}} \\ &= 20 v_i \end{aligned}$$

이다. 따라서, $\frac{v_o}{v_i} = 20$ 이다.

[4.52] 그림 p4.52의 회로에서, 부하 R_L 에 최대전력이 전달되기 위한 R_L 의 값을 구하여라.

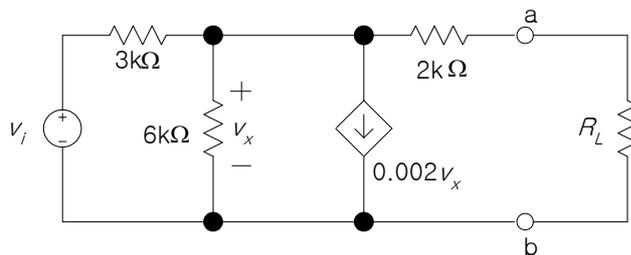


그림 p4.52

[풀이]

[4.52] 단자 a, b에서 본 왼쪽 부분의 등가회로를 테브난의 정리를 이용하여 구하자.

(i) V_{oc} : 그림 s4.52a의 회로에서, $v_x = v_{oc}$ 이므로

$$\begin{aligned} \frac{V_{oc} - V_i}{3k} + \frac{V_{oc}}{6k} + 0.002V_{oc} &= 0, \\ 2V_{oc} - 2V_i + V_{oc} + 12V_{oc} &= 0 \end{aligned}$$

에서 $V_{oc} = \frac{2}{15} V_i$ 이다.

(ii) R_{eq} : 그림 s5,52b의 회로에서, $i_{sc} = \frac{V_x}{2k}$ 이고,

$$\begin{aligned} \frac{V_x - V_i}{3k} + \frac{V_x}{6k} + 0.002V_x + \frac{V_x}{2k} &= 0, \\ 2V_x - 2V_i + V_x + 12V_x + 3V_x &= 0 \end{aligned}$$

에서 $V_x = \frac{1}{9} V_i$ 이다.

따라서, $i_{sc} = \frac{1}{18k} V_i$ 이다.

(i)과 (ii)로부터,

$$\begin{aligned} R_{eq} &= \frac{V_{oc}}{i_{sc}} \\ &= \frac{\frac{2}{15} V_i}{\frac{1}{18k} V_i} \\ &= \frac{12}{5} [\text{k}\Omega] \end{aligned}$$

이고, 최대전력전달이 이루어지는 R_L 의 값은 $R_L = \frac{12}{5} [\text{k}\Omega]$ 이다.

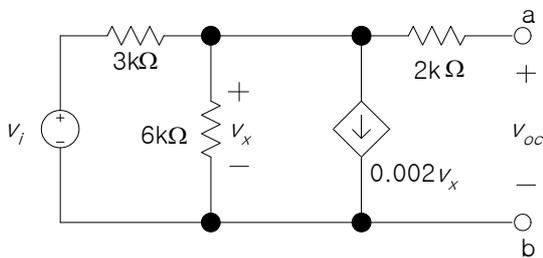


그림 s4.52a

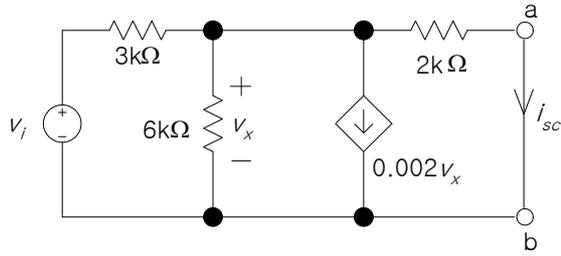


그림 s4.52b

[4.53] 그림 p4.5의 회로에서, 부하 R_L 에 최대전력이 전달되기 위한 R_L 의 값을 구하여라.

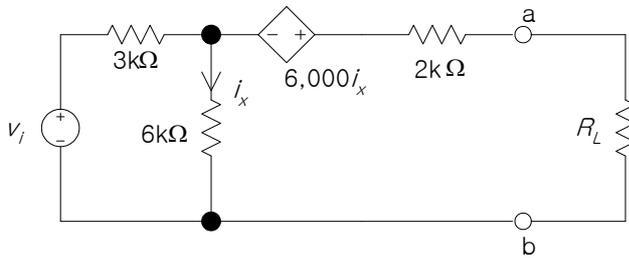


그림 p4.53

[풀이]

[4.53] 단자 a, b에서 본 왼쪽 부분의 등가회로를 테브난의 정리를 이용하여 구하자.

(i) v_{oc} : 그림 s4.53a의 회로에서, $v_x = \frac{v_i}{9k}$ 이고,

$$\begin{aligned} v_{oc} &= 6,000i_x + 6ki_x \\ &= \frac{2}{3}v_i + \frac{2}{3}v_i \\ &= \frac{4}{3}v_i \end{aligned}$$

이다.

(ii) R_{eq} : 그림 s4.53b의 회로에서, $i_x = \frac{1}{3}$ [A]이고,

$$\begin{aligned} v_o &= 2k \times 1 + 6,000i_x + (3k//6k) \times 1 \\ &= 6,000[V] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{이므로, } R_{eq} &= \frac{v_o}{1} \\ &= 6[k\Omega] \end{aligned}$$

이다.

최대전력전달이 이루어지는 R_L 의 값은 $R_L = 6[k\Omega]$ 이다.

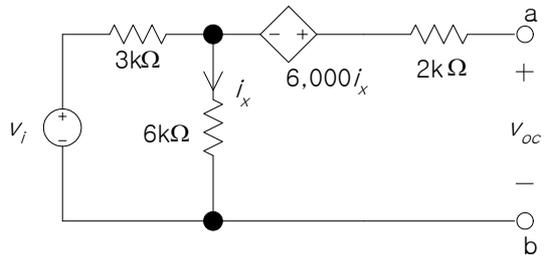


그림 s4.53a

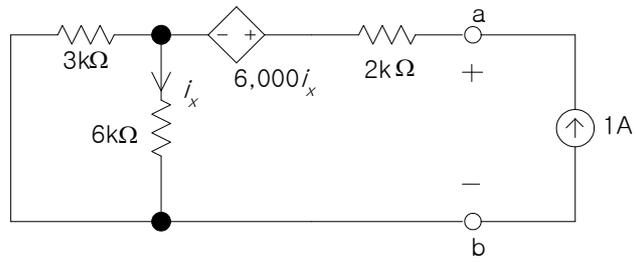


그림 s4.53b