

1章 電気回路の基本

問2の解答.

(a) 図1.5の電圧と電流の極性から

$$P = 40 \cdot (250 \times 10^{-6}) = 10 \times 10^{-3} = 10 \text{ mW}$$

(b) 図1.5の電圧と電流の極性から

$$P = (100 \times 10^{-3}) \cdot (50 \times 10^{-3}) = 5 \times 10^{-3} = 5 \text{ mW}$$

(b) 図1.5の電圧と電流の極性から

$$P = (25 \times 10^3) \cdot (-300 \times 10^{-3}) = -7.5 \times 10^3 = -7.5 \text{ kW}$$

□

2章 抵抗回路

問1の解答.

(1) 式(2.1)から

$$G = \frac{1}{20} = 50 \times 10^{-3} = 50 \text{ mS}$$

(2) 式(2.1)から

$$G = \frac{1}{10 \times 10^6} = 100 \times 10^{-9} = 100 \text{ nS}$$

(3) 式(2.1)から $R = 1/G$ となり、

$$R = \frac{1}{5} = 200 \times 10^{-3} = 200 \text{ m}\Omega$$

(4) 式(2.1)から $R = 1/G$ となり、

$$R = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50 \text{ m}\Omega$$

□

問2の解答.

(1) 式(2.2)から

$$V = (3.5 \times 10^6) \cdot (3 \times 10^{-3}) = 10.5 \times 10^3 = 10.5 \text{ kV}$$

(2) 式(2.2)から

$$3 \times 10^3 = (4 \times 10^3)I, \quad I = \frac{3 \times 10^3}{4 \times 10^3} = 0.75 \text{ A} = 750 \text{ mA}$$

(3) 式 (2.2) から

$$30 = R(600 \times 10^{-6}), \quad R = \frac{30}{600 \times 10^{-6}} = 50 \times 10^3 = 50 \text{ k}\Omega$$

式 (2.1) から

$$G = \frac{1}{50 \times 10^3} = 20 \times 10^{-6} = 20 \text{ }\mu\text{S}$$

□

問 3 の解答.

(a) 式 (2.2) と電圧と電流の極性から

$$V = (10 \times 10^3) \cdot (-2.5 \times 10^{-3}) = -25 \text{ V}$$

式 (1.1) から

$$P = (-25) \cdot (-2.5 \times 10^{-3}) = 62.5 \times 10^{-3} = 62.5 \text{ mW}$$

(b) 式 (2.2) と電圧と電流の極性から

$$2 \times 10^3 = (40 \times 10^3)I, \quad I = \frac{2 \times 10^3}{40 \times 10^3} = 50 \times 10^{-3} = 50 \text{ mA}$$

式 (1.1) から

$$P = (2 \times 10^3) \cdot (50 \times 10^{-3}) = 100 \text{ W}$$

(c) 式 (2.1) から、 $R = 1/G$ となり

$$R = \frac{1}{2.5 \times 10^{-3}} = 400 \text{ }\Omega$$

式 (2.2) と電圧と電流の極性から

$$-V = 400 \cdot (-25 \times 10^{-3}) = -10, \quad V = 10 \text{ V}$$

式 (1.1) から

$$P = (-10) \cdot (-25 \times 10^{-3}) = 250 \times 10^{-3} = 250 \text{ mW}$$

□

問 4 の解答.

(1) 式 (2.3) から

$$500 \times 10^{-3} = (5 \times 10^6)I^2, \quad I = \sqrt{\frac{500 \times 10^{-3}}{5 \times 10^6}} = \sqrt{100 \times 10^{-9}} = 0.316 \text{ mA}$$

(2) 式 (2.3) から

$$40 \times 10^{-3} = \frac{V^2}{200}, \quad V = \sqrt{(40 \times 10^{-3}) \cdot 200} = \sqrt{8} = 2.83 \text{ V}$$

(3) 式 (2.3) から

$$10 = \frac{I^2}{250 \times 10^{-6}}, \quad I = \sqrt{10 \cdot (250 \times 10^{-6})} = \sqrt{2.5 \times 10^{-3}} = 50 \text{ mA}$$

□

問 5 の解答.

(a) 式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$250 + 100 + 500 = 850 \text{ } \Omega$$

(b) 式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$500 + 4.7 \times 10^3 = 5.2 \times 10^3 \text{ } \Omega = 5.2 \text{ k}\Omega$$

(c) 式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{3.6 \times 10^3} + \frac{1}{400} = \frac{1}{360} \text{ S}$$

式 (2.1) から、合成抵抗の抵抗値は

$$\frac{1}{1/360} = 360 \text{ } \Omega$$

(d) 式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{480} + \frac{1}{420} = \frac{1}{224} \text{ S}$$

式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は

$$\frac{1}{1/224} = 224 \text{ } \Omega$$

(e) $2 \text{ k}\Omega$ と $4 \text{ k}\Omega$ は直列接続しており (図 1)、式 (2.4) から合流抵抗の抵抗値は

$$2 \times 10^3 + 4 \times 10^3 = 6 \times 10^3 = 6 \text{ k}\Omega$$

となる (図 2)。 $6 \text{ k}\Omega$ と $3 \text{ k}\Omega$ は並列接続しており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{6 \times 10^3} + \frac{1}{3 \times 10^3} = \frac{1}{2 \times 10^3} \text{ S}$$

であり、式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は $2\text{k}\Omega$ となる (図 3)。 500Ω と $2\text{k}\Omega$ は直列接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$500 + 2 \times 10^3 = 2.5 \times 10^3 = 2.5 \text{ k}\Omega$$

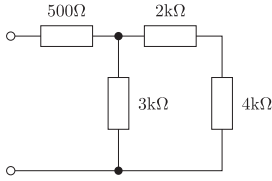


図 1

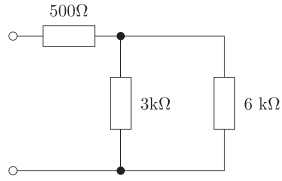


図 2

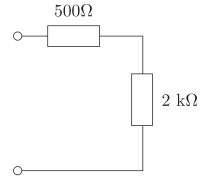


図 3

(f) 3Ω と 6Ω 、 6Ω と 12Ω は並列接続しており (図 1)、式 (2.5) からそれぞれの合流抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2} \text{ S}, \quad \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{1}{4} \text{ S}$$

であり、式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値はそれぞれ 2Ω と 4Ω となる (図 2)。 2Ω と 4Ω は直列接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$2 + 4 = 6 \Omega$$

となる (図 3)。 6Ω と 4Ω は並列接続しており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{6} + \frac{1}{4} = \frac{5}{12} \text{ S}$$

となり、式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は $12/5 = 2.4 \Omega$ となる。

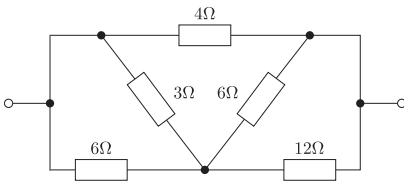


図 1

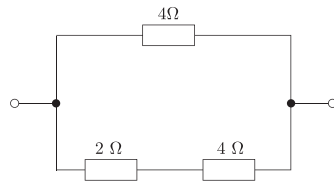


図 2

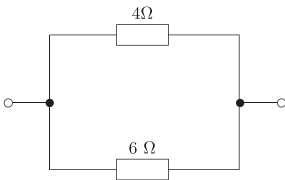


図 3

□

問 6 の解答.

(a) 式 (2.6) から等価な Y 結線を構成する抵抗の抵抗値は

$$R_A = \frac{66 \cdot 132}{66 + 132 + 44} = 36 \Omega, \quad R_B = \frac{132 \cdot 44}{66 + 132 + 44} = 24 \Omega,$$

$$R_C = \frac{44 \cdot 66}{66 + 132 + 44} = 12 \Omega$$

となる (図 1)。

(b) 式 (2.7) から等価な Δ 結線を構成する抵抗のコンダクタンスは

$$G_{AB} = \frac{1250^{-1} \cdot 750^{-1}}{1250^{-1} + 750^{-1} + 375^{-1}} = \frac{1}{4500} \text{ S}, \quad G_{BC} = \frac{750^{-1} \cdot 375^{-1}}{1250^{-1} + 750^{-1} + 375^{-1}} = \frac{1}{1350} \text{ S},$$

$$G_{CA} = \frac{375^{-1} \cdot 1250^{-1}}{1250^{-1} + 750^{-1} + 375^{-1}} = \frac{1}{7500} \text{ S},$$

となる。式 (2.1) から等価な Δ 結線を構成する抵抗の抵抗値はそれぞれ

$$R_{AB} = \frac{1}{1/4500} = 4.5 \text{ k}\Omega, \quad R_{BC} = \frac{1}{1/1350} = 1.35 \text{ k}\Omega, \quad R_{CA} = \frac{1}{1/7500} = 7.5 \text{ k}\Omega,$$

となる (図 2)。

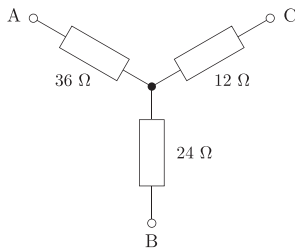


図 1

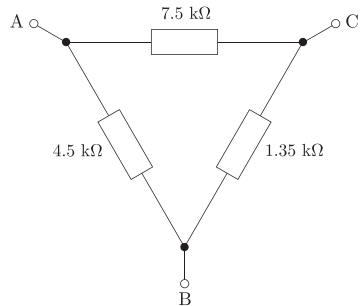


図 2

□

問 7 の解答.

(a) 3 つの 100Ω が構成する Δ 結線を等価な Y 結線に置き換える (図 1)。式 (2.6) から等価な Y 結線を構成する抵抗の抵抗値はどれも

$$\frac{100 \cdot 100}{100 + 100 + 100} = \frac{100}{3} \Omega$$

となる (図 2)。 100Ω と $100/3 \Omega$ の抵抗は直列接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$100 + \frac{100}{3} = \frac{400}{3} \Omega$$

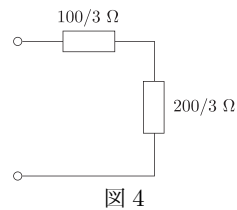
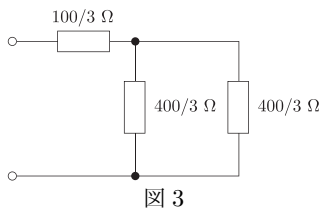
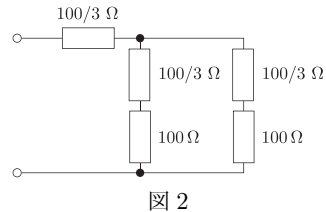
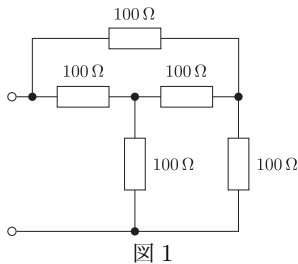
となる (図3)。2つの $400/3 \Omega$ の抵抗は並列接続しており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{400/3} + \frac{1}{400/3} = \frac{3}{200} \text{ S}$$

であり、式 (2.1) から抵抗値は $200/3 \Omega$ となる (図4)。 $100/3 \Omega$ と $200/3 \Omega$ の2つの抵抗は直列接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$\frac{100}{3} + \frac{200}{3} = 100 \Omega$$

である。



(b) $1\text{k}\Omega$ 、 $1.25\text{k}\Omega$ 、 250Ω が構成する Δ 結線を等価な Y 結線に置き換える (図1)。式 (2.6) から等価な Y 結線を構成する抵抗の抵抗値は

$$\frac{1000 \cdot 1250}{1000 + 1250 + 250} = 500 \Omega, \quad \frac{1250 \cdot 250}{1000 + 1250 + 250} = 125 \Omega, \quad \frac{250 \cdot 1000}{1000 + 1250 + 250} = 100 \Omega$$

となる (図2)。 100Ω と 400Ω 、 125Ω と 375Ω の抵抗はそれぞれ直列接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$100 + 400 = 500 \Omega, \quad 125 + 375 = 500 \Omega$$

となる (図3)。2つの 500Ω の抵抗は並列接続しており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{500} + \frac{1}{500} = \frac{1}{250} \text{ S}$$

となる。式 (2.1) から抵抗値は 250Ω となる (図 4)。 500Ω と 250Ω の抵抗は直列接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$500 + 250 = 750 \Omega$$

である。

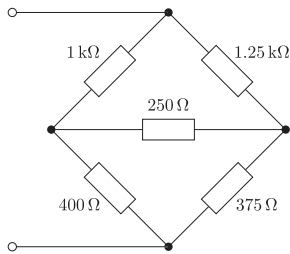


図 1

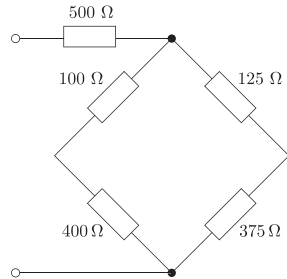


図 2

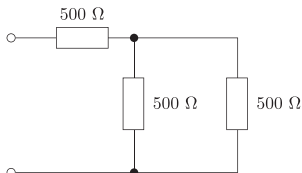


図 3

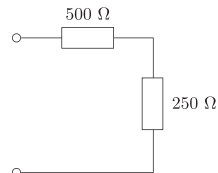


図 4

□

問 8 の解答.

(a) 10Ω 、 15Ω と 25Ω の 3 つの抵抗は直列接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$10 + 15 + 25 = 50 \Omega$$

である (図 2)。電圧源の起電力から合成抵抗における電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$20 = 50I$$

となり

$$I = \frac{20}{50} = 0.4 \text{ A} = 400 \text{ mA}$$

が求められる。

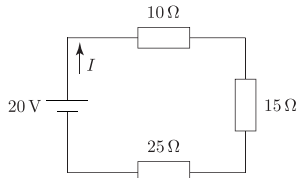


図 1

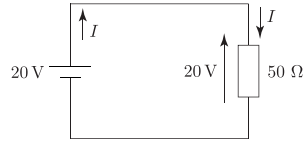


図 2

(b) $1.2 \text{ k}\Omega$ と 600Ω の 2 つの抵抗は並列接続しており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{1.2 \times 10^3} + \frac{1}{600} = \frac{1}{400} \text{ S}$$

であり、式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は 400Ω となる (図 2)。電流源の電流から合成抵抗における電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$V = 400 \cdot (500 \times 10^{-6}) = 0.2 \text{ V} = 200 \text{ mV}$$

となる。

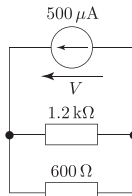


図 1

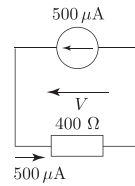


図 2

(c) 500Ω 、 $1.5 \text{ k}\Omega$ と $2 \text{ k}\Omega$ の 3 つの抵抗は直列接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$500 + 1500 + 2000 = 4000 \Omega = 4 \text{ k}\Omega$$

である (図 2)。電流源の電流から合成抵抗における電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$V = (4 \times 10^3) \cdot (250 \times 10^{-6}) = 1 \text{ V}$$

となる。

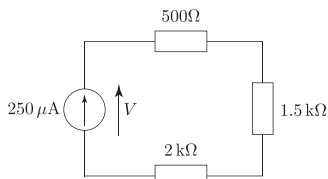


図 1

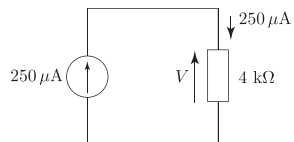


図 2

(d) $4 \text{ k}\Omega$ と $6 \text{ k}\Omega$ の 2 つの抵抗は並列接続しており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{4 \times 10^3} + \frac{1}{6 \times 10^3} = \frac{1}{2400} \text{ S}$$

であり、式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は $2.4 \text{ k}\Omega$ となる (図 2)。電圧源の起電力から合成抵抗における電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$120 = (2.4 \times 10^3)I$$

となり、

$$I = \frac{120}{2.4 \times 10^3} = 50 \times 10^{-3} = 50 \text{ mA}$$

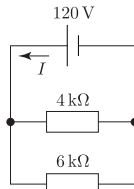


図 1

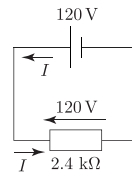


図 2

(e) $4.5 \text{ k}\Omega$ と 500Ω の 2 つの抵抗は直列接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$4500 + 500 = 5000 \Omega = 5 \text{ k}\Omega$$

となる (図 2)。 $5 \text{ k}\Omega$ と $1.25 \text{ k}\Omega$ の 2 つの抵抗は並列接続しており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{5000} + \frac{1}{1250} = \frac{1}{1000} \text{ S}$$

であり、式 (2.1) から抵抗値は $1 \text{ k}\Omega$ である (図 3)。 250Ω と $1 \text{ k}\Omega$ は直列接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$1000 + 250 = 1250 \Omega = 1.25 \text{ k}\Omega$$

となる (図 4)。電圧源の起電力から合成抵抗における電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$10 = (1.25 \times 10^3)I$$

となり、

$$I = \frac{10}{1.25 \times 10^3} = 8 \times 10^{-3} = 8 \text{ mA}$$

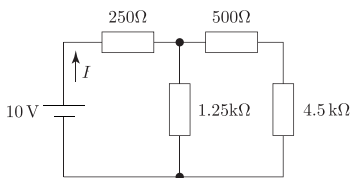


図 1

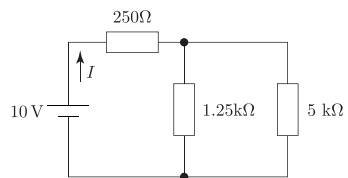


図 2

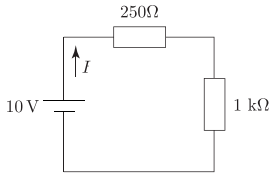


図 3

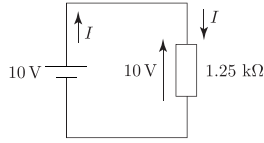


図 4

(f) $10\ \Omega$ 、 $40\ \Omega$ と $50\ \Omega$ の 3 つの抵抗からなる Δ 結線と等価な Y 結線を構成する 3 つの抵抗の抵抗値は式 (2.6) からそれぞれ

$$\frac{10 \cdot 40}{10 + 40 + 50} = 4\ \Omega, \quad \frac{40 \cdot 50}{10 + 40 + 50} = 20\ \Omega, \quad \frac{50 \cdot 10}{10 + 40 + 50} = 5\ \Omega$$

となる (図 2)。 $5\ \Omega$ と $3\ \Omega$ 、 $20\ \Omega$ と $4\ \Omega$ の抵抗はそれぞれ直列に接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値はそれぞれ

$$5 + 3 = 8\ \Omega, \quad 20 + 4 = 24\ \Omega$$

である (図 3)。 $8\ \Omega$ と $24\ \Omega$ の 2 つの抵抗は並列に接続しており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{8} + \frac{1}{24} = \frac{1}{6}\ \text{S}$$

であり、抵抗値は式 (2.1) から $6\ \Omega$ となる (図 4)。 $4\ \Omega$ と $6\ \Omega$ の抵抗は直列接続であり、式 (2.4) から合流抵抗の抵抗値は

$$4 + 6 = 10\ \Omega$$

となる (図 5)。電圧源の起電力から合成抵抗における電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$10 = 10I$$

となり

$$I = \frac{10}{10} = 1\ \text{A}$$

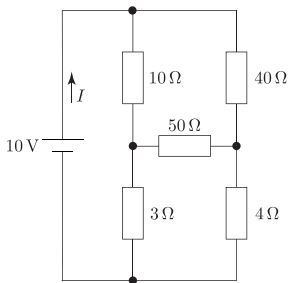


図 1

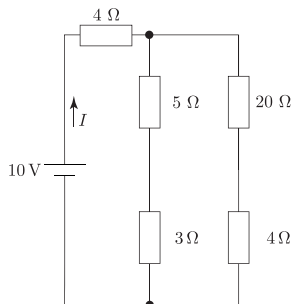


図 2

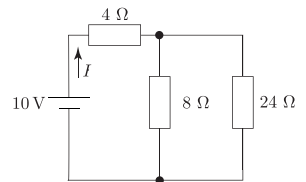


図 3

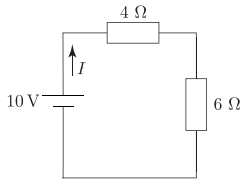


図 4

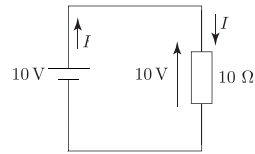


図 5

(g) 起電力 15 V の電圧源と 250 Ω の抵抗は直列に接続されており、接続の順番を入れ替えてもこれらの素子に流れる電流に変化はない (図 2)。500 Ω と 250 Ω の 2 つの抵抗は直列に接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$500 + 250 = 750 \Omega$$

となる。直列に接続している起電力 30 V と 15 V の電圧源は起電力 45 V の電圧源と等価になる (図 3)。合成抵抗における電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$45 = 750I$$

となり

$$I = \frac{45}{750} = 60 \times 10^{-3} = 60 \text{ mA}$$

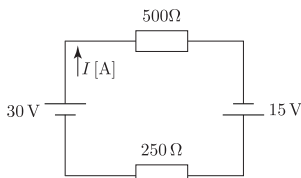


図 1

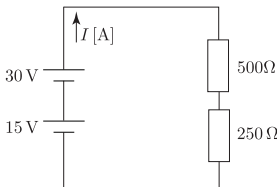


図 2

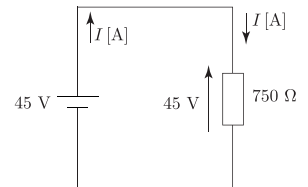


図 3

(h) 電流値 40 mA の電流源と 300 Ω の抵抗は並列に接続されており、接続の順番を入れ替えてもこれらの素子にかかる電圧に変化はない (図 2)。300 Ω と 150 Ω の 2 つの抵抗は並列に接続しており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{300} + \frac{1}{150} = \frac{1}{100} \text{ S}$$

であり、式 (2.1) から抵抗値は 100 Ω となる。並列に接続している電流値 15 mA と 40 mA の電流源は電流値 55 mA の電流源と等価になる (図 3)。合成抵抗における電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$V = 100 \cdot (55 \times 10^{-3}) = 5.5 \text{ V}$$

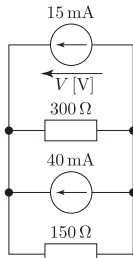


図 1

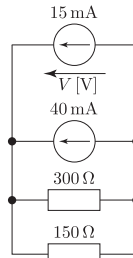


図 2

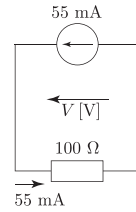


図 3

□

問 9 の解答.

(a) 直列に接続している 100Ω の抵抗と起電力 10 V の電圧源に対して電源の等価変換を適用する。電流源の電流値 $J \text{ [A]}$ は式 (2.10) から

$$10 = 100J$$

を満足し、 $J = 10/100 = 0.1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$ となる (図 2)。 400Ω と 100Ω は並列接続しており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{400} + \frac{1}{100} = \frac{1}{80} \text{ S}$$

であり、式 (2.1) から抵抗値は 80Ω となる。並列に接続している電流値 100 mA と -25 mA の電流源は電流値 75 mA の電流源と等価になる (図 3)。合成抵抗における電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$V = 80 \cdot (75 \times 10^{-3}) = 6 \text{ V}$$

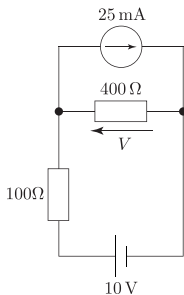


図 1

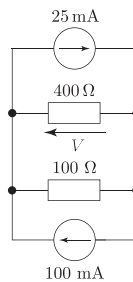


図 2

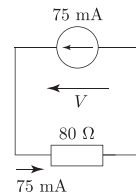


図 3

(b) 直列に接続している 250Ω の抵抗と起電力 10 V の電圧源、 125Ω の抵抗と起電力 20 V の電圧源に対して電源の等価変換を適用する (図 1)。それぞれの電流源の電流値 $J_1, J_2 \text{ [A]}$ は式 (2.10) から

$$10 = 250J_1 \quad 20 = 125J_2$$

の関係を満足し、 $J_1 = 10/250 = 40 \text{ mA}$ 、 $J_2 = 20/125 = 160 \text{ mA}$ となる (図 2)。
 250Ω と 2 つの 125Ω の抵抗は並列接続しており、合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{250} + \frac{1}{125} + \frac{1}{125} = \frac{1}{50} \text{ S}$$

となり、式 (2.1) から抵抗値は 50Ω となる。並列に接続している電流値 40 mA と 160 mA の電流源は電流値 200 mA の電流源と等価になる (図 3)。合成抵抗における電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$V = 50 \cdot (200 \times 10^{-3}) = 10 \text{ V}$$

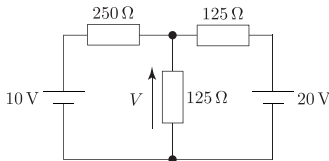


図 1

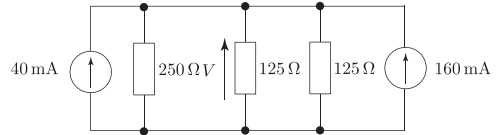


図 2

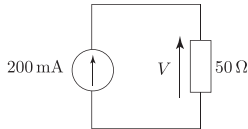


図 3

□

問 10 の解答.

(a) 式 (2.12) から

$$-V_1 = \frac{200}{200 + 100 + 100} 20, \quad V_2 = \frac{100}{200 + 100 + 100} 20$$

となり、 $V_1 = -10 \text{ V}$ 、 $V_2 = 5 \text{ V}$ である。

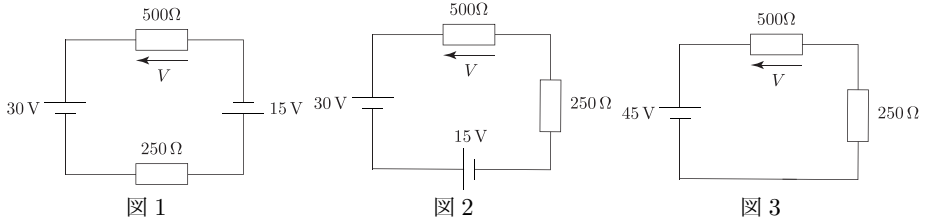
(b) 式 (2.14) から

$$-I_1 = \frac{200^{-1}}{200^{-1} + 250^{-1} + 1000^{-1}} (40 \times 10^{-3}), \quad I_2 = \frac{1000^{-1}}{200^{-1} + 250^{-1} + 1000^{-1}} (40 \times 10^{-3})$$

となり、 $I_1 = -20 \text{ mA}$ 、 $I_2 = 4 \text{ mA}$ である。

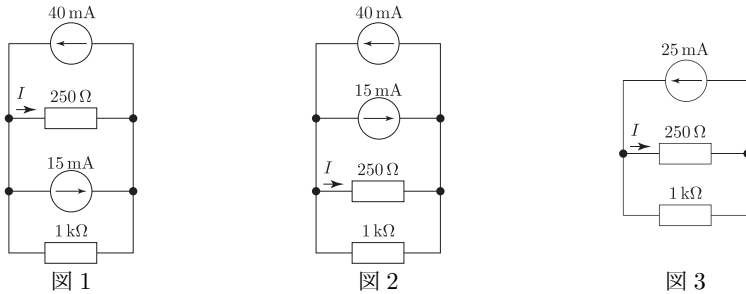
(c) 起電力 15 V の電圧源と 250Ω の抵抗は直列に接続されており (図 1)、接続の順番を入れ替えてもこれらの素子に流れる電流に変化せず、 500Ω の抵抗の電圧も変化しない (図 2)。直列に接続している起電力 30 V と 15 V の電圧源は起電力 45 V の電圧源と等価になる (図 3)。式 (2.12) から

$$V = \frac{500}{500 + 250} 45 = 30 \text{ V}$$



(d) 電流値-15 mA の電流源と 250 Ω の抵抗は並列に接続されており (図 1)、接続の順番を入れ替えてもこれらの素子にかかる電圧に変化はせず、250 Ω の抵抗の電流も変化しない (図 2)。並列に接続している電流値 40 mA と-15 mA の電流源は電流値 25 mA の電流源と等価になる (図 3)。式 (2.14) から

$$I = \frac{250^{-1}}{250^{-1} + 1000^{-1}} (25 \times 10^{-3}) = 20 \text{ mA}$$



(e) 直列に接続している 100 Ω の抵抗と起電力 12 V の電圧源に対して電源の等価変換を適用する (図 1)。電流源の電流値 J [A] は式 (2.10) から

$$12 = 100J$$

を満足し、 $J = 12/100 = 0.12 \text{ A} = 120 \text{ mA}$ となる (図 2)。400 Ω と 600 Ω の 2 つの抵抗は直列に接続されており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$400 + 600 = 1000 \text{ Ω} = 1 \text{ kΩ}$$

となる (図 3)。式 (2.14) から

$$I = \frac{250^{-1}}{100^{-1} + 250^{-1} + 1000^{-1}} (120 \times 10^{-3}) = 32 \text{ mA}$$

となる。250 Ω の抵抗の電圧と電流の関係は式 (2.2) で

$$V_0 = 250 \cdot (32 \times 10^{-3}) = 8 \text{ V}$$

となり (図 4)、式 (2.12) から

$$V = \frac{600}{400 + 600} 8 = 4.8 \text{ V}$$

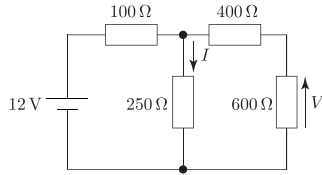


図 1

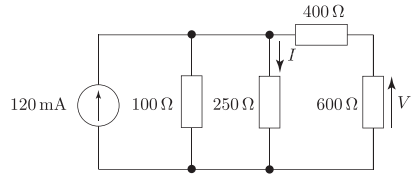


図 2

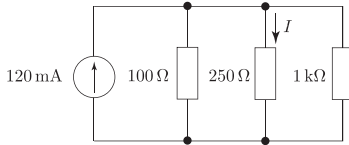


図 3

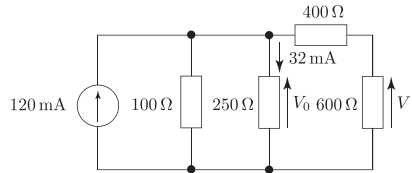


図 4

(f) $10\ \Omega$ 、 $40\ \Omega$ と $50\ \Omega$ を構成する Δ 結線を等価な Y 結線に置き換える (図 1)。式 (2.6) から等価な Y 結線を構成する抵抗の抵抗値は

$$\frac{10 \cdot 40}{10 + 40 + 50} = 4\ \Omega, \quad \frac{40 \cdot 50}{10 + 40 + 50} = 20\ \Omega, \quad \frac{50 \cdot 10}{10 + 40 + 50} = 5\ \Omega$$

となる (図 2)。 $5\ \Omega$ と $3\ \Omega$ 、 $20\ \Omega$ と $4\ \Omega$ の抵抗はそれぞれ直列に接続しており、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値はそれぞれ

$$5 + 3 = 8\ \Omega, \quad 20 + 4 = 24\ \Omega$$

である。直列に接続している $4\ \Omega$ の抵抗と起電力 $10\ \text{V}$ の電圧源に対して電源の等価変換を適用する。電流源の電流値 $J\ [\text{A}]$ は式 (2.10) から

$$10 = 4J$$

の関係を満足し、 $J = 2.5\ \text{A}$ である (図 3)。 $4\ \Omega$ の抵抗に流れる電流 $I_0\ [\text{A}]$ は式 (2.14) から

$$I_0 = \frac{4^{-1}}{4^{-1} + 8^{-1} + 24^{-1}} 2.5 = 1.5\ \text{A}$$

となる。 $4\ \Omega$ の抵抗の電圧 $V_0\ [\text{V}]$ は式 (2.2) から

$$V_0 = 4 \cdot 1.5 = 6\ \text{V}$$

である。 $3\ \Omega$ と $4\ \Omega$ の抵抗の電圧をそれぞれ V_1 と $V_2\ [\text{V}]$ とすると、式 (2.12) から

$$V_1 = \frac{3}{5+3} 6 = \frac{9}{4}\ \text{V}, \quad V_2 = \frac{4}{20+4} 6 = 1\ \text{V}$$

となる (図 4)。 $V_1 = V_2 + V$ から

$$V = V_1 - V_2 = \frac{5}{4}\ \text{V}$$

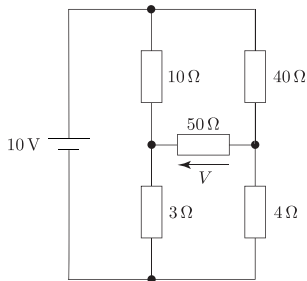


図 1

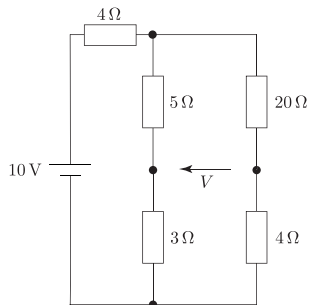


図 2

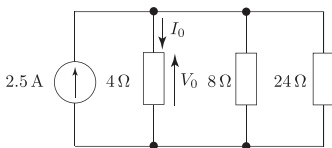


図 3

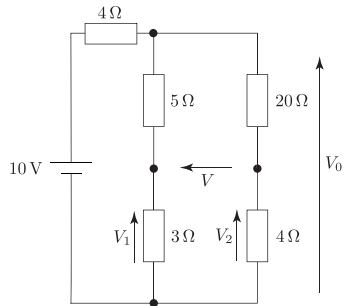


図 4

□

問 11 の解答.

例題 2.30 で、分圧比

$$R_m : R_n = 50 \text{ mV} : 4.95 \text{ V}$$

と $R_m = 50 \Omega$ となり、倍率器の抵抗値は $4.95 \text{ k}\Omega$ となる。

□

問 12 の解答.

ブリッジ回路の平衡条件 (2.15) から

$$R = \frac{20 \cdot 15}{10} = 30 \Omega$$

□

3 章 回路解析手法

問 1 の解答.

(a) 起電力 24 V の電圧源のみで駆動したとき、 4Ω の抵抗に流れる電流を I_1 とする (図 1)。電源の等価変換を適用すると、 6Ω の抵抗が直列に接続された起電力 24

V の電圧源は、6 Ω の抵抗が並列に接続された電流値 4 A の電流源となる (図 2)。分流比 (2.14) から

$$I_1 = \frac{4^{-1}}{6^{-1} + 4^{-1} + 12^{-1}} 4 = 2 \text{ A}$$

起電力 12 V の電圧源のみで駆動したとき、4 Ω の抵抗に流れる電流を I_2 とする (図 3)。電源の等価変換を適用すると、12 Ω の抵抗が直列に接続された起電力 12 V の電圧源は、12 Ω の抵抗が並列に接続された電流値 1 A の電流源となる (図 4)。分流比 (2.14) から

$$I_2 = \frac{4^{-1}}{6^{-1} + 4^{-1} + 12^{-1}} 1 = 0.5 \text{ A}$$

重ね合わせの原理から、4 Ω の抵抗に流れる電流は

$$I = I_1 + I_2 = 2 + 0.5 = 2.5 \text{ A}$$

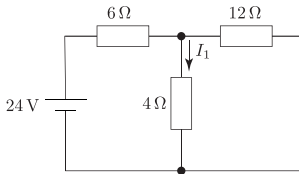


図 1

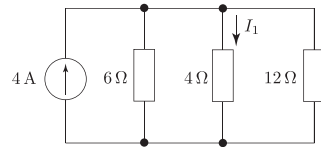


図 2

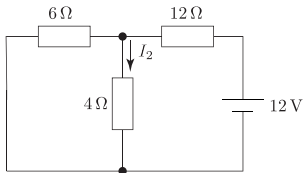


図 3

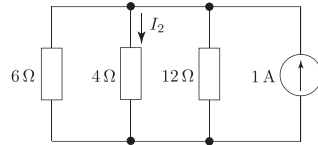


図 4

(b) 2 つの 2 Ω の並列に接続している抵抗を合成すると、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

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

であり、式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は 1 Ω となる (図 1)。電流源 6 A で駆動したとき、1 Ω の抵抗の電圧を V_1 とする (図 2)。電流値 6 A の電流源のみで駆動したとき、4 Ω の抵抗が電流源に並列に接続されている。電源の等価変換を適用すると、起電力 24 V の電圧源と直列に接続された 4 Ω の抵抗となる (図 3)。分圧比 (2.12) から

$$V_1 = \frac{1}{4 + 1 + 1} 24 = 4 \text{ V}$$

電圧源 12 V で駆動したとき、1 Ω の抵抗の電圧を V_2 とする (図 4)。分圧比 (2.12) から

$$V_2 = \frac{1}{4 + 1 + 1} 18 = 3 \text{ V}$$

重ね合わせの理から、1 Ω の抵抗にかかる電圧は

$$V = V_1 + V_2 = 4 + 3 = 7 \text{ V}$$

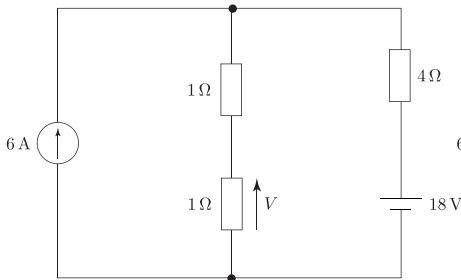


図 1

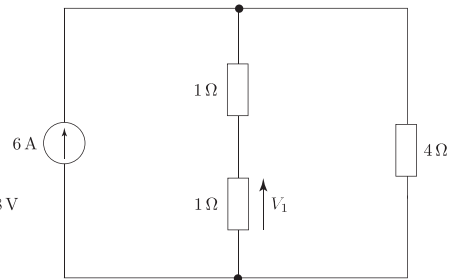


図 2

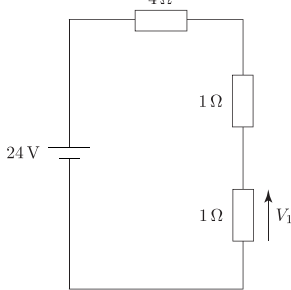


図 3

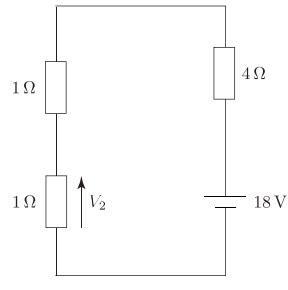


図 4

(c) 電流源 0.72 A で駆動したとき、10 Ω の抵抗の電圧を V_1 とする (図 1)。20 Ω と 30 Ω の 2 つの抵抗は並列に接続しており、合成抵抗のコンダクタンスは式 (2.5) から

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{1}{12} \text{ S}$$

である。式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は 12 Ω となる (図 2)。電流値 0.72 A の電流源と並列に接続した 50 Ω の抵抗に電源の等価変換を適用すると、式 (2.10) から

$$E = 50 \times 0.72 = 36 \text{ V}$$

の電圧源と直列に接続された 50 Ω の抵抗と等価になる (図 3)。分圧比 (2.12) から

$$V_1 = \frac{10}{50 + 12 + 10} 36 = 5 \text{ V}$$

起電力 48 V の電圧源で駆動したとき、10 Ω の抵抗の電圧を V_2 とする (図 4)。10 Ω と 50 Ω の 2 つの抵抗は直列に接続しており、合成抵抗の抵抗値は式 (2.4) から

$$10 + 50 = 60 \Omega$$

となる。60 Ω と 30 Ω の抵抗は並列に接続されており、合成抵抗のコンダクタンスは式 (2.5) から

$$\frac{1}{60} + \frac{1}{30} = \frac{1}{20} \text{ S}$$

であり、式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は 20 Ω となる (図 5)。10 Ω と 50 Ω の直列接続にかかる電圧 V_0 は分圧比 (2.12) から

$$V_0 = \frac{20}{20 + 20} 48 = 24 \text{ V}$$

であり

$$V_2 = \frac{10}{10 + 50} 24 = 4 \text{ V}$$

となる。重ね合わせの理から、10 Ω の抵抗にかかる電圧は

$$V = V_1 + V_2 = 5 + 4 = 9 \text{ V}$$

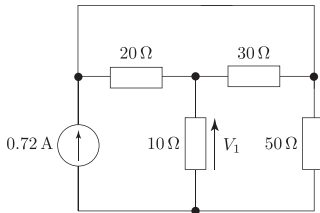


図 1

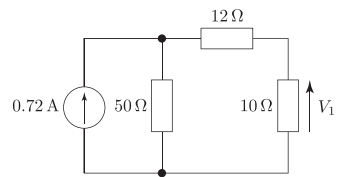


図 2

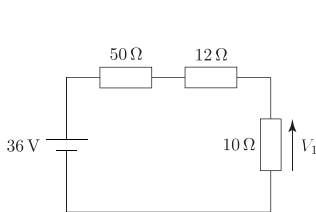


図 3

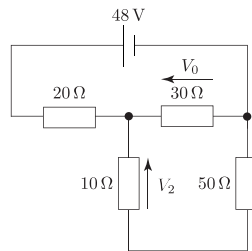


図 4

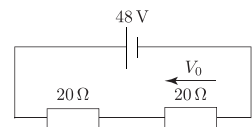


図 5

□

問 2 の解答.

(a) 電圧源の起電力をゼロにし、端子 A-B 間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 1)。12 Ω と 36 Ω の抵抗は並列に接続されており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{12} + \frac{1}{36} = \frac{1}{9} \text{ S}$$

である。式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は 9 Ω となる。9 Ω と 24 Ω は直列に接続しており、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = 9 + 24 = 33 \Omega$$

となる。テブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} は端子 A-B 間の電圧であり (図 2)、分圧比 (2.12) から

$$E_{th} = \frac{36}{12 + 36} 12 = 9 \text{ V}$$

となる。

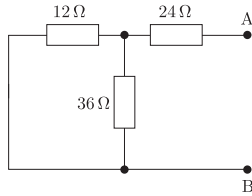


図 1

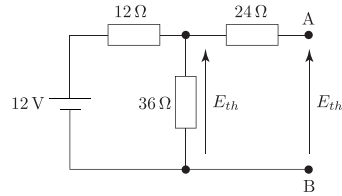


図 2

(b) 電圧源の起電力をゼロにし、端子 A-B 間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる。5 Ω と 20 Ω 、18 Ω と 9 Ω の抵抗はそれぞれ並列に接続されており、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{5} + \frac{1}{20} = \frac{1}{4} \text{ S}, \quad \frac{1}{18} + \frac{1}{9} = \frac{1}{6} \text{ S}$$

である。式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値はそれぞれ 4 Ω と 6 Ω となる。4 Ω と 6 Ω は直列に接続しており、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = 4 + 6 = 10 \Omega$$

となる。テブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} は端子 A-B 間の電圧である。20 Ω と 9 Ω の抵抗にかかる電圧をそれぞれ V_1 と V_2 とすると、分圧比 (2.12) から

$$V_1 = \frac{20}{20 + 5} 12 = 9.6 \text{ V}, \quad V_2 = \frac{9}{9 + 18} 12 = 4 \text{ V}$$

となり、 $V_1 = V_2 + E_{th}$ から

$$E_{th} = V_1 - V_2 = 9.6 - 4 = 5.6 \text{ V}$$

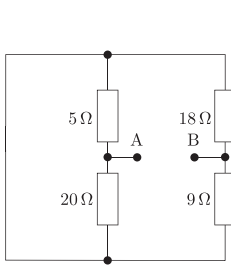


図 1

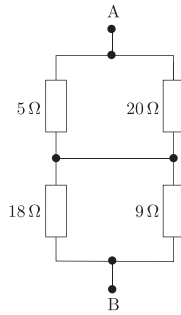


図 2

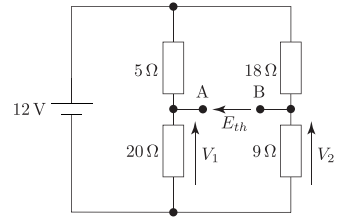


図 3

(c) 2つの電圧源の起電力をゼロにし、端子 A-B 間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 1)。6 Ω と 3 Ω の抵抗はそれぞれ並列に接続されており式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1}{2} \text{ S}$$

である。式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は 2 Ω となる。2つの 2 Ω の抵抗は直列に接続しており、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = 2 + 2 = 4 \Omega$$

となる。テブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} は端子 A-B 間の電圧である (図 2)。3 Ω の抵抗にかかる電圧を V_1 とすると、分圧比 (2.12) から

$$V_1 = \frac{3}{6+3}(18-6) = 4 \text{ V}$$

となり

$$E_{th} = 6 + V_1 = 10 \text{ V}$$

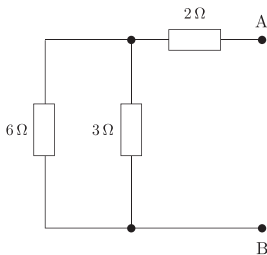


図 1

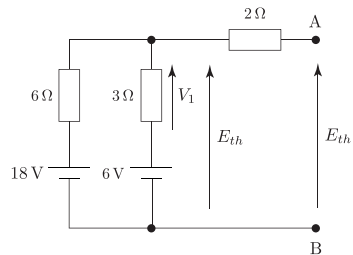


図 2

(d) 2つの電圧源の起電力をゼロにし、端子 A-B 間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 1)。4 Ω と 6 Ω は直列に接続しており、合成抵抗の抵抗値は

$$4 + 6 = 10 \Omega$$

となる。2つの $10\ \Omega$ の抵抗は並列に接続されており式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{1}{5}\ \text{S}$$

である。式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は $5\ \Omega$ となる。2つの $5\ \Omega$ の抵抗は直列に接続しており、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = 5 + 5 = 10\ \Omega$$

となる。テブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} は端子 A-B 間の電圧である (図 2)。 $10\ \Omega$ の抵抗にかかる電圧を V_1 とすると、分圧比 (2.12) から

$$V_1 = \frac{10}{6 + 4 + 10}(12 - 8) = 2\ \text{V}$$

となり

$$E_{th} = 8 + V_1 = 10\ \text{V}$$

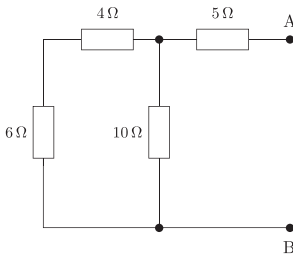


図 1

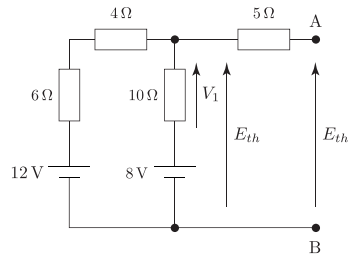


図 2

(e) 電圧源の起電力をゼロ、電流源の電流値をゼロにし、端子 A-B 間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 1)。 $1\ \Omega$ と $4\ \Omega$ は直列に接続しており、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = 1 + 4 = 5\ \Omega$$

となる。テブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} は端子 A-B 間の電圧である (図 2)。起電力 $18\ \text{V}$ の電圧源で駆動したとき、端子 A-B 間の電圧を V_1 とすると、 $V_1 = 18\ \text{V}$ となる (図 3)。電流値 $6\ \text{A}$ の電流源で駆動したとき、端子 A-B 間の電圧を V_2 とすると、 $4\ \Omega$ の抵抗におけるオームの法則 (2.2) から

$$V_2 = 4 \cdot 6 = 24\ \text{V}$$

となる (図 4)。重ね合わせの理から

$$E_{th} = V_1 + V_2 = 18 + 24 = 42\ \text{V}$$

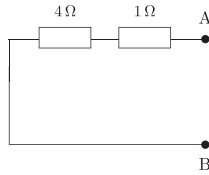


図 1

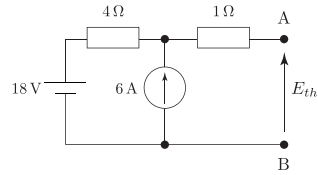


図 2

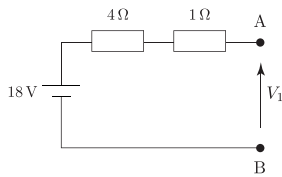


図 3

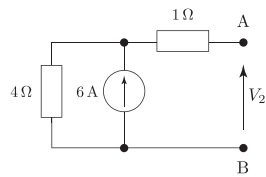


図 4

□

問 3 の解答.

(a) $1\ \Omega$ の負荷抵抗を取り外した電源回路のテブナン等価回路を調べる (図 1)。電圧源の起電力 E [V] をゼロにし、負荷抵抗が接続されていた 2 つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 2)。2 つの $1\ \Omega$ の抵抗は並列に接続されており (図 3)、合成抵抗のコンダクタンスは式 (2.5) から

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

である。合成抵抗の抵抗値は $1/2\ \Omega$ となる。2 つの $1/2\ \Omega$ の抵抗は直列に接続し、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1\ \Omega$$

となる。負荷抵抗の接続されていた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} である (図 4)。 $1\ \Omega$ の抵抗にかかる電圧をそれぞれ V_1 と V_2 とすると、分圧比 (2.12) から

$$V_1 = \frac{1}{1+1}E = \frac{E}{2}\ [\text{V}], \quad V_2 = \frac{1}{1+1}E = \frac{E}{2}\ [\text{V}]$$

となり、 $V_1 = V_2 + E_{th}$ から

$$E_{th} = V_1 - V_2 = \frac{E}{2} - \frac{E}{2} = 0\ \text{V}$$

図 5 から、テブナン等価回路に接続した負荷抵抗に流れる電流 I [A] は

$$I = \frac{E_{th}}{R_{th} + 1} = \frac{0}{1 + 1} = 0\ \text{A}$$

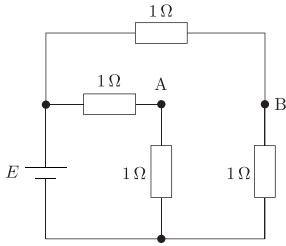


図 1

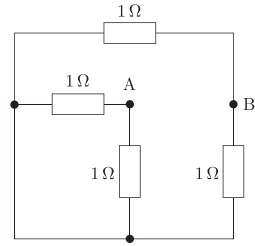


図 2

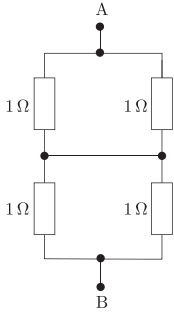


図 3

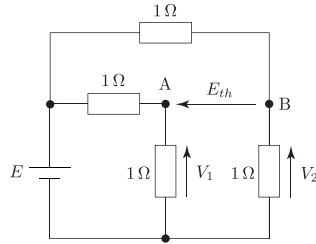


図 4

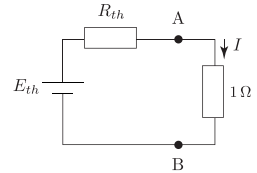


図 5

(b) $1\ \Omega$ の負荷抵抗を取り外した電源回路のテブナン等価回路を調べる (図 1)。電圧源の起電力 E [V] をゼロにし、負荷抵抗が接続されていた 2 つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 2)。 $1\ \Omega$ と $3\ \Omega$ の抵抗は並列に接続されており (図 3)、合成抵抗のコンダクタンスは式 (2.5) から

$$\frac{1}{1} + \frac{1}{3} = \frac{4}{3}\ \text{S}$$

である。合成抵抗の抵抗値は $3/4\ \Omega$ となる。2 つの $3/4\ \Omega$ の抵抗は直列に接続し、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = \frac{3}{4} + \frac{3}{4} = \frac{3}{2}\ \Omega$$

となる。負荷抵抗の接続されていた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} である (図 4)。 $1\ \Omega$ の抵抗にかかる電圧をそれぞれ V_1 と V_2 とすると、分圧比 (2.12) から

$$V_1 = \frac{3}{1+3}E = \frac{3}{4}E\ [\text{V}], \quad V_2 = \frac{1}{3+1}E = \frac{1}{4}E\ [\text{V}]$$

となり、 $V_1 = V_2 + E_{th}$ から

$$E_{th} = V_1 - V_2 = \frac{3}{4}E - \frac{1}{4}E = \frac{E}{2}\ \text{V}$$

図 5 から、テブナン等価回路に接続した負荷抵抗に流れる電流 I [A] は

$$I = \frac{E_{th}}{R_{th} + 1} = \frac{E/2}{3/2 + 1} = \frac{E}{5}\ \text{A} = 0.2E\ \text{A}$$

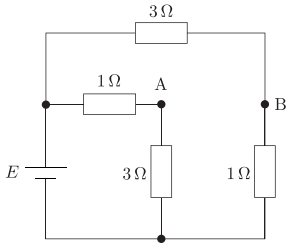


図 1

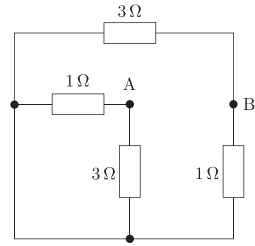


図 2

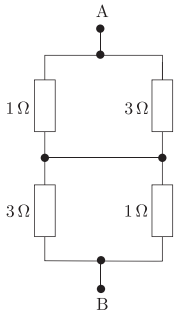


図 3

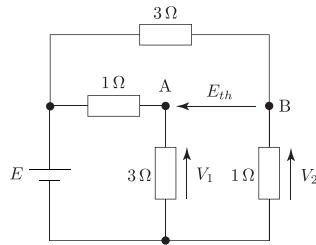


図 4

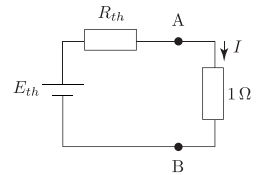


図 5

(c) $4\ \Omega$ の負荷抵抗を取り外した電源回路のテブナン等価回路を調べる (図 1)。2つの電圧源の起電力 E [V] をゼロにし、負荷抵抗が接続されていた2つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 2)。6 Ω と 12 Ω の抵抗は並列に接続されており式 (2.5) から抵抗 R_{th} のコンダクタンスは

$$\frac{1}{R_{th}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{1}{4}\ \text{S}$$

であり、 $R_{th} = 4\ \Omega$ となる。負荷抵抗の接続されていた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} である (図 3)。12 Ω の抵抗にかかる電圧を V_1 とすると、分圧比 (2.12) から

$$V_1 = \frac{12}{6 + 12}(24 - 12) = 8\ \text{V}$$

となり

$$E_{th} = 12 + V_1 = 20\ \text{V}$$

図 4 から、テブナン等価回路に接続した負荷抵抗に流れる電流 I [A] は

$$I = \frac{E_{th}}{R_{th} + 4} = \frac{20}{4 + 4} = 2.5\ \text{A}$$

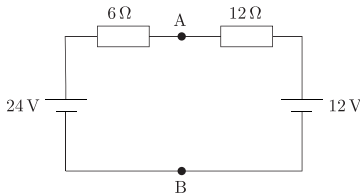


図 1

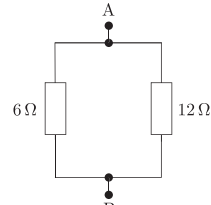


図 2

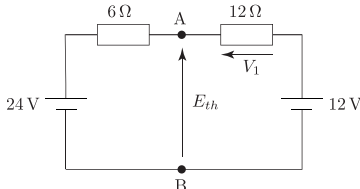


図 3

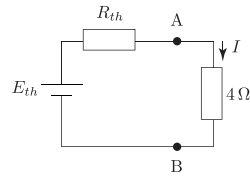


図 4

(d) $1\ \Omega$ の負荷抵抗を取り外した電源回路のテブナン等価回路を調べる (図 1)。電圧源の起電力と電流源の電流値をゼロにし、負荷抵抗が接続されていた 2 つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 2)。2 つの $2\ \Omega$ の抵抗は並列に接続されており式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

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

であり、合成抵抗の抵抗値は式 (2.1) から $1\ \Omega$ となる。 $1\ \Omega$ と $4\ \Omega$ は直列に接続し、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = 1 + 4 = 5\ \Omega$$

となる。負荷抵抗の接続されていた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} である (図 3)。 $6\ \text{A}$ の電流源のみで駆動したとき (図 4)、負荷抵抗が接続されていた端子間電圧 V_1 は $4\ \Omega$ の抵抗における電圧と等しく、オームの法則 (2.2) から

$$V_1 = 4 \cdot 6 = 24\ \text{V}$$

である。 $18\ \text{V}$ の電圧源のみで駆動したとき (図 5)、負荷抵抗が接続されていた端子間電圧を V_2 とすると、全ての抵抗に流れる電流はゼロであり、電圧降下はないため

$$V_2 = 18\ \text{V}$$

である。重ね合わせの理から

$$E_{th} = V_1 + V_2 = 24 + 18 = 42\ \text{V}$$

となる。図 6 から、テブナン等価回路に接続した負荷抵抗にかかる電圧 V [A] は分圧比 (2.12) から

$$V = \frac{1}{1 + R_{th}} E_{th} = \frac{1}{1 + 5} 42 = 7 \text{ V}$$

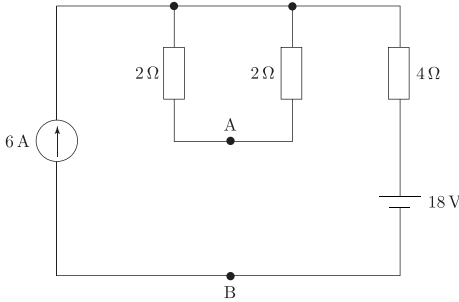


図 1

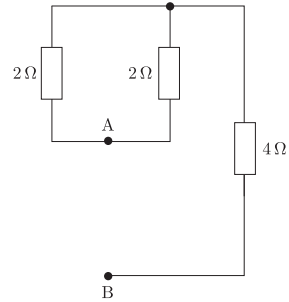


図 2

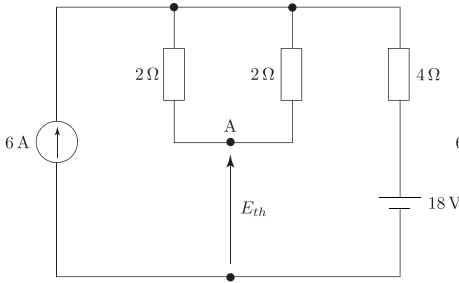


図 3

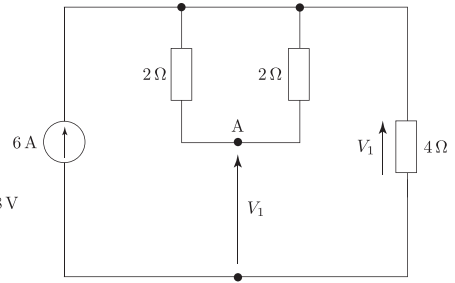


図 4

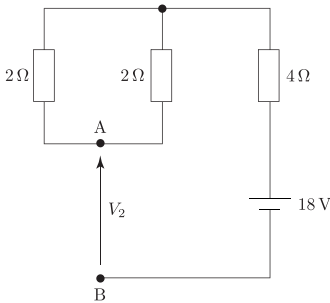


図 5

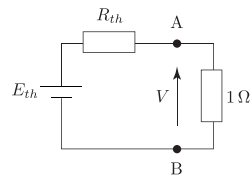


図 6

(e) 10Ω の負荷抵抗を取り外した電源回路のテブナン等価回路を調べる (図 1)。電圧源の起電力と電流源の電流値をゼロにし、負荷抵抗が接続されていた 2 つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 2)。2 つの 2Ω の抵抗は並列に接続されており式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{1}{12} \text{ S}$$

であり、合成抵抗の抵抗値は式 (2.1) から 12Ω となる。 12Ω と 50Ω の 2 つの抵抗は直列接続し、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = 12 + 50 = 62 \Omega$$

となる。負荷抵抗の接続されていた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} である (図 3)。0.72 A の電流源のみで駆動したとき (図 4)、負荷抵抗が接続されていた端子間電圧 V_1 は 50Ω の抵抗における電圧と等しく、オームの法則 (2.2) から

$$V_1 = 50 \cdot 0.72 = 36 \text{ V}$$

である。48 V の電圧源のみで駆動したとき (図 5)、負荷抵抗が接続されていた端子間電圧を V_2 とする。 50Ω の抵抗に流れる電流はゼロであり、電圧降下はない。分圧比 (2.12) から

$$V_2 = \frac{30}{20 + 30} 48 = 28.8 \text{ V}$$

である。重ね合わせの理から

$$E_{th} = V_1 + V_2 = 36 + 28.8 = 64.8 \text{ V}$$

となる。図 6 から、テブナン等価回路に接続した負荷抵抗にかかる電圧 V [A] は分圧比 (2.12) から

$$V = \frac{10}{10 + R_{th}} E_{th} = \frac{10}{10 + 62} 64.8 = 9 \text{ V}$$

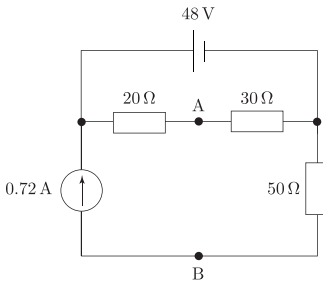


図 1

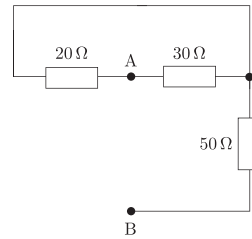


図 2

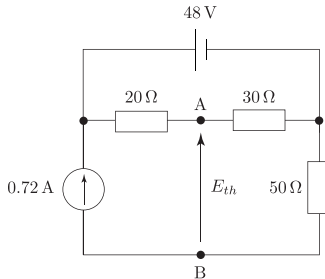


図 3

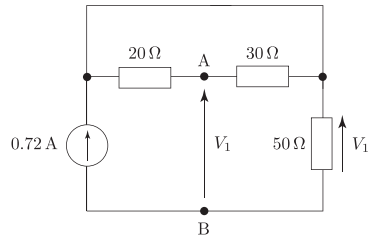


図 4

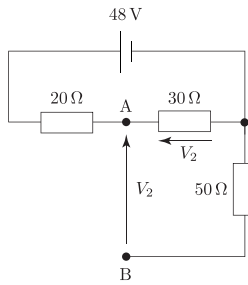


図 5

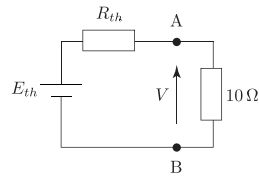


図 6

□

問 4 の解答.

(1) 問題文から $E_{th} = 3 \text{ V}$ 、 $R_{th} = 0.2 \text{ } \Omega$ であり、式 (3.12) から

$$P_{\max} = \frac{3^2}{4 \cdot 0.2} = 11.25 \text{ W}$$

(2) 問題文から $E_{th} = 4.8 \text{ V}$ 、 $R_{th} = 0.2 \text{ } \Omega$ であり、式 (3.12) から

$$P_{\max} = \frac{4.8^2}{4 \cdot 0.2} = 28.8 \text{ W}$$

(3) $0.1 \text{ } \Omega$ と $0.2 \text{ } \Omega$ の 2 つの抵抗が並列に接続し、合成抵抗が R_{th} である (図 2)。式 (2.5) から

$$\frac{1}{R_{th}} = \frac{1}{0.1} + \frac{1}{0.2} = 15 \text{ S}$$

であり、 $R_{th} = 1/15 \text{ } \Omega$ となる。 $0.2 \text{ } \Omega$ の抵抗にかかる電圧 V は分圧比 (2.12) から

$$V = \frac{0.2}{0.1 + 0.2}(3 + 2.4) = 3.6 \text{ V}$$

となる (図 3)。問題文のテブナン等価回路の起電力は

$$E_{th} = V - 3 = 3.6 - 3 = 0.6 \text{ V}$$

となる。式 (3.12) から

$$P_{\max} = \frac{0.6^2}{4 \cdot 1/15} = 1.35 \text{ W}$$

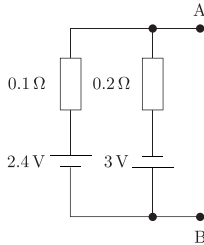


図 1

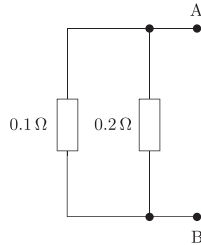


図 2

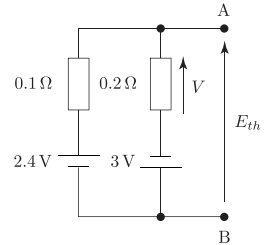


図 3

□

問 5 の解答.

(a) 負荷抵抗を取り外した電源回路のテブナン等価回路を考える。電圧源の起電力をゼロにし、負荷抵抗が接続されていた 2 つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 1)。12 Ω と 36 Ω の 2 つの抵抗が並列接続し、合成抵抗のコンダクタンスは式 (2.5) から

$$\frac{1}{12} + \frac{1}{36} = \frac{1}{9} \text{ S}$$

である。合成抵抗の抵抗値は式 (2.1) から 9 Ω となる。9 Ω と 24 Ω は直列に接続しており、合成抵抗が R_{th} となる。式 (2.4) から

$$R_{th} = 9 + 24 = 33 \text{ } \Omega$$

である。負荷抵抗の接続されていた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} である (図 2)。分圧比 (2.12) から

$$E_{th} = \frac{36}{12 + 36} 12 = 9 \text{ V}$$

となる。 $R = R_{th} = 33 \text{ } \Omega$ のとき整合し、負荷抵抗での消費電力は最大となる (図 3)。式 (3.12) から

$$P_{\max} = \frac{9^2}{4 \cdot 33} = \frac{27}{44} \text{ W} = 614 \text{ mW}$$

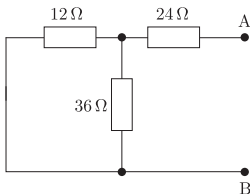


図 1

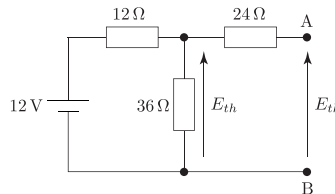


図 2

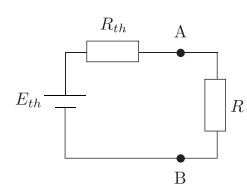


図 3

(b) 負荷抵抗を取り外した電源回路のテブナン等価回路を考える。電圧源の起電力をゼロにし、負荷抵抗が接続されていた2つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図1)。20 Ω と 5 Ω、18 Ω と 9 Ω の抵抗がそれぞれ並列接続し、合成抵抗のコンダクタンスは式 (2.5) から

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{5} = \frac{1}{4} \text{ S}, \quad \frac{1}{18} + \frac{1}{9} = \frac{1}{6} \text{ S}$$

となる (図2)。式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値はそれぞれ 4 Ω と 6 Ω となる。4 Ω と 6 Ω は直列に接続しており、合成抵抗が R_{th} となる。式 (2.4) から

$$R_{th} = 4 + 6 = 10 \text{ } \Omega$$

である。負荷抵抗の接続されていた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} である (図3)。20 Ω と 9 Ω の抵抗にかかる電圧をそれぞれ V_1 と V_2 とすると、分圧比 (2.12) から

$$V_1 = \frac{20}{5+20} 12 = 9.6 \text{ V}, \quad V_2 = \frac{9}{18+9} 12 = 4 \text{ V}$$

となり、 $V_1 = V_2 + E_{th}$ から

$$E_{th} = V_1 - V_2 = 9.6 - 4 = 5.6 \text{ V}$$

である。 $R = R_{th} = 10 \text{ } \Omega$ のとき整合し、負荷抵抗での消費電力は最大となる (図4)。式 (3.12) から

$$P_{\max} = \frac{5.6^2}{4 \cdot 10} = 784 \text{ mW}$$

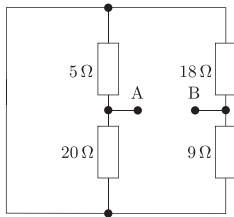


図 1

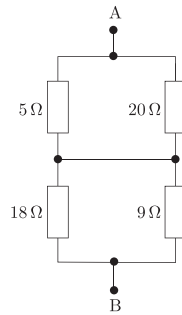


図 2

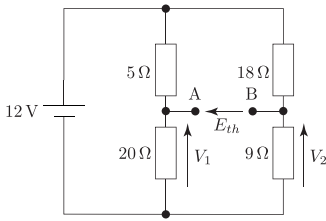


図 3

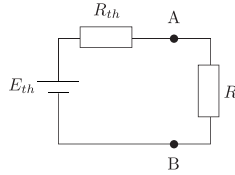


図 4

(c) 負荷抵抗を取り外した電源回路のテブナン等価回路を考える。2つの電圧源の起電力をゼロにし、負荷抵抗が接続されていた2つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図 1)。6 Ω と 4 Ω の2つの抵抗は直列接続し、式 (2.4) から合成抵抗の抵抗値は

$$6 + 4 = 10 \Omega$$

となる。2つの 10 Ω の抵抗は並列に接続し、合成抵抗のコンダクタンスは式 (2.5) から

$$\frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{1}{5} \text{ S}$$

であり、式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は 5 Ω となる。2つの 5 Ω の抵抗は直列に接続し、合成抵抗が R_{th} となる。式 (2.4) から

$$R_{th} = 5 + 5 = 10 \Omega$$

である。負荷抵抗の接続されていた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} となる (図 2)。10 Ω の抵抗にかかる電圧 V は分圧比 (2.12) から

$$V = \frac{10}{6 + 4 + 10}(12 + 8) = 10 \text{ V}$$

となり、 $E_{th} = -8 + V = 2 \text{ V}$ である。 $R = R_{th} = 10 \Omega$ のとき整合し、負荷抵抗での消費電力は最大となる (図 3)。式 (3.12) から

$$P_{\max} = \frac{2^2}{4 \cdot 10} = 100 \text{ mW}$$

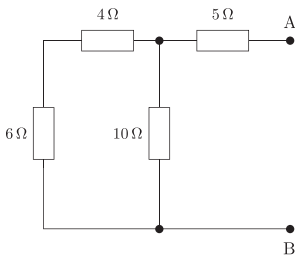


図 1

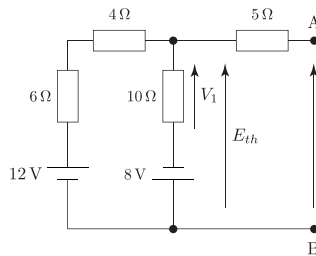


図 2

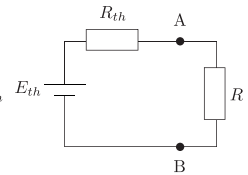


図 3

(d) 負荷抵抗を取り外した電源回路のテブナン等価回路を考える。電圧源の起電力と電流源の電流値をゼロにし、負荷抵抗が接続されていた2つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる (図1)。1 Ω と 4 Ω の抵抗は直列に接続し、合成抵抗が R_{th} となる。式 (2.4) から

$$R_{th} = 1 + 4 = 5 \Omega$$

である。負荷抵抗の接続されていた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} である (図2)。6 A の電流源のみで駆動したとき (図3)、負荷抵抗が接続されていた端子間電圧 V_1 は 4 Ω の抵抗における電圧と等しく、オームの法則 (2.2) から

$$V_1 = 4 \cdot 6 = 24 \text{ V}$$

である。18 V の電圧源のみで駆動したとき (図4)、負荷抵抗が接続されていた端子間電圧 $V_2 = 18 \text{ V}$ となる。重ね合わせの理から

$$E_{th} = V_1 + V_2 = 24 + 18 = 42 \text{ V}$$

となる。 $R = R_{th} = 5 \Omega$ のとき整合し、負荷抵抗での消費電力は最大となる (図5)。式 (3.12) から

$$P_{\max} = \frac{42^2}{4 \cdot 5} = 88.2 \text{ W}$$

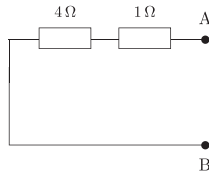


図1

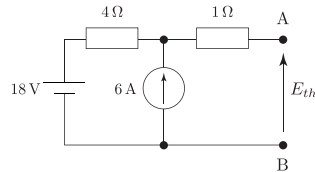


図2

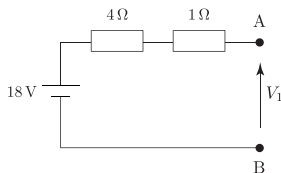


図3

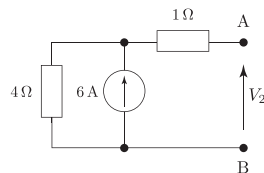


図4

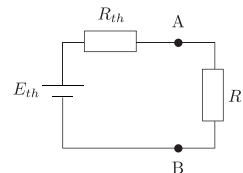


図5

□

4章 蓄エネルギー素子と単エネルギー回路

問1の解答.

コンデンサが電界に蓄えるエネルギーである式 (4.6) に問題のパラメータを代入すると

$$\frac{1}{2}C10^2 = 2 \times 10^{-6}$$

となり、 $C = 40 \times 10^{-9} = 0.04\mu\text{F}$

□

問 2 の解答.

コイルが磁界に蓄えるエネルギーである式 (4.9) に問題のパラメータを代入すると

$$\frac{1}{2}(40 \times 10^{-3}) \cdot (5 \times 10^{-3})^2 = 0.5 \times 10^{-6} = 0.5 \mu\text{J}$$

□

問 3 の解答.

図 4.41 からコンデンサの電圧 v [V] は

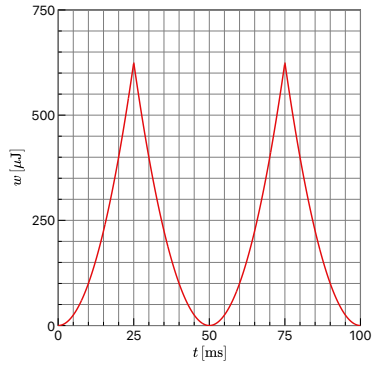
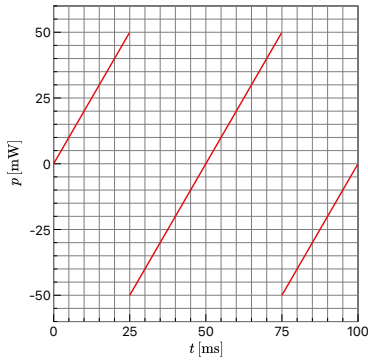
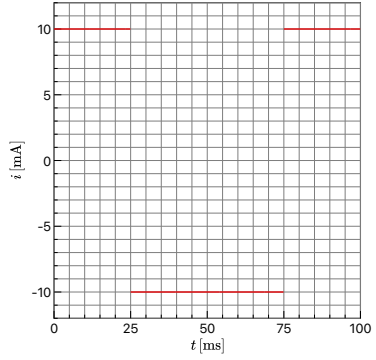
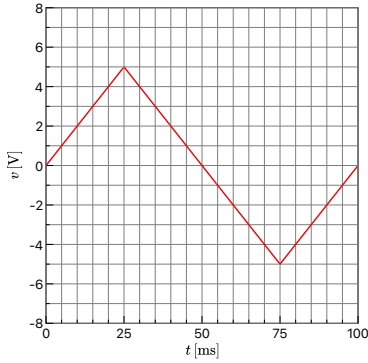
$$v = \begin{cases} 200t \text{ V}, & 0\text{ms} \leq t < 25\text{ms} \\ -200t + 10 \text{ V}, & 25\text{ms} \leq t < 75\text{ms} \\ 200t - 20 \text{ V}, & 75\text{ms} \leq t \leq 100\text{ms} \end{cases}$$

コンデンサの電圧電流特性 (4.2) から

$$i = C \frac{dv}{dt} = \begin{cases} 10 \text{ mA}, & 0\text{ms} \leq t < 25\text{ms} \\ -10 \text{ mA}, & 25\text{ms} \leq t < 75\text{ms} \\ 10 \text{ mA}, & 75\text{ms} \leq t \leq 100\text{ms} \end{cases}$$

コンデンサに供給される電力 p [W] と蓄積するエネルギー w [J] はそれぞれ式 (4.4) と (4.6) から

$$p = \begin{cases} 2t \text{ W} \\ 2t - 0.1 \text{ W} \\ 2t - 0.2 \text{ W} \end{cases} \quad w = \begin{cases} t^2 \text{ J}, & 0\text{ms} \leq t < 25\text{ms} \\ (t - 0.05)^2 \text{ J}, & 25\text{ms} \leq t < 75\text{ms} \\ (t - 0.1)^2 \text{ J}, & 75\text{ms} \leq t \leq 100\text{ms} \end{cases}$$



□

問 4 の解答.

図 4.42 からコイルの電流 i [A] は

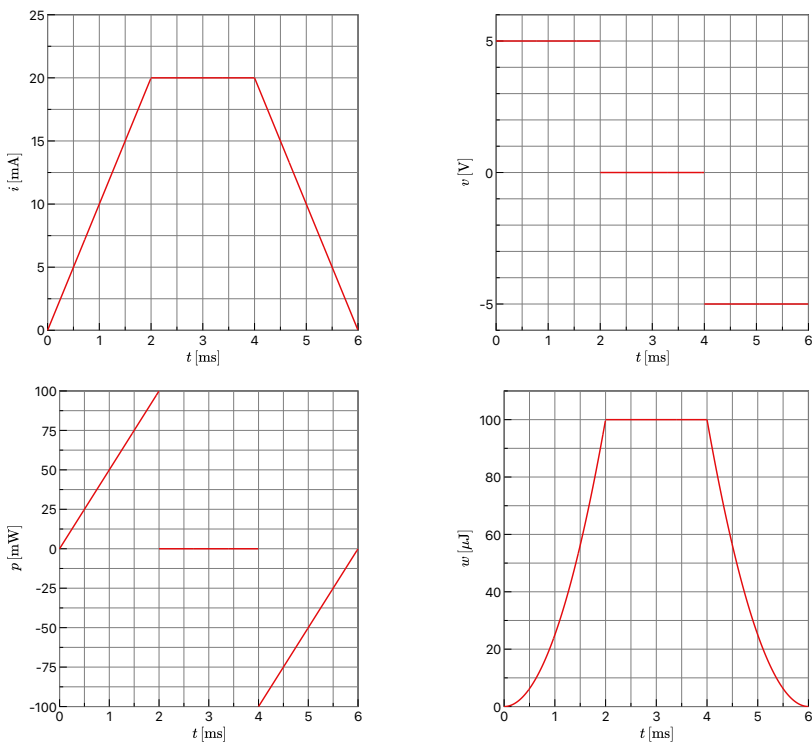
$$i = \begin{cases} 10t \text{ A}, & 0\text{ms} \leq t < 2\text{ms} \\ 20 \text{ mA}, & 2\text{ms} \leq t < 4\text{ms} \\ -10t + 0.06 \text{ A}, & 4\text{ms} \leq t \leq 6\text{ms} \end{cases}$$

コイルの電圧電流特性 (4.7) から

$$v = L \frac{di}{dt} = \begin{cases} 5 \text{ V}, & 0\text{ms} \leq t < 2\text{ms} \\ 0 \text{ V}, & 2\text{ms} \leq t < 4\text{ms} \\ -5 \text{ V}, & 4\text{ms} \leq t \leq 6\text{ms} \end{cases}$$

コイルに供給される電力 p [W] と蓄積するエネルギー w [J] はそれぞれ式 (4.8) と (4.9) から

$$p = \begin{cases} 50t \text{ W} \\ 0 \text{ W} \\ 50t - 0.3 \text{ W} \end{cases} \quad w = \begin{cases} 25t^2 \text{ J}, & 0\text{ms} \leq t < 2\text{ms} \\ 0.1 \text{ mJ}, & 2\text{ms} \leq t < 4\text{ms} \\ 25(t - 0.006)^2 \text{ J}, & 4\text{ms} \leq t \leq 6\text{ms} \end{cases}$$



□

問 5 の解答.

(a) コンデンサを取り外した端子間で合成抵抗を考える (図 1)。5 k Ω と 2.5 k Ω が直列接続し、合成抵抗の抵抗値は式 (2.4) から

$$5 \times 10^3 + 2.5 \times 10^3 = 7.5 \times 10^3 \Omega = 7.5 \text{ k}\Omega$$

である。2.5 k Ω と 7.5 k Ω は並列に接続し、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{2.5 \times 10^3} + \frac{1}{7.5 \times 10^3} = \frac{1}{1875} \text{ S}$$

となり、式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は 1875 Ω である (図 2)。時定数 τ [s] は

$$\tau = 1875 \cdot (50 \times 10^{-6}) = 93.75 \times 10^{-3} = 93.75 \text{ ms}$$

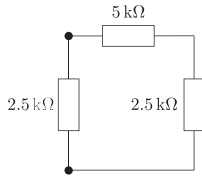


図 1

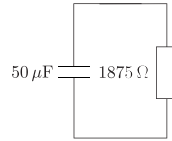


図 2

(b) コイルを取り外した端子間で合成抵抗を考える (図 1)。20 Ω と 30 Ω は並列に接続し、式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{1}{12} \text{ S}$$

となり、式 (2.1) から合成抵抗の抵抗値は 12 Ω である。12 Ω の 2 つの抵抗が直列接続し、合成抵抗の抵抗値は式 (2.4) から

$$12 + 12 = 24 \text{ } \Omega$$

である (図 2)。時定数 τ [s] は

$$\tau = \frac{240 \times 10^{-6}}{24} = 10 \times 10^{-6} \text{ s} = 10 \text{ } \mu\text{s}$$

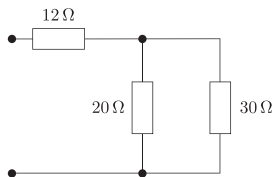


図 1

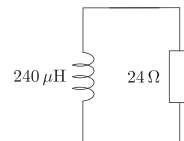


図 2

□

問 6 の解答.

コンデンサを取り外した電源回路のテブナン等価回路を考える (図 1)。電圧源の起電力をゼロにし、コンデンサが接続されていた 2 つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる。100 Ω と 200 Ω の抵抗は並列に接続されており式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{200} = \frac{3}{200} \text{ S}$$

であり、合成抵抗の抵抗値は式 (2.1) から 200/3 Ω となる。200/3 Ω と 300 Ω の 2 つの抵抗は直列接続し、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = \frac{200}{3} + 300 = \frac{1100}{3} \text{ } \Omega$$

となる。コンデンサが接続していた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} であり、分圧比 (2.12) から

$$E_{th} = \frac{200}{100 + 200} 1.5 = 1 \text{ V}$$

となる。定常状態では RC 回路に流れる電流がゼロになり、抵抗での電圧はゼロになるため、コンデンサ電圧は電源電圧 E_{th} と等しくなる (図 2)。したがって、

$$v_{Cs} = E_{th} = 1 \text{ V}$$

であり、時定数は

$$\tau = \frac{1100}{3} \cdot (330 \times 10^{-12}) = 0.121 \times 10^{-6} \text{ s} = 0.121 \mu\text{s}$$

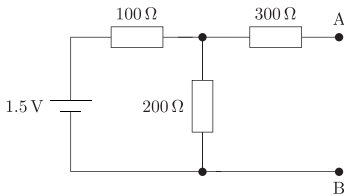


図 1

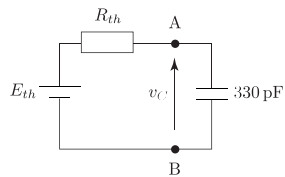


図 2

□

問 7 の解答.

コイルを取り外した電源回路のテブナン等価回路を考える (図 1)。電圧源の起電力をゼロにし、コイルが接続されていた 2 つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる。20 Ω と 60 Ω の抵抗は並列に接続されており式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{60} = \frac{1}{15} \text{ S}$$

であり、合成抵抗の抵抗値は式 (2.1) から 15 Ω となる。15 Ω の 2 つの抵抗は直列接続し、式 (2.4) からテブナン等価回路の抵抗 R_{th} の抵抗値は

$$R_{th} = 15 + 15 = 30 \Omega$$

となる。コイルが接続していた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} であり、分圧比 (2.12) から

$$E_{th} = \frac{60}{20 + 60} 10 = 7.5 \text{ V}$$

となる。定常状態では RL 回路ではコイル電圧はゼロになるため、電源電圧 E_{th} は抵抗 R_{th} の電圧と等しくなる (図 2)。オームの法則 (2.2) から

$$7.5 = 30i_{Ls}$$

となり、 $i_{Ls} = 0.25 \text{ A}$ である。時定数は

$$\tau = \frac{30 \times 10^{-3}}{30} = 1 \times 10^{-3} \text{ s} = 1 \text{ ms}$$

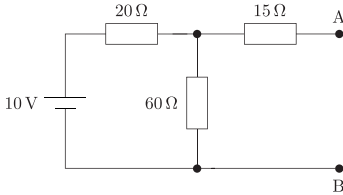


図 1

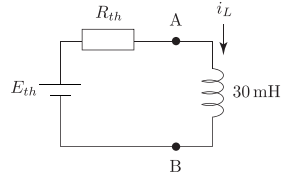


図 2

□

問 8 の解答.

$t < 0$ でスイッチが開いていて十分時間が経過したとき、コンデンサ電圧 v_C は定常値であり、式 (4.2) から

$$i = C \frac{dv_C}{dt} = 0$$

となる。したがって、 120Ω の抵抗に流れる電流もゼロであり、 $t = 0$ で

$$v_C(0) = 24 \text{ V}$$

となる (図 1)。 $t \geq 0$ において、コンデンサを取り外した電源回路のテブナン等価回路を考える (図 2)。電圧源の起電力をゼロにし、コンデンサが接続されていた 2 つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} となる。 120Ω と 240Ω の抵抗は並列に接続されており式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{R_{th}} = \frac{1}{120} + \frac{1}{240} = \frac{1}{80} \text{ S}$$

となり、式 (2.1) から $R_{th} = 80 \Omega$ である。コンデンサが接続していた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} である (図 3)。 240Ω の抵抗に生ずる電圧を V_1 とすると、分圧比 (2.12) から

$$V_1 = \frac{240}{120 + 240} (24 - 8) = \frac{32}{3} \text{ V}$$

となる。 $E_{th} = 8 + V_1$ から

$$E_{th} = 8 + V_1 = \frac{56}{3} \text{ V}$$

となる。テブナン等価回路にコンデンサを負荷として接続した回路は図 4.20 の RC 回路と同じとなり (図 4)、 $t \geq 0$ でコンデンサ電圧 v_C は

$$80 \cdot (330 \times 10^{-6}) \frac{dv_C}{dt} + v_C = \frac{56}{3}, \quad v_C(0) = 24$$

を満足し、式 (4.35) にあわせると

$$\frac{dv_C}{dt} + \frac{1250}{33}v_C = \frac{70000}{99}, \quad v_C(0) = 24$$

となる。式 (4.40) から

$$\begin{aligned} v_C &= \left(24 - \frac{70000}{99} \cdot \frac{33}{1250}\right) \exp\left(-\frac{1250}{33}t\right) + \frac{70000}{99} \cdot \frac{33}{1250} \\ &= \frac{16}{3} \exp\left(-\frac{1250}{33}t\right) + \frac{56}{3} \end{aligned}$$

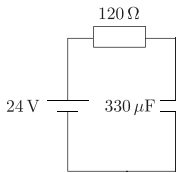


図 1

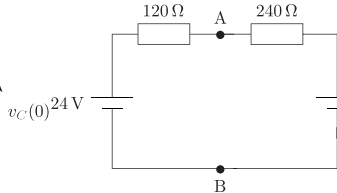


図 2

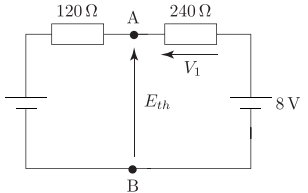


図 3

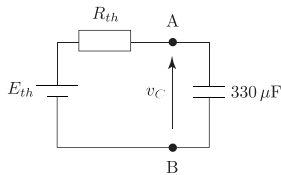


図 4

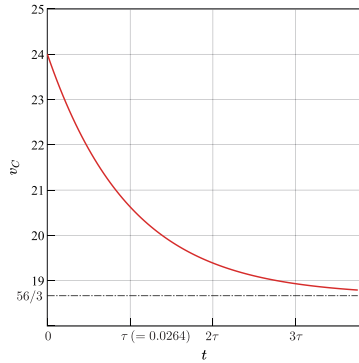


図 5

□

問 9 の解答.

$t < 0$ でスイッチが閉じているとき、コイルを取り外した電源回路のテブナン等価回路を考える (図 1)。電圧源の起電力をゼロにし、コイルが接続されていた 2 つの端子間の合成抵抗の抵抗値が R_{th} であり、並列に接続された 100Ω と 900Ω の抵抗の合成抵抗となる。式 (2.5) から合成抵抗のコンダクタンスは

$$\frac{1}{R_{th}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{900} = \frac{1}{90} \text{ S}$$

であり、合成抵抗の抵抗値は式 (2.1) から $R_{th} = 90 \Omega$ となる。コイルが接続していた端子間の電圧がテブナン等価回路の電圧源の起電力 E_{th} であり、分圧比 (2.12)

から

$$E_{th} = \frac{900}{100 + 900} 24 = 21.6 \text{ V}$$

となる。コイルを負荷に接続したテブナン等価回路が $t < 0$ においてスイッチを閉じてから十分時間が経過したとき、コイルに流れる電流 i_L は定常値となり、式 (4.7) から

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} = 0$$

で、起電力 E_{th} はすべて抵抗 R_{th} にかかる。したがって、オームの法則 (2.2)

$$21.6 = 90 \cdot i_L(0)$$

より、 $i_L(0) = 0.24 \text{ A}$ となる (図 2)。 $t \geq 0$ でスイッチを開くと、図 4.16 の RL 放電回路となり (図 3)、コイル電流 i_L は

$$(10 \times 10^{-3}) \frac{di_L}{dt} + 900i_L = 0, \quad i_L(0) = 0.24$$

を満足し、式 (4.35) にあわせると

$$\frac{di_L}{dt} + 90000i_L = 0, \quad i_L(0) = 0.24$$

となる。式 (4.40) から

$$i_L = \left(0.24 - \frac{0}{90000} \right) \exp(-90000t) + \frac{0}{90000} = 0.24 \exp(-90000t)$$

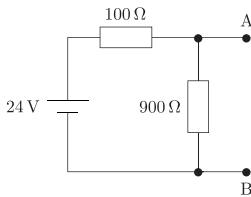


図 1

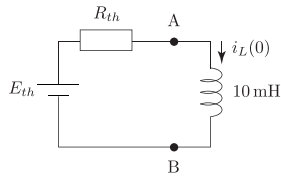


図 2

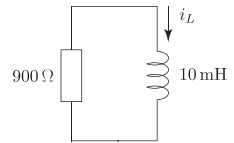
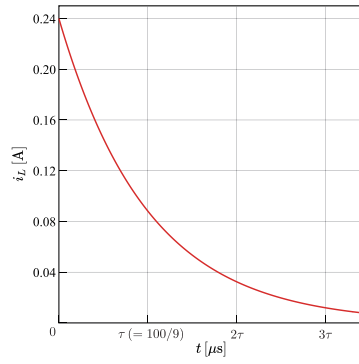


図 3



□