

電気工学2第13回

加算回路，減算回路，アクティブフィルタ，
同相除去比

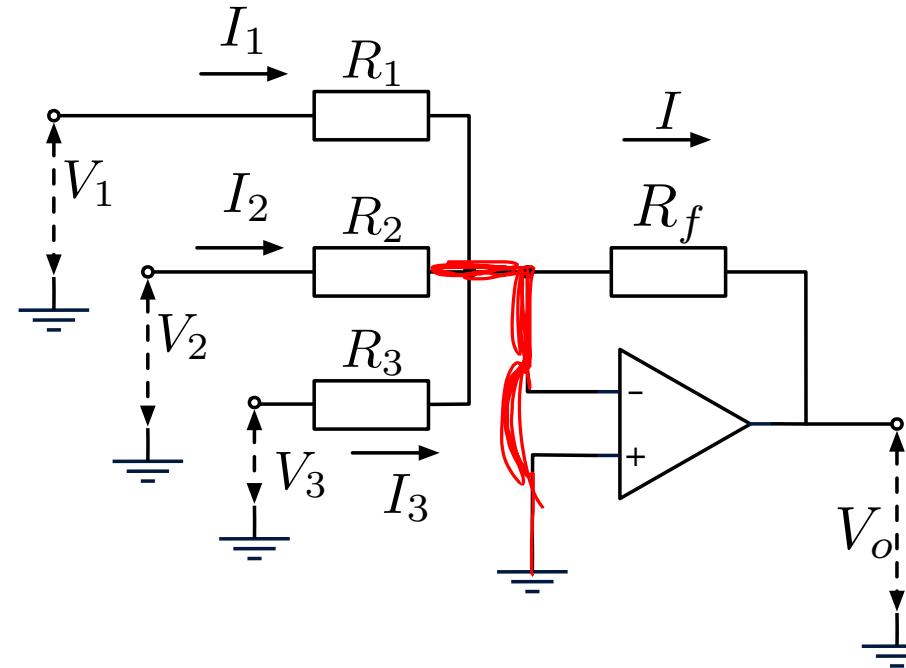
公立小松大学

藤田一寿

加算回路

■ 加算回路

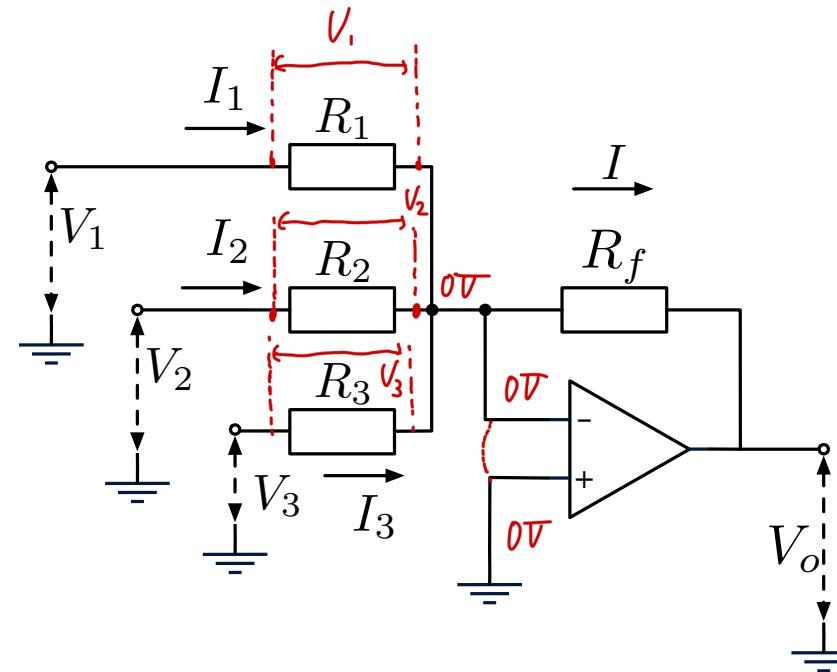
- 複数の入力の電圧を加算する回路
- 反転増幅回路に複数の入力がある回路になっている。



■ 加算回路の増幅度

- ・イマジナリショートを考えると反転入力端子は0Vと見なせるから、入力の各抵抗に流れる電流は

$$I_1 = V_1/R_1, \quad I_2 = V_2/R_2, \quad I_3 = V_3/R_3,$$



■ 加算回路の増幅度

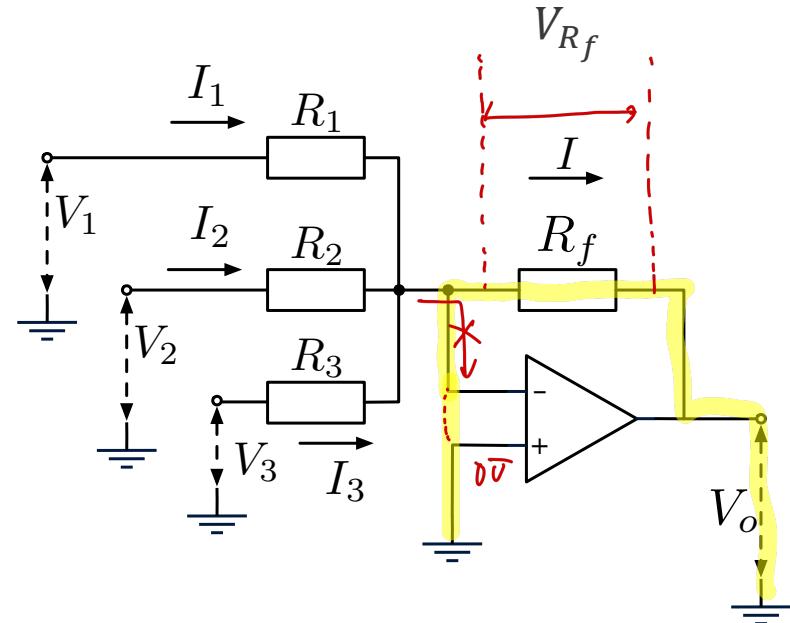
- 理想オペアンプの入力には電流は入っていないので、電流はすべて R_f に流れる（電流保存則）。

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

- よって出力電圧 V_o は

$$\begin{aligned}V_o &= -R_F I = R_F(I_1 + I_2 + I_3) \\&= -\left(\frac{R_F}{R_1}V_1 + \frac{R_F}{R_2}V_2 + \frac{R_F}{R_3}V_3\right)\end{aligned}$$

結果を見ると、それぞれの入力のみで構成された反転増幅回路の出力を足し合わせたもの（重ね合わせたもの）が出力される。



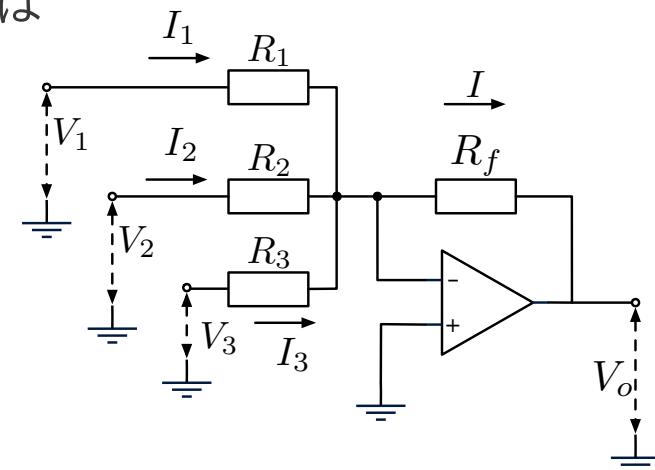
■ 加算回路の増幅度

- 加算回路の出力電圧は

$$V_o = - \left(\frac{R_F}{R_1} V_1 + \frac{R_F}{R_2} V_2 + \frac{R_F}{R_3} V_3 \right)$$

- となる。これは、それぞれの入力電圧がそれぞれの抵抗によって異なる倍率で增幅され、それが加算されることを意味する。
- もし, $R_1 = R_2 = R_3 = R$ とすると、出力電圧 V_o は

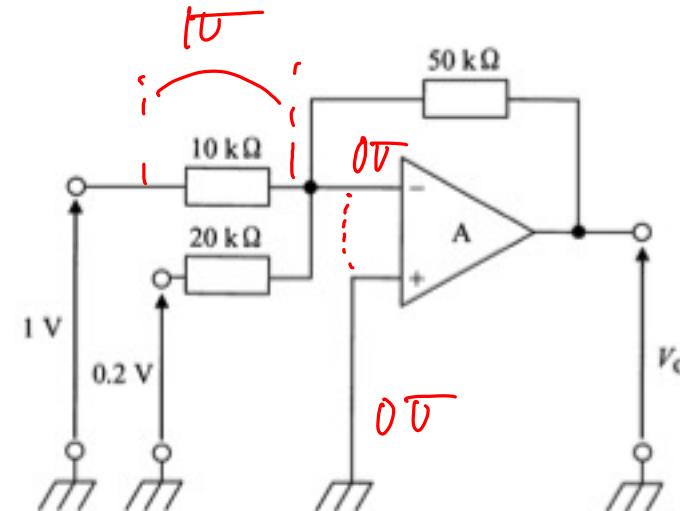
$$V_o = - \frac{R_F}{R} (V_1 + V_2 + V_3)$$



問題

- 図の回路の出力電圧 $V_o[V]$ はどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。(第42回ME2種)

- 5.5
- 5.0
- 0
- 5.0
- 5.5



問題

- 図の回路の出力電圧 $V_o[V]$ はどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。(第42回ME2種)

1. -5.5

イマジナリショートより、各入力の抵抗に加わる電圧は入力電圧と等しい。よって、それぞれの入力の抵抗を流れる電流は

$$I_1 = 1/10k$$

$$I_2 = 0.2/20k$$

2. -5.0

3. 0

4. 5.0

5. 5.5

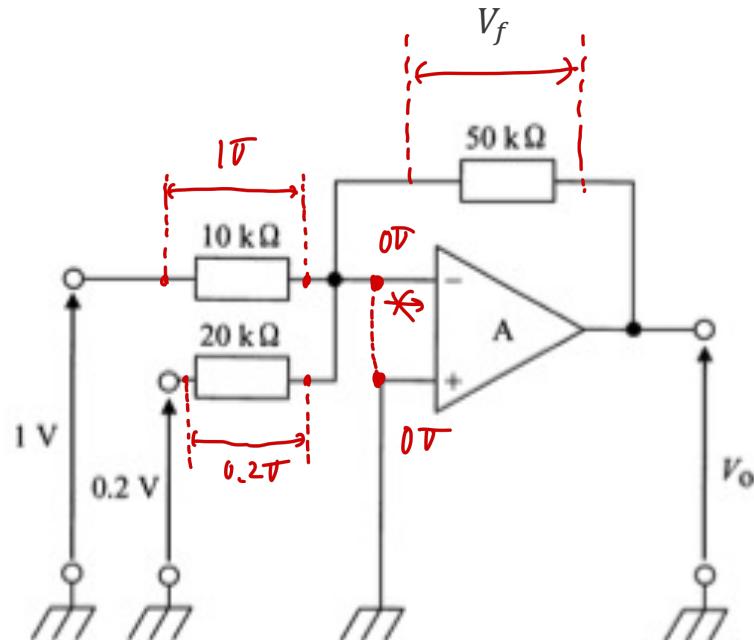
となる。オペアンプの入力インピーダンスは無限大なので、入力の抵抗を流れる電流の全てが $50k\Omega$ の抵抗に流れる。よって、 $50k\Omega$ の抵抗を流れる電流は

$$I = I_1 + I_2 = \frac{1}{10k} + \frac{0.2}{20k} = \frac{2.2}{20k} = \frac{1.1}{10k}$$

よって、 $50k\Omega$ の抵抗にかかる電圧は

$$V_f = 50kI = 50k \times \frac{1.1}{10k} = 5.5$$

である。出力電圧は $-V_f$ なので出力は $V_o = -5.5V$ である。



問題

- 図の回路の出力電圧 $V_o[V]$ はどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。(第42回ME2種)

1. -5.5

別解：

2. -5.0

入力側の抵抗を一つづつ考える。

10kΩの抵抗のみがある場合を考える。

3. 0

抵抗に流れる電流は、イマジナリーショートから

4. 5.0

入力端子はインピーダンスが無限大なので、これが50kΩにも流れる。よって出力電圧は

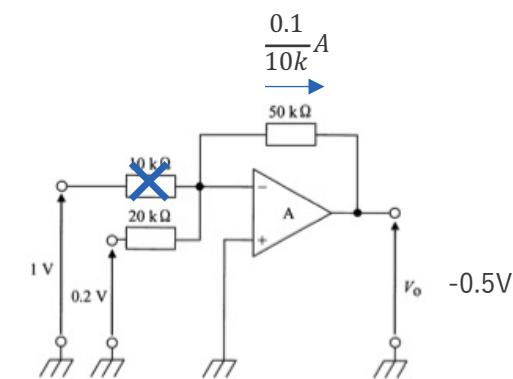
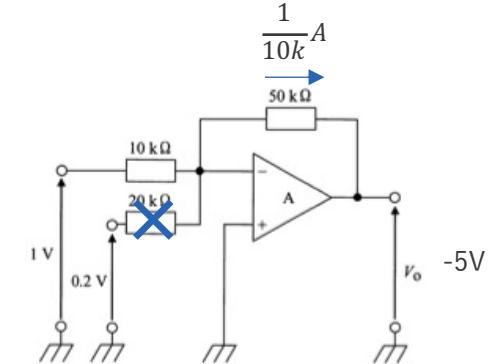
5. 5.5

$v_{o1} = -5V$
20kΩの抵抗のみがある場合を考える。
先程と同様に計算すると出力電圧は

$$v_{o2} = -\frac{0.2}{20k} \times 50k = -0.5V$$

よって、出力電圧は

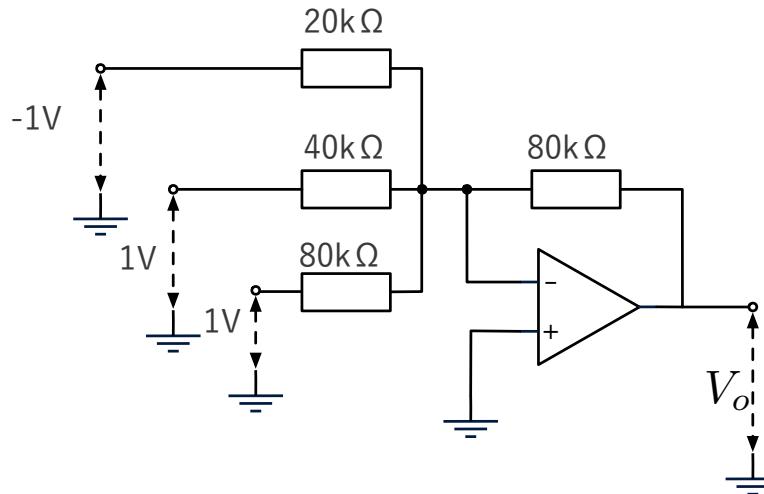
$$v_o = v_{o1} + v_{o2} = -5.5V$$



問題解説

- 図の回路の出力電圧 $V_o[V]$ はいくらか. (第37回ME2種)

- 4
- 1
- 1
- 2
- 4



問題解説

- 図の回路の出力電圧 $V_o[V]$ はいくらか. (第37回ME2種)

1. -4

2. -1

3. 1

4. 2

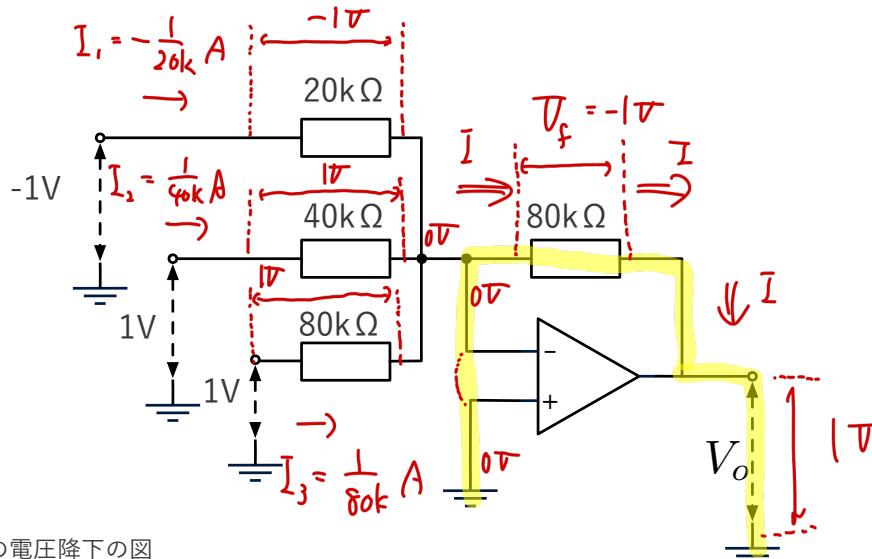
5. 4

黄色の回路の電圧降下の図



黄色の回路を時計回りにを考えると、入力端子は0V, 80kΩの抵抗で-1V下がる、最後に0Vにならなければならないので出力電圧は1Vである。

また電流は反時計回りに回っているので、出力電圧を電池と見なすと上向きを+にしなければならない（つまり正である）。



イマジナリショートから、反転入力端子の電圧は非反転入力端子と同じだと見なせるので0Vである。つまり入力につながる各抵抗にかかる電圧は、それぞれがつながっている入力電源の電圧そのものである。

よって、20kΩ, 40kΩ, 80kΩの抵抗を流れる電流はオームの法則から、それぞれ $I_1 = -\frac{1}{20k} A$, $I_2 = \frac{1}{40k} A$, $I_3 = \frac{1}{80k} A$ である。

オペアンプの入力インピーダンスは無限大なので、電流 I_1, I_2, I_3 は80kΩの電流に流れれる。よって、80kΩの抵抗に流れる電流 I は、 $I = I_1 + I_2 + I_3$ にかかる電圧は、

$$V_f = 80kI = 80k \times \left(-\frac{1}{20k} + \frac{1}{40k} + \frac{1}{80k} \right)$$

$$= -4 + 2 + 1 = -1V$$

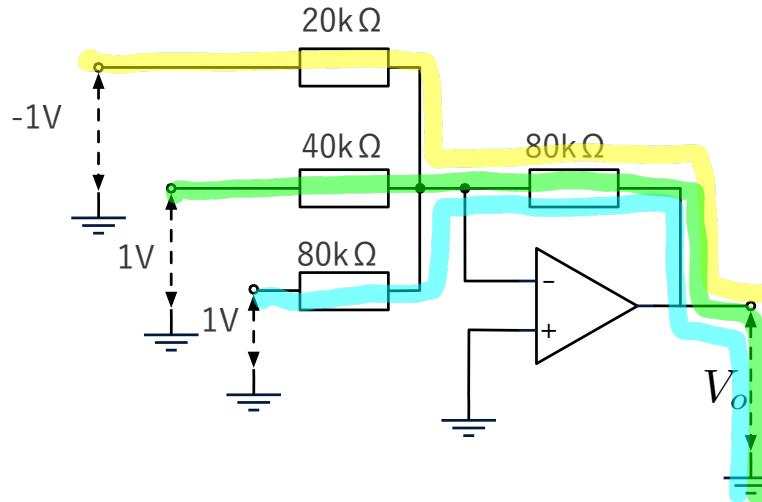
出力電圧 V_o は80kΩにかかる電圧に-1かければよいから、

$$V_o = 1$$

問題解説

- 図の回路の出力電圧 $V_o[V]$ はいくらか. (第37回ME2種)

- 4
- 1
- 1
- 2
- 4



別解

加算回路は重ね合わせで考えることができる。

$20\text{k}\Omega$ の入力のみに考えると、出力は 4V である（黄色の回路）。

$40\text{k}\Omega$ の入力のみに考えると、出力は -2V である（緑色の回路）。

$80\text{k}\Omega$ の入力のみに考えると、出力は -1V である（水色の回路）。

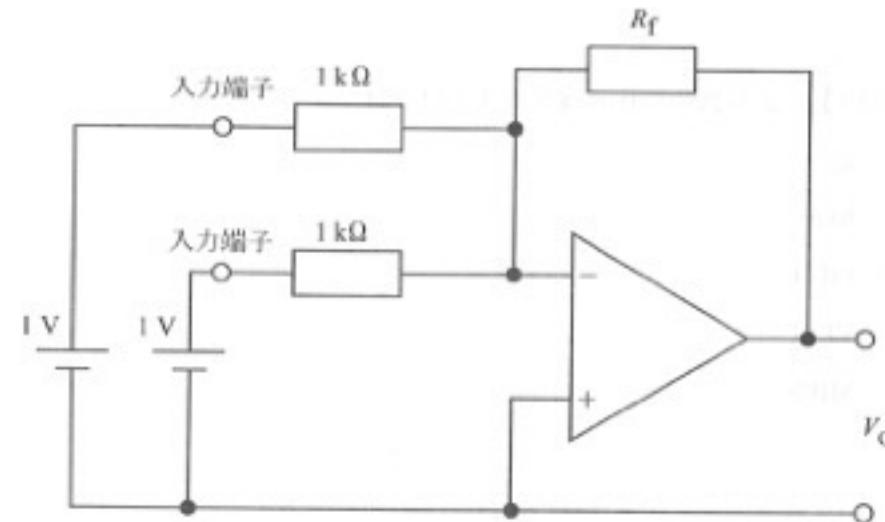
よって出力は

$$V_o = 4 - 2 - 1 = 1\text{V}$$

問題

- 図の電子回路の入力端子にそれぞれ1Vを印加した。出力電圧 V_o が
-10Vであった。抵抗 R_f の値は何kΩか。

- 1
2. 5
3. 10
4. 15
5. 20



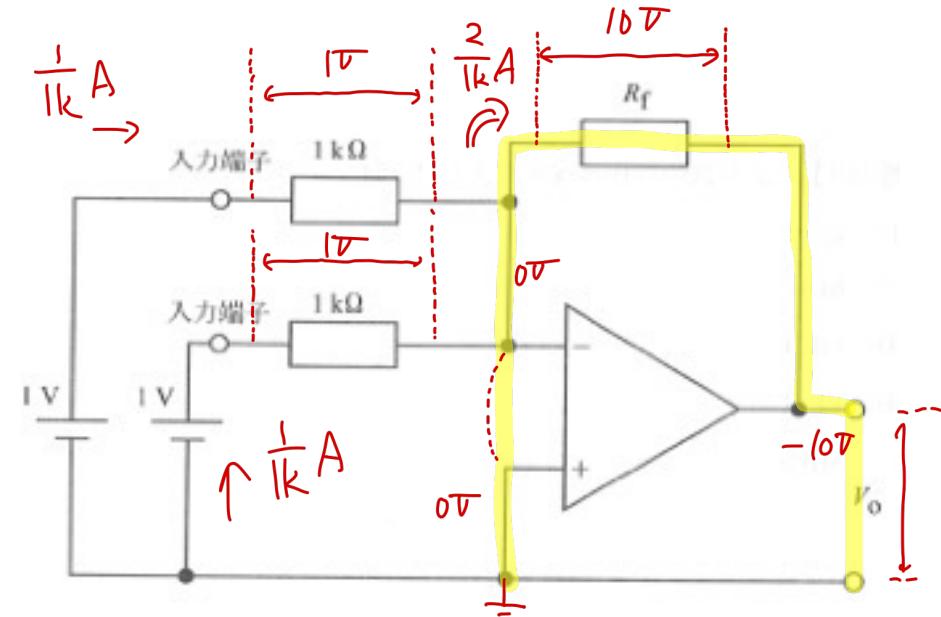
問題

- 図の電子回路の入力端子にそれぞれ1Vを印加した。出力電圧 V_o が-10Vであった。抵抗 R_f の値は何kΩか。

1. 1 イマジナリショートから、入力端子につながる1kΩの抵抗にかかる電圧は1Vである。抵抗に流れる電流はオームの法則から $\frac{1}{1k}A$ である。
2. 5 入力インピーダンスは無限大なので、1kΩに流れる電流は全て R_f に流れる。
3. 10 よって、 R_f に流れる電流は $\frac{2}{1k}A$ である。
4. 15 よって出力電圧は R_f にかかる電圧 V_f に-1なければよいから
5. 20 $-V_f = -R_f \times \frac{2}{1k} = -10$

となるので

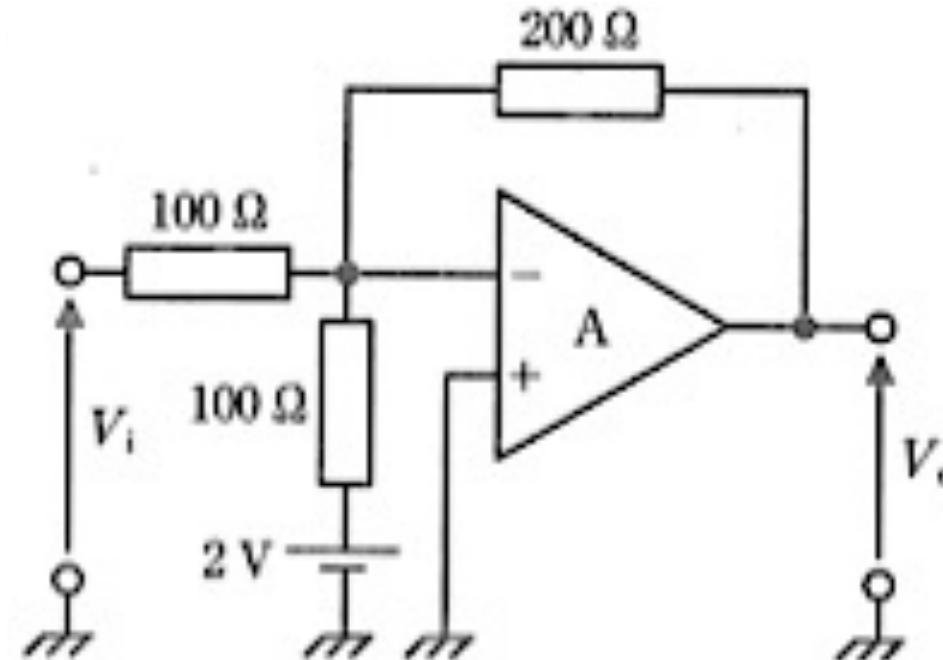
$$R_f = 5k$$



問題

- 図の回路の V_i に5Vを入力したとき、 $V_o[V]$ はどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。（臨床工学技士国家試験35）

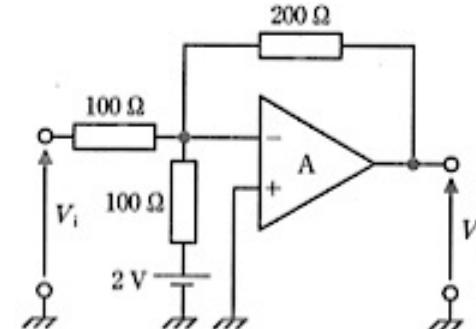
- 14
- 7
- 0
- 7
- 14



問題

- 図の回路の V_i に5Vを入力したとき、 $V_o[V]$ はどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。（臨床工学技士国家試験35）

- 14
- 7
- 0
- 7
- 14



2Vの入力により生じる電流は $\frac{2}{100} = 0.02\text{A}$ である。よって、この電流により 200Ω の抵抗に生じる電圧は4Vである。

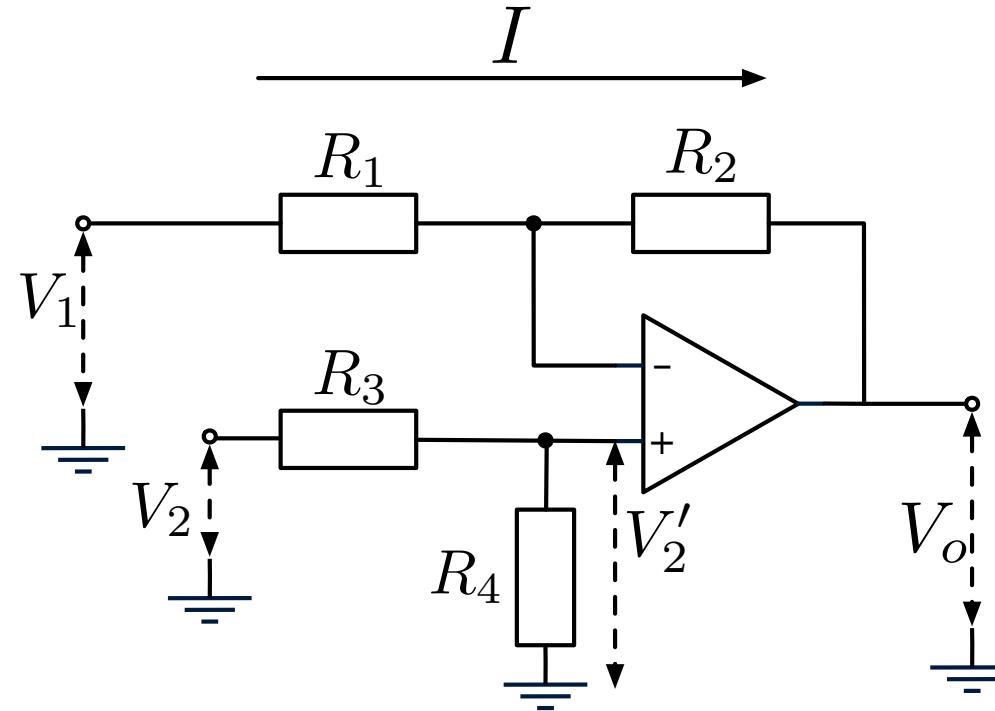
5Vの入力により生じる電流は $\frac{5}{100} = 0.05\text{A}$ である。よって、この電流により 200Ω の抵抗に生じる電圧は10Vである。

反転増幅回路であることを考慮すると、出力電圧は $-(4 + 10) = -14\text{V}$ である。

減算回路

■ 減算回路

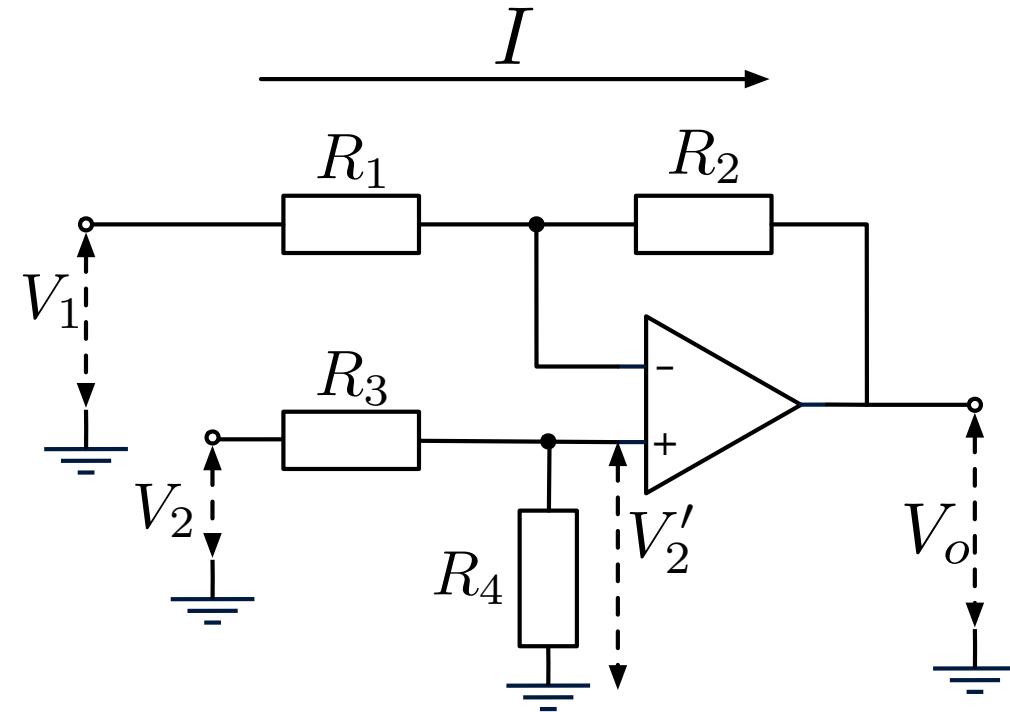
- ・減算回路は2つの入力電圧の差に比例した電圧を出力する。



■ 減算回路

- また、 $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ である場合、 $V_0 = \frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2)$ となり、出力は入力の差の定数倍となる。

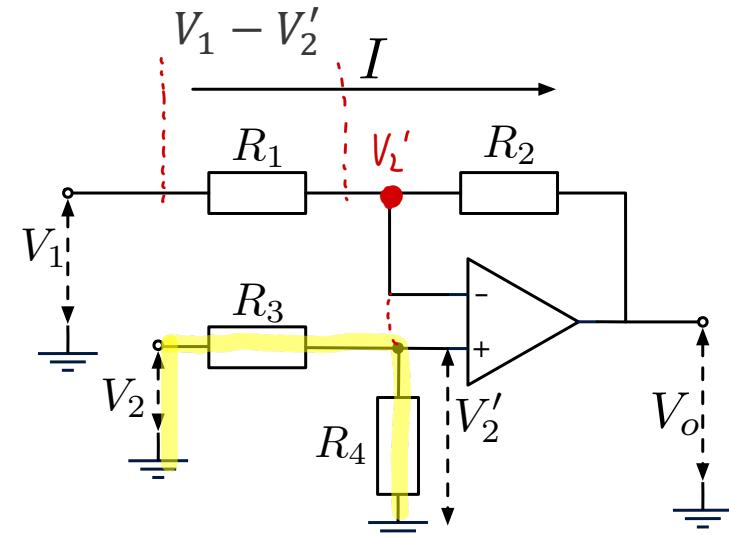
$V_0 = \frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2)$ を求める
計算は大変なので理解は必要だが、試験対策としては公式を覚えたほうが良い。



■ 減算回路の出力

- 非反転入力端子の電圧 V'_2 は、 R_4 に加わる電圧なので
- $V'_2 = \frac{R_4}{R_3+R_4} V_2$
- イマジナリーショートを考慮すると、非反転入力端子の電圧と反転入力端子の電圧は等しい。よって、 R_1 にかかる電圧 V'_1 は
- $V'_1 = V_1 - V'_2$
- したがって、 R_1 に流れる電流 I は、
- $I = \frac{V_1 - V'_2}{R_1}$

これらの計算はおまけ、読み飛ばして良い。



■ 減算回路の出力

- 入力インピーダンスは無限大なので、 R_2 に流れる電流は I である。
- よって出力電圧 V_o は黄色の回路を考えれば、

$$\bullet V_1 - V_o = IR_1 + IR_2 = \frac{V_1 - V'_2}{R_1} (R_1 + R_2) = \frac{R_1 + R_2}{R_1} (V_1 - V'_2)$$

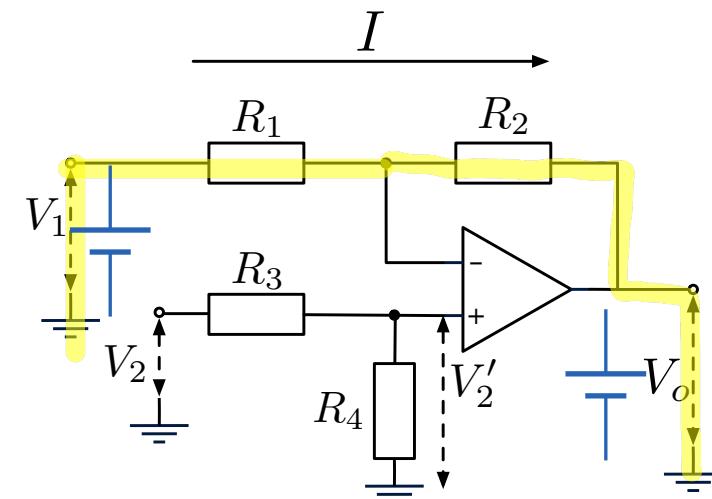
$$\bullet V_o = -\frac{R_1 + R_2}{R_1} (V_1 - V'_2) + V_1 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left(-\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + V'_2 \right)$$

$$\bullet \text{さらに, } V'_2 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2 \text{を代入すると}$$

$$\bullet V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 \right)$$

これらの計算はおまけ、読み飛ばして良い

キルヒホッフの第2法則：電圧降下の総和は電源電圧の総和に等しい。



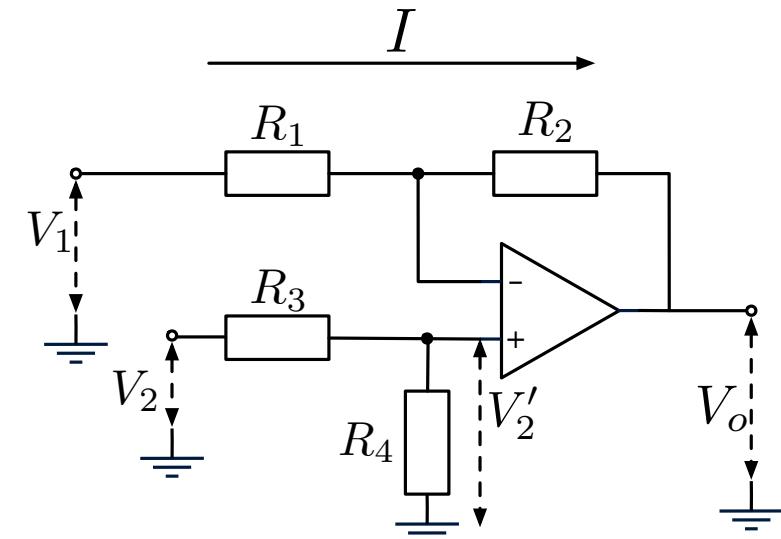
■ 減算回路の出力

- また、 $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ である場合、

$$\begin{aligned}V_o &= \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 \right) \\&= (1 + R_2/R_1) \left(\frac{R_4/R_3}{1 + R_4/R_3} V_2 - \frac{R_2/R_1}{1 + R_2/R_1} V_1 \right) \\&= (1 + R_2/R_1) \left(\frac{R_2/R_1}{1 + R_2/R_1} V_2 - \frac{R_2/R_1}{1 + R_2/R_1} V_1 \right) \\&= (1 + R_2/R_1) \frac{R_2/R_1}{1 + R_2/R_1} (V_2 - V_1) \\&= \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)\end{aligned}$$

- となり、 V_1 と V_2 の差が求められる。

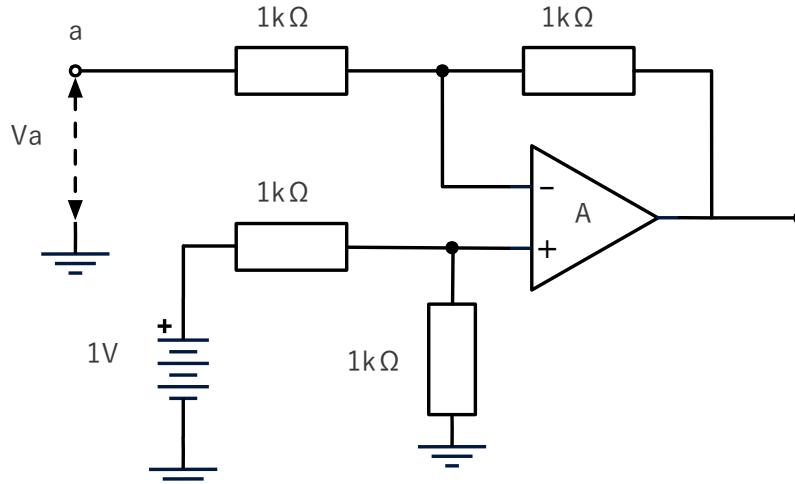
これらの計算はおまけ、読み飛ばして良い



問題解説

- 図の回路の入力端子aが開放状態であるとき V_a は何Vか。ただし、Aは理想演算増幅器である。(第40回ME2種)

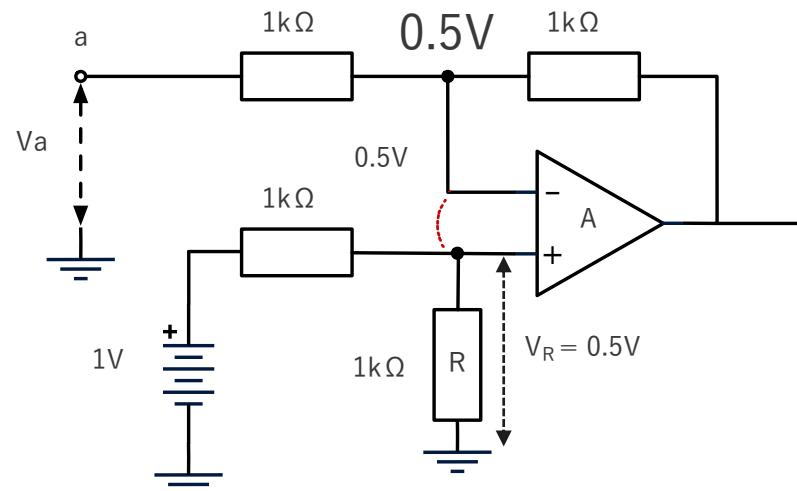
- 0
- 0.5
- 1
- 2
- 5



問題解説

- 図の回路の入力端子aが開放状態であるとき V_a は何Vか。ただし、Aは理想演算増幅器である。(第40回ME2種)

- 0
- 0.5
- 1
- 2
- 5



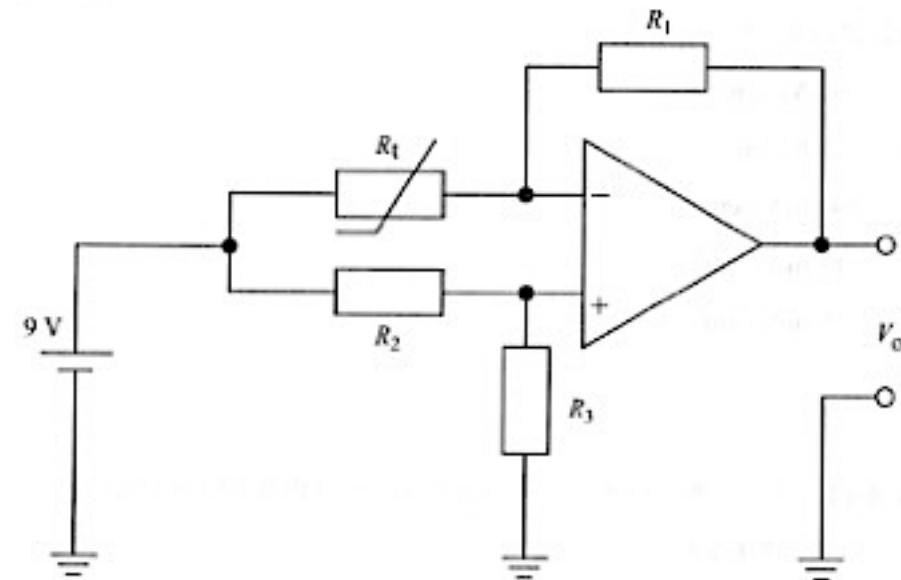
イマジナリショートを適用すると、非反転入力端子につながる抵抗 R に加わる電圧 V_R と反転入力端子の電圧は等しいと見なせる。また、 V_R は1Vが2つの1kΩの抵抗で分圧であるので、0.5Vである。

V_a は、1kΩの抵抗とaとGND間の抵抗で分圧すれば求まる。aとGNDの間は開放なの抵抗値は無限大である。よって、aとGND間にすべての電圧が加わるので V_a は0.5Vである。

問題

- 図のオペアンプ回路で、 R_t はサーミスタである。抵抗 R_1 から R_3 はすべて $10\text{k}\Omega$ である。 R_t が $10\text{k}\Omega$ のとき出力 V_o はゼロであった。温度が上昇し R_t が $9\text{k}\Omega$ に変化したとすると、出力電圧 V_o は何Vになるか。ただし、オペアンプは理想的とする。(第34回ME2種)

1. 10
2. 4.5
3. -0.5
4. -4.5
5. -10



問題

- 図のオペアンプ回路で、 R_t はサーミスタである。抵抗 R_1 から R_3 はすべて $10k\Omega$ である。 R_t が $10k\Omega$ のとき出力 V_o はゼロであった。温度が上昇し R_t が $9k\Omega$ に変化したとすると、出力電圧 V_o は何Vになるか。ただし、オペアンプは理想的とする。(第34回ME2種)

1. 10

$R_t = 10k\Omega$ の時 $V_o = 0$ か確認する。

2. 4.5

イマジナリショートから R_3 にかかる電圧が反転入力端子にかかることになる。 R_3 にかかる電圧

3. **-0.5**

は $V_{R_3} = \frac{R_3}{R_2+R_3} \times 9 = \frac{10k}{10k+10k} \times 9 = \frac{9}{2} V$

4. -4.5

よって R_t にかかる電圧は

5. -10

$9 - \frac{9}{2} = \frac{9}{2} V$

R_t を流れる電流 I は

$$I = \frac{9}{2 \times 10k} A$$

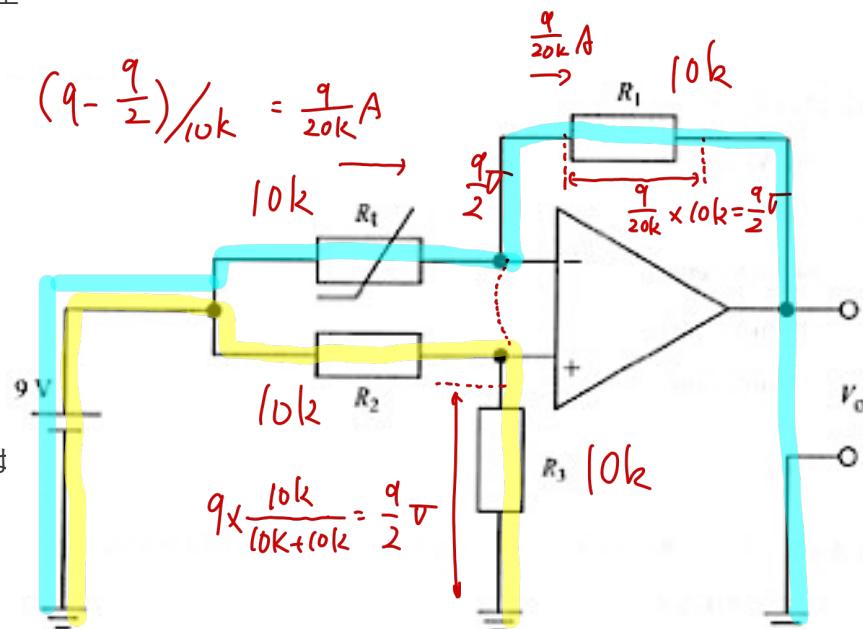
R_1 にも同じ電流が流れるので R_1 に掛かる電圧は

$$\frac{9}{2 \times 10k} \times 10k = \frac{9}{2} V$$

水色の回路の電圧降下を考えると出力電圧 V_o は

$$9 - V_o = \frac{9}{2} + \frac{9}{2}$$

$$V_o = 0$$



問題

- 図のオペアンプ回路で、 R_t はサーミスタである。抵抗 R_1 から R_3 はすべて $10k\Omega$ である。 R_t が $10k\Omega$ のとき出力 V_o はゼロであった。温度が上昇し R_t が $9k\Omega$ に変化したとすると、出力電圧 V_o は何Vになるか。ただし、オペアンプは理想的とする。(第34回ME2種)

1. 10
2. 4.5
- 3. -0.5**
4. -4.5
5. -10

R_3 にかかる電圧は $9/2=4.5V$ である。
イマジナリショートから抵抗 R_t にかかる電圧は、 $9 - 4.5 = 4.5V$ である。
よって抵抗 R_t を流れる電流は

$$I_{R_t} = \frac{4.5}{9k} A$$

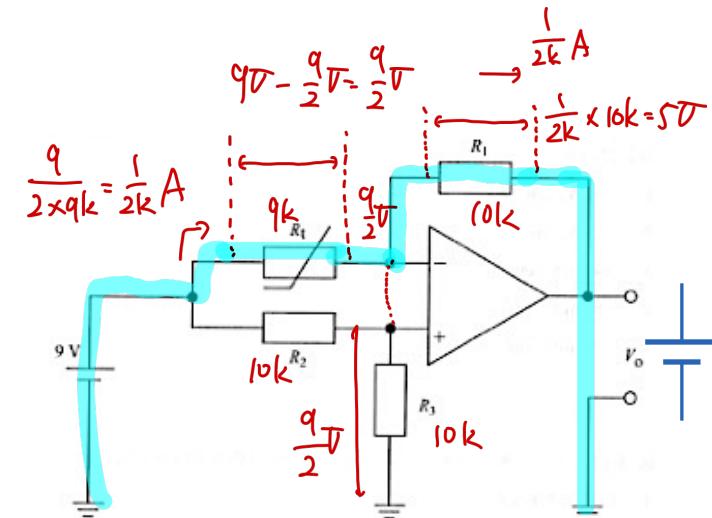
である。この電流が抵抗 R_1 に流れるので、
抵抗 R_1 にかかる電圧 V_{R_1} は

$$V_{R_1} = \frac{4.5}{9k} \times 10k = 5V$$

である。水色の回路の電圧降下を考えると

$$9 - V_o = 4.5 + 5$$

$$V_o = 9 - 9.5 = -0.5V$$



キルヒホッフの第2法則：電圧降下の総和は電源電圧の総和に等しい。

問題

- 図1の回路において図2に示す電圧 v_1 と v_2 を入力した場合、出力電圧 v_o の波形で正しいのはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器である。（国家試験26）

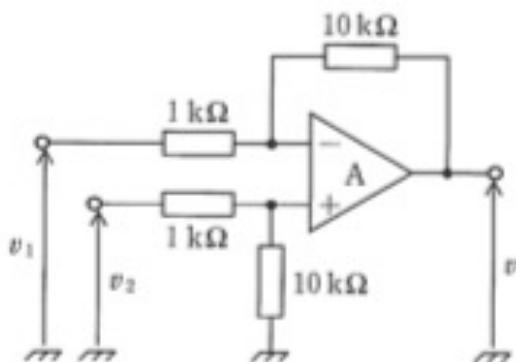


図1

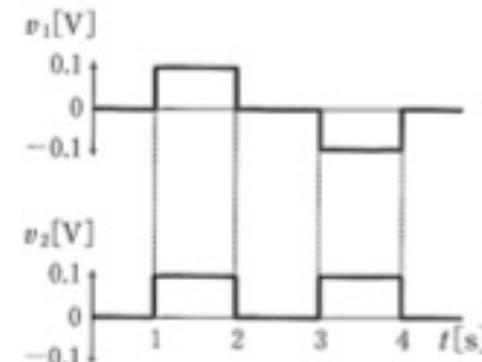
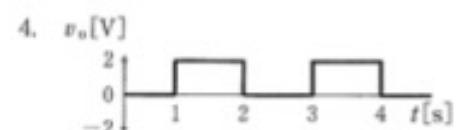
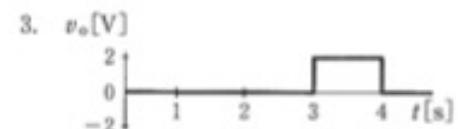


図2



問題

- 図1の回路において図2に示す電圧 v_1 と v_2 を入力した場合、出力電圧 v_o の波形で正しいのはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器である。（国家試験26）

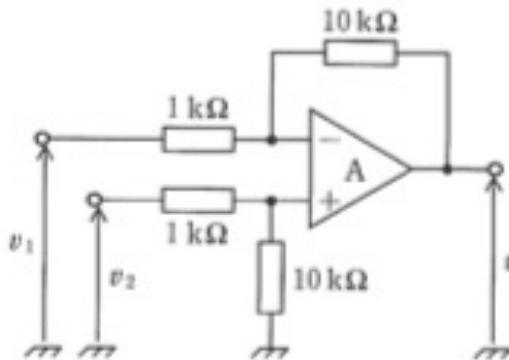


図1

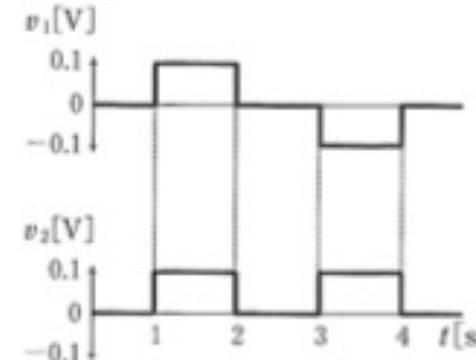
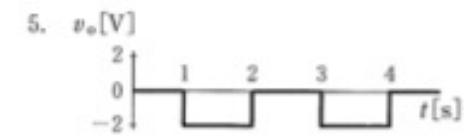
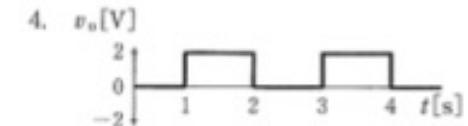
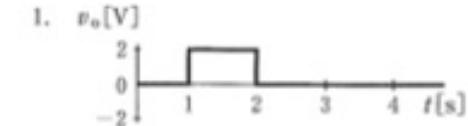


図2

この回路は減算回路である。

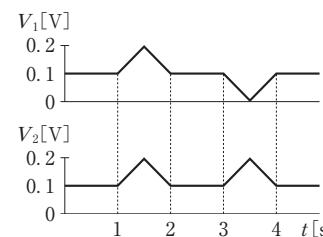
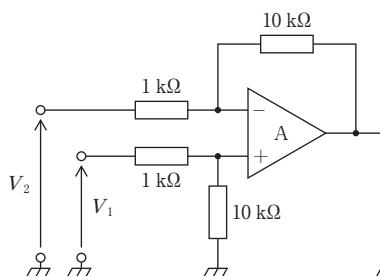
回路定数を見ると、各端子の抵抗値の組み合わせは等しいので、この回路は単純に入力を引き算する回路である。

よって、入力に差がない0から3秒、4秒以上の区間で出力は0となる。
これを満たすのは3のみである。

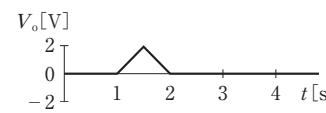


問題

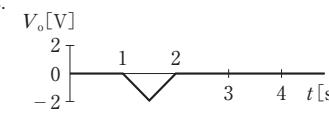
- 図1の回路において図2に示す電圧 V_1 と V_2 を入力した場合、出力電圧 V_o の波形で正しいのはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。（臨床工学技士国家試験32回）



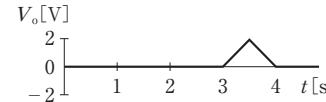
1.



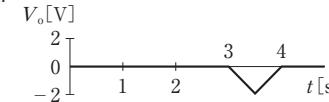
2.



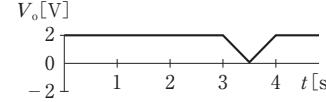
3.



4.

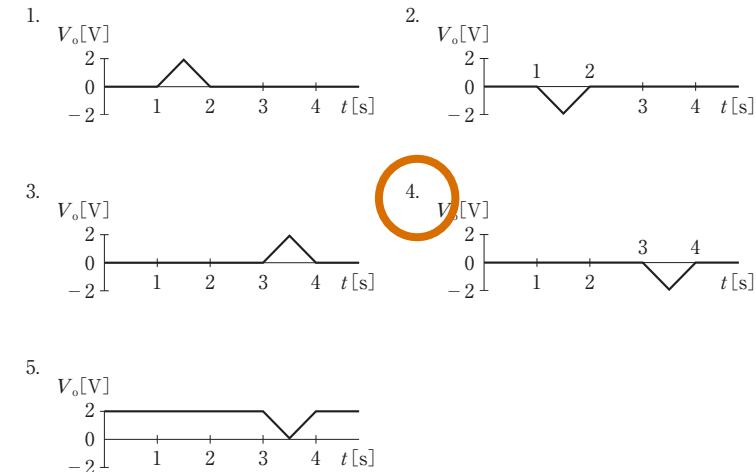
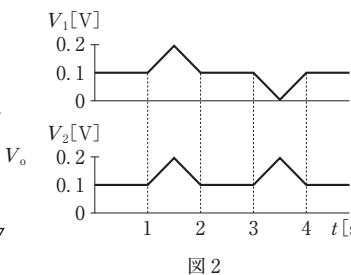
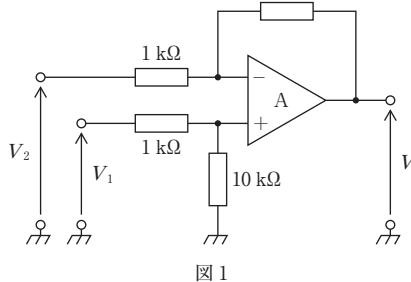


5.



問題

- 図1の回路において図2に示す電圧 V_1 と V_2 を入力した場合、出力電圧 V_o の波形で正しいのはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。（臨床工学技士国家試験32回）



これは減算回路である。さらに、回路定数を見ると、各端子の抵抗値の組み合わせは等しいので、この回路は単純に入力を引き算する回路である。

$V_2 - V_1$ が0ではない区間は3から4秒なので、そこだけ出力は0でなくなる。このことから、選択肢は3か4に絞られる。

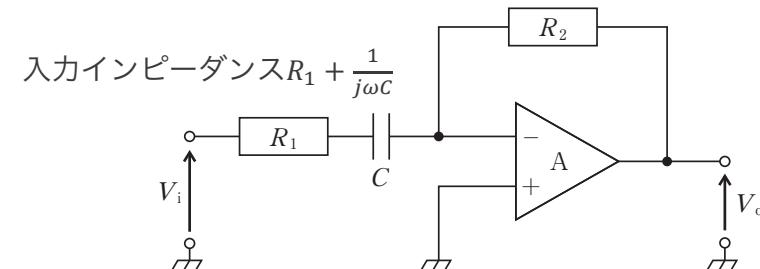
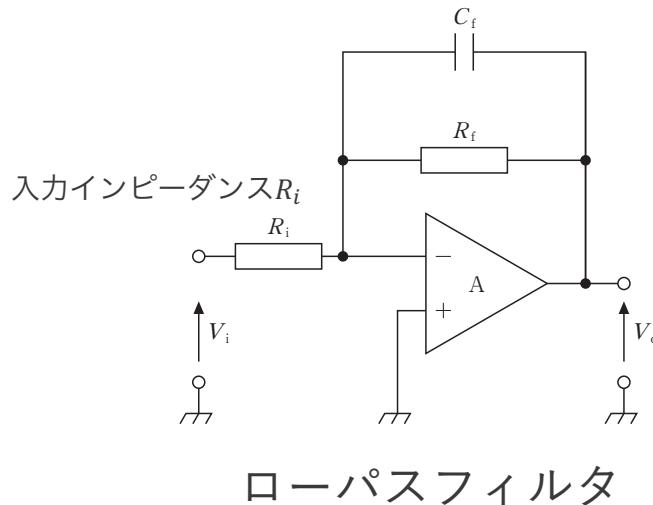
出力は $V_2 - V_1$ の反転増幅となるので3から4秒間は出力は負となる。よって4が正しい。

アクティブフィルタ

余裕がない人は、カットオフ
周波数は $f_c = \frac{1}{2\pi CR}$ と覚える。

■ アクティブフィルタとは

- ・オペアンプのような能動素子を用いたフィルタ

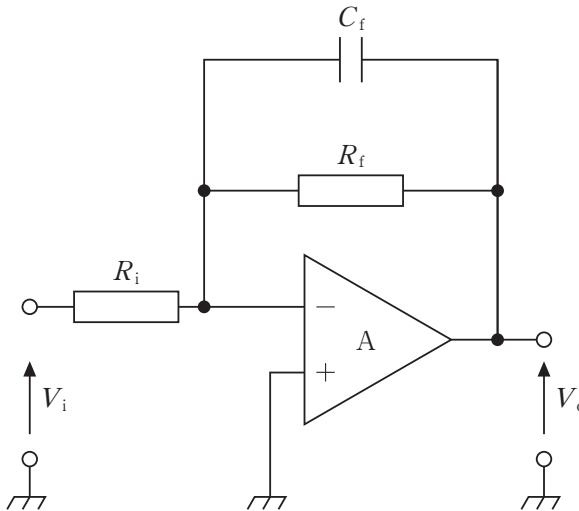


カットオフ周波数 $\frac{1}{2\pi R_f C_f}$

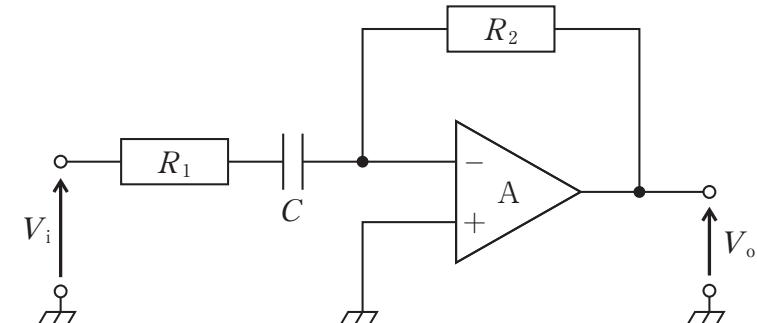
カットオフ周波数 $\frac{1}{2\pi R_1 C}$

■ 反転増幅回路を元にしたアクティブフィルタ

- 図は反転増幅回路を元にしたアクティブフィルタである。
- このフィルタの周波数特性も、反転増幅回路と同様に、イマジナリシヨートを使い求められる。



ローパスフィルタ

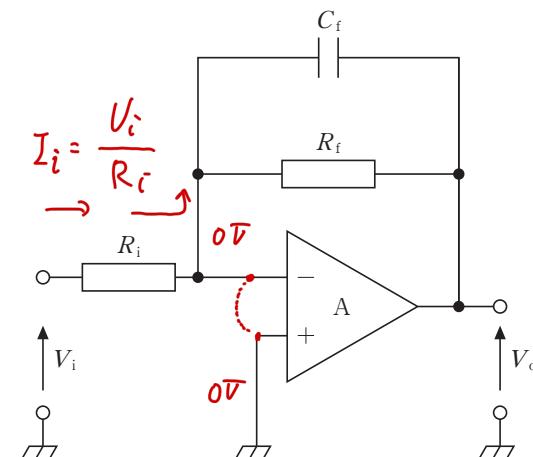


ハイパスフィルタ

ローパスフィルタ

■ ローパスフィルタ

- ・イマジナリショートより、入力端子はそれぞれ短絡しているとみなせる。よって抵抗 R_i にかかる電圧は $V_{R_i} = V_i$ である。.
- ・つまり R_i に流れる電流 I_i は $I_i = \frac{V_i}{R}$ である。
- ・入力端子のインピーダンスは無限大とみなせるので、 R_i に流れる電流 I_i はすべて R_f と C_f からなる並列回路に流れる。
- ・また、この並列回路のインピーダンス Z は
- ・ $\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_f} + j\omega C_f$, $Z = \frac{R_f}{1+j\omega R_f C_f}$
- ・この回路は反転增幅回路なので V_o は
- ・ $V_o = -Zi = -\frac{R_f}{R_i(1+j\omega R_f C_f)} V_i$



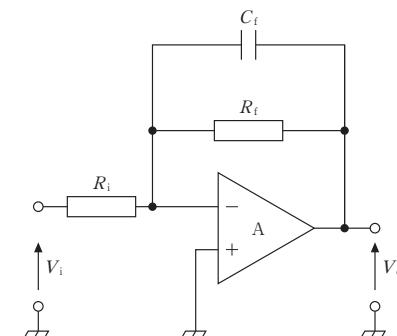
■ ローパスフィルタ

- ローパスフィルタの出力 V_o は

$$\bullet V_o = -Zi = -\frac{R_f}{R_i(1+j\omega R_f C_f)} V_i$$

$$\bullet \frac{|V_o|}{|V_i|} = \left| \frac{R_f}{R_i(1+j\omega R_f C_f)} \right| = \frac{R_f}{R_i \sqrt{1+(\omega R_f C_f)^2}} = \frac{R_f}{R_i} \frac{1}{\sqrt{1+(\omega R_f C_f)^2}}$$

- この結果から、このフィルタはローパスフィルタである事がわかる。
- 入力が十分低い周波数の場合、 $\frac{1}{\sqrt{1+(\omega R_f C_f)^2}}$ がほぼ1となるので、反転增幅回路と同じと考えることができる。



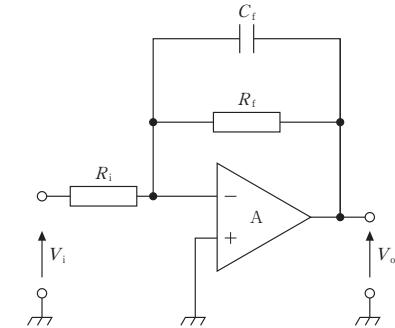
■ カットオフ周波数

$$\bullet \frac{|V_o|}{|V_i|} = \frac{R_f}{R_i} \frac{1}{\sqrt{1+(\omega R_f C_f)^2}}$$

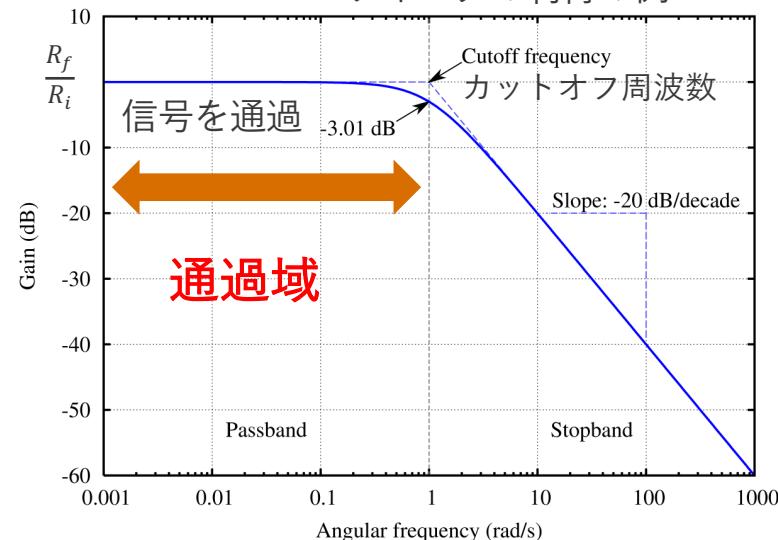
- アクティブフィルタのカットオフ周波数は $\frac{1}{\sqrt{1+(\omega R_f C_f)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ となる周波数である。

- よって、カットオフ周波数 f_c は

$$\bullet f_c = \frac{1}{2\pi C_f R_f}$$



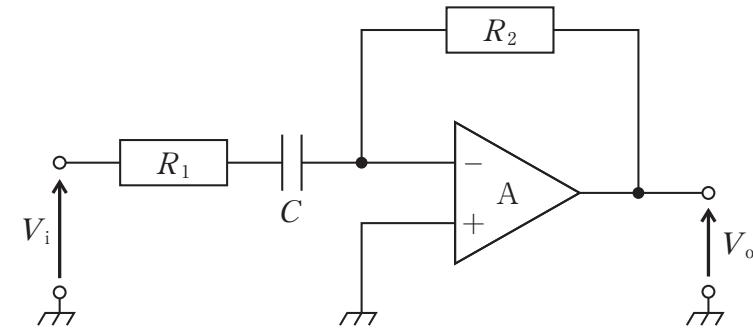
ローパスフィルタの利得の例



ハイパスフィルタ

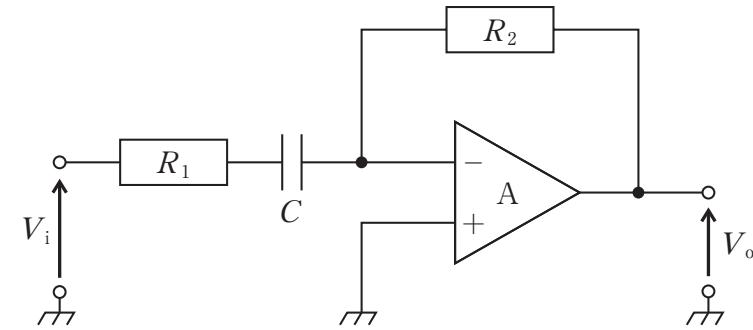
■ 反転増幅回路を元にしたハイパスフィルタ

- ・イマジナリショートより、入力端子はそれぞれ短絡しているとみなせる。
- ・よって抵抗 R_1 とコンデンサ C にかかる電圧は V_i である。
- ・つまり抵抗 R_1 とコンデンサ C に流れる電流
- ・ $i = \frac{V_i}{R_1 + 1/j\omega C}$
- ・入力端子のインピーダンスは無限大とみなせるので、 R_2 に流れる電流は i である。
- ・よって、 V_o は
- ・ $V_o = -\frac{R_2}{R_1 + 1/j\omega C} V_i$



■ ハイパスフィルタ

- ハイパスフィルタの出力 V_o は
- $$V_o = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} V_i = -\frac{j\omega CR_2}{1 + j\omega CR_1} V_i$$
- よって増幅度は
- $$g = \frac{|V_o|}{|V_i|} = \left| \frac{j\omega CR_2}{1 + j\omega CR_1} \right| = \frac{\omega CR_2}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R_1^2}}$$
- 分母分子を ω で割ると
- $$g = \frac{CR_2}{\sqrt{\frac{1}{\omega^2} + C^2 R_1^2}}$$
- ω が大きくなればなるほど分母が小さくなるので、この回路はハイパスフィルタであることがわかる。
- 入力の周波数が十分高い場合、 $\frac{1}{\omega^2}$ がほぼ0となるので、ゲイン g は R_2/R_1 とみなせる。つまり、反転增幅回路とみなせる。



■ ハイパスフィルタのカットオフ周波数

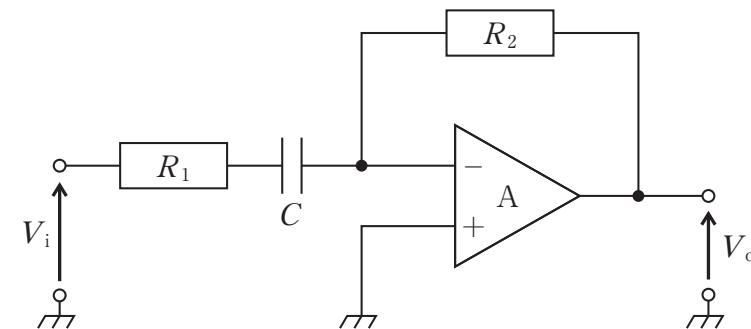
- カットオフ周波数は

$$\frac{CR_2}{\sqrt{\frac{1}{\omega^2} + C^2 R_1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$2C^2 R_2^2 = \frac{1}{\omega^2} + C^2 R_1^2$$

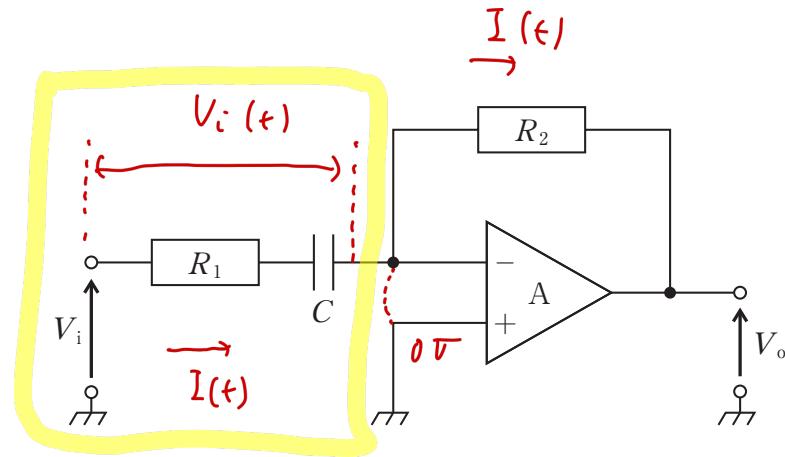
$$\omega^2 = \frac{1}{C^2 R_1^2}$$

$$\omega = \frac{1}{CR_1}, \quad f = \frac{1}{2\pi CR_1}$$



■ ハイパスフィルタの時定数

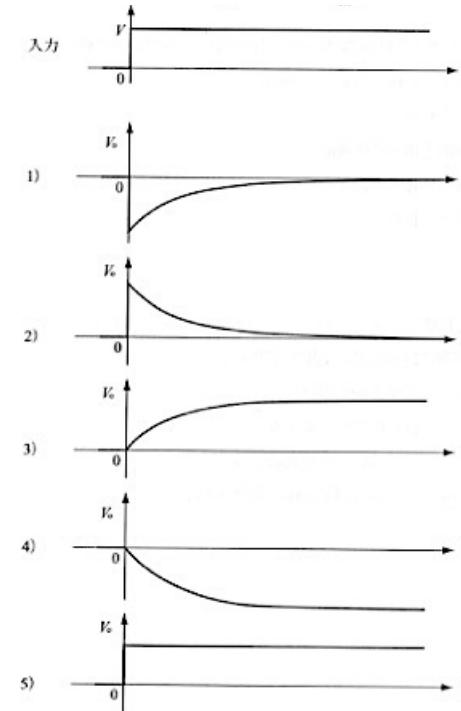
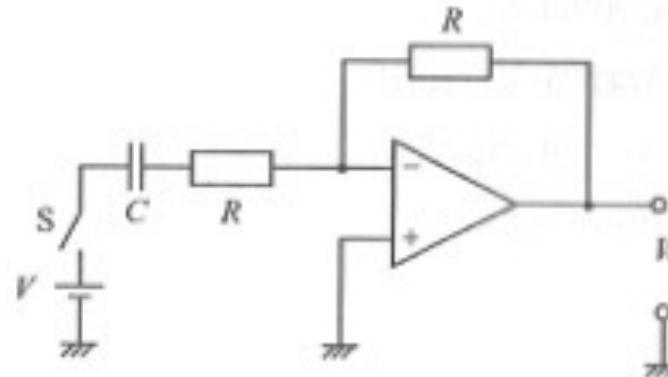
- 反転増幅回路なので、抵抗 R_1 とコンデンサ C を流れる電流に R_2 をかけたものが output となるので、その電流の時間変化がそのまま出力の時間変化に現れる。
- つまり、抵抗 R_1 とコンデンサ C の直列回路を流れる電流がわかれば良い。
- RC直列回路の時定数は CR_1 なので、このアクティブフィルタの時定数 CR_1 である。



問題

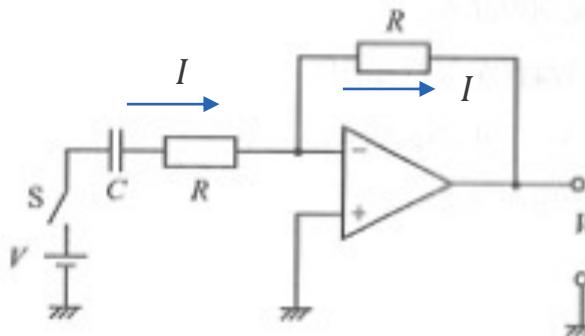
問題

- 図のように反転増幅器にステップ電圧を入力した ($t = 0$ でスイッチを入れる)。出力電圧 V_o はどれか。ただしコンデンサ C の電荷の初期値は 0 とする。(第32回ME2種)



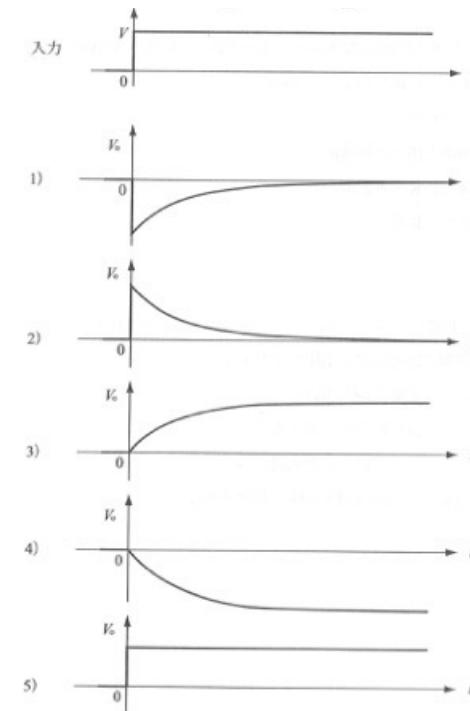
問題

- 図のように反転増幅器にステップ電圧を入力した ($t = 0$ でスイッチを入れる). 出力電圧 V_o はどれか. ただしコンデンサ C の電荷の初期値は 0 とする. (第32回ME2種)



スイッチがオンになった瞬間からコンデンサに電荷がたまり始めるため, 電流 I が流れる. 十分時間がたつと, コンデンサに十分電荷がたまり電流 I が流れなくなる. この電流 I とフィードバックの抵抗 R の積 $-IR$ が出力電圧 V_o となる. よって答えは 1 となる.

電流の変化と合致する選択肢は, 1 か 2 である. この回路は反転増幅回路なので入力と出力の符号は逆である. 出力が負となっている選択肢は, 1 か 4 である. 2つの条件を満たすのは 1 である.



■ 問題

- 図の回路の入力インピーダンスはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とし、角周波数を ω 、虚数単位をjとする。（33回）

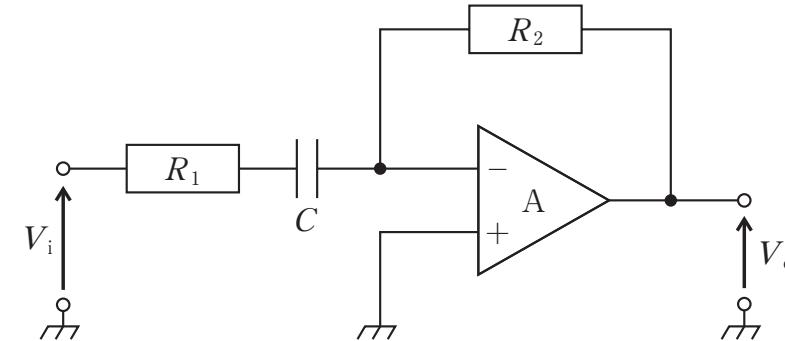
1. R_1

2. $R_1 + R_2$

3. $\frac{1}{j\omega C}$

4. $R_1 + \frac{1}{j\omega C}$

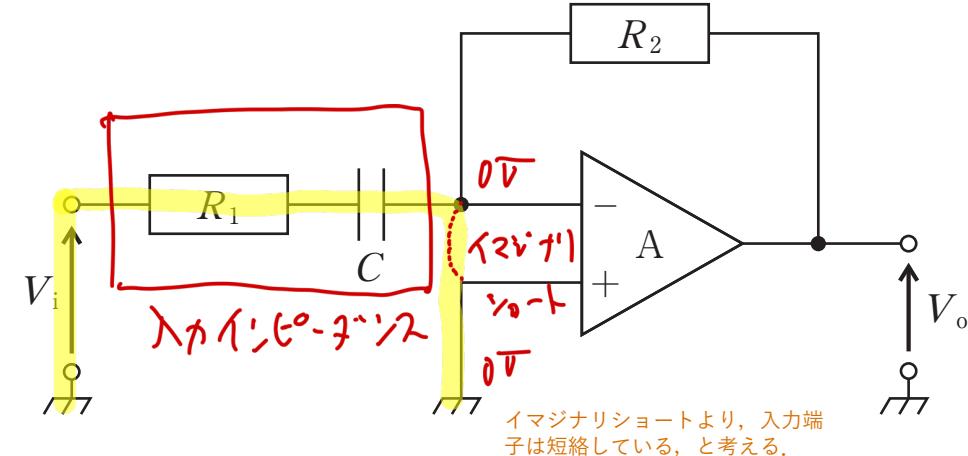
5. $R_1 + R_2 + \frac{1}{j\omega C}$



問題

- 図の回路の入力インピーダンスはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とし、角周波数を ω 、虚数単位をjとする。(33回)

1. R_1
2. $R_1 + R_2$
3. $\frac{1}{j\omega C}$
4. $R_1 + \frac{1}{j\omega C}$
5. $R_1 + R_2 + \frac{1}{j\omega C}$

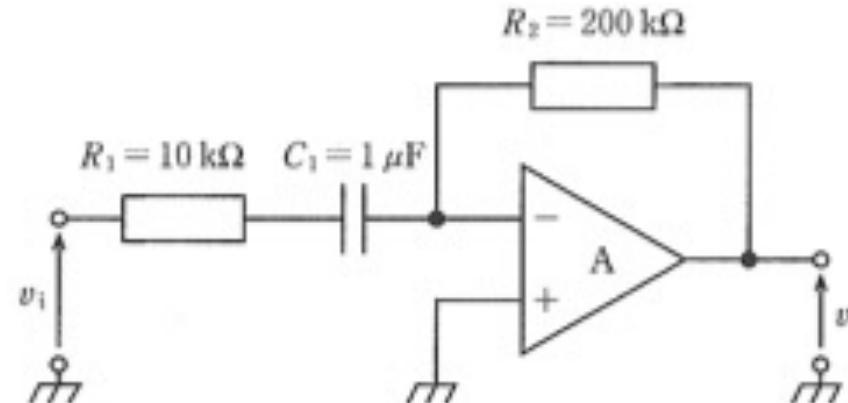


イマジナリショートを考えれば、オペアンプの入力端子はそれぞれ接地していると考えられる。つまり、入力から見れば、この回路はR1とCの直列回路に見える。よって、入力インピーダンスは

$$R_1 + \frac{1}{j\omega C}$$

■ 問題

- 図の回路について、正しいのはどれか。Aは理想演算増幅器とする。（国家試験27）
 - 時定数は20msである。
 - 通過域での増幅度は20dBである。
 - 直流成分はカットされる。
 - コンデンサ C_1 と抵抗 R_2 に流れる電流は等しい。
 - 入力インピーダンスは抵抗 R_1 と R_2 で決まる。

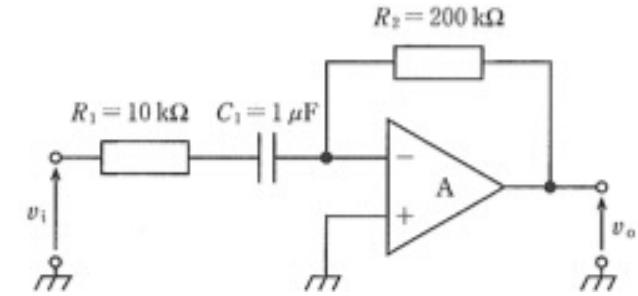


■ 問題

- 図の回路について、正しいのはどれか。Aは理想演算増幅器とする。（国家試験27）

- a. 時定数は20msである。
- b. 通過域での増幅度は20dBである。
- c. 直流成分はカットされる。
- d. コンデンサ C_1 と抵抗 R_2 に流れる電流は等しい。
- e. 入力インピーダンスは抵抗 R_1 と R_2 で決まる。

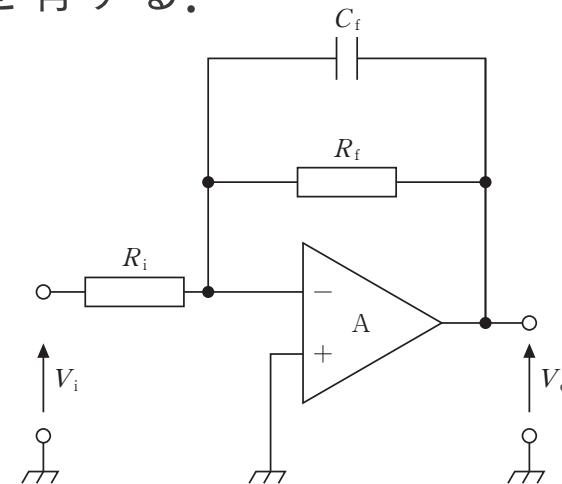
- a. 時定数は $10 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6} = 1 \times 10^{-2}s = 10s$ なので間違い。
- b. 通過域ではコンデンサは無視できる。反転増幅回路の増幅度は $20 \log_{10} \frac{200k}{10k} = 20 \log_{10} 20$ である。よって間違い。
- c. コンデンサは直流を通さないので直流はカットされる。よって正しい。
- d. 入力インピーダンスは無限大なので、コンデンサに流れる電流が R_2 にも流れる。よって正しい。
- e. 入力インピーダンスは R_1 と C_1 で決まるので間違い。



■ 問題

- 図の回路について正しいのはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。(34回)

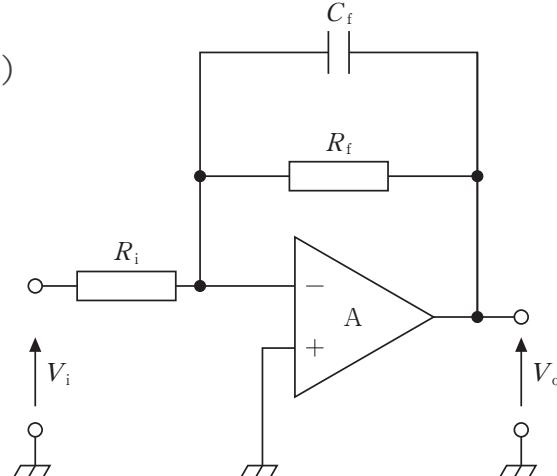
- 遮断周波数より十分低い帯域では $V_o = -\frac{R_f}{R_i} V_i$ である。
- 遮断周波数より十分低い帯域では微分特性を有する。
- 遮断周波数は $\frac{1}{2\pi R_i C_f}$ である。
- 入力インピーダンスは無限大である。
- 出力インピーダンスは無限大である。



問題

- 図の回路について正しいのはどれか。ただし、Aは理想演算増幅器とする。(34回)

- 遮断周波数より十分低い帯域では $V_o = -\frac{R_f}{R_i}V_i$ である。
- 遮断周波数より十分高い帯域では微分特性を有する。
- 遮断周波数は $\frac{1}{2\pi R_i C_f}$ である。
- 入力インピーダンスは無限大である。
- 出力インピーダンスは無限大である。

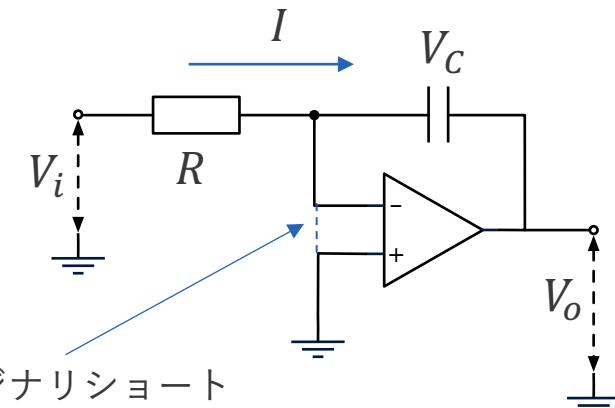


- 十分低い周波数の波の場合、Cfは開放とみなせるので、この回路は反転増幅回路とみなせる。つまり、出力電圧は $V_o = -\frac{R_f}{R_i}V_i$ となる。よって正しい。
- イマジナリショートから、VoはCfに加わる電圧とみなすことができる。コンデンサは電荷を蓄えながら徐々に電圧を上げていく。つまり、積分しているとみなせる。よって間違い。(ローパスフィルタなので積分)
- 遮断周波数は、 $\frac{1}{2\pi R_f C_f}$ である。よって間違い。
- イマジナリショートを考えれば、オペアンプの入力端子はそれぞれグランドに接続しているとみなせる。つまり、入力から見れば、抵抗Riのみ負荷がかかっている。よって、入力インピーダンスはRiである。よって間違い。
- 出力インピーダンスはオペアンプの出力インピーダンスと同じなので、0である。よって間違い。

積分回路

■ オペアンプを用いた積分回路

- ・イマジナリショートを考慮すると、抵抗かかる電圧は V_i だから抵抗を流れる電流は
- ・ $I = \frac{V_i}{R}$
- ・入力インピーダンスが無限大なので、コンデンサに流れる電流は抵抗に流れる電流 I と同じである。また電流は定義から
- ・ $I = \frac{dQ}{dt}$
- ・ $Q = CV_C$ より
- ・ $C \frac{dV_C}{dt} = \frac{V_i}{R}$
- ・両辺積分すると
- ・ $V_C = \frac{1}{CR} \int V_i dt$
- ・よって V_C は V_i を積分したものである。このため、この回路を積分回路という。
- ・また、出力電圧 $V_o = -V_C = -\frac{1}{CR} \int V_i dt$ となる。

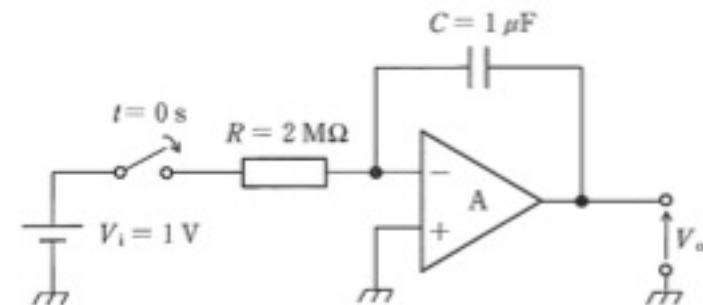


イマジナリショート

問題

- 図の回路において時刻 $t = 0\text{s}$ でスイッチを開じた。出力電圧 V_o の経過を表す式はどれか。ただし、コンデンサの初期電荷はゼロとし、Aは理想演算増幅器とする。(国家試験26)

1. $V_o = 2t$
2. $V_o = -2t$
3. $V_o = 0$
4. $V_o = \frac{1}{2}t$
5. $V_o = -\frac{1}{2}t$



問題

- 図の回路において時刻 $t = 0\text{s}$ でスイッチを開じた。出力電圧 V_o の経過を表す式はどれか。ただし、コンデンサの初期電荷はゼロとし、Aは理想演算増幅器とする。(国家試験26)

1. $V_o = 2t$

$$V_o = -\frac{1}{CR} \int V_i dt$$

2. $V_o = -2t$

だから,

3. $V_o = 0$

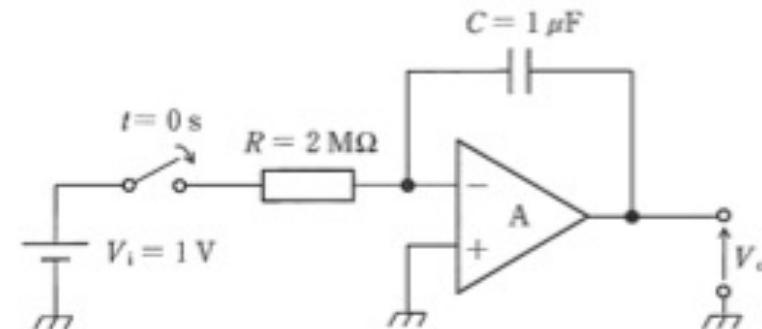
$$V_o = -\frac{1}{CR} \int dt = -\frac{t}{CR}$$

4. $V_o = \frac{1}{2}t$

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

5. $V_o = -\frac{1}{2}t$

よって $V_o = -\frac{1}{2}t$



問題

- 図1の波形を図2の回路の v_i に加えたときの v_o はどれか. (臨床工学技士国家試験35)

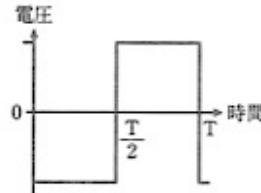


図1

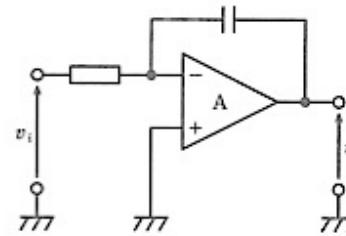
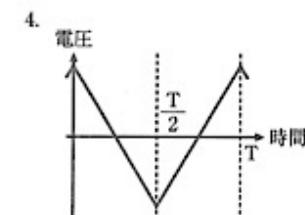
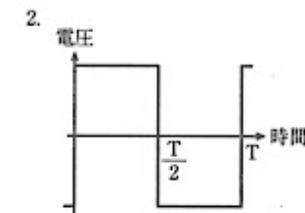
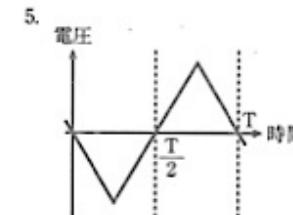
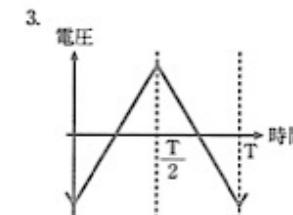
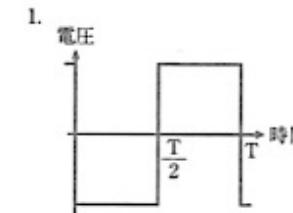


図2



問題

- 図1の波形を図2の回路の v_i に加えたときの v_o はどれか. (臨床工学技士国家試験35)

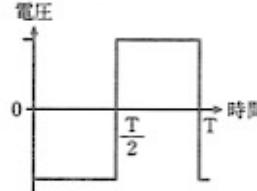


図1

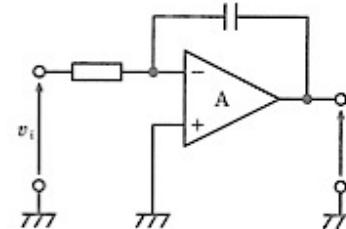
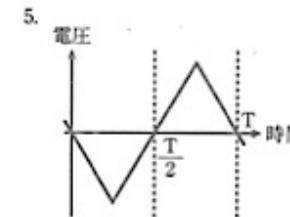
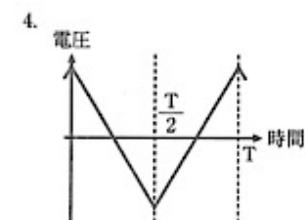
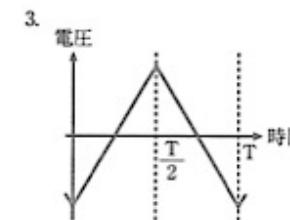
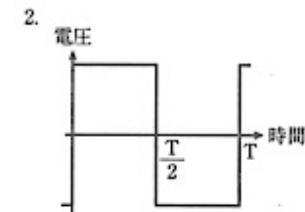
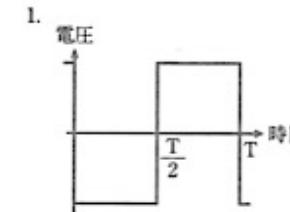


図2

これは積分回路だから、選択肢は3か4のいずれかに絞られる。非反転増幅回路の亜種と考えられるから、入力に対し出力の符号は反転すると考えられる。つまり、入力が正のとき傾きが負のものを選べば良い。
よって、3が正しい。



同相除去比

■ 同相除去比

- **差動**増幅回路の各入力端子に入力 v_1 , v_2 を与えたとき出力が v_o とする。
 v_o , v_1 , v_2 の関係は次のように書ける。

$$v_o = A_d(v_1 - v_2) + \frac{1}{2}A_c(v_1 + v_2)$$

- A_d は差動増幅度（波形の差分を増幅）
- A_c は同相増幅度（同位相の波形を増幅）

- 差動増幅度と同相増幅度の比を同相除去比CMRRという。

$$\text{CMRR} = \frac{A_d}{A_c}$$

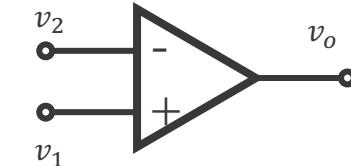
- 同相除去比をdBで表すと

$$CMRR = 20 \log_{10} \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

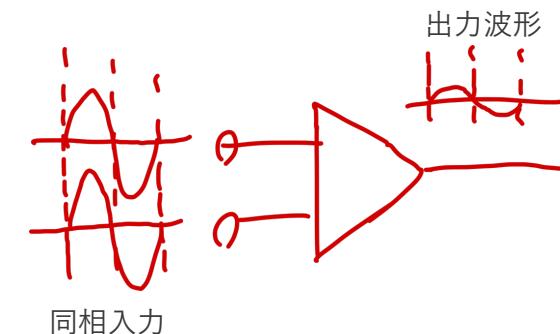
- 同相除去比が大きいほど良い差動増幅回路である。

- 理想オペアンプの場合

- 差動利得は無限大
- 同相除去比も無限大



理想的には差動増幅回路に同相の波を入力したら出力が無いはずが、現実には少し波が出力される。



■ 問題

- 同相利得が0.10倍、差動利得が200倍の差動増幅器がある。この増幅器のCMRR（同相弁別比）は何dBか。ただし、 $\log_{10}2 = 0.30$ とする。（第41回ME2種）
 - 6
 - 40
 - 46
 - 60
 - 66

■ 問題

- 同相利得が0.10倍、差動利得が200倍の差動増幅器がある。この増幅器のCMRR（同相弁別比）は何dBか。ただし、 $\log_{10}2 = 0.30$ とする。（第41回ME2種）

1. 6
2. 40
3. 46
4. 60
5. 66

定義通りに計算する

$$\begin{aligned} CMRR &= 20 \log_{10} A_d/A_c = 20 \log_{10} \frac{200}{0.1} \\ &= 20 \log_{10} 2 \times 1000 = 20(3 + 0.3) = 66 \end{aligned}$$

■ 問題

- ・ 同相除去比100dBの差動増幅器で、 差動利得は60dBであった。同相利得はいくらか。 (第42回ME2種)
 1. 60dB
 2. 40dB
 3. 20dB
 4. -20dB
 5. -40dB

■ 問題

- 同相除去比100dBの差動増幅器で、差動利得は60dBであった。同相利得はいくらか。（第42回ME2種）

- 60dB
- 40dB
- 20dB
- 20dB
- 40dB

同相除去比の定義から

$$\begin{aligned} CMRR &= 20 \log_{10} \frac{A_d}{A_c} = 20 \log_{10} A_d - 20 \log_{10} A_c \\ &= 60 - 20 \log_{10} A_c = 100 \\ \text{よって} \quad 20 \log_{10} A_c &= -(100 - 60) = -40 \end{aligned}$$

■ 問題

- CMRR（同相除去比）が80dBの差動増幅器がある。差動増幅器の入力端子間に1mVを入力すると1Vが出力された。差動増幅器の2つの入力端子を短絡し、アースとの間に1Vを入力すると出力電圧は何Vになるか。（第37回ME2種）
 - 0.01
 - 0.1
 - 1
 - 10
 - 100

問題

- CMRR（同相除去比）が80dBの差動増幅器がある。差動増幅器の入力端子間に1mVを入力すると1Vが出力された。差動増幅器の2つの入力端子を短絡し、アースとの間に1Vを入力すると出力電圧は何Vになるか。（第37回ME2種）

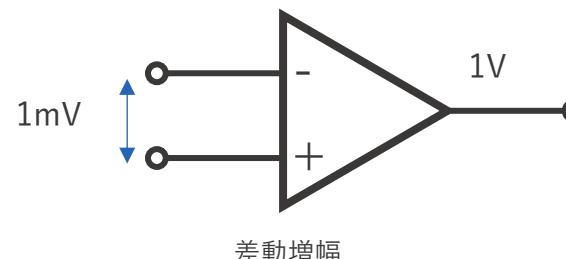
1. 0.01

2. 0.1

3. 1

4. 10

5. 100



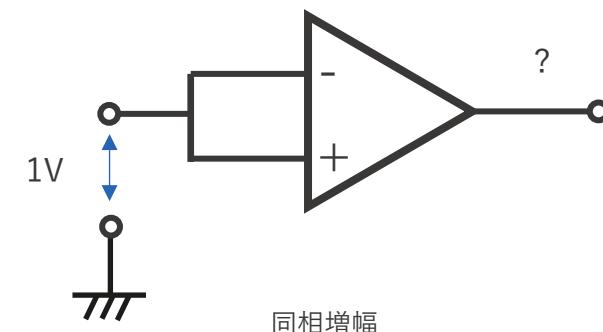
差動増幅度は $A_d = 1/0.001 = 1000$
同相除去比は

$$CMRR = 20 \log_{10} \frac{A_d}{A_c} = 20 \log_{10} 1000/A_c = 80$$

$$1000/A_c = 10^4$$

$$\text{同相増幅度は } A_c = \frac{1000}{10000} = 0.1$$

よって出力電圧は0.1V



■ 問題

- 増幅率40dB, CMRR100dBの増幅器に, 1.2Vの雑音（同相信号）が入力された。出力に現れる雑音の大きさはどれか。（第36回ME2種）
 1. 48V
 2. 30mV
 3. 12mV
 4. 1.2mV
 5. $12 \mu V$

■ 第36回ME2種

- 增幅率40dB, CMRR100dBの増幅器に, 1.2Vの雑音（同相信号）が入力された。出力に現れる雑音の大きさはどれか。（第36回ME2種）

1. 48V

2. 30mV

增幅率40dB, CMRR100dBなので

3. 12mV

$$100 = 40 + 20 \log_{10} A_c$$

$$20 \log_{10} A_c = -60$$

4. **1.2mV**

$$A_c = 10^{-3}$$

よって出力は

$$1.2 \times A_c = 1.2mV$$

5. $12 \mu V$